



Strid med system i samverkan

Teknisk förstudie

ERIK BERGLUND, ANDERS HANSSON, PETER JOHANSSON,
TOMMY JOHANSSON, BJÖRN LARSSON, JONAS NYGÅRDS

Erik Berglund, Anders Hansson, Peter Johansson,
Tommy Johansson, Björn Larsson, Jonas
Nygårds

Strid med system i samverkan

Teknisk förstudie

Titel	Strid med system i samverkan – teknisk förstudie
Title	Cooperative Engagement – technical scoping study
Rapportnr/Report no	FOI-R—4055--SE
Månad/Month	Januari
Utgivningsår/Year	2015
Antal sidor/Pages	27 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	11. Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E34536
Godkänd av/Approved by	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

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

Strid med system i samverkan avser en specifik teknik där sensor-, lednings- och verkanskomponenter samverkar och ger möjlighet till långräckviddig bekämpning med en effekttökning som ger ett trendskifte på stridsteknisk nivå med behov av operativa och taktiska anpassningar.

Strid med system i samverkan finns i högsta grad operativt framförallt i USA, som har drivit en systematisk och obruten utveckling sedan konceptet lanserades i mitten av 1990-talet. Konceptet har avsevärt ökat den operativa effekten. Huvudkomponenterna kan sägas vara sensorer, länkar, system för fusion av sensordata och vapen med lång räckvidd försedda med datalänk.

Strid med system i samverkan är ett teknikutvecklingsområde i perspektivplaneringen för Försvarmakten. För att stödja studien GEM 141404S Strid med system i samverkan Luft, Sjö, Mark, som startade under hösten 2014 och för att ge underlag för planeringen av det kommande temaområdet, har Försvarmakten beställt en teknikstudie från FOI.

I teknikstudien som redovisas i denna rapport görs en inledande översikt av vilka krav som ställs på måldata och informationsöverföring. I teknikstudien har uppgiften begränsats till att behandla en tillfällig koppling av sensorer, länkar och styrda vapen för bekämpning av luftmål och sjömål (ej undervatten).

Den genomgång av kunskapsläget vid FOI som gjorts i denna studie pekar på goda kunskaper inom de flesta områden. Dock finns det några områden där kunskaperna behöver fördjupas. Detta gäller speciellt mer sensornära fusion som kräver överföring av stora mängder data via länkar med begränsad förmåga, samt hur det tillfälliga nätverket av sensorer, plattformar och vapen dynamiskt skall konfigureras för att få högsta effekt. Denna dynamiska konfiguration av nätverket är i högsta grad en taktisk och operativ fråga där det tekniska nätverket skall stödja de mänskliga operatörerna på bästa sätt.

Nyckelord:

System av system, sensorfusion, datalänkar, styrda vapen, nätverk

Summary

Cooperative Engagement Capability is a concept where sensors, command and control components, and weapons cooperate to enable long-range combat resulting in a quantum leap in effect that requires operational and tactical adaptations.

Cooperative Engagement Capability is one of the focus areas of the Swedish Armed Forces long-term planning. Hence, the Armed Forces has commissioned FOI to conduct a technical scoping study in order to support future studies conducted by the Armed Forces and to give guidance to future S&T activities.

The current report contains the results from the scoping study, which covered a network of sensors, datalinks, command and control functions, and guided weapons that is established on a temporary basis to engage aerial or surface targets.

The scoping study finds the level of knowledge in the field largely to be good. However, there are needs to conduct further research and studies especially in sensor fusion requiring large volume data transfer on links with limited capacity, and the dynamic configuration of a network of sensors, platforms and weapons to achieve highest possible effect. This dynamic configuration is to a large extent an operational and tactical issue, where the technical systems need to support the human operators.

Keywords:

System of Systems, Sensor Fusion, Datalinks, Guided Weapons, Network

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Uppdrag	7
2	Strid med system i samverkan i omvärlden	8
3	Radar för strid med system i samverkan	9
3.1	Dagens prestanda.....	9
3.2	Allmänt om utvecklingen	10
3.3	AESA-radar	10
3.4	Frekvensval.....	13
3.5	Multisensorintegration.....	13
3.6	PCL (Passive Coherent Localization)	13
3.7	Snabba beslutskedjor och nätverk.....	13
3.8	Upptäckt bortom horisonten.....	15
3.8.1	OTH-radar (over-the-horizon radar).....	15
3.8.2	HFSW-radar (high-frequency surface-wave).....	15
4	Sensorfusionsaspekter	17
4.1	Data-association	18
5	Datalänk	19
5.1	Link-16 Introduktion	19
5.2	Link-16 vågform	19
5.3	Link-16 Nätarkitektur	21
5.4	Network Enabled Weapons	22
5.5	Link-16 utvecklingsprogram	23
6	Vapen och vapenstyrning	24
7	Slutsatser och fortsatt arbete	26
8	Referenser	27

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Försvarsmakten startar under 2014 studien GEM 141404S Strid med system i samverkan Luft, Sjö, Mark. Fortsatta studier inom området planeras under de kommande åren, då även ett temaområde Strid med system i samverkan finns i FoT-planen.

Strid med system i samverkan avser en specifik teknik som ger möjlighet till långräckviddig bekämpning med en sådan möjlig effektökning som ger ett trendskifte på stridsteknisk nivå med stor påverkan på strategisk nivå med behov av operativa och taktiska anpassningar. Den tekniska utvecklingen möjliggör ett nytt koncept för långräckviddig bekämpning där aktuella sensor-, lednings- och verkanskomponenter tillfälligt samverkar för att utnyttjas på ett gemensamt och optimalt sätt.

För att stödja studien och ge underlag för planeringen av temaområdet har Försvarsmakten beställt en teknikstudie från FOI.

1.2 Uppdrag

Teknikstudien skall göra en inledande analys av vilka krav som ställs på måldata och informationsöverföring och därvid identifiera kritiska systemaspekter för fortsatta (teknik)studier.

Teknikstudien skall också bidra till ökad samverkan inom FOI mellan olika FoT-områden och därmed lägga en grund för ett kommande temaområde.

I teknikstudien har uppgiften begränsats till att behandla en tillfällig koppling av sensorer, länkar och styrda vapen för bekämpning av luftmål och sjömål. Undervattensarena har dock inte ingått i denna teknikstudie.

2 Strid med system i samverkan i omvärlden

Den huvudsakliga utvecklingen av koncept och system för strid med system i samverkan drivs i USA. De idéer som lanserades på 1990-talet av Owens (1996) och Cebrowski och Garstka (1998) har utgjort grunden för ett systematiskt arbete som har resulterat i en allt högre operativ förmåga och en tilltagande amerikansk överlägsenhet i avancerad strid.

De inledande försöken som lade grunden för Owens artikel utfördes 1995 av hangarfartygsgruppen Eisenhower. Cooperative Engagement Capability (CEC) avsåg då i första hand luftförsvar och definierades som (DAMIR 2013):

- *a real-time sensor netting system that enables high quality situational awareness and integrated fire control capability*
- *designed to enhance the Anti-Air Warfare (AAW) capability of ships and aircraft by the netting of battle force sensors to provide a single, distributed AAW defense capability.*

CEC leds av flottan, men alla försvarsgrenarna medverkar. Under perioden 1995-2018 skall omkring fem miljarder dollar investeras i CEC (DAMIR 2013). Investeringarna avser algoritmer och hårdvara i framförallt:

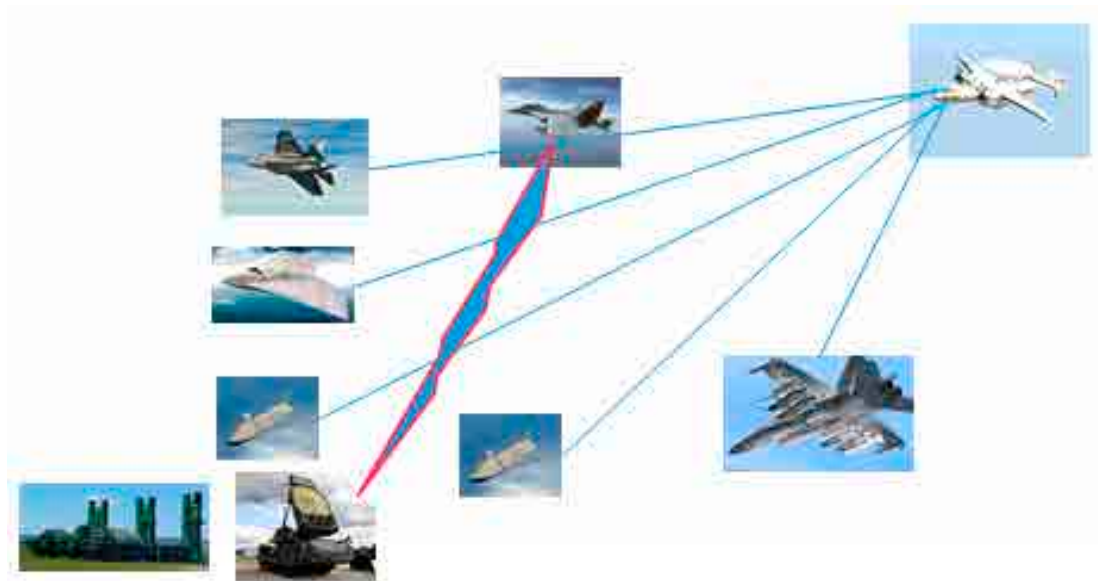
- *Data Distribution System* som använder olika länkar, huvudsakligen Link 16, för att distribuera informationen;
- *Cooperative Engagement Processor*, som behandlar och fusionerar sensordata.

Man kan notera att den sensorinformation som utbyts är betydligt mer omfattande än målspar. Omfattningen av datautbytet verkar inte vara öppen information, men det handlar om radardata i form av såväl puls som doppler.

CEC har alltså utvecklats för luftförsvar, men samma eller liknande system kan också användas för andra tillämpningar. För närvarande är Naval Integrated Fire Control–Counter Air (NIFC-CA) ett centralt begrepp för markattack, i första hand mot motståndarens flygstridskrafter och luftvärn.

Ett koncept för NIFC-CA illustreras i Figur 2.1, som visar en attack mot kvalificerat luftvärn. Smyganpassade plattformar av typ F-35 och UCAV spanar efter målen med understöd av störflygplan F/A-18G, som både mäter in sändare och stör. Måldata överförs sedan till de andra enheterna och den flygande radarn E-2D leder in attackflyget F/A-18E som avfyrar robotar på långt avstånd. E-2D uppdaterar sedan robotarna via länk med aktuell mål-information. Dataöverföringen sker huvudsakligen med Link 16, utom för de smyg-anpassade plattformarna som använder smyg-anpassade länkar med lägre data-överföringskapacitet.

Strid med system i samverkan finns således i högsta grad operativt i USA, som har drivit en systematisk och obruten utveckling sedan koncepten lanserades i mitten av 1990-talet. Huvudkomponenterna kan sägas vara förmåga att nätverka med olika system med hjälp av länkar, system för fusion av sensordata och vapen med lång räckvidd.



Figur 2.1. Flyganfall mot luftvärn med hjälp av NIFC-CA.

3 Radar för strid med system i samverkan

3.1 Dagens prestanda

Dagens sensorer härstammar till stor del från en tid då varje system dimensionerades utifrån sina egna specifikationer och krav. En fartygsradar byggdes för att lösa de krav som fartygsmiljön ställde, artilleriet hade sina krav etc. I framtiden kommer många radarsensorer att få förmåga som på ett helt nytt sätt understödjer ett "system-av-system" och nätverkstänkande. Exempel på prestanda i dagens system, speciellt spaningsradar mot luftmål, och potential för förbättringar ges nedan.

Råinmätning från sensor:

- Inmätning i avstånd är cirka 150 m
- Inmätning i azimuth är cirka 1 grad
- Uppdateringstakt är 10 sekunder från en enskild sensor (flera kan bära mot målet)

Förbättring efter fusion är:

- Uppskattningsvis cirka 50%

Fördröjningar i målföljningen (i några nivåer) är:

- Från radar till målföljare cirka 100 millisekunder
- Ut från målföljaren cirka 100 millisekunder
- Totalt cirka 200 millisekunder
- Tillkommer gör diverse spridningsosäkerheter

Förbättringar i framtiden:

- Främst avseende avståndsnoggrannheten hos radarstationen möjligen till cirka 5 – 15 m
- Ingen direkt förbättring i azimuth
- Uppdateringstakten kan bli 10 ggr snabbare (i vissa fall)

3.2 Allmänt om utvecklingen

I tidsperspektivet 2020-2040 ser vi flera trender för system av samverkande sensorer. Dessa är drivna av teknik, hot och ekonomi. Att robotar får allt längre räckvidd samtidigt som precisionen blir allt bättre betyder att ett försvar mot dessa blir mycket svårt och sensorerna behöver arbeta på flera plan:

- Lång räckvidd på egna sensorer.
- Samarbete med andra plattformar och system.
- Snabb reaktionsförmåga och hög kapacitet på korta avstånd.
- Bättre integration mellan samtliga system samt bättre ledning av dessa.

Nya radarsensorer får flerfunktionsförmåga och kan verka på såväl långa och korta avstånd samt fungera såväl för spaning som för eldledning. Samtliga utnyttjar halvledarteknik i sändarslutstegen och kommer i framtiden främst att bygga på AESA-teknik (Aktiv Elektroniskt Styr Antenn).

AESA-radar av idag är en kompromiss för att hålla ner kostnaderna. Kompromissen består i att antalet digitala kanaler i systemet är begränsat vilket ger begränsningar i flexibilitet och antal oberoende antennlobor som kan skapas samtidigt. I framtiden kommer dessa begränsningar att minska kraftigt.

Det som byggs idag kommer att vara operativt till år 2020 och hinna uppdateras minst en gång till år 2040. Det betyder att i början av perioden hinner det inte ske så mycket i operativ drift, däremot mot slutet av perioden kan det ha hänt en hel del.

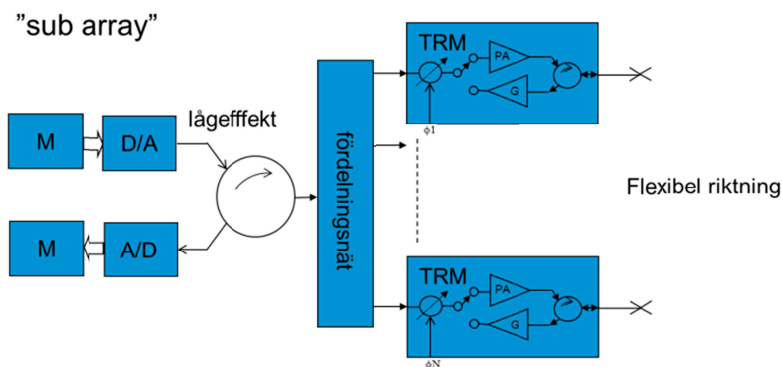
Ett hot mot alla sändande militära system är ett allt högre krav på utnyttjande av frekvensutrymme från olika civila tillämpningar. Detta innebär att det militära frekvensutrymmet kommer att minska eller också samexisterar man med de civila på något sätt. Speciellt är militär radaranvändning av C-bandet (6 GHz) starkt hotat.

I en ren krigssituation kan det militära systemet i princip strunta i den här typen av problem, men konsekvensen blir ändå en störproblematik eftersom de civila systemen kommer att finnas kvar, åtminstone i inledningsskedet av en konflikt. Eftersom man har svårt att använda något i krig som inte övats i fredstid så minskas värdet av denna möjlighet.

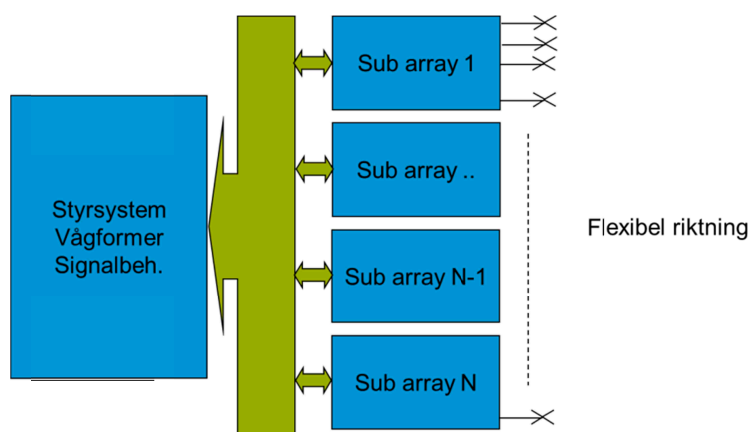
3.3 AESA-radar

Dagens AESA-radar för långräckviddig spaning har en mekaniskt roterande antenn med flera tusen antennelement organiserade i ett varierat antal delantennor, främst i höjddled. Bakom varje delantenn finns en komplett sändar- och mottagarkanal (Figur 3.1). Lobformning sker analogt inom varje delantenn och digitalt mellan delantennerna. Trenden är att antalet digitala kanaler i de system som erbjuds på marknaden ökar relativt snabbt. Idag erbjuds system med allt från 4 till 64 digitala kanaler och i varje ny produkt ökar antalet. Detta ger goda prestanda, men begränsad flexibilitet jämfört med en fullständigt digital AESA.

Dagens nyaste AESA-radar för spaning på kortare avstånd och för kontinuerlig följning av inkommande hot till träff med eget vapen använder typiskt fyra fast monterade antennplattor. Varje sådan platta är organiserad i delantennor med separat sändar- och mottagarkanal bakom, vilket möjliggör elektrisk styrning av antennlobor (Figur 3.2). Antennen är stirrande varför upptäcktsfördröjningen blir kort och prestanda goda, men begränsade jämfört med en fullständigt digital AESA, t.ex. vad gäller antalet hotobjekt som samtidigt kan hanteras.



Figur 3.1. I en AESA-antenn sitter en sändar-mottagar modul (TRM) bakom varje strålningselement. I ett system som inte har full digital lobformning grupperas TRMerna i delantennor (subarrayer) och bakom varje sådan subarray finns en digital kanal. Figuren visar hur en subarray kan se ut.



Figur 3.2. "State of the Art" hos avancerade AESA system är att hela antenntyten delas in i ett större eller mindre antal subarrayer. Ofta arrangeras subarrayerna så att den digitala lobformningen sker i höjdlöd och i azimuthlöd sker lobstyrningen via analoga fasvridare. Ju större antal oberoende digitala kanaler ett system har ju större blir dess flexibilitet.

Viktiga egenskaper för AESA-system är:

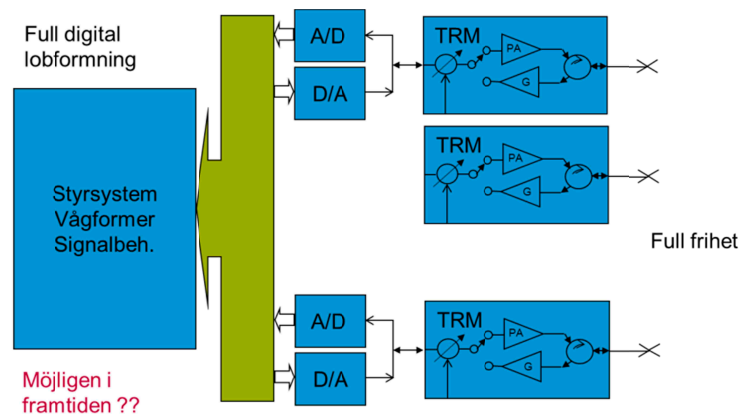
- Lättare och snabbare att styra loben.
- Flera funktioner samtidigt.
- Genom förbättrad undertryckning av icke önskade signaler skapas bättre prestanda när man har interferens (klotter, direktstörning och reflekterad störning), vilket ger möjlighet att se mindre mål, på längre avstånd, med lägre hastighet.
- Man kan upptäcka en del mål som man annars inte skulle se. Mål bortom entydigt avstånd är lättare att se om klotter från nära håll kan undertryckas genom de frihetsgrader i elevation som finns.
- Högre upplösning i riktning (azimut) kan vara möjligt.

Detta ger följande möjliga prestandaförbättringar:

- Snabbare detektering genom konfirmering.

- Möjliggör variabel integrationstid (längre koherent integrationstid med stirrande antenn).
- Bättre följning av prioriterade mål.
- Flera lobber och bättre lobformer.
- Hög upplösning och bättre störundertryckning.
- Nya metoder för detektering och inmätning.
- Nya funktioner och moder.
- Bättre tillförlitlighet.

I framtiden kommer dessa system att uppdateras och ersättas med liknande system som kommer att innehålla fler och fler digitala mottagarkanaler i varje yta för att så småningom bli fullständigt digital, dvs. ha en komplett mottagar- och sändarkanal bakom varje enskilt antennelement (Figur 3.3). Hur snabbt utvecklingen går är svårbedömt. Tekniken bygger på tillgången till effektiva integrerade kretsar till rimliga priser. Tillgången och priserna är starkt beroende av industrins produktionsförmåga och i just den här typen av teknik så går utvecklingen ofta mycket snabbt när väl ett antal fundamentala produktionsproblem är lösta och det finns en växande marknad. Antalet digitala kanaler och därmed frihetsgrader kommer att öka snabbt men den fullständigt digitala antenntyten (för stora antenner) är troligen inte aktuell förrän närmare eller kanske efter 2040.



Figur 3.3. I ett system med fullständig digital lobförmning finns en oberoende digital kanal med A/D och D/A omvandlare bakom varje strålningsselement vilket ger fullständig frihet att bestämma loblägen, vågformer m.m. i den digitala signalbehandlingen. En sådan antenn kan ha många lobber ute samtidigt med helt flexibla loblägen och de skiftas mycket snabbt. Idag är den typen av antennen mycket ovanliga och för stora system för luftströmsövervakning kommer de inte att finnas tillgängliga inom överskådlig tid.

I framtiden får spaningssystemet färre begränsningar och fler frihetsgrader vilket leder till bättre toppprestanda och störåtlighet. Exempel på förbättringar är att man kan undertrycka fler störare, undertrycka störning närmare huvudlob, erhålla bättre vinkelupplösning, hantera fler simultiga hotobjekt etc. System runt år 2040 kommer också att kunna använda ett större antal simultiga antennlobber i olika riktningar och systemen kommer att kunna växla loblägen mycket snabbt. Möjligheten att mäta passivt multistatiskt med yttre belysare ökar också vilket ökar den taktiska friheten. Samtidigt får man större krav på att styrningen av antenntyterna fungerar integrerat och optimalt i varje ögonblick, vilket är en stor utmaning då komplexiteten är stor. Att förvirra denna funktion kan vara en ny störmetod.

En annan trend är att antenntytorna är försedda med antennelement för ett antal olika frekvensområden samt fler antenntytor på olika ställen. Detta ökar förmågan dels till frekvensmässig anpassning, men också till att integrera antenntytorna i skrovet på olika plattformar.

Integrationen mellan de olika AESA-systemen kommer i tidsperioden 2020-2040 att öka redan innan uppgradering av de idag moderna systemen.

3.4 Frekvensval

Framtida hot (främst olika vapendelar) kommer att uppvisa en mycket liten målsignatur mot spanande sensorer. Generellt kan sägas att i många fall sker ingen större förändring av radarmålarean hos ett objekt (som dessutom är smygutformat) om radarfrekvensen ändras mellan de olika traditionella radarbanden men frekvensval är ändå relevant att diskutera.

Höga frekvenser ger smala antennlobber och därmed bättre förmåga att hantera spegling och flervägsutbredning mot mål på låg höjd men det ger ökad känslighet för väderfenomen som regn och brytningsgradienter (skiktning på låg höjd). En ofta använd radarfrekvens i flygplan och siktesradar är X-band (10 GHz) och den frekvensen har också bra egenskaper mot små mål på eller nära vattenytan medan S-band (3 GHz) är en ofta använd frekvens för spaningsradar då den är mera väderoberoende.

Låga frekvenser, t.ex. 450 MHz, ger ett stort väderoberoende och kan även ha god förmåga mot smyganpassade mål. Delar av målet som vingar, fenor eller hela vapenkroppen kan skapa rena resonanseffekter med stor målarea som följd. Den låga frekvensen medför dock att antenner med god riktverkan för UHF blir stora och klumpiga och svåra att montera på en mindre plattform.

3.5 Multisensorintegration

Trenden går mot en ökad integration mellan ett systems alla typer av sensorer. Detta gör att systemet blir svårare att lura eftersom det är mycket svårt att störa alla system samtidigt. Detta ger en ökad robusthet på sensorsidan men öppnar också nya möjligheten för störning som kan inrikta sig på att skapa förvirring i det system som styr och kontrollerar nätverkets sensor- och beslutsstöddressurser.

3.6 PCL (Passive Coherent Localization)

PCL-teknik (Passive Coherent Localization) parasiterar på andra signalkällor för att upptäcka mål och mäta in läge. Det är en helt passiv teknik som förutom en flerkanalsmottagare med tillhörande antensystem bara behöver en processningsenhet. Systemet blir sålunda relativt billigt.

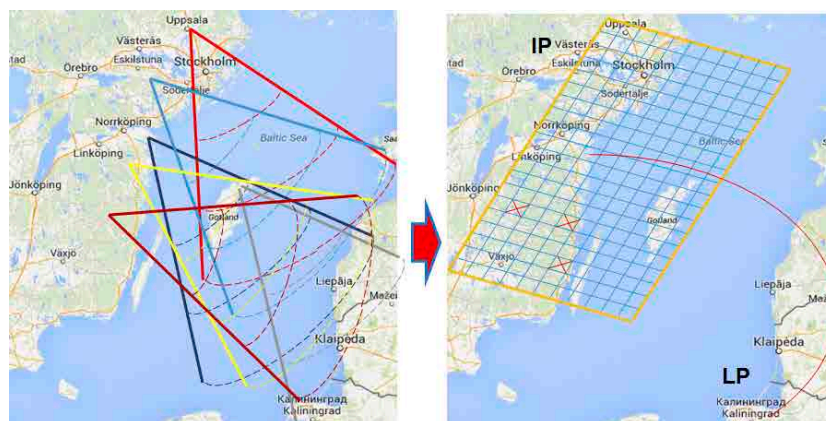
Lämpliga signaler att parasitera på bör ha relativt hög uteffekt och så stor bandbredd som möjligt. Exempel på sådana är FM-radio, DVB och DAB, men man kan också tänka sig t.ex. motsidans brusstörare. PCL fungerar därför bäst kustnära när man vill ha lägesbild utan att själv sända. En svaghet är att dessa signaler inte finns eller är svaga långt ute till havs. Detta skulle kunna hanteras genom att själv massivt brusstöra från separata plattformar långt bort eller genom att provocera motsidan att göra detsamma.

3.7 Snabba beslutskedjor och nätverk

Många inkommande hot kommer med stor sannolikhet att upptäckas innan träff, men om upptäckten kommer i ett sent skede så kanske inte vapensystemen hinner reagera. Ett sätt att försvara sig mot t.ex. små robotar på låg höjd är därför att ha ett mycket effektivt luftvärn som kan reagera extremt snabbt vid upptäckt. Detta ställer då krav på att beslutskedjan också är snabb samt att besluten är korrekta. För att upptäcka de mest

kvalificerade anfallande vapnen som t.ex. Taktiska Balistiska Robotar (TBM) så kan det ställas alldeles speciella krav på sensor och beslutskedjan.

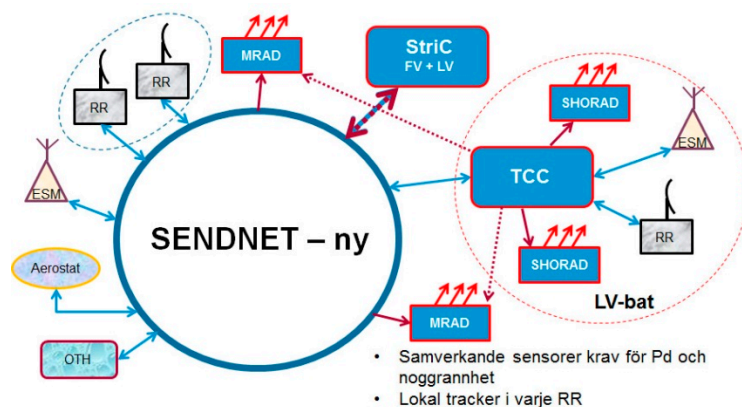
I framtida radarnät med avancerade AESA-system kan man uppnå de krav som ställs för att uppnå tillräckligt hög inmättningsnoggrannhet, upptäcktssannolikhet och datauppdateringstakt för insats av egna LV-robotar med förmåga mot TBM (se illustration i Figur 3.4). Den generation av AESA som utvecklas just nu kommer att förutom att arbeta med roterande antenner också kunna använda en stirrande mod där antennen står stilla och avsöker en ca 60 grader vid sektor. Genom att dessutom samordna data från ett antal samverkande radarstationer som stirrar i samma sektor uppnås de prestanda som krävs för uppgiften.



Figur 3.4. Ett system av samverkande moderna AESA-radar stationer får de prestanda som krävs i upptäcksannolikhet, inmättningsprestanda och datauppdatering för insats av LV-robot mot anfallande TBM.

I framtiden krävs även uppgradering av dagens stridsledningsnät om man vill uppnå förmåga till samordning och samverkande strid mellan olika delsystem. I Figur 3.5 visas en konceptskiss för ett system där olika delar ur dagens STRIL- och LV-system samverkar i ett nät av nya sensorer och verkanssystem. Den exakta utformningen av nätets olika delar skall inte tas för givna utan skissen vill bara antyda vad som kan komma att krävas och hur ett systemkoncept skulle kunna se ut rent principiellt.

Många tekniska lösningar finns redan idag och i tidsperspektivet 2020-2040 kommer vi att få se alla de tekniska lösningar som krävs för att uppnå de korta ledtider som krävs från inmätning till insats i en snabb och effektiv beslutskedja.



Figur 3.5. Konceptskiss på ett system av samverkande system.

3.8 Upptäckt bortom horisonten

Jordens krökning begränsar en konventionell markbaserad radars räckvidd. Mål som befinner sig under horisonten kan inte upptäckas. Mål kan även skymmas av lokala topologiska variationer, t ex berg eller kullar.

En konventionell markbaserad radarsensor har, även om den placeras högt, en begränsad räckvidd. En radarantenn som är placerad 60 meter över marken kan upptäcka ett mål som befinner sig 20 meter över marken på ett avstånd av 50 km. Om målet befinner sig på en höjd av 80 meter, är det största avståndet för upptäckt 70 km. Dessa siffror baserar sig enbart på det geometriska faktum att jorden är rund. Till det kommer sedan faktorer som dämpning längs utbredningsvägen, radarmålearea, utsänd effekt, klotter, brus mm.

För att upptäcka mål på långt håll kan antingen radarsensor placeras i en flygande plattform eller en speciell radartechnik för att nå bortom horisonten användas. Från höjden 10 km är radarhorisonten 350 km och från 15 km är den 440 km.

3.8.1 OTH-radar (over-the-horizon radar)

En alternativ markbaserad radartechnik är OTH-radar (*over-the-horizon*). Ett OTH-radarsystem har betydligt längre räckvidd men sämre upplösning och noggrannhet jämfört med konventionella markbaserade radarsystem. OTH-system kan användas för att ge tidig varning och för att styra in konventionella radarsystem som på kortare avstånd men med större noggrannhet kan följa mål.

Genom att sända på låga frekvenser i HF-bandet, 3-30 MHz (våglängd 20-100 m), kan en OTH-radar utnyttja ett av två fysikaliska fenomen.

Den första varianten av OTH-radar utnyttjar att radarvågor i detta frekvensområde reflekteras av jonosfären, den övre delen av atmosfären. Beroende på systemdesign, utsänd frekvens, infallsvinkel mot jonosfären och elektrontätheten i jonosfären vid den aktuella tidpunkten kan så stora avstånd som 1000-3000 km övervakas. En nackdel är den ofrånkomliga s.k. "skip-zone" som finns mellan sändarantennen och det avstånd på vilket radarvågen återvänder till jordytan, där detektioner inte kan göras. Med ett blint område på kanske 1000 km så måste ett system för övervakning av Östersjön placeras långt från kusten. Ett exempel på ett OTH-system som använder reflektion i jonosfären är radarnätverket JORN i Australien. Denna typ av OTH-system är stora och komplexa, vilket innebär att de kräver stora investeringar och resurser.

Ett OTH-system har lägre upplösning än ett konventionellt radarsystem. En upplösningsscell kan typiskt vara 15 km x 15 km. Frekvensvalet styrs dels av ledigt frekvensutrymme och dels av frekvensdispersion, som har en negativ inverkan på prestanda vid högre frekvenser. En bandbredd på 5-50 kHz ger en avståndsupplösning på 3-30 km. Vinkelupplösningen för ett system med en antennapertur på 3 km är 0.2-2.0 grader för frekvenser i intervallet 3-30 MHz. På avståndet 2000 km ger det en upplösning i sidled som är 15 km för en centerfrekvens på 15 MHz.

3.8.2 HFSW-radar (high-frequency surface-wave)

Den andra varianten av OTH-radar kallas ytvågs-OTH, förkortat HFSW (high-frequency surface-wave). Den har inte lika lång räckvidd som den ovan beskrivna varianten men når bortom horisonten och kan upptäcka mål på hundratals kilometers avstånd. HFSW-system är inte beroende av jonosfären. Istället utnyttjas att radarvågen kan propagera över en elektriskt ledande yta, t ex ett hav. Vågen följer havsytan i en höjdregion just ovanför havsytan och kan följa jordytans krökning. Fartyg och lågt flygande flygplan kan upptäckas. En nackdel med att använda ett sådant system i Östersjön är den låga salthalten i detta hav, vilket ger en sämre ledningsförmåga. En viktig egenskap hos ytvågor är att endast utsänd signal med vertikal polarisation ger upphov till en effektivt transmitterad våg.

Ett tiotal länder har eller har haft HFSW-system. Exempel är SWR-503 i Kanada och Iluka i Australien. Iluka är ett bistatiskt system, designat för att övervaka luft- och sjömål i Australiens ekonomiska zon. SWR-503 i Kanada består av två monostatiska system med överlappande täckningsområden.

Fördelar med ett monostatiskt system jämfört med ett bistatiskt system är att det är billigare och enklare att underhålla. Dessutom är ett bistatiskt system begränsat till att övervaka det område där antennerna täckning överlappar. Fördelen med ett bistatiskt system är att det kan sända kontinuerligt. Ett monostatiskt HFSW-system betyder inte nödvändigtvis att samma antenn används för sändning och mottagning utan att antennerna är samlokaliserade.

Ett HFSW-system måste placeras nära kustlinjen för att den vertikalt polariserade radarvågen väl ska kunna koppla till ytvågsmoden. I höjdledd kan några våglängder accepteras. Horisontellt, längs marken, behöver systemet placeras så nära havet som praktiskt möjligt. Det fysiska utrymme som systemet kräver är några hundra meter längs kustlinjen (som bör vara ganska rak) och cirka 50 meter på djupet, men beroende på typ av antenner kan upp till 200 meter i bredd krävas. Platsen bör även vara geografiskt avskilt från mänsklig aktivitet som kan påverka systemet.

HFSW-system är mindre påverkade av frekvensdispersion, jämfört med ett OTH-system som använder reflektion i jonosfären. Detta faktum tillåter en större bandbredd; med en bandbredd på 100 kHz fås en avståndsupplösning på 1.5 km. HFSW-system använder ofta den nedre delen av HF-bandet, vilket innebär sämre upplösning i azimut. Som exempel kan nämnas det kanadensiska systemet SWR-503 som med frekvenser i intervallet 3-5 MHz har en upplösning i sida som på avståndet 370 km är cirka 50 km.

Valet av frekvens styrs av flera olika, motstridiga krav. Låga frekvenser (3-7 MHz) har mindre utbredningsförluster. Höga frekvenser (7-15 MHz) ger lägre bakgrundsbrus och har en smalare huvudlob vilket innebär bättre vinkelupplösning.

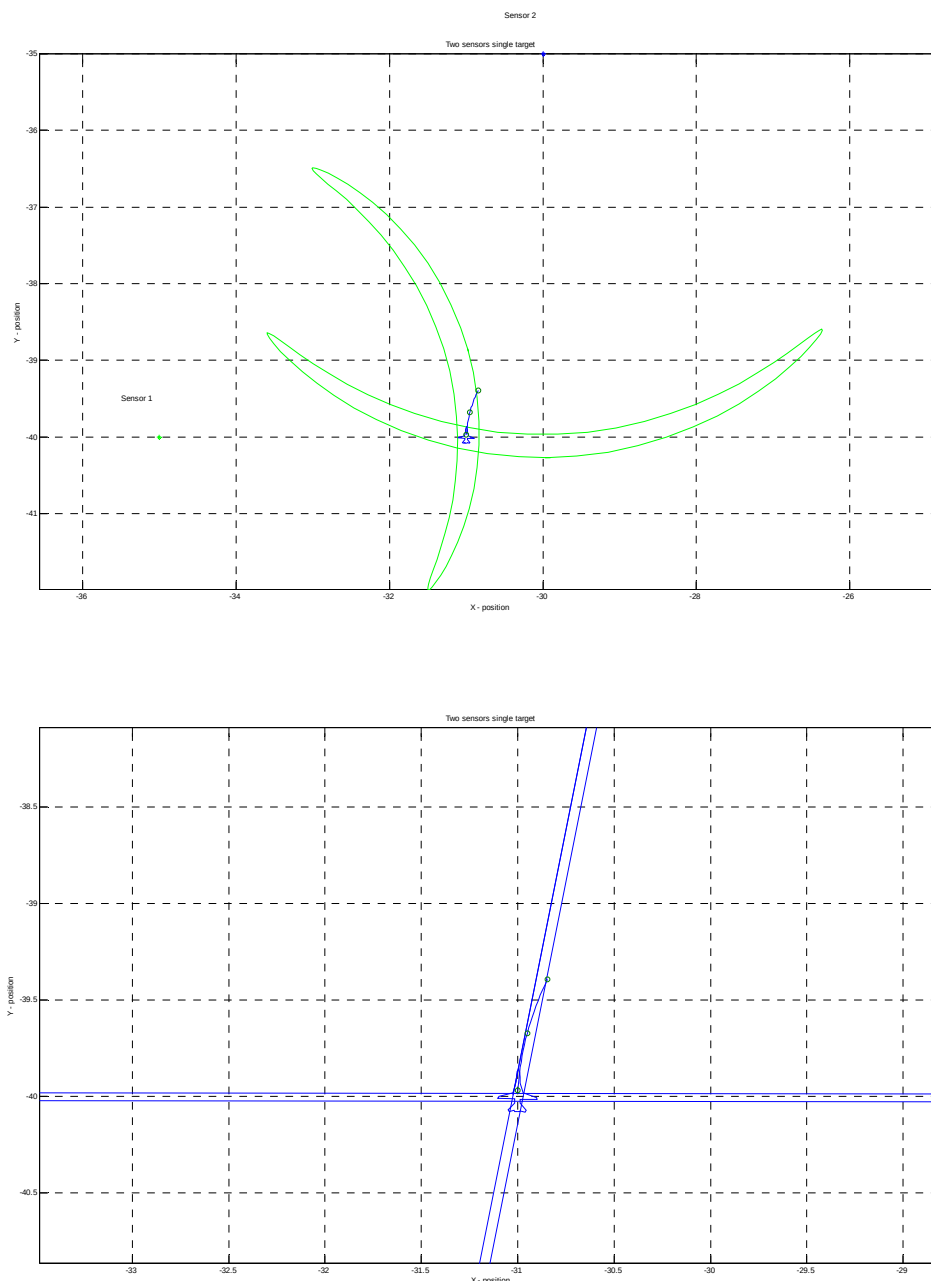
Upplösningens storlek är alltså mycket stor jämfört med målets storlek. Det är därför möjligt att ha mer än ett mål per cell. Interaktion mellan två eller flera ej upplösta mål kan påverka detektion och klassificering negativt. Samtidigt kan variationer i mottagen effekt som följd av interaktionen avslöja närvaron av flera mål.

Eftersom endast vertikalt polariserad ytvåg propagerar effektivt över havet, bidrar vertikala ledande strukturer på målet mer till radarmålarean. För fartyg innebär det att deras höjd är avgörande för hur stor retur målet ger. En mast kan ge ett fartyg en signifikant större radarmålarea. Kopplingen mellan fartyget och den ledande havsytan måste även beaktas. HFSW-system arbetar med våglängder mellan 20 och 100 m, vilket är i samma storleksordning som många intressanta mål (fartyg, flygplan). Radarmålarean för dessa mål beror på många faktorer och kan variera kraftigt med aspektvinkel. För andra mål (kryssningsmissiler, snabba små båtar, små flygplan), som är mindre än våglängden, är radarmålarean främst beroende av målets övergripande dimensioner.

4 Sensorfusionsaspekter

Sensorfusion är en av förutsättningarna för system i samverkan. Detta kapitel avhandlar viktiga aspekter för samverkande system utifrån några syntetiska exempel.

Avsikten med sensorfusionen är att använda komplementaritet i mätningar från flera källor för att förbättra informationsläget. Vid gynnsamma sensorkonstellationer kan fusionen förbättra resultaten avsevärt, som i de två exemplen i Figur 4.1 med två radarliknande sensorer med god noggrannhet i avstånd men dålig i bäring, samt två enbart bäringsmätande sensorer som i princip genomför triangulering/korspejling.



Figur 4.1. Sensorfusion med två sensorer med enbart avståndsmätning (överst) respektive två sensorer med enbart bäringsmätning (nederst) illustrerar potentiella vinster med sensorfusion.

Huvudlinjen för att lösa fusionsproblemen är statistiska metoder där Kalmanfiltret varit en arbetshäst sedan 1960 talet. Kritiska aspekter är bl.a.:

Olinjära mätningar – Kalmanfiltret baseras på linjära modeller, för olinjära mätmodeller användes historiskt en linearisering i ett ”Extended Kalman Filter” (EKF). Ofta kan man för en enskild plattform välja att byta representation så att lineariseringsfehlen får mildare konsekvenser alternativt helt uteblir. Detta är inte lika lätt att genomföra då målföljningen skall fusionera data från flera plattformar.

Registrering av koordinatsystem – andra benämningar är koordinatensning, i engelsk litteratur också ”gridlock” eller ”bias estimation”. Navigeringsfel, speciellt i orientering, ger upphov till en statistisk bias då data skall överföras till ett gemensamt koordinatsystem för fusion. Även skillnader i tidsuppfattning kan vara del av ”bias estimation”.

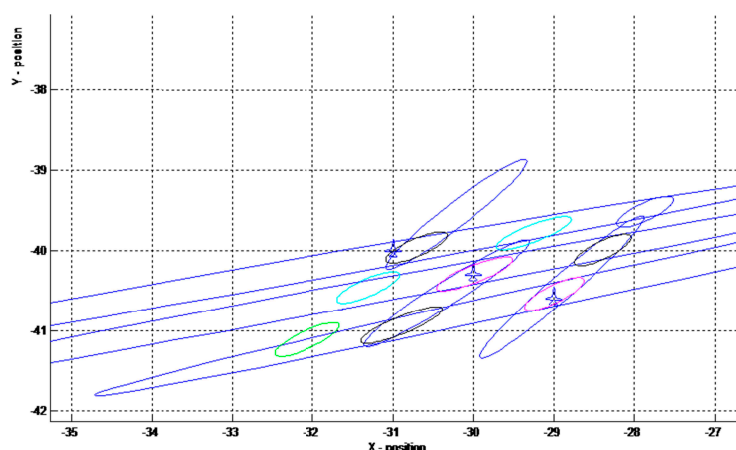
Association av mätningar – eftersom mätningar sker i flera plattformar måste mätningar associeras korrekt för att ge konsistenta målspår.

Tidsaspekter – Mätningar är normalt sett ej synkrona och beroende på kommunikationskanalen kan fördröjningar göra att mätningar kommer fram ”ur sekvens” dvs. den lokala sensorn har erhållit flera mätningar som är av senare tid. Beroende på storleken av tidsfördröjningen relativt målets manöverförmåga får det också effekter på associationsmöjligheterna.

4.1 Data-association

Problematiken med att associera målinmätningar till rätt mål illustreras i Figur 4.2. Association av väl upplösta mätningar fick etablerade lösningar under 1990-talet (Bar-Shalom and Li, 1995, Blackman and Popoli, 1999) i form av ”Joint Probabilistic Data Association” (JPDA) och ”Multi Hypothesis Tracking” (MHT).

När målen inte är väl upplösta och det alltså inte finns ett direkt förhållande mätning till mål introducerades under 1990-talet Finite Set Statistics (FISST, Mahler 94). Under 2000-talet erhöll en approximativ metod av FISST ”Probability Hypothesis Density (PHD)” stort intresse i forskningskretsar i egenskap av en beräkningsmässigt acceptabel ingenjörsmässig lösning av problemet. Inom FOI har metoden studerats t.ex. i målföljning av personer i grupp och på undervattensdata.



Figur 4.2

Associationsproblematiken: Syntetiskt illustrativt scenario med lägre antagen osäkerhet (3 grader osäkerhet i orientering för sensor 1) de små ellipserna representerar olika mål hypoteser som de nio möjliga kombinationerna av de tre mätningarna från varje sensor ger upphov till.

5 Datalänk

En förutsättning för strid med system i samverkan är förmågan att leda och fördela information mellan plattformar. Den i dag vanligaste datalänken för ändamålet är Link-16, som förväntas vara operativ väl bortom år 2020 och kanske under hela perioden fram till år 2040. Detta kapitel ger en kort introduktion till Link-16 med fokus på samverkan och utvecklingspotential.

5.1 Link-16 Introduktion

Utvecklingen av Link-16 började år 1975 med målet att möta militära användares behov av pålitlig och korrekt överföring av ledningsorder och annan taktisk information. Link-16 realiserar genom implementering av två delar: hårdvara (kommunikation) och mjukvara (information). Dessa definieras i en uppsättning standarder, såväl amerikanska (MIL-STD) som NATO (STANAG). Nuvarande standard för meddelanden i Link-16 definieras i MIL-STD-6016 och är kända som J-serie-meddelanden.

Joint Tactical Information Distribution System (JTIDS) är den första operativa hårdvaran (1980-tal) för J-serie-meddelanden. Gulfkriget 1990 – 1991 påvisade vikten av ensad lägesbild (SA) och snabb överföring av mål och hot, men dåtidens JTIDS-terminaler var för klumpiga för att kunna installeras i ett stridsflygplan. I mitten av 1990-talet beslöt därför USA och NATO att gemensamt bilda MIDS-konsortiet och utveckla MIDS-LVT under ledning av US-Navy. MIDS implementerar en Link-16 kompatibel radioterminal genom JTIDS-vågformen och J-serie-meddelanden. Detaljerad teknisk information för MIDS-hårdvaran finns i STANAG 4175. I STANAG 5516 definieras Link-16 vilket innefattar J-serien, handlingsregler, dataprotokoll och nätverkshantering.

Link-16/MIDS ger interoperabel datakommunikation som länkar samman stridsflygplan med militära flygledare, underrättelse-, övervakning- och spaningsresurser samt till luft- eller markbaserade ledningscentraler. Link-16/MIDS ger också position och identitet på alla kommunikationsnoder, datakommunikation för hantering av uppdrag och information samt koordinering av insatser.

Link-16 används inom flera olika funktionsområden men det är inte nödvändigt för alla deltagare i ett Link-16-nät att använda alla. Det finns en lista (Minimum Implementation) på vilka meddelanden som alla måste implementera för att ett Link-16-nät ska fungera. Exempel på funktionsområden är:

- Link-16 System Information Exchange and Network Management
- Precise Participant Location and Identification (PPLI)
- Surveillance
- Electronic Warfare and Intelligence
- Mission Management
- Information Management
- Weapons Control and Coordination

5.2 Link-16 vågform

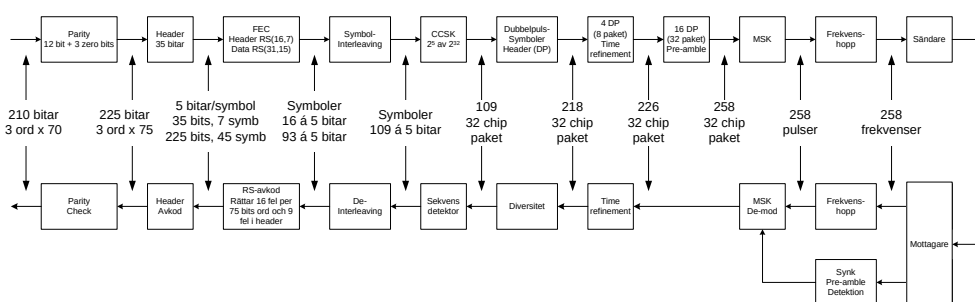
Link-16, som har ärvt spektrumanvändningen från JTIDS, är i grunden ett frekvenshoppande TDMA¹-baserat radiosystem i frekvensområdet 960 – 1215 MHz. Frekvensområdet får bara utnyttjas om icke-skadlig samexistens med navigationssystem för civil luftfart kan garanteras. Frekvensområdet är indelat i 3 MHz kanaler med undantag för två delband runt 1030 och 1090 MHz som inte används.

¹ Time Division Multiple Access

Frekvenshoppet är mycket snabbt med ca 77000 hopp/s, men frekvensindelningen resulterar i att Link-16 bara kan använda 51 olika frekvenser. Link-16 har en mycket komplex signalbehandling med en kombination av snabbt frekvenshopp, direktspredning, kraftfull kodning och kryptering samt inbyggd emissionsövervakning. Det sista för att garantera att Link-16 inte stör civila luftfartssystem även om något skulle gå fel i en radioterminal.

En TDMA-lucka är 7.8125 ms lång och innehåller 258 pulser som i sin tur innehåller en chip-sekvens var. En puls är 6.4 μ s följt av 6.6 μ s tystnad under vilken sändaren byter frekvens till nästa puls, totalt tar alltså ett frekvenshopp 13 μ s.

I standard dubbel-puls (SDP) i Link-16, se figur 5.1, kodas tre stycken informationsbärande 70-bitars ord till 109 symboler om 5-bitar var. De 109 symbolerna "interleavas" och tilldelas en binär PN²-sekvens på 32 chip var, resulterande i 109 chip-sekvenser. I SDP sänds data på två frekvenser och därför dubblas alla chip-sekvenserna och innan sändning adderas fyra chipsekvenser för finsynkronisering av tid och 16 chipsekvenser för detektion, dessa dubblas också. Alla dessa 258 chipsekvenser MSK³-moduleras och sänds i en TDMA-lucka på en ny frekvens för varje sekvens. Modulations-takten är 5 Mbit/s.

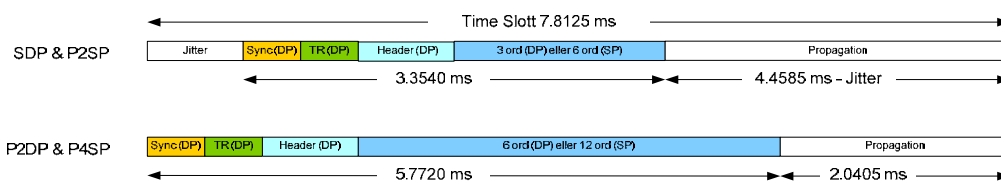


Figur 5.1. Blockschemat över signalbehandlingen i Link-16.

I Link-16 finns det två olika sätt att öka mängden information som överförs i en TDMA-lucka. Det ena sättet är singel-puls vilket innebär att istället för att dubbla informationssymbolerna sänds dubbelt så många. Det andra sättet, som innebär att det maximala avståndet mellan aktörerna minskar från 500 nm till 300 nm, är förlängd sändningstid vilket innebär att sändnings-jitter och guard-tid för vågutbredning minskas så att dubbelt så mycket information kan packas i en TDMA-lucka, totalt 444 pulser. De fyra olika kombinationerna benämns Standard Dubbel-Puls (SDP), Pack-2 Singel-Puls, (P2SP), Pack-2 Dubbel-Puls (P2DP) och Pack-4 Singel-Puls (P4SP), se figur 5.2. De fyra packningsgraderna presenteras i Tabell 1 tillsammans med dess teoretiska maximala datakapacitet.

² Pseudo-random Noise

³ Minimum Shift Keying



Figur 5.2. Link-16 har fyra olika packningsformat för dataöverföring i en TDMA-tidlucka. (TR = Time Refinement, DP = Double Pulse, SP = Single Pulse)

Tabell 5.1. Link-16 olika packningsgrader, avstånd i nautiska mil.

Namn	Egenskap	Max avstånd	Information	Pulser	kbit/s
SDP	Dubbelpuls med Jitter	500 NM	3x70 bitar	258	26.88
P2SP	Enkelpuls med Jitter	500 NM	6x70 bitar	258	53.76
P2DP	Dubbelpuls utan Jitter	300 NM	6x70 bitar	444	53.76
P4SP	Enkelpuls utan Jitter	300 NM	12x70 bitar	444	107.52

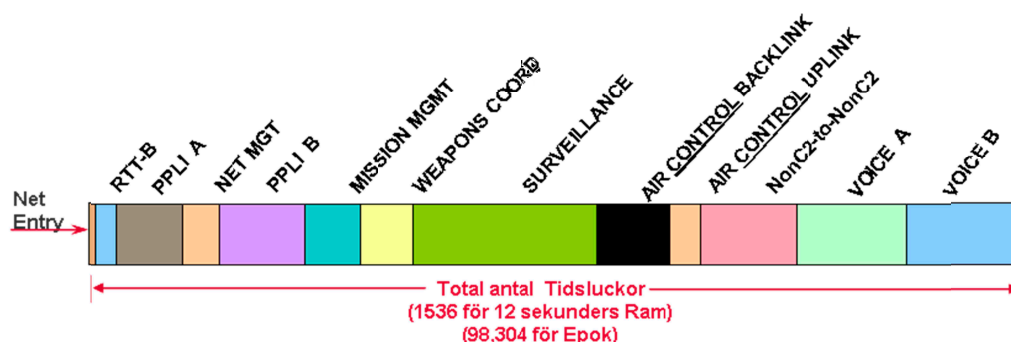
5.3 Link-16 Nätarkitektur

Alla tidluckor i Link-16 är numrerade och förplanerade till vilken funktion de ska användas till. Det är 128 tidluckor per sekund, 1536 tidluckor bildar en ram och 64 ramar en epoch. Efter en epoch, som är 12.8 minuter lång, återupprepas mönstret av funktionstilldelade tidluckor. I Link-16 är det möjligt att ha flera parallella nät, s.k. stackade nät för olika användargrupper eller funktioner. Alla näten är tidssynkroniserade men med olika frekvenshoppnycklar. Det finns 128 olika nycklar för att stacka nät på varandra men i praktiken är det svårt att ha mer än ca 10 nät i samma område p.g.a. interferenser mellan näten.

Alla användare i Link-16 behöver inte, och ska inte, ta del av all information från alla. En ledningsplattform behöver t.ex. inte lyssna på två stridsflygplans interna kommunikation men ledningsplattformen måste få veta vilka de är och var de är. Uppdelningen i informationsdomäner görs genom att olika funktioner läggs i olika grupper s.k. NPG (Network Participation Group).

För varje tidlucka kan en nod i Link-16 välja vilket nät den ska sända eller lyssna på. Det innebär att om lägesuppfattningen går i ett nät och vapenkontrollen i ett annat, så kan den enskilda noden tillfälligt under vapeninsatsen koncentrera sina radioresurser för vapeninsatsen på bekostnad av lägesuppdateringen genom att byta nättillhörighet. På så sätt förbrukar inte ett Link-16-kontrollerat vapen resurser ur nätet när vapnet inte används.

Ett sätt att illustrera Link-16 Nätverk bygger på att man ritar NPG:er för ett visst nät med proportionerlig storlek i förhållande till dess antal tidluckor. En typisk allokering skulle kunna se ut som i Figur 5.3.



Figur 5.3. Typisk allokering av antalet tidsluckor (inte ordningen) till NPG:er i ett Link-16-nät.

5.4 Network Enabled Weapons

Link-16 används främst till att överföra s.k. J-serie-meddelanden, som efter funktionsområde delas in i "network participation groups" (NPG). En sådan NPG, NPG-8 (Mission Management and Weapons Coordination & Management), innehåller Link-16 funktioner för koordinering och kontroll av vapen och vapeninsatser. Syftet med NPG-8 är att koordinera vapeninsatser och samordna resurser i ett område för att maximera effekten av en vapeninsats, t.ex. genom att skjuta från flera plattformar vid olika tidpunkter och ändå få effekt i målet samtidigt. En enhet som kontrollerar ett eller flera vapen har möjlighet att överföra kontrollen till en annan plattform. NPG-8 innefattar även metoder och procedurer att koordinera insatser med motmedel som t.ex. störning eller fällning av skenmål. För vissa vapensystem kan själva vapnen vara medlemmar i ett Link-16-nät, s.k. *Network Enabled Weapons*, t.ex. långräckviddiga missiler. Dessa utnyttjar i stort sätt samma uppsättning meddelanden som NPG-8 men under en egen grupp, NPG-18.

Kontrollfunktionen för vapen är inte fristående utan realiserar genom att lägga samman information från NPG-8 eller NPG-18 med den allmänna kontrollfunktionen i Link-16 (NPG-9, Control) med stöd av PPLI (NPG-5 och 6), Surveillance (NPG-7) och EW/Intelligens (NPG-10).

I NPG-8 och NPG-18 finns meddelanden och procedurer för

- Commands and Mission Changes
 - Engage target/object, Cease Engage, Assume Control, Proceed to Point, etc.
- Controlling Unit Reports
- Handover Information
 - Request and Transfer of Control
- Controlling Unit Change of Call Signs
- Weapons System Engagement Status
- Weapons System Status
- Pairing Information
 - Friendly Track Information for Missile in Flight

En missil som är *Network Enabled* bör inte sända mer än nödvändigt, helst inte alls, och i alla fall inte förrän den ändå är upptäckt av andra sensorer. Fienden som upptäcker en flygande Link-16-terminal kan genast dra slutsatsen att det är antingen en högvärdig plattform eller ett vapen, i båda fallen föranleder det höjd beredskap och initiering av motåtgärder. En missils största fördel är överraskningsmomentet och den bör inte röja sig själv förrän i så sent skede om möjligt under insatsen.

5.5 Link-16 utvecklingsprogram

Nästa större steg i utvecklingen av Link-16 som planeras att införas 2017 förväntas innehålla en ny kryptoprocessor, *frequency remapping*, ökad datatakt och ett nytt gränssnitt mot moderplattformen.

Den nya kryptoprocessorn innehåller Suite A/B algoritmerna som är en del av moderniseringen av kryptosystemen inom USA. Suite A/B kommer i framtiden att bli obligatoriskt för alla kryptosystem som hanteras av NSA (National Security Agency). Än så länge har USA inte meddelat ett datum för införande av Suite A/B och under övergångstider kommer de nuvarande kryptoalgoritmerna finnas parallellt.

Frequency remapping är en teknik att utesluta vissa frekvenser från frekvenshoppsmönstret. Syftet är att öka sannolikheten att inte störa navigationssystem för civil luftfart. Inom amerikanskt luftrum kommer detta att vara en obligatorisk funktion runt år 2020

Ökad datatakt eller Link-16 Enhanced Throughput (LET) realiseras genom att tidluckornas guard-tid och felkorrigering ändras. Varje frekvenshopp kommer dock fortfarande se ut som vanlig JTIDS. Den maximala datatakten med LET är 1180 kbit/s, men det sker på bekostnad av störskydd och maximalt kommunikationsavstånd.

Det nya gränssnittet är Ethernet 10Base-T som införs som ett alternativ till seriegränssnittet 1553 för plattformintegration. 10Base-T är nödvändigt för de högre datatakterna med LET.

6 Vapen och vapenstyrning

En viktig komponent i strid med system i samverkan är vapen med lång räckvidd.

En påtaglig utveckling på senare tid är att vapen med lång räckvidd har blivit betydligt vanligare och att traditionella gränser mellan bomber, robotar och kryssningsrobotar håller på att suddas ut. I USA talas det om Network Enabled Weapons (NEW), som är ett koncept som drivs av flygvapnet. Exempelvis ska alla vapen till F-35 vara NEW, däribland de två snarlika kryssningsrobotarna som skall integreras på F-35: den norska JSM och den turkiska SAM.

Ett exempel som belyser utvecklingen av NEW är den nya versionen av Small Diameter Bomb, GBU-53B. GBU-53B är en liten glidbomb som väger knappa 100 kg och som med sina utfällbara vingar kan flyga 20-100 km beroende på fällhöjd. Vapnet är utrustat med en stor mängd system som möjliggör precisionsinsatser:

- integrerat GPS/TN för navigering;
- två datalänkar (Link 16 och UHF) för uppdatering av målläge;
- bildalstrande IR (okyld); mm-vågsradar; semi-aktiv laser.

Ett enda attackflygplan av typ F-15E kan bära 28 GBU-53B. Dessa kan fällas mot målkoordinater erhållna från ledningssystemet (baserat på information från satelliter, UAV, eldledare etc.) eller från flygplanets egen radar i SAR-mod. Under banfasen kan sedan vapnen få uppdaterade mållägen via Link 16 eller UHF-länken. Uppdateringarna kan komma från det fällande flygplanet, men kanske troligare från eldledare på marken eller andra spanings/ledningsflygplan. Slutligen använder vapnet sina målsökarsensorer för att styra in mot det anvisade målet.

I dagsläget saknar USA:s förmåga till markmålsbekämpning motstycke och det är knappast troligt att något annat land når motsvarande förmåga före år 2030.

Robotar med lång räckvidd måste ha ett navigeringssystem med goda prestanda för att kunna träffa målet. Ett navigeringssystem för robotar är naturligen ett integrerat navigeringssystem där tröghetsnavigering (TN) utgör grunden och där GPS är en viktig del. Från GPS-mottagaren fås positions- och hastighetsangivelse med ett begränsat fel (långtidsstabilitet) medan tröghetsnavigeringssystemet ger position och hastighet som driver med tiden. Tröghetsnavigeringssystem har ofta en hög uppdateringstakt, och ger under korta tidshorisonter god noggrannhet. Dessutom erhålls orientering, vinkelhastighet och acceleration från TN-systemen. GPS-mottagare är känsliga för störning medan tröghetssystem är störfasta. Dessa komplementära egenskaper hos de två systemen är anledningen till att man ofta kombinerar dem i styrda vapen.

Robotar mot landmål kan även använda sig av terrängnavigering, som baseras på höjddata, eller fixpunkter, där roboten mäter in kända punkter i terrängen.

Liksom all radiokommunikation kan GPS störas. En oskyddad civil GPS är mycket lätt att störa, medan en störskyddad militär GPS med styrbar antenn har ett gott störskydd. I praktiken kan sägas att en robot med integrerat TN/GPS med störskydd har tillräckliga prestanda för att träffa inom ca 10 meter även i en störd miljö, vilket kan jämföras med ca 3 meter eller bättre i ostörd miljö. För öppen information om vapenstyrning m.h.a. GPS hänvisas till Brämning et al. (2013), dock finns även flera hemliga rapporter angående störning och störfasthet.

Om roboten har ett tillräckligt bra navigeringssystem och om aktuella mållägen kan föras över till roboten via länk, kan den styras till träff utan målsökare mot en del typer av mål (större markmål, långsamma fartyg, små markmål i ostörd miljö). Mot snabba rörliga mål behövs dock en målsökare (Robinson 2003).

Naturligtvis leder en god kvalitet på uppdateringar via länk till taktiska fördelar, som kortare avstånd till mål vid öppning av målsökaren då det aktuella sökområdet där målet kan befinna sig blir litet.

Aktuella länkar är främst Link-16, som har god störfasthet och som kan tilldelas en hög uppdateringstakt för vapenstyrning. Link-16 används av de flesta Network Enabled Weapons, t.ex. JSM, JSOW och GBU-53. Link-16 gör det även möjligt att göra *hand-over* så att uppdateringen av måldata kan göras av andra plattformar än den skjutande.

Även jaktrobotar kan använda länk, t.ex. AMRAAM och Meteor. För jaktrobotar används flygplanets jaktradar som länk. Radarn har hög effekt och en mycket bra riktantenn, vilket gör länken mycket störfast. Länken är dock bunden till det skjutande flygplanet, vilket medför att det måste flyga så att såväl mål som robot finns inom utstyringsområdet för radarn, vilket kan vara en taktisk nackdel.

För luftvärnsrobotar med lång räckvidd, t.ex. ASTER, NASAMS och ESSM, används också länk. Till skillnad från i jaktflygplanen används här ofta en separat antenn för länken.

De olika länkarna för luft-, mark- och sjömålsrobotar används huvudsakligen till att föra över målläge från vapenplattformen till roboten. Många vapen har dock tvåvägslänk och en funktion som skickar förväntat träffresultat under den absolut sista fasen före träff. Mark- och sjömålsrobotar använder oftast Link-16 kan därigenom använda *hand-over* för att ta emot data från en annan plattform än den som avfyrat roboten. Jakt- och luftvärnsrobotar är i dagsläget dock bundna vid den skjutande plattformen.

7 Slutsatser och fortsatt arbete

Strid med system i samverkan finns i högsta grad operativt i USA, som har drivit en systematisk och obruten utveckling sedan konceptet lanserades i mitten av 1990-talet. Konceptet har avsevärt ökat den operativa effekten. Huvudkomponenterna kan sägas vara sensorer, länkar, system för fusion av sensordata och vapen med lång räckvidd försedda med datalänk.

Grundläggande aspekter för att strid med system i samverkan skall fungera är att de inblandade systemen känner till sin egen och andras position och riktning samt att tiden är gemensam. Här spelar GPS en central roll.

Vidare måste de ingående systemen kunna kommunicera med varandra. Speciellt för kommunikationen mellan sensorerna krävs stor bandbredd för att föra över radardata för en mer omfattande fusion.

Den genomgång av kunskapsläget vid FOI som gjorts i denna studie pekar på goda kunskaper i Sverige inom de flesta områden. Dock finns det några områden där kunskaperna behöver fördjupas. Detta gäller speciellt mer sensornära fusion som kräver överföring av stora mängder data via länkar med begränsad förmåga, samt hur det tillfälliga nätverket av sensorer, plattformar och vapen dynamiskt skall konfigureras för att få högsta effekt.

Det finns all anledning att förmoda att strid med system i samverkan kan vara ett koncept som skulle kunna öka även den svenska operativa förmågan, speciellt för att under en kortare tid kraftsamla resurser. Därför bör konceptet studeras vidare med tyngdpunkt på bland annat:

- mer detaljerad analys i realistiska typsituationer;
- fusion av sensordata;
- dynamisk konfiguration av aktuellt nätverk av sensorer, plattformar och vapen;
- samverkan mellan system över och under vatten.

Punkten ”dynamisk konfiguration av aktuellt nätverk av sensorer, plattformar och vapen” innebär dels en översyn av taktiska och operativa koncept, dels studier av hur de tekniska systemen och de mänskliga operatörerna på bästa sätt skall samverka för att lösa uppgifterna. Dessa frågor bör beaktas av studien GEM 141404S och även i det kommande temaområdet.

Slutligen bör Försvarsmakten redan nu säkerställa att de plattformar och vapen som är under anskaffning förses med länkar och andra delsystem som möjliggör en framtida utveckling mot strid med system i samverkan.

8 Referenser

- Bar-Shalom, Y. (2002). "Update with out of sequence measurements in tracking: exact solution". *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, 38(3), 769–778.
- Bar-Shalom, Y. and Li, X.-R. (1993), *Estimation and Tracking: Principles, Techniques and Software*. Artech House. ISBN 0-89006-643-4.
- Blackman, S. and Popoli, R. (1999). *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Artech House. ISBN 1-58053-006-0.
- Brämning P., Marsten Eklöf F., Näsström F, Robinson J., Strömbäck P. (2013), *Forskningstrender för styrda vapen - Del 1*, FOI-R--3652—SE.
- Cebrowski, A. och Gartska J. (1998), "Network-Centric Warfare Its Origin and Future". In *Naval Institute Proceedings*, Volume 124, January 1998.
- DAMIR (2013), "Cooperative Engagement Capability (CEC) As of December 31, 2012", *Defense Acquisition Management Information Retrieval*, May 2013.
- Dana M. (1990), "Registration: A prerequisite for multiple sensor tracking", in *Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications*, Bar-Shalom Y., Ed. Artech House, ch. 5, pp. 155.185.
- Lin X., Kirubarajan T., och Bar-Shalom Y. (2004), "Multisensor bias estimation with local tracks without a priori association," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 5204, San Diego, CA, United States, Aug. 2004, pp. 334-345.
- MIL-STD-6016 Tactical Data Link (TDL) Link-16 Message Standard.
- Owens, W. A. (1996) "The Emerging System of Systems", *Strategic Forum* 63. Institute for National Strategic Studies, 1996.
- Robinson J.W.C. (2003), *Performance aspects of a network guided surface-to-air missile*, FOI-R--0948—SE.
- STANAG 4175 Technical Characteristics of the Multifunctional Information Distribution System (MIDS).
- STANAG 5516 TACTICAL DATA EXCHANGE – LINK 16.
- Sviestins E.(2000), "Bias estimation for multisensor tracking," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 4048, Orlando, FL, USA, April 2000, pp. 402-413.

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