

Anders Alm, Per Grahn, Anders Nelander, Dan Strömberg, Ain Sume

Systemkoncept med konforma gruppantenner



Ursprungsbild: Copyright © Kockums AB

Pärmens baksida, som avsiktligt är blank.

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT
Sensortechnik
Box 1165
581 11 LINKÖPING

FOI-R--0934--SE
September 2003
ISSN 1650-1942

Användarrapport

Anders Alm, Per Grahn, Anders Nelander, Dan Strömberg, Ain Sume

Systemkoncept med konforma gruppantennor

Avsiktligt blank sida

| | | | |
|---|---|--|--|
| Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut – FOI Sensorteknik Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING | Rapportnummer, ISRN FOI-R--0934--SE | Klassificering Användarrapport | |
| | Forskningsområde 4. Spaning och ledning | | |
| | Månad, år September 2003 | Projektnummer E30411 | |
| | Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet | | |
| | Delområde 42. Spaningssensorer | | |
| Författare/redaktör Anders Alm, Per Grahn, Anders Nelander, Dan Strömberg, Ain Sume | Projektledare Anders Nelander | | |
| | Godkänd av | | |
| | Uppdragsgivare/Kundbeteckning FM | | |
| | Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig | | |
| Dokumentets titel Systemkoncept med konforma gruppantenner | | | |
| Sammanfattning (högst 200 ord) Vi beskriver ett systemkoncept för ett flerfunktionssystem som i marin miljö kan klara spaningsfunktioner inom radar och signalspaning samtidigt som andra telekrigsåtgärder, eldledning och kommunikation kan genomföras. Antennsystemet är gemensamt för alla funktioner och baseras på en konform facetterad gruppantenn. Detta är ett mycket flexibelt system som i varje stund kan anpassas efter miljön och användarnas krav där även användare ute i det nätverksbaserade försvaret hanteras naturligt. | | | |
| Nyckelord radar, flerfunktion, konform, gruppantenn, fartyg | | | |
| Övriga bibliografiska uppgifter | | Språk Svenska | |
| ISSN 1650-1942 | Antal sidor: 32 | | |
| Distribution enligt missiv | Pris: enligt prislista | | |

| | | |
|---|--|-----------------------------------|
| Issuing organization FOI - Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING SWEDEN | Report number, ISRN FOI-R--0934--SE | Report type User report |
| | Programme Areas 4 C4ISR | |
| | Month, year September 2003 | Project no. E30411 |
| | General Research Areas 5 Commissioned Research | |
| | Subcategories 42 Surveillance Sensors | |
| Author/s (editor/s) Anders Alm, Per Grahn, Anders Nelander, Dan Strömberg, Ain Sume | Project manager Anders Nelander | |
| | Approved by | |
| | Sponsoring agency Swedish Armed Forces | |
| | Scientifically and technically responsible | |
| Report title (In translation) System concept with conformal array antennas | | |
| Abstract (not more than 200 words) We describe a system concept for a multifunction system in a naval scenario with radar surveillance and electronic intelligence, and simultaneously electronic warfare, fire control and communication. The antenna system is common for all functions and it is based on a conformal faceted array antenna. This is a very flexible system that can be adapted to the scenario and the user requirements including network defence users. | | |
| Keywords radar, multifunction, conformal, array antenna, ship | | |
| Further bibliographic information | | Language Swedish |
| ISSN 1650-1942 | Pages: 32 | |
| | Price acc. to pricelist | |

Innehåll

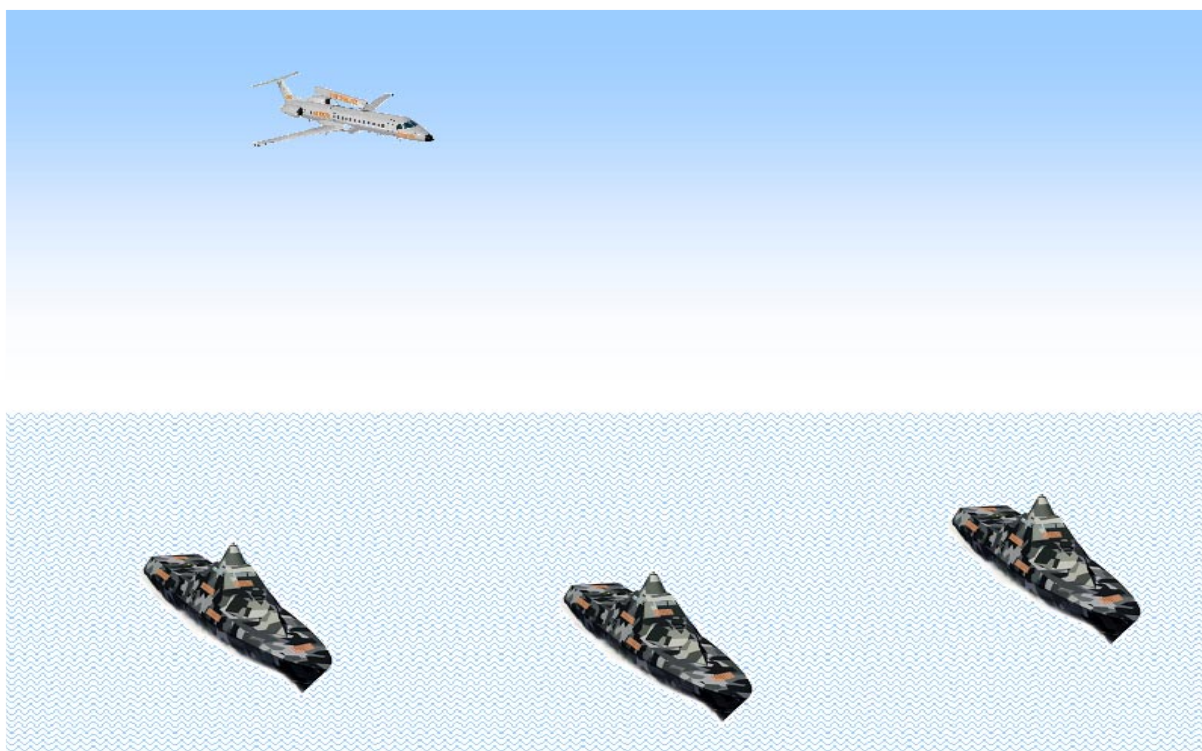
| | |
|--|----|
| 1. Inledning..... | 7 |
| 2. Flerfunktionsbehov för fartyg | 9 |
| 3. Plana och konforma gruppantenner..... | 11 |
| 4. Pyramidantenn..... | 13 |
| 5. Systemanvändning | 17 |
| 5.1 Användningsscenario..... | 17 |
| 5.2 Uppdragsfördelning i nätverk | 18 |
| 6. Systemkoncept | 21 |
| 6.1 Radar | 22 |
| 6.2 Signalspaning | 22 |
| 6.3 Störning..... | 23 |
| 6.4 Kommunikation | 24 |
| 6.5 Övrigt | 24 |
| 6.6 Styrning och fusion | 24 |
| 7. Teknik och utformning..... | 25 |
| 7.1 Bredbandig gruppantenn..... | 25 |
| 7.2 Radar | 26 |
| 7.3 Signalspaning | 27 |
| 7.4 Störning..... | 28 |
| 7.5 Styrning och fusion | 28 |
| 8. Prestanda | 29 |
| 8.1 Radar | 29 |
| 9. Referenser..... | 31 |

1. Inledning

Denna rapport innehåller ett systemkoncept som spelkort för ett flerkomplexionssystem med integrerade radarfunktioner, telekrigfunktioner och kommunikationsfunktioner för marina tillämpningar. Spelkortet kan användas för olika studier som exempelvis FoRMA och YS-NY. Rapporten riktar sig främst till försvarets beslutsfattare och tekniska handläggare med intresse för teknik med digitala gruppantennor i framtida flerkomplexionssystem. Spelkortet bygger på några idéer och principer för systemutformning av bredbandiga flerkomplexionssystem med plana och konforma gruppantennor [1] - [7]. För andra underlag se [8] - [13].

Den föreslagna tillämpningen är ett system som innehåller komponenter för spaning, telekrig, ledning och bekämpning. Systemet består av ett antal fartyg i samverkan med varandra och eventuellt även i samverkan med spaningsflygplan för olika typer av uppdrag. Fartygen kan operera med ett framskjutet beteende medan spaningsflygplanet opererar mera tillbakadraget i skyddad position. Figur 1.1 visar exempel på sådana fartyg. Liknande system och funktioner studeras och utvecklas i USA [14], [15], [16]. För allmänna översikter se [17] - [27].

Varje fartyg har ett antal antennaperturer med bredbandiga gruppantennor för att få täckning runt om för olika funktioner som radarspaning, signalspaning, störsändning, aktiv/passiv varning, kommunikation och nätverk. Flera fartyg kan samverka för att utföra de olika funktionerna i monostatiska, bistatiska eller multistatiska konfigurationer.



Figur 1.1: Samverkande fartyg och flygplan med flerkomplexionssystem.

2. Flerfunktionsbehov för fartyg

Ett fartyg har under ett uppdrag behov av många olika funktioner för spaning, telekrig, ledning och bekämpning som utnyttjar radiosamband på olika frekvenser och med olika bandbreddsbehov. Den aktuella sammansättningen av funktionerna beror på typ av uppdrag, i vilket skede av uppdraget fartyget befinner sig och vilken hotsituation som råder. Vi kan tala om fyra olika typer av hotscenarier.

- Normalscenarier där alla funktioner sänder och tar emot signaler fritt och ingen störsändning förekommer
- Tysta scenarier där alla funktioner endast tar emot signaler utom eventuellt navigeringsfunktionen som är så lite röjande som möjligt
- Alarmscenarier där alla funktioner tar emot signaler och endast begränsad sändning förekommer och speciellt ingen störsändning
- Stridsscenarier där störsändning och annan sändning används efter behov, alla mottagare tar emot signaler och navigeringsfunktionen utnyttjar högre effekt för minsta tidsbelastning på mätsystemet

Ett bekämpningsuppdrag kan utgöra ett exempel som börjar med tyst uppträdande. Signalspanings-, radarvarnings- och navigeringsfunktioner är igång. Lober för inmätning och varning skall formis och riktas för minsta röjningsrisk. Sparsamt samband används för invisning mot målområdet. På relativt stort avstånd från målet förbättrar fartygen med egen kortvarig radarsökning kvalitet och precision hos målinformationen från invisningen och den egna signalspaningen.

Funktionen för robotvarning aktiveras när avståndet till hotet fortfarande är större än dess roboträckvidd. Störsändning kan aktiveras om dessa funktioner larmar. Vid lämplig tidpunkt aktiveras radarspaningsfunktionen över målområdet och målet söks upp och följs. Eventuellt utförs målanalys för att bekräfta att rätt hotmål följs. När hotet kommit inom skjutavstånd avfyras en robot, som uppdateras med aktuella måldatauppgifter via den nu öppnade sambandsfunktionen robotlänk. När roboten kommit tillräckligt nära målet för att med egen målsökare kunna låsa på och följa hotmålet kan funktionerna radarspaning och robotlänk stängas. Funktionen radarspaning måste dock vara påslagen fram till målträff om en semiaktiv robot används.

Tabell 2-1: Viktiga funktioner för fartyg

| | |
|---------------|---|
| Radarspaning | Riktad sökning, följning, igenkänning av egna och fientliga mål |
| Robotvarning | Sökning, hotvärdering |
| Signalspaning | Riktad sökning, följning, igenkänning |
| Radarvarning | Sökning, igenkänning, hotvärdering |
| Störsändning | Brusstörning, repeterstörning |
| Samband | Robotlänk, taktisk länk, bildlänk, nätlänk |
| Navigering | Fixpunktmätning, hindersökning, GPS inmätning |

Funktionerna kan samordnas med gemensamma bredbandiga flerfunktionsantennerna men även samverka på en logisk nivå för att skapa ny funktionalitet och bättre prestanda. Detta ger möjlighet till styrning och fusion av funktioner för bättre taktik i olika scenarier.

System uppbyggda med flerfunktionsantennerna ger goda förutsättningar för att åstadkomma samverkan mellan signalspaningsfunktioner på separerade plattformar samt mellan radar- och signalspaningsfunktioner. Förhöjd sensorförmåga kan uppnås genom ömsesidig invisning och datafusion. Radarfunktionen bidrar framförallt till helheten med avstånds- och hastighetsinformation medan signalspaningsfunktionen tillför identifieringsförmåga. Signalspaningsfunktionen har även den stora fördelen att den inte erbjuder motsidan information. Sensorsamverkan mellan system på separerade plattformar underlättas av att flerfunktionsantennerna kan användas för att etablera bredbandslänkar med riktverkan.

Flerfunktionssystemen bygger på gemensamma egenskaper som bredbandighet, gruppantennerna, runtomtäckning, samverkan och variation av parametrar för olika funktioner. Systemen kan vara aktiva med egna samverkande sändare eller passiva som utnyttjar andra eller motståndarens sändare. Systemen byggs upp med gruppantennerna riktade runt om fartyget för att få önskad täckning. Samverkan mellan plattformar och funktioner ger möjlighet att styra vilka plattformar som är aktiva sändare eller passiva mottagare. Ny funktionalitet för de samverkande funktionerna kan fås med gemensamma gruppantennerna och integrerad systemuppbyggnad.

3. Plana och konforma gruppantenner

Plana och konforma gruppantenner skiljer sig åt i många avseenden. Plana gruppantenner kan forma lober och riktas inom en rymdvinkelsektor omkring normalriktningen till den plana antenntytan. Konforma gruppantenner kan forma lober och riktas inom rymdvinkelsektorer som bestäms av den lokala normalriktningen till den krökta antenntytan. Detta ger möjligheter till större rymdvinkeltäckning för konforma gruppantenner. Plana gruppantenner innanför en radom kan vara begränsade av skrovstrukturer nära antenntytan som ytterligare minskar rymdvinkeltäckningen.

Konforma gruppantenner kan bättre anpassas till plattformar med begränsade utrymmen medan plana gruppantenner ofta kräver en krökt radom utanför antenntytan vilket ger utrymmesförluster i plattformen. Konforma gruppantenner kan få bättre mekaniska och aerodynamiska egenskaper genom integration i plattformens skrov. Konforma gruppantenner kan även delas upp på flera antenntytor och delantenner vilket ger möjlighet till bättre vinkelmätning och störundertryckning.

Plana gruppantenner kan byggas med planperiodiska antenngitter och lika antennelement vilket ger enklare indelning i delantenner och enklare lobformning. Konforma gruppantenner kan byggas med periodiska krökta antenngitter och lika lokalt riktade antennelement vilket ger mer komplicerad lobformning och indelning i delantenner. Generellt kan konforma gruppantenner beskrivas av olikformiga antenngitter med olika enskilda antennelement. Konforma gruppantenner med indelning i delantenner i plana facetter ger en mellanform med enklare lobformning inom delantennen. Konforma gruppantenner kan ge minskad egen målarea genom små eller inga plana antenntytor och små eller inga periodiska antenngitter som ger gitterlober.

En viktig faktor vid konforma gruppantenner är kontroll av polarisationen för enskilda antennelement för att kunna ge önskad polarisation vid lobformningen. Oftast krävs full polarisationskontroll av antennelementen för konforma gruppantenner. Polarisationskontroll införs ofta för gruppantenner för att vid sändning summera effekt i rummet med två ortogonala polarisationer med styrbar fasskillnad. Vid mottagning bildas optimala kombinationer av de två ortogonala polarisationerna.

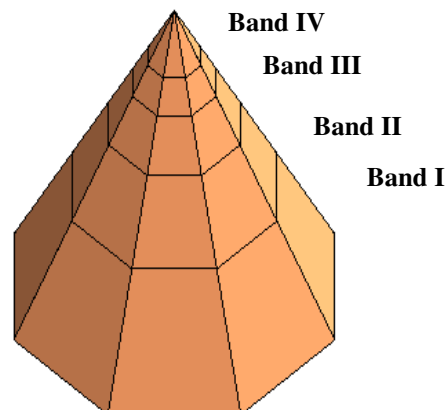
Kalibrering av plana och konforma gruppantenner är en viktig funktion för praktisk realisering av lobformning och antennstyrning. För plana gruppantenner kalibreras signalerna från enskilda antennelement mot planvågsinfall så att enbart en linjär fasgradient fås över antenntytan. För konforma gruppantenner fås ytterligare komplexitet eftersom antennelementen har lokalt olika elementdiagram och polarisationsegenskaper för olika planvågsinfall.

4. Pyramidantenn

Det föreslagna systemkonceptet byggs upp med facetterade konforma gruppantennar som placeras i en åttasidig pyramidform sammansatt av plana triangelformade och inbördes lika facettytor enligt figur 4.1. Antenn-typen ger möjlighet till täckning runt om fartyget i en halvsfär. Flera facett-sidor i pyramiden samverkar för att forma lobber i olika riktningar.

Antennens triangulära facettsidor delas in i olika frekvensband för att få en stor systembandbredd för flerfunktionssystemet. Låga frekvenser använder antenntyten nära pyramidens bas medan höga frekvenser använder antenntyten nära pyramidens topp. En viss frekvens använder en parallelltrapetsformad del av den triangulära facettsidan. Detta innebär att antenn-elementen inte behöver vara extremt bredbandiga utan kan anpassas till olika frekvensband beroende på placeringen i höjddled på facettsidan.

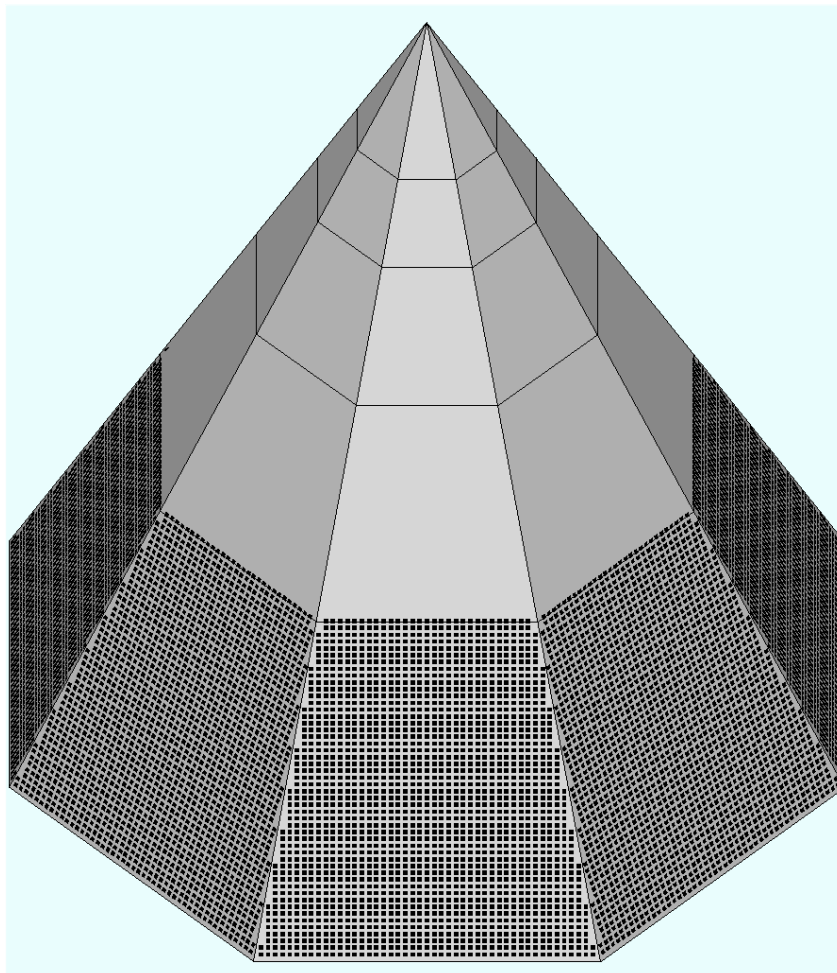
Pyramidantennen kan utformas med olika typer av antennelement och delantennar på facettsidorna. En möjlighet är att låta antennelementen kontinuerligt ändra storlek och frekvensband beroende på placering i höjddled och låta delantennernas möjliga storlek bestämmas av antennelementens bandbredd. För det här föreslagna systemkonceptet används relativt bredbandiga antennelement som har samma storlek inom en delantenn för ett visst frekvensband. Delantennen får en trapetsform som kan skalas till olika frekvensband. Flera trapetsformade delantennar bygger upp den triangulära facettsidan och delantennernas storlek skalas som frekvensbandens bandbredd.



Figur 4.1: Pyramidformad åttasidig facetterad konform gruppantenn indelad i fyra frekvensband.

En mer detaljerad bild av pyramidantennen visas i figur 4.2 med inritade antennelement för det lägsta frekvensbandet. Pyramidantennen har utformats med topphöjden och basdiametern lika vilket ger en spetsvinkel för de triangulära facettsidorna på ca 20° och en lutning från vertikal på ca 25° . Det relativa frekvensbandet för en trapetsformad delantenn är valt till ca 1:1.6 vilket ger en total relativ systembandbredd på 1:6 med fyra frekvens-

band. Detta ger även att delantennen får ungefär samma bredd och höjd på trapetsformen och därmed en approximativt kvadratisk delantennytta. Toppen på pyramidantennen används inte som antennytta enligt denna utformning.



Figur 4.2: Pyramidantenn med antennelement vid det lägsta frekvensbandet.

Storleken på pyramidantennen i systemkonceptet har valts med en topphöjd på 4 m och en basdiameter på 4 m. Den totala systembandbredden är 3-18 GHz med delantennernas frekvensband I-IV vid 3.0-4.7, 4.7-7.4, 7.4-11.5 och 11.5-18 GHz. Dessa tilldelas var sin parallelltrapetsformad delyta på vilken antennelementen placeras i ett regelbundet gitter. Trapetsytorna är likformiga med längdmått som minskar med en konstant faktor från trapets till trapets i riktning mot pyramidens topp. Våglängderna, som respektive trapetsyta hanterar minskar i samma proportion. Avståndet mellan antennelementen inom en delantenn skalas till halva kortaste förekommande våglängden inom bandet. Antalet antennelement blir då lika (1900) inom varje trapets, oberoende av frekvensbandet. Totala antalet element över alla pyramidsidorna blir 60800.

De enskilda elementen är bredbandiga så att de täcker det delfrekvensband i vilket de ingår. De är dubbelpolariserade i två ortogonala linjära polarisa-

tioner, vilkas fas kan varieras godtyckligt. För en viss önskad antennlobriktning låter man antennelement på flera delfacetter av pyramiden samverka, exempelvis på den yta vars normal ligger närmast den önskade riktningen, samt elementen på de båda omgivande delytorna. Varje delement som deltar i lobformningen i den önskade riktningen faskompenseras svarande mot gångvägsskillnader till målobjektet, så att elementens delbidrag summeras i fas. Även varje delements båda linjära polarisationskanaler faskompenseras så att deras kombinerade polarisation, som allmänt är elliptisk, bäst antar en önskvärd polarisation. Denna sätts av tillämpningen; den kan t.ex. vara bäst anpassad till ett målobjekt, eller kan styras av strävan efter bästa smygegenskaper eller störegenskaper.

Den åttasidiga pyramidantennen har olika fördelar och nackdelar jämfört med mera konventionella fyrsidiga plana gruppantennor och konforma cylindriska eller koniska gruppantennor. De plana fyrsidiga gruppantennorna ansluter ofta bättre till fartygets skrovform och ger bättre signaturanpassning men de använder enbart en sida i taget för en viss vinkelsektor och får en varierande täckning runt om fartyget beroende på olika projicerad antennarea. De konforma gruppantennorna får en helt jämn täckning runt om fartyget men de har sämre egenskaper för signaturanpassning och en mera komplicerad lobformning och antennstyrning. De facetterade konforma gruppantennorna kan vara en lämplig kompromiss mellan krav på täckning, signaturanpassning och komplexitet. Den facetterade konforma gruppantennen kan även användas i funktioner med samtidig sändning och mottagning genom en relativt stor isolation mellan olika facetter.

Pyramidantennen kan även vara intressant i andra tillämpningar med krav på täckning, bredbandighet och signaturanpassning. Den kan användas i olika typer av målsökare, eldledningsradar, spaningsradar, signalspaning och störsändning. Exempel på installation kan vara i nosen på robotar och stridsflygplan och på taket på stridsfordon.

5. Systemanvändning

Användningsområdet för samverkande fartyg med bredbandiga flerfunktionsantennerna är spanings- och attackuppdrag, som leds från fartyg eller markbaserad ledningscentral. Stridsmiljön är svår med stort vapenhot och störhot mot fartygen med aktiva sändare, varför tyst uppträdande är det normala. Exempelvis kan fartygen användas långt framskjutna mot fiendliga hot. Spaningsuppdrag är då vanliga och förutom spaningsfunktioner behövs i de bredbandiga flerfunktionsantennerna störundertryckning och telekrig samt ledning och samband. Vid ett bekämpningsuppdrag har fartyg invisats mot målområdet och behöver förutom nyss nämnda funktioner även funktioner för målfångning och målföljning, styrning av egna robotar och träffanalys.

De ovan nämnda funktionerna bryts ned i elementära mätfunktioner av ledningssystemet och prioriteringssystemet och köas i en uppdragslista till flerfunktionsantennerna. Delantennerna tilldelas dynamiskt funktioner från uppdragslistan, säg varje millisekund. Sändande delantennerna kan hantera en funktion och lob åt gången och mottagande delantennerna kan hantera flera funktioner och lober samtidigt. Olika delantennerna kan samverka för bättre prestanda i en gemensam sändarfunktion och gemensamma mottagarfunktioner. I extremfallet kan alla delantennerna i en flerfunktionsantenn samverka för bästa prestanda i någon funktion.

5.1 Användningsscenarion

Vi har i avsnitt 2 fyra typer av scenarier: Normalscenarier, Tysta scenarier, Alarmscenarier, Stridsscenarier.

Vid alla dessa scenarier är det möjligt att navigeringsfunktionen använder många simultana digitala mottagarlober, att smalbandiga radiolänkkanaler skapas av digitalt formade smala lober, och att högkänslig bredbandig signalspaning skapas med många simultana digitalt formade lober. En närmare beskrivning av de olika scenarierna följer.

Normalscenario

I detta scenario ges de sändande funktionerna större utrymme. Radarsändning används för spaning, omvärldsuppfattning och navigering. Trots den isolation som skapats genom att använda separerade sändar- och mottagaraperturer reduceras signalspaningens känslighet inom delar av frekvensområdet när sändning sker. Problemet kan minimeras genom att en eller flera av plattformarna agerar tyst. Alternativt samordnas de aktiva funktionerna hos stridsgruppen så att gruppens samlade signalspaningsförmåga inte påtagligt degraderas när sändning sker. Ett sätt att ordna detta är genom frekvensplanering.

Tyst scenario

Den egna lägesbilden är baserad på extern sensorinformation och på stridsgruppens samlade signalspaningsfunktion som därför prioriteras vid resurskonflikter. Sändning som konkurrerar med signalspaning förekommer i begränsad omfattning och består framförallt av den kommunikation som är nödvändig för att medge samverkan mellan signalspaningsfunktionerna

på de ingående plattformarna medan radarsändning används mycket begränsat. Hög upptäcksförmåga hos signalspaningsfunktionen erhålls genom en kombination av stirrande och avsökande spaning, såväl i vinkel- som frekvensled. Frekvensavsökningar sker hororienterat. Avsökningssuppgifter distribueras inom stridsgruppen. Redan upptäckta emitterar följs av flera av de ingående plattformarna.

Alarmscenario

Signalspaningsfunktionen används i stort som vid tyst scenario. Vid behov kan signalspaningen avropa invisade korta radarinmätningar vilket minskar motsidans möjligheter att med passiv spaning skapa en lägesbild. Radarsändning används annars i begränsad omfattning för spaning och omvärldsuppfattning.

Stridsscenario

Radar- och signalspaningsfunktionen ges hög prioritet för att upptäcka nya hot och mål. Ömsesidig invisning sker vilket förbättrar identifiering och följning. Lägesbilden delges i nätverket. Radarsändning används för spaning och vapenstyrning. Signalspaningen invisar även störsändarfunktionen som vid behov motverkar på inmätta hotfrekvenser. För egenskydd vid pålåsning av attackrobot sker vilseledning i kombination med undanmanövrer. För eskortskydd av i företaget ingående fartyg sker störning med maskering i sökfase, samt vilseledning (till exempel påhakning följt av avhakning) för att i möjligaste mån skydda fartygen.

5.2 Uppdragsfördelning i nätverk

Om flera plattformar samverkar i ett nätverk ökar möjligheterna till taktiskt utnyttjande av flerfunktionsantennen. Uppgifter och roller för deltagarna i en plattformsgroup kan fördelas och eventuellt även omfördelas eller bytas ut med jämna eller ojämna mellanrum - det senare tjänar till att förvill motståndaren. Exempel på uppgifter nämndes ovan: spaningsuppdrag, telekrig, ledning, samband, navigation. För att bemästra svårigheten att dels väga in den individuella plattformens krav på sensor kontroll och dels gruppens krav på mera global resurshantering, hanteras lämpligen sådana uppgifter på två nivåer, policynivå och uppgiftsnivå.

I en sensorstyrpolicy "Sensor Management Policy" (SMP) regleras de individuella och temporära begränsningarna för plattformens sensoranvändning. Här ingår till exempel specifikation av tillåtna frekvensintervall, modfördelningar, PRF-intervall, modprioriteringar, detektionsmetoder och konfliktlösningstrategier. SMP:n kan väljas individuellt i varje plattform t.ex av operatör, eller distribueras, väljas och uppdateras centralt från en enhet. SMP:n kan användas för att sätta flerfunktionsantennens begränsning ifråga om sändar- och mottagarfrekvenser, distribution av delantenn till olika typer av uppgifter mm. Konkreta uppgiftsbeställningar som inkommer till respektive plattform filtreras i dennas SMP innan de realiserar.

En form för taktisk samverkan där ovanstående strategi kan användas i normalscenariot gäller uppdelning av "alert"- och "confirm"-faserna vid detektion, målföljning och sökning. "Alert" respektive "confirm" kan lämpligen utföras av olika funktioner i samma eller olika plattformssenso-

rer, men också av sensorer på olika plattformar med möjligen skilda frekvensområden.

Ett sätt att åstadkomma ett smygande uppträdande av plattformar i grupp i tysta scenariot är att distribuera sändar- och mottagaruppgifterna inom gruppen så att varje plattform gör val, invisning och bekämpning av ett eget mål utan att belysa det med egen radar; det kan istället använda den för att belysa ett mål åt en annan plattform, som stödjer en tredje på samma sätt osv. Frekvenser samt mål- och uppgiftsfördelningen kan ändras då och då för att förvilla.

Alternativt kan varje plattform arbeta med signalspaning och vilseledning i visst begränsat frekvensområde där dessa är fördelade så att ett bredbandigt frekvensspektrum täcks av plattformgruppen. Fördelningen av frekvensområden hos plattformarna kan bytas ut på ett oregelbundet sätt för att undvika motmedel. Även nytillkommande uppgifter kan distribueras på plattformarna så att varje plattform arbetar t ex med ett mindre frekvensområde. Flerfunktionsantennen ökar förmågan till frekvensvariation hos radarn och riktningssäkerhet hos störare och signalspaningsutrustningar.

6. Systemkoncept

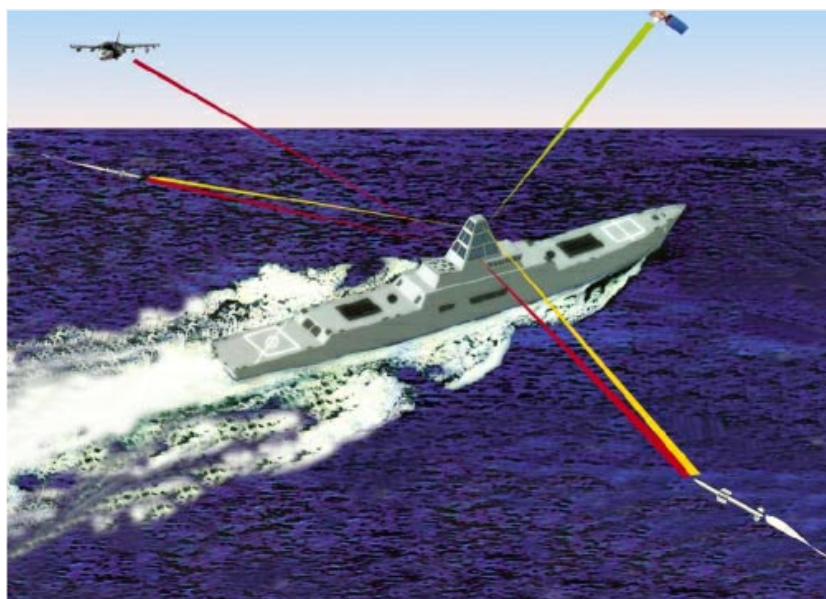
Flerfunktionssystemet är uppbyggt med bredbandiga aktiva digitala gruppantennor riktade i åtta olika riktningar med gemensamma aperturer för sändning och mottagning. Separerade aperturer kan användas för att få isolation för samtidig sändning och mottagning. Antennerna placeras skrovfast på en pyramidformad hög konstruktion för ökad räckvidd och täckning runtom. Antennerna utformas som plana trapetsformade gruppantennor och har dubbelpolariserade antennelement. Ett exempel på antennplacering visas i figur 6.1.



Figur 6.1: Exempel på antennplacering av pyramidantenn på smygfartyg.
 Ursprungsbild: Copyright © Kockums AB.

Antennerna är rekonfigurerbara och har både analog och digital lobformning med tidskiftare och fasskiftare beroende på signalernas bandbredd. Ett antal delantennor bildas med analog lobformning beroende på aktuell tillämpning. Flerfunktionssystemet konfigureras med utnyttjande av olika stora aperturer, olika antal sändarmoduler, olika antal mottagarmoduler, olika stora delantennor, olika antal lobor och digitala kanaler och momentan bandbredd för de aktuella tillämpningarna. Olika moder, vågformer och signalbehandlingsmetoder kan konfigureras. Flerfunktionssystemen på olika fartyg och spaningsflygplan kan samverka i vissa moder och funktioner och bygga upp ett nätverk mellan varandra. Utnyttjande och styrning av moder och funktioner utförs i nätverket under operatörskontroll från fartyg eller land.

Ett annat exempel på systemkoncept för flerfunktionssystem visas i figur 6.2. AMRFC (Advanced Multifunction RF Concept) utvecklas för multifunktionssystem för fartyg med funktioner för radar, telekrig, kommunikation och navigering. Systemet arbetar i flera frekvensband och det höga bandet är omkring 5-20 GHz. En liknande utveckling är DAR Digital Array Radar som använder digitala mottagare för varje antennlement. Båda systemen utvecklas av ONR och NRL. Antennplaceringen kan vara högt upp på pyramiden, men även lågt längs sidorna.



Figur 6.2: Koncept kallat AMRFC (Advanced Multifunction RF Concept). Copyright © ONR och NRL.

6.1 Radar

Radarfunktionerna innehåller sökning mot luftmål och ytmål i alla önskade olika vinkelsektorer. Följning av alla måltypen kan utföras i alla riktningar oberoende av fartygsläge. Icke kooperativ igenkänning av vissa måltypen kan utföras med bredbandiga vågformer och moder efter fölning av mål. Robotvarning för egenskydd kan utföras i alla riktningar. Alla funktioner kan utföras med både monostatiska och bistatiska eller multistatiska moder för att förbättra smygegenskaper, störfasthet och egenskydd. Radarbelysningen i bistatiska och multistatiska moder kan komma från andra plattformar t.ex. en flygburen sändare, andra fartyg eller från land vid agerande i skärgården. Radarfunktionernas räckvidd är naturligtvis begränsade av horisonten och kan behöva kompletterad omvärldsuppfattning från mark- och flygbaserade radarsystem.

6.2 Signalspaning

Flerfunktionsantennen erbjuder möjligheter att parallellt konfigurera funktioner för radarvarning och riktad signalspaning. Radarvarnarfunktionen

prioriterar upptäcktssannolikhet och är därför inriktad mot full momentan rymdvinkeltäckning och stor momentan frekvenstäckning. Funktionen identifierar samt riktningsbestämmer alla inkommande signaler med interferometri.

Den riktade signalspaningen har högre systemkänslighet genom en situationsanpassad kombination av antennvinst och bandbredd. Den högre känsligheten utökar räckvidden men medför även att inmätningens kvaliteten hos signaler som upptäcks med varnarfunktionen förbättras. Signalspaningsfunktionerna lägesbestämmer mark-, yt- och luftbaserade emitterar direkt från den egna plattformen eller i samverkan med de övriga plattformarna i nätverket. Moderna passiva lägesbestämningsmetoder ger SAR-liknande noggrannhet och avslöjar emitterns eventuella hastighetsvektor med hjälp av dopplermätningar.

6.3 Störning

Med denna typ av antenn kan beroende på systemets resurstillgång störning ske med koncentrerad lob med maximal ERP mot ett eller flera mål samtidigt genom tidsdelning. Om samtidig störning krävs kan antennens delantennerna störa mot olika mål. Begränsande är signalgenereringskretsarna och teknikgenereringen. Störinsatsen kräver stöttning från signalspaningsfunktionen.

Störfunktionen kan karaktäriseras i flera kategorier: störning för skydd av egen plattform, egenstörning, eller skydd av annan plattform, medstörning om störplattformen följer med in mot ett hotområde, eller bakgrundsstörning där störplattformen befinner sig på ett större avstånd bakom den skyddade plattformen. Ett med bakgrundsstörning besläktat störfall är förgrundsstörning. Då befinner sig störplattformen mellan den skyddade plattformen och hotet.

Egenstörning

En egenstörare har måttliga krav på uteffekt vilket innebär att störsändaren skall överrösta skrovet med ett antal dB. Det är endast i hotradarns absoluta närhet som effektkraven blir stora. Störsystemet arbetar tillsammans med signalspaningsfunktionen.

Medstörning

Vid medstörning befinner sig störplattformen i den skyddade plattformens närhet, antingen framför eller bakom. Medstörning kan ses som ett specialfall av bakgrunds- eller förgrundsstörning. Denna störform kräver högre prestanda av störsystemet, i första hand högre uteffekt.

Bakgrundsstörning

Denna störform är den absolut mest effektkrävande störformen. Mest gynnsamt är om störplattformen och den skyddade plattformen befinner sig på radiell linje från radarn. Då sker endast störningen i huvudlob vilket är effektbesparande. Vid bakgrundsstörning är det mest vanligt att tillämpa bredbandig maskering. Bandbredden motsvarar hotradarns systembandbredd.

Förgrundsstörning

Denna störform är för maskering den i särklass mest effektiva. Ju närmare störaren är radarn, desto bättre kan skyddsobjekten maskeras. Både brus-

störformer och generering av stora mängder falska mål kan förekomma. Dock är denna störform förenad med vissa risker, speciellt när störplattformen är stor och bekämpningsrisken ökar. God effekt kan uppnås med en liten uteffekt.

6.4 Kommunikation

Kommunikationsfunktionerna innehåller datalänkar för lokalt nätverk mellan fartygen. Dessutom finns länkar för synkronisering av bistatiska moder och andra samverkande moder, länkar för vapenstyrning och samverkan med robotar och datalänkar för direkt kommunikation med marknätverk, fordon och fartyg. Kommunikationsfunktionerna använder bredbandiga vågformer för att förbättra smygegenskaper och för att få hög störfasthet.

6.5 Övrigt

Funktioner för navigering och IK transponder utförs med flerfunktionsystemet för att få ett autonomt uppträdande.

6.6 Styrning och fusion

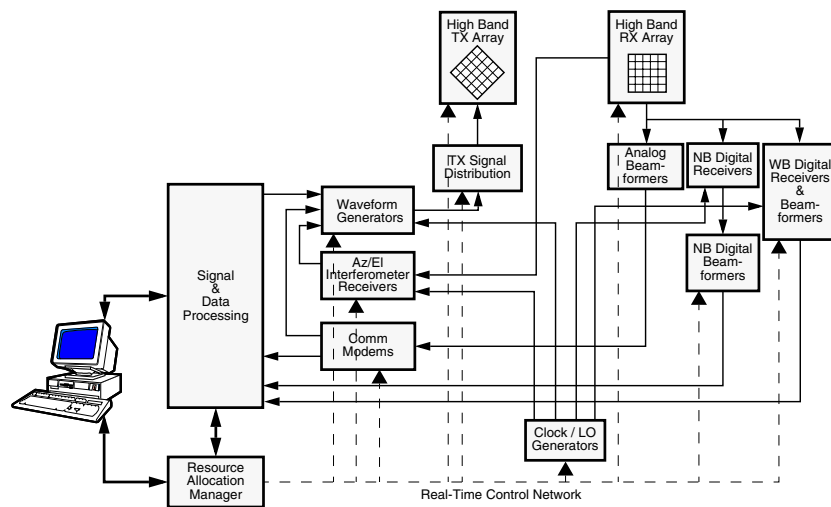
Systemet innehåller funktioner som styr, allokerar samt schemalägger samtliga aperturers aktiviteter så att övergripande mål uppfylls och användarnas krav tillgodoses. Konflikter mellan olika användarkrav samt tillgängliga resurser i form av delantennar, lobformare, sändare/mottagare, signalbehandling etc hanteras olika beroende på de övergripande målen. Prestanda kan i svåra konfliktsituationer försämrats på grund av val av ej optimala arbetsmoder eller för lite resurser inom systemet. Aperturerna på olika fartyg kan samverka i tid, rum, frekvens och funktion. Flera funktioner kan arbeta samtidigt i olika riktningar och frekvenser. Fördelning av uppgifter mellan olika fartyg kan också ske så att exempelvis bistatiska mätmoder kan utnyttjas.

Fusion sker normalt av resultat från olika delaktiviteter samt med resultat från andra plattformar. Resultatet återkopplas på ett naturligt sätt i samtliga arbetsmoder. Systemet försöker tillgodose användarnas krav men undviker att göra ett bättre jobb än vad som efterfrågas för stunden. Detta ställer krav på att användarsidan kan uttrycka dessa på ett relevant sätt.

7. Teknik och utformning

De bredbandiga digitala gruppantennerna kan byggas upp med aperturer liknande AMRFC:s försöksutrustning enligt figur 7.1. Antennelementen är dubbelpolariserade och placeras i ett kvadratisk format gitter. Sändarantennen innehåller rekonfigurerbara fördelningsnät med tidskiftare och fasskiftare för att bilda olika delantennor och lobformer. Fördelningsnäten matar bredbandiga effektförstärkare som huvudsakligen arbetar med mätad förstärkning för att få högsta verkningsgrad och uteffekt. Vågformerna till sändarsignalerna genereras med bredbandiga digitala signalgeneratorer.

Mottagarantennen innehåller rekonfigurerbara kombineringsnät med tidskiftare och fasskiftare för att bilda olika delantennor och lobformer. Bredbandiga lågbrusförstärkare med stor dynamik och mottagarskyddare matar kombineringsnäten. Hög isolation fås mellan mottagarantennor och sändarantennor genom aperturernas placering och adaptiva vikter i lobformningen så att vissa funktioner och moder kan använda samtidig sändning och mottagning. Vid mycket höga krav på isolation används olika fartyg för sändning och mottagning. Flera mottagarantennor kan samverka för att få förbättrad noggrannhet och upplösning i vinkel.



Figur 7.1: Blockschema för AMRFC:s försöksutrustning med separerade sändarantennor och mottagarantennor. Baserad på bild från NRL

7.1 Bredbandig gruppantenn

Antennen byggs upp med mikrovågsmoduler i multilagerteknik vilket ger ett platt byggsätt. Mikrovågsmodulerna innehåller ett antal sändar/mottagarmoduler och dubbelpolariserade antennelement. Flera moduler byggs samman till delantennor med rekonfigurerbara kretsar. Sändarkanalor och mottagarkanalor konfigureras beroende på önskad funktion.

Tabell 7-1: Antennsystemets utformning

| | |
|------------------|---|
| Antennstruktur | Konform antenn bestående av en åttasidig pyramid Pyramidens höjd 4m, pyramidens basdiameter 4m Pyramidsida likbent triangel, höjd 4.24m, bas 1.53m Antennelementen fördelas på fyra likformiga trapetsytor per sidoyta som täcker frekvensbanden 3.0-4.7, 4.7-7.4, 7.4-11.5 och 11.5-18GHz |
| Antennarray | Varje trapetsdel har 50 elementrader, 47 element i bottenraden och 29 i den översta, avståndet mellan elementen i sida och höjd är 3.2, 2.0, 1.3 och 0.83 cm för respektive frekvensband. Antal element per trapets är 1900, totalt 60800 över hela pyramiden |
| Antennelement | Dubbelpolariserade platta bredbandselement, bandbredd 1:1.6 |
| Mikrovågsmoduler | Rekonfigurerbara sändar- och mottagarmoduler i platt byggsätt |
| Delantenn | Rekonfigurerbara, olika antal och storlek beroende på tillämpning |
| Lober | Rekonfigurerbara, olika antal och storlek beroende på tillämpning |
| Bandbredd | 3-18GHz för hela antennen |
| Sändarkanaler | Olika antal beroende på tillämpning |
| Sändareffekt | Toppeffektstäthet 30kW/m^2 oberoende av frekvensband $2 \times 1\text{ W}$ per dubbelpolariserat antennelement vid 11.5-18GHz $2 \times 2.5\text{ W}$ per dubbelpolariserat antennelement vid 7.4-11.5GHz $2 \times 6\text{ W}$ per dubbelpolariserat antennelement vid 4.7-7.4GHz $2 \times 15\text{ W}$ per dubbelpolariserat antennelement vid 3.0-4.7GHz |
| Mottagarkanaler | Olika antal beroende på tillämpning, analog bandbredd max 6.5GHz Digitala bandbredder 10MHz, 100MHz, 1GHz |

7.2 Radar

Vid sökning sänds smala eller breda lober ut i ett mönster inom täckningsvolymen och en eller flera smala parallella mottagarlober bildas för både koherent och ickekoherent integration under belysningstiden. Vid följning sänds en eller flera smala lober ut mot utvalda mål som uppfyller ett antal villkor för att kunna utföra entydig och noggrann inmätning med en eller flera smala parallella mottagarlober. Vid igenkänning sänds en smal lob ut med bredbandig vågform mot ett utvalt mål i en gynnsam position och rörelse för klassificering till måltyp. Viktiga radarparametrar för några luftmålsmoder anges i tabell 7-2.

Tabell 7-2: Radarparametrar för några luftmålsmoder

| | |
|------------------|--|
| Frekvensband | Flera band, systembandbredd anpassat till delantenn |
| Vågformer | Fasmodulerad pulskompression, hoppfrekvens, arbetsfaktor 10 % Signalbandbredd 5 MHz, PRF 10-20kHz i sökmod Signalbandbredd 50 MHz, PRF 10-20kHz i följemod Signalbandbredd 500 MHz, PRF 100-200kHz i igenkänningsmod |
| Sändare | Aktiva sändarmoduler, 1900 per trapetsformad delyta Medeleffekt 380 W, topp effekt 3.8 kW vid 11.5-18 GHz Medeleffekt 950 W, topp effekt 9.5 kW vid 7.4-11.5 GHz Medeleffekt 2.3 kW, topp effekt 23 kW vid 4.7-7.4 GHz Medeleffekt 5.7 kW, topp effekt 57 kW vid 3.0-4.7 GHz |
| Antenn | Åttasidig pyramid med varje sida uppdelad för fyra frekvensband över 3-18 GHz med trapetsformade delytor Lobbredd 4° × 3° för hel trapetsformad delyta Flera delytor samverkar vid lobformning Flera delantenn per delyta vid digital lobformning |
| Mottagare | Flerkanalsmottagare med digital nedblandning Antal mottagarkanal 2 × 24 per delyta Signalbandbredder 10 MHz, 100 MHz, 1 GHz Brusfaktor 5 dB, dynamik 100 dB |
| Signalbehandling | Digital lobformning, pulskompression, dopplerfilter, CFAR-detektering, högupplösning, inmätning, rörelsekompensering, resolvering |
| Databehandling | Korrelering, extrahering, följning, klassificering, störanalys, scenarioanalys, resursanalys, adaptiv styrning |
| Övrigt | Förluster 5 dB |

7.3 Signalspaning

Mottagarkanalerna med tidig digitalisering ger tillsammans med analoga bredbandskanaler och den flexibla antennfunktionen en signalspaningsfunktion som täcker hela registret från radarvarning till riktad signalspaning med hög känslighet. Med parallella kanaler i antenn och mottagare kan uppgifterna utföras samtidigt, vilket är önskvärt. Radarvarnarfunktionen utnyttjar linjära arrayer av antennelement i varje apertur för att få monopulsbaserad riktningsmätning i två ortogonala plan. Upptäckta emitter kan följas i vinkel, inte bara med interferometri utan även med genererade riktlober.

Vid följning och vid spaning efter nya emitter kan flera oberoende parallella lober genereras i varje apertur och flexibilitet finns för att växla lober-

nas fokusering genom att vid varje tillfälle välja antalet utnyttjade element. Även med liten lobbredd finns möjlighet att med monopolsteknik ytterligare skärpa riktningsmätningen. Mottagaren utnyttjar digital signalbehandling för att generera multikanalkapacitet vilket bidrar till goda upptäckts- och känslighetsegenskaper. Digital signalbehandling används även för att få en robust klassificering och identifiering, i många fall ner till individnivå.

Signalspaningsfunktionens behov av frekvenstäckning överstiger flerfunktionsantennens bandbredd varför dessa aperturer kompletterats med enklare antenner för områdena under 3GHz och över 18GHz.

7.4 Störning

Störsändarens teknikgenerator kan utnyttja samma mottagare som signalspaningen. Den analoga signalen tappas av till störsändarens teknikgenerator, där ett antal störkanaler finns tillgängliga. Exempel på detta är en DRFM-kanal med digitalisering och lagring, en bruskanal med möjlighet till täckpulsstörning eller en ren repeterstörkanal med dopplermodulering. Kännetecknande för störsystemet är en mycket snabb reaktionstid för signaler med nya frekvenser och infallsriktningar.

Störningen kan vara både reaktiv som "proaktiv", det vill säga svara på mottagna signaler eller sända ut i "förebyggande syfte" för maskering vid till exempel förgrundsstörning. Störsändaren utnyttjar även signalspaningens hotbibliotek, vars data styr ett åtgärdsbibliotek.

7.5 Styrning och fusion

Antennens styrsystem arbetar med ett antal samtidiga uppdrag. Varje uppdrag är av viss typ (radar, SIS, störning, kommunikation etc) men bestäms dessutom av ett antal individuella parametrar. Allokering av antennresurser (delantenner, lobformare, signalbehandlare) till de olika uppdragen görs fortlöpande och intermittent i en schemaläggare, som har tillgång till schemat hos varje antennresurs; detta beskriver vilka arbetssteg som stilledelats tid. Varje uppdrag tilldelas antennresurser av schemaläggaren för minst ett arbetssteg framåt i tiden. Om de mest önskade resurserna för nästa arbetssteg hos ett uppdrag redan är upptagna, kan andra resurser tillfälligt komma ifråga för uppdraget. Schemaläggaren kan enbart allokera lediga resurser, men vid extrema förhållanden, då en uppgift behöver en resurs som redan är upptagen av en mindre prioriterad uppgift, kan redan schemalagt arbetssteg flyttas i tid eller rum, dvs till annan alternativ resurs.

Varje uppdrag arbetar med flera antennresurser, varvid dessas individuella utdata måste ensas och fusioneras till information som är relevant för uppdraget. Denna fusionering görs såsom en process på uppdragsnivå, efter varje arbetssteg hos antennen. Uppdragen beställer alltså arbeten hos antennresurserna via planeraren/schemaläggaren, och antennen leverar sedan tillbaka observationer och andra data till uppdragen.

8. Prestanda

Exempel på prestanda ges endast för radarfunktioner. Prestandaexempel för andra funktioner har avsiktligt uteslutits trots att den samlade bilden skulle varit värdefull.

8.1 Radar

Prestanda beräknas som räckvidd mot olika mål vid sökning, följning och igenkänning vid olika frekvensband. Prestandaberäkningen sker under enkla antaganden som frirymdutbredning utan spegling i vattenytor, utan klotter och störning och med signal/brusförhållandet som prestandaparameter.

Vid sökning används frekvensbandet 3.0-4.7GHz och en bred sändarlob med lobbredden $12^{\circ} \times 12^{\circ}$ och 24 smala parallella mottagarlober med lobbredden $2^{\circ} \times 3^{\circ}$. Sökvolymen med rymdvinkeln $120^{\circ} \times 12^{\circ}$ avsöks med 10 sändarloblägen på 2s och för att få tillräckliga detekteringsprestanda antas signal/brusförhållandet 15dB. Detta ger en räckvidd på 300km för typiska luftmål med 1 m^2 målyta. För små luftmål fås en räckvidd på 100km vid 0.01 m^2 målyta.

Vid följning används frekvensbandet 4.7-7.4 GHz och mot fyra mål på omkring samma avstånd används samtidigt fyra smala sändarlober med lobbredden $2^{\circ} \times 3^{\circ}$ och fyra smala parallella mottagarlober med lobbredden $2^{\circ} \times 3^{\circ}$. De fyra målen mäts in på 0.2s och för att få tillräckliga inmätning-prestanda antas signal/brusförhållandet 25dB. Detta ger en räckvidd på 100km för luftmål med 1 m^2 målyta. För små luftmål fås en räckvidd på 30km vid 0.01 m^2 målyta.

Vid igenkänning av ett mål används frekvensbandet 7.4-11.5 GHz och en smal sändarlob med lobbredden $2^{\circ} \times 3^{\circ}$ och en smal mottagarlob med lobbredden $2^{\circ} \times 3^{\circ}$. Målet mäts in och analyseras under 1s och för att få tillräckliga igenkänningsprestanda antas signal/brusförhållandet 35dB. Detta ger en räckvidd på 80km för luftmål vid 1 m^2 målyta. För små luftmål fås en räckvidd på 25km vid 0.01 m^2 målyta.

9. Referenser

- [1] A. Nelander, "Systemdesign för digitala gruppantenner", FOA Memo 00-3343/L, 2000-06-30.
- [2] A. Nelander, "Principer för signalbehandling och databehandling i ett systemförslag", FOA Memo 00-5788/L, 2000-12-31.
- [3] A. Nelander, "Systemutformning med plana och konforma gruppantenner", FOI Memo 01-3125, 2001-09-30.
- [4] A. Nelander, A. Sume, "Signalbehandling för konforma gruppantenner", FOI Memo 02-2939, 2002-12-04.
- [5] A. Nelander m fl, "Spelkort för DBA studier", FOI Memo 02-2223, 2002-09-09.
- [6] A. Nelander m fl, "Samverkande funktioner för radar och telekrig", FOI Memo 03-260, 2003-01-31.
- [7] A. Nelander m fl, "Krav på funktioner för radar och telekrig", FOI Memo 03-1294, 2003-05-23.
- [8] S. Hagelin m fl, "Mikrovågsteknik för framtida radar- och multifunktionssystem", FOI Memo 03-843, 2003-03-31.
- [9] A. Alm m fl, "Elektriskt styrda gruppantenner för radar i stridsflygplan", FOI Memo 02-1590:2, 2002-06-07.
- [10] A. Alm m fl, "Radarteknik för stridsfartyg", Marinytt 2-2001, s. 24-27.
- [11] D. Strömberg, "Integration och styrning av sensorer i nätverk", FOI Memo 01-3133, 2001-09-27.
- [12] A. Nelander m fl, "Digitala gruppantenner - DGA slutrapport", FOI-R--0693--SE, december 2002.
- [13] H. Frennberg m fl, "Simulation platform for multifunction RF-systems", FOI-R--0646--SE, oktober 2002.
- [14] G. Tavik, "An Overview of The Advanced Multifunction RF Concept (AMRFC) Test-Bed", *Proceedings of SMi Tri-Service Radar 2002 Conference*, London, 17-18 april 2002.
www.smi-online.co.uk/event_media/overview.asp?is=1&id=639
- [15] *AOC Radar/EW Conference*, U.S. Army Research Laboratory, Adelphi, MD, 19-20 mars 2003.
www.crows.org/events_conf03radarew.htm
- [16] B. Cantrell m fl, "Development of a digital array radar", *IEEE AESS Systems Magazine*, mars 2002, s. 22-27.
- [17] E. Brookner, "Phased array radars – past, present and future", *Proc. of IEE Radar 2002*, Edinburgh, 15-17 oktober 2002, s. 104-113.

- [18] R. Pengelley, "Active advances for naval radar", *Jane's Navy International*, april 1998, s. 29-39.
- [19] M. Hewish, J. Janssen Lok, "Naval surveillance fixes gaze on a new breed of radar", *Jane's International Defense Review*, oktober 1998, s. 24-32.
- [20] R. Scott, "Long-range radars pump up the volume", *Jane's Navy International*, november 2000, s. 24-28.
- [21] R. Scott, "Active SPY-1E radar shapes up", *Jane's Defence Weekly*, 8 maj 2002, s. 28-29.
- [22] J. Janssen Lok, "Naval fire control faces new threat", *Jane's International Defense Review*, oktober 2002, s. 49-52.
- [23] M. Hewish, R. Scott, "Navies expand their air defenses", *Jane's International Defense Review*, november 2002, s. 40-45.
- [24] M. Streetly, "Naval fire-control radars:light my fire", *Jane's Defence Weekly*, 5 februari 2003, s. 24-26.
- [25] D. Dranidis, "Backboards of the fleet: Shipboard phased-array radars", *Journal of Electronic Defense*, maj 2003, s. 55-62.
- [26] R. Scott, J. Janssen Lok, "Multifunction radars ready to realise their potential", *Jane's Navy International*, juli/augusti 2003, s. 16-23.
- [27] R. Scott, "Surveillance radars: Small ships, broad horizons", *Jane's Defence Weekly*, 6 augusti 2003, s. 24-27.