

**Användarrapport**

# **Tjänster för samverkande plattformoperatörer**

Dan Strömberg och Fredrik Lantz



Dan Strömberg

Fredrik Lantz

# **Tjänster för samverkande plattformoperatörer**

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI Ledningssystem Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1472--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 8. Människan i totalförsvaret	
	<b>Månad, år</b> December 2004	<b>Projektnummer</b> E7098
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. >Uppdragsfinansierad forskning	
	<b>Delområde</b> 81 MSI med fysiologi	
<b>Författare/redaktör</b> Dan Strömberg och Fredrik Lantz	<b>Projektledare</b> Dan Strömberg	
	<b>Godkänd av</b> Johan Mårtensson, Institutionschef	
	<b>Uppdragsgivare/Kundbeteckning</b> Försvarmakten	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Författaren	
<b>Rapportens titel</b> Tjänster för samverkande plattformsoveratorer		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Denna rapport behandlar tjänster för samverkande plattformsoveratorer. Inledningsvis görs en tolkning och systematisk genomgång av begreppet tjänst. Därefter presenteras viktiga operatörskrav. Resurshantering, sensorstyrning och kunskaps teknik för samverkande operatörer introduceras, beskrivs och utvärderas med avseende på operatörskraven. Utförandet av en tjänst kräver ofta att sensorer används, och en rad metoder för sensorstyrning beskrivs relativt utförligt i två bilagor. Tjänstehantering kan betraktas som ett distribuerat intelligent program, och agentteknologin introduceras som en kunskaps teknik för distribuerat beslutsfattande i nätverk. Den kan användas som hjälpmedel för samverkan i nätverk, och några militära applikationer beskrivs. En ansats till agentbaserad teori för hantering av sensorresurser i nätverk presenteras.</p>		
<b>Nyckelord</b> Tjänst, plattform, samverkan, operatörstyper, agent, sensor, sensorstyrning, OODA-cykel.		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 43	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b>	

<b>Issuing organization</b> Swedish Defence Research Agency, FOI Command&Control P.O. Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING SWEDEN	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1472--SE	<b>Report type</b> User Report
	<b>Programme Areas</b> 8 Human Systems	
	<b>Month, year</b> December 2004	<b>Project no.</b> E7098
	<b>General research Areas</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub catagories</b> 81 Human Factors and Physiology	
<b>Author/s (editor/s)</b> Dan Strömberg, Fredrik Lantz	<b>Project manager</b> Dan Strömberg	
	<b>Approved by</b> Johan Mårtensson, Head of Department	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> The authors	
<b>Report title (In translation)</b> Services for Platform Cooperating Operators		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>This report is about services for cooperating platform operators. In the introduction, an interpretation and systematic penetration of the service concept is made. Then important operator requirements are presented. Resource management, sensor control and knowledge technology for cooperating agents are introduced, described and evaluated with regard to the operator requirements. The services often require that sensors can be used, and methods for sensor management are described in two appendices. Furthermore, the services might be viewed as distributed intelligent programs, and the agent technology is introduced as a knowledge technology supporting distributed decision making in networks. It might be used as a tool for cooperation in networks, and some military applications are described. An approach to agent-based theory for management of sensors in networks is presented.</p>		
<b>Keywords</b> Service, platform, cooperation, operator attitudes, agent, sensor, sensor management, OODA-cycle.		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages:</b> 43	
<b>Price acc. to pricelist</b>		

# Innehåll

1. Inledning.....	5
1.1 Tjänster	6
1.2 Resursnära tjänster	6
2. Taxonomi för operatörstjänster.....	6
2.1 Inledning	6
2.2 Omvärldsobjekt - Vad tjänsten gäller	7
2.3 Beställningsriktning	7
2.4 Sensornära tjänster	8
2.5 Överföring av målbeskrivning	11
2.6 Teknisk osäkerhet	11
2.7 Planering	11
2.8 Sidoeffekter	11
2.9 Resursuttag	12
2.10 Kommersiella och ekonomiska faktorer	13
3. Operatörsaspekter.....	13
4. Resurshantering.....	14
5. Multiagentsystem.....	16
5.1 Problembilden	16
5.2 Intelligent interagerande agenter	16
5.3 Agentteknikens utveckling	17
5.4 Militära tillämpningar	17
5.5 Existensformer	21
5.6 Agentstödda OODA-cykler	21
5.7 Teoretisk ansats	22
5.8 Bedömning av ett multiagentsystem	25
6. Sensorstyrning.....	27
6.1 Varför sensorstyrning	27
6.2 Sensorstyrning på medellång sikt	27
6.3 Teori för sensorstyrning i multipla plattformar	28
7. Slutsatser.....	28
8. Referenser.....	30
Bilaga A. Styrning av radar för målföljning.....	32
Bilaga B. Sensorstyrningens effekter på räckvidden.....	39

# 1. Inledning

Förevarande rapport behandlar tjänster för samverkande plattformsoperatörer. Några kännetecknande drag för plattformsoperatörens arbetssituation har därvid bildat utgångspunkt.

- En plattformsoperatör antas befinna sig i en rörlig farkost som är ute på något slag av uppdrag.
- Han/hon är helt fokuserad på sitt uppdrag samt de hot som kan försvåra det.
- Arbetsmiljön är stressande, farlig och ofta snabbt föränderlig.
- Informationsflödet är komplext och svårt att snabbt och komplett tillgodogöra sig.
- Han/hon är beroende av en bra situationsuppfattning, om omvärlden och tillståndet för hans/hennes egen plattform.

De tjänster som en plattformsoperatör kan ha behov av är helt kopplade till dessa kännetecken, d.v.s. de tjänster för t.ex. hantering av sensorresurser och för informationspresentation som operatören behöver, måste utformas med hänsyn till dessa kännetecken. Inte minst krävs omfattande automation vid styrning av sensorer p.g.a. de komplexa samband mellan sensorparametrar, omvärldsläge och operatörens behov som existerar. Rapporten innehåller ett antal kapitel som belyser detta ur olika aspekter. Det första av nedanstående kapitel gör en systematisk och allmängiltig genomgång av relevanta begrepp för sådana tjänster; det är upplagt som en taxonomi där begreppen definieras och diskuteras på en rad olika sätt.

Ur operatörens perspektiv är tjänsten ett instrument för samverkan mellan operatörer och deras respektive plattformar. Villkor för sådan samverkan är ett antal förtroendeskapande egenskaper i de olika systemen. Kapitel 4 behandlar ett antal sådana egenskaper.

Insamlande och delande av information om omvärlden är viktiga förutsättningar för plattformsoperatörers beslut. I ett sensornätverk innebär det att sensorer på flera farkoster kan användas i gemensamma syften. Nätkopplade sensorer och plattformar ger förutsättningar för att använda gemensamma resurser. Kapitel 5 ägnas åt att beskriva dessa förhållanden.

Agenttekniken har använts i internationell forskning som ett sätt att tillhandahålla tjänster i nätet. Kapitel 6 ägnas åt att förklara och bestyrka detta påstående. Här beskrivs också hur agenttekniken kan användas för att stödja operatörens beslutsfattande enligt OODA-modellen. Ett delkapitel behandlar teoribildning för agentbaserad sensorstyrning.

Som tidigare nämnts, är sensorer resurser som kan användas för att utföra plattformsoperatörernas tjänster. Kapitel 7 ägnas åt en redogörelse för relevanta aspekter av sensorstyrning. Detaljer lämnas i bilagorna A och B som handlar om sensornära styrning.

Kapitel 8 beskriver tre olika tillämpningar av tjänster för plattformsoperatörer, och kapitel 9 gör en bedömning av huruvida operatörskraven i kapitel 5 tillgodoses av de tekniska ansatser som presenteras i rapporten.

## 1.1 Tjänster

Många definitioner och begreppsförklaringar har gjorts av begreppet tjänst, se främst [STE]. I denna rapport används ett mera begränsat synsätt: Tjänstebegreppet står kort och gott för en funktion, i datalogisk mening, som är tillgänglig över nätet. Det viktiga med en datalogisk funktion är att den har en definition, och att denna kan anropas med ingångsvärden (argument) och därvid ge tillbaka ett till dessa argument svarande funktionsvärde. Exempel: Funktionsdefinitionen *temp*(läge, tid) kan anropas med *temp*(Stockholm, 20041119) resulterande i värdet -5. Funktionen enda kontakt med omvärlden är *argumenten* och *funktionsvärdet*. Funktionsanropet leder till att funktionen *instansieras*, där instansens varaktighet är försumbar. Funktionsdefinitionen, däremot, har en oändlig varaktighet.

Funktionsbegreppet kan alltså användas för att definiera tjänster, men tjänsten skiljer sig på två sätt gentemot funktionen. För det första är den instans som uppstår då tjänsten anropas varaktig; den har en icke-försumbar varaktighet. För det andra kan anrop göras i en annan nod än den där funktiondefinitionen finns. Tjänsten kan liksom funktionen anropas av flera användare samtidigt; den existerar då i en instans för varje användare, och anropen är oberoende av varandra. Instansen existerar så länge som användaren behöver den. Varje existerande tjänst kan i sin tur göra nya anrop av tjänster i nätet.

Information om tillgängligheten av en tjänst kan spridas till användarna på nätet, till exempel i kataloger eller listor; tjänsten/funktionen *publiceras* i dessa media.

## 1.2 Resurskrävande tjänster

En skillnad gentemot de flesta typer av tjänster på Internet är att operatörsnära tjänster ofta utnyttjar andra typer av resurser, till exempel sensorer, hos andra noder. Ansvar för hur dessa resurser används åvilar främst resursägaren, och inte beställaren av tjänsten. Ett exempel på denna typ av resursanvändning är att i en Gripen-route endast ett flygplan använder sin radar och att radarinformationen länkas till övriga route-flygplan. Ett annat exempel är att ett antal passiva sensorer på olika farkoster samverkar för att pejla in och beräkna position för andra objekt.

# 2. Taxonomi för operatörstjänster

## 2.1 Inledning

Detta kapitel gör en systematisk presentation av operatörstjänster. Speciell betoning har lagts på tjänster som använder omvärldssensorer, det vill säga tjänster som använder sensorer för att insamla information om objekt i omvärlden.

Ett nät består av noder och kopplingar mellan noderna. Noderna kan utgöras av plattformar. En tjänst kan sägas vara en funktion hos en nod i nätet. Den kan anropas från en annan nod i nätet. Anropet innebär att någon ber eller anbefaller någon annan om att en funktion skall utföras.



Tjänstebegreppet diskuteras mera allmänt i [STE]. Några egenskaper som varje tjänst bör ha enligt Hallberg [HAL] är att den är:

- Definierad utifrån konsumentens synvinkel
- Oberoende av implementationsspecifika egenskaper
- Till nytta för många konsumenter
- Generisk, så att samma tjänst täcker flera behov hos användaren
- Sökbar via sina egenskaper
- Väldefinierad, både vad avser hur den skall användas och vad den levererar
- Fokuserad, dvs levererar en bestämd prestation och inte vad som helst
- Möjlig att kombinera med andra tjänster för att erhålla en ny tjänst
- Kravlös gentemot konsumenten
- Kan implementeras på flera sätt.

Rapportens fokusering på sensorberoende tjänster har sin grund i att plattformsooperatörer antas operera i en omvärld, där sensorinformationen utgör en viktig grund för hans agerande. Speciellt viktig är informationen om de mål som finns i omvärlden. Ett tjänsteanrops två viktigaste delar är vilken aktion / tjänst det handlar om, och vilket eller vilka objekt det handlar om (argumenten).

Andra aspekter är Vem som anropar en tjänst, Hur anropet går till samt graden av Operatörsmedverkan, Osäkerhet och Planering.

## 2.2 Omvärldsobjekt - Vad tjänsten gäller

De objekt som en plattformsooperatör kan vilja ha information om, agera emot eller spana emot, kan vara *samarbetande* eller *icke-samarbetande* individer. Dessa kan vara soldater eller plattformar, och vara luft-, sjö- eller mark-burna. Dessa individer kan reflektera eller emittera energi, och kallas därför mål. Målinformationen kan bestå av lägesinformation, typinformation, avsiktsinformation eller annan information, och vara mer eller mindre säker. Objektet ifråga kan också vara ett område eller volym, som definieras av sina gränser.

## 2.3 Beställningsriktning

**Beställare och utförare.** Ett tjänsteanrop innehåller (minst) två parter, dels den *beställande* parten och dels den *utförande* parten. För att tjänsten skall kunna utföras måste den utförande parten dels ha tillräckliga resurser och dels ha lämplig position, rörelsetillstånd och taktiska läge. Utföraren av en tjänstebeställning kan vara en viss utpekad plattform, eller grupp av plattformar. Organisationsmässigt kan utföraren tillhöra annat förband, ha högre eller lägre grad, vara chef, sidoställd eller underställd.

**Push och pull.** Ett tjänsteanrop som innehåller överföring av information om andra objekt kan ha karaktären av *pull* eller *push*. Dessa begrepp syftar på informationens huvudriktning. Pull betyder att en aktör drar informationen till sig genom att fråga efter den hos någon annan. Informationsmottagaren och beställaren är samma aktör.

Push betyder att informationsflödets riktning i huvudsak går från beställare till utförare. Skälen kan vara att beställaren inte kan fortsätta med viss viktig aktivitet, eller att utföraren, enligt beställarens uppfattning, behöver informationen för att utföra sitt uppdrag. För Push-tjänster är informationsmottagaren och beställaren inte samma aktör.

**Tredje part.** Tjänsteanropet kan också initieras av andra aktörer än informationsavsändare eller -mottagare. Det innebär att en tredje part kan ta initiativ till informationsöverföringen. Ett exempel är att en mäklare eller uppdragsledare beställer tjänsten. Den kan också initieras av en i förväg planerad och schemalagd aktion som inte kräver att någon operatör måste ingripa vid tidpunkten för tjänsteanropet.

**Rollväxling.** En annan variation är rollväxling. En grupp av individer kan gemensamt utföra ett antal sensorberoende tjänster och skicka runt information mellan sig, på ett sådant sätt att alla alltid är uppdaterade. De kan också växla sina roller så att en förutbestämd individ i gruppen blir ny utförare av varje tjänst vid vissa given förutbestämd tidpunkt.

## 2.4 Sensornära tjänster

Detta delkapitel ger exempel på sensornära uppgifter som en plattformoperatör kan vilja att andra plattformar hjälper till med, i form av sensortjänster. Uppgifterna relaterar sig i normalfallet till mål i omvärlden, och resulterar vanligen i sensoranvändning hos den utförande plattformen. Operationerna kan stödjas med tjänster som utförs på olika plattformar. Urvalet av tjänster grundar sig på en lista av sensornära tjänster i [GRA].

Kravet är att sensortjänsterna finns tillgängliga i nätet. Möjligheten att från en tjänst anropa sensortjänster på andra plattformar reduceras kraftigt på grund av att plattformskommunikation medför tidsfördröjning och dataadministration.

### 2.4.1 Spaning

Spaning gäller normalt endast icke-samarbetande individer, och kan gälla viss typ av mål eller måluppträdande. Handlingen innebär normalt inte stridskontakt. Utföraren bestämmer själv vilka medel han/hon skall använda. Spaning kan normalt utföras med olika typer av sensorer och på olika sätt, till exempel med lägesgivande eller med signalanalyserande sensorer. Utföraren måste ha tillräcklig handlingsberedskap och resurser för att kunna utföra uppdraget. Information om den eller de individer som skall bespanas kan medfölja beställningen eller finnas apriori hos utföraren, men spaningen kan också gälla visst område. Utföraren kan vara flyg-, sjö- eller markburen, och spaningen kan gälla flyg- sjö eller markburna mål.

Spaning kan indelas i signalspaning och lägesspaning. Vid lägesspaning insamlas information om position och rörelser hos målet, och här kan ett antal andra sensor-

nära tjänster användas, se punkt 2.4.2 - 2.4.11. För signalspaning används signalspaning mot radiosändare respektive radaremittrar. Signalspaningsinformation kan kombineras med lägesinformation i avsikt att göra estimering av målklass och uppdragsavsikt, varvid algoritmer för datafusion och målklassificering används. Uppdragsklassificering och hotbedömning kan grundas på enbart läges- och rörelseinformation, vilka också kan uppskattas med hjälp av andra algoritmer för datafusion och målklassificering.

Spaning kan - men måste inte - inkludera Invisning respektive Överlämning. Spaningen med Invisning innebär att relevanta mål har identifierats av annan plattform, central eller enhet. Spaning utan Invisning innebär att alla mål måste detekteras, identifieras och följas av plattformens egna sensorsystem; inga målkoordinater och ingen målinformation är känd från början.

#### **2.4.2 Invisning**

Invisning innebär att information (lägeskoordinater plus rörelseinformation) om ett mål överförs till det utförande plattformssystemet, så att en eller flera av dess sensorer kan detektera (signaler från) det. Operationen omfattar användning av sensoroperationer för måldetektering, detektionsbekräftelse, måldataassociering och målsparsgenerering. Efter Invisningen startas normalt processer för målföljning, samt eventuell signalspaning, datafusion, måladministration, insatsstöd, precisionsinmätning och störning.

Invisning är en sensortjänst som innebär att målinformation överförs från en plattform till en sensor på en annan plattform, utan att operatören på den senare behöver ingripa. Kvaliteten ska vara sådan att sensorn hos utföraren kan fånga och påbörja följdning av målet. Om vapen skall användas måste kvaliteten på målinformationen vara eller kunna bli tillräckligt hög för vapenstyrning.

#### **2.4.3 Överlämning**

Överlämning innebär att ansvaret för följdning av ett mål överlämnas från en plattform till en annan. Observera att det är ansvaret som överlämnas, följdning av målet kan utföras av båda plattformarna både före och efter överlämningen.

#### **2.4.4 Målfångning**

Målfångning är en förutsättning för målföljdning, och innebär etablering av ett lokalt målspar för ett bestämt mål.

#### **2.4.5 Målföljdning**

Denna tjänst används för att vidmakthålla målspar om ett bestämt mål. Den förutsätter att existensen av funktion för mätdatainsamling.

#### **2.4.6 Precisionsinmätning**

Denna tjänst skapar en mållägesbeskrivning med tillräcklig kvalitet för vapen användning.

### 2.4.7 Mätdata-tjänster

Denna tjänst ger observationer svarande mot inmätningar av markerade mål - den innehåller alltså inte egen målföljning.

### 2.4.8 Måladministration

Denna tjänst fördelar ett antal mål på ett antal plattformar. Avsikten är att varje mål ska tilldelas en plattform, med avseende på ansvar rörande bekämpning, avvísning, störning eller annan taktisk operation.

### 2.4.9 Associering

Denna tjänst kombinerar observationer med målspar, eller par av målspar. Den är en förutsättning för invisning och datafusion. Av alla stödfunktioner är datassocieringen den funktion som har störst utvecklingspotential [BLA].

### 2.4.10 Fusion

En plattform som tar emot information från annan plattform kan behöva fusionera den med den som erhållits med den egna plattformens sensorer.

Exempel 1: En annan plattform översänder signalspanningsinformation om ett mål, och den kompletteras med egen lägesinformation om målet.

Exempel 2: Lägesinformation från två plattformar fusioneras.

Fusion kan också utföras mellan data från sensorer på den egna plattformen.

### 2.4.11 Klassificering

Klassificering kan ske med avseende på uppdrag- eller måltyp. Uppdragsklassificering kan ske med underlag i målföljjeinformationen, till exempel med algoritm för dolda markovkedjor [AND], medan målklassificering vanligen också kräver annan typ av information, såsom signalspanningsinformation och/eller bildinformation.

### 2.4.12 Störning

Störning är en operation som beställaren vill att utföraren utför gentemot bestämda mål eller områden, i avsikt att försvåra för målet/målen i detta område att detektera eller avläsa signaler som beställaren vill dölja för dem. Tjänstebeställningen ackompanjeras normalt med specifikation om störningens art samt målets läge.

Störningstjänsten kräver specifikation om störningens art, till exempel frekvensband, uthållighet och tidsvillkor. Vidare krävs information om bäring och eventuell rörelse, liksom om emitterparametrar hos sensorer som ska störas. För att erhålla denna information förutsätts information som kan erhållas med (tjänster för) signalspanning. Denna information översänds vid beställningen eller erhålls lokalt vid utförarens mätningar.

## 2.5 Överföring av målbeskrivning

Denna punkt handlar om den information som begärs överförd, om komplett respektive partiell målbeskrivning. I tjänsteanropet bör framgå vilken av dessa alternativ det handlar om. En komplett målbeskrivning innehåller information om en eller flera av komponenterna målets läge, typ, utseende, stridsförmåga, identitet, avsikter, resurser, skydd och förbandstillhörighet. En partiell målbeskrivning innehåller en del av denna kompletta målinformation. Det kan eventuellt röra sig om mycket begränsad del av den, såsom varning om en misstänkt anflygande robot.

Det finns också möjligheter att beställa iterationer av en aktion. Åtminstone för pull-tjänster kan det innebära att handlingen itereras eller upprepas, till exempel att den beställda dataöverföringen upprepas med vissa tidsmellanrum. Tjänsten kan också vara förknippad med ett villkor hos den utförande parten. Ett implicit villkor för tjänsteutförande är ju att utföraren verkligen existerar och är i ett sådant taktiskt och tekniskt läge att den kan utföra tjänsten.

## 2.6 Teknisk osäkerhet

I alla situationer där omvärldssensorer är inblandade är målinformation förknippad med osäkerhet. För viss typ av information, till exempel lägesinformation och signalspaningsinformation, finns det fördefinierade former för denna osäkerhet, till exempel kovariansmatrisen för tillståndsvektorn. Om de inblandade plattformarna har olika geometriska relation till ett mål, kan lägesinformationens osäkerhet starkt påverkas i negativ eller positiv riktning vid invisning av målet.

## 2.7 Planering

Tjänsteanropen kan vara planerade eller spontana. För planerade tjänsteanrop finns grund för större mått av förväntan och resurskapacitet än för spontana tjänsteanrop. Spontana tjänsteanrop riskerar i högre grad att bli utförda på grund av eventuella förhinder hos mottagaren.

## 2.8 Sidoeffekter

Funktionen/tjänsten kan vara behäftad med sidoeffekter, eller vara sidoeffektsfri. I det senare fallet tillåts inga andra åtgärder. Av detta skäl är funktionsbegreppet mycket bekvämt att använda till exempel vid logisk analys av komplexa program: allt som händer under evaluering/exekvering är tydligt läsbart och angivet i programmet; inga dolda effekter behöver beaktas.

Sidoeffekter har betydelse då man vill analysera komplexa sekvenser av tjänsteanrop.

Exempel: Om funktionen *mult* anropar en annan funktion *fak*, och en användare vill multiplicera *fak(3)* med 7, kan effekten av detta noteras med *mult(7, fak(3))* som har värdet  $7 * (1 * 2 * 3) = 42$ . Men detta gäller bara om båda funktionerna är sidoeffektsfria. En sidoeffektsfri funktion har två kontakter med omvärlden: anrop och svar. För funktioner med sidoeffekter gäller att de dessutom kan ha i uttrycket

dolda effekter: alla effekter av att utvärdera funktionen syns inte i det analytiska uttrycket. Det medför att analytiska verktyg inte kan användas för att utvärdera effekterna av anrop till funktionen. Om *fak* har sidoeffekter kan effekter uppstå då *fak* evalueras (=utvärderas). Ett drastiskt exempel är att funktionsevalueringen medför förändring av en variabel som senare återanvänds med påföljden att ett vapen oväntat avlossas! Ett sidoeffektsfritt program lämnar inga andra spår efter sig än funktionsvärdet.

Oväntade följd effekter hos funktioner med sidoeffekter är mycket vanliga och svårupptäckta felkällor i många program, både i komplexa med också i ganska enkla program. Funktionell programmering är en mjukvaruteknisk metod som innebär att alla program består av en följd av anrop till sidoeffektsfria funktioner.

Tjänster kan liksom funktioner vara antingen fria från eller förknippade med sidoeffekter. Alla tjänster som använder sensorer måste betraktas som sidoeffektsbelastade, eftersom användandet av en sensor alltid har andra effekter än bara avsedd datainsamling och beräkningar. Ett exempel på en sidoeffekt är att en annan användare observerar att sensorn används.

## 2.9 Resursuttag

Anropet av en tjänst där någon beställer en sensoroperation hos en utförare resulterar i uttag av tidsresurser i sensorn. I analysen kommer exemplet med "pushad invisning" (överlämning) att användas; det innebär att beställaren sänder över en begäran till en utförare om att rikta in en av sina sensorer mot ett visst utpekad mål.

Ett vanligt format för tillståndsbeskrivningen av ett mål är en vektor på 9 element, där varje element är ett reeltal omfattande 4 bytes. Till denna beskrivning hör också en osäkerhetsmatris; denna består av cirka  $2 \cdot 9 + (81 - 9) / 2 = 54$  reeltal, vardera omfattande 4 bytes. Till detta kommer vissa initiala och administrativa data. Tillsammans erhålls en informationsmängd på cirka 0.3 kbytes per mål.

Möjligheter att ta emot detta tjänsteanrop är alltså beroende av kommunikationskanalens breddbandighet och övriga belastning.

Hos mottagaren krävs också en invisning av en sensor. Hos en AESA-radar, med målet cirka 10 mil bort, krävs aktioner dels för att fånga målet, och dels för att sedan följa det. För målfångning krävs för entydighet en integrationstid upp till 0.5 sekunder, under antagandet av 10 stycken aktioner på vardera 500 pulser med en PRF av cirka 10KHz, resulterande i  $0.0001 \cdot 500 \cdot 10 = 0.5$ . För följning antas ett uppdateringsintervall på 4 sekunder [BLA], med integrationstiden cirka 0.1 sekunder, dvs cirka 2.5% av radarn. I underlaget antas 10 aktioner (olika PRFer för entydighet) på vardera 100 pulser med PRF=10KHz per uppdateringstillfälle.

Målfångning: 100% under 0.5 sekunder.

Målföljning: 2.5%.

Möjligheter för utföraren att utföra tjänsten beror på sensorns belastning och tjänstens prioritet i relation till andra uppgifter. För att kunna hantera prioriteten måste tjänsteanropet kunna associeras med ett prioritetsvärde.

Anropet av en tjänst som innebär att avsändaren beställer kopia av befintliga data hos en mottagare innebär inget resursuttag hos denne, förutom för kommunikation.

### 2.10 Ekonomiska och kommersiella faktorer

Flera olika typer av ekonomiska och kommersiella problem måste lösas innan en allmän spridning av tjänstekonceptet kan realiseras i stor skala. Två av dessa problem är att:

- Utföraren kan vilja kräva ersättning av tjänstbeställarna, för att utföra tjänsten
- Tillverkaren av olika sensor- och plattformssystem kan av affärs- eller sekretessskäl vilja begränsa kvaliteten på sensordata samt tillgängligheten av utförande sensorer och plattformar.

För att hantera dessa typer av problem måste de ingående parterna organisera sig och fatta beslut om internationella överenskommelser, avtal och standarder. En stor mängd olika intressen av ekonomisk och kommersiell art måste därvid beaktas.

## 3. Operatörsaspekter

Militära befattningshavare och operatörer har alltid samverkat. Exempel på gamla kommunikationsmetoder är eldar, trummor och telegrafi. Den elektroniska och digitala tekniken inbjuder till utveckling av mycket komplexa system för samverkan. Denna komplexitet är både lockande och utmanande, det senare eftersom så många saker kan gå fel. *Tillförlitlighet* är därför ett viktigt begrepp. *Begriplighet* och *transparent* (klarhet) har blivit nyckelord och nödvändiga förutsättningar för systemtilltro [THU]. *Enkelhet* har beskrivits som det enskilt viktigaste användarorienterade kravet i nästa teknikgeneration [ECO].

**Systemaspekter.** Systemtilltro har stor betydelse då digital teknik används för att åstadkomma samverkan mellan olika system, i synnerhet då systemen är komplexa. Sådan samverkan medför, att de krav som tidigare gällde för det enskilda systemet, nu gäller för hela det system-av-system som plattformarna ingår i. Trots att varje enskild operatör bara kan vara lokaliserad i ett enda system, är det viktigt för honom/henne att alla de system som samverkar är tillförlitliga, säkra, begripliga och transparenta. Detta ställer helt andra krav på en enda gemensam uppfattning och tolkning av vad dessa begrepp innebär, än om varje system uppträder enskilt - kraven mångfaldigas i ett enda drag.

**Tillförlitlighet.** Begreppet tillförlitlighet har två definitioner på svenska. Den ur operatörspektiv mest intressanta definitionen (Dependability) syftar på hur pålitligt operatören uppfattar att systemet är, vilket bl. a. beror på funktionssäkerheten. Den andra tolkningen (Reliability) avser ett tekniskt och objektiva mått på systemets funktionssäkerhet.

**Begriplighet.** Begripligheten är kopplad till användarens uppfattning om och förståelse av vad systemet eller systemen gör. Krav på hög begriplighet betyder alltså att var och en av de samverkande systemen måste uppvisa hög begriplighet. Det betyder inte att deras respektive funktioner och roller i 'samverkandet' måste uppvisa detaljerade drag, men att de ska uppvisa ett begripligt beteende visavi den enskilde - lokalt eller distalt placerade - operatören. Inga enskilda system får visa sig konstiga eller obegripliga för den enskilde operatören, om denne ska behålla känslan av begriplighet.

**Enkelhet.** Enkelhet är enligt [ECO] den viktigaste enskilda, användarorienterade egenskapen hos framtidens IT-system, och detta gäller såväl civila som militära system. Detta gäller alltså användarens interaktion med systemet, medan systemets interna uppbyggnad snarare tenderar att bli mera komplex. Denna erfarenhet gäller empiriskt [ECO]. Exempel på användarmässigt enkla system är Googles sökmotor och produkten Ipod från Apple. Internt och systemmässigt kännetecknas de istället av stor komplexitet. Enkelheten kan uttryckas i termer av mera välkända metaforer. De metaforer som används för Google och Ipod är *Vita sidan* respektive *Hjulet*. Vita sidan är en Goggle-sida som webläsaren automatiskt lägger under varje annan websida, i syfte att alltid ge användaren enkel access till nya sökmöjligheter och funktioner via Goggles sökmotor. Hjulet, å andra sidan, är Ipod-maskinens enda manöververktyg; all menyhantering, scrollning och knapphantering ligger inom ramen för detta hjul. Ipod är en mobiltelefon-stor handhållen apparat med stor lagringskapacitet, enkelt användarinterface, kraftfulla nätverksfunktioner och mycket bra ljudkvalitet.

## 4. Resurshantering

I nätcentrerad krigföring finns sensorresurser tillgängliga på ett annat sätt än i en mera centralstyrd väpnad verksamhet, om de praktiska arrangemangen så tillåter. Skillnaden är att många användare mycket snabbt kan få tillgång till dessa resurser. Tekniken medger att användarna kan accessa resurserna utan omständliga administrativa procedurer. Visserligen finns det även i den centralstyrda verksamheten möjligheter att via högre chefer få tillstånd att använda sensorer som tillhör andra förband, mer eller mindre temporärt, men beslutsgången är helt annorlunda. Även här gäller dock att principerna för fördelning av resurser bestäms på högre nivå.

**Gemensamma resurser.** En möjlighet att öka effektiviteten hos befintliga sensorsystem är att öka deras samverkan. Det innebär att flera sensorer kan utnyttjas för samma uppgift, och att varje sensor kan delta i flera uppgifter. Utgångspunkten är att det finns många användare, och att varje användare har ett underrättelsebehov. I teorin kan "alla" sensorer utnyttjas av alla användare. Fördelarna med att använda sensorer hos kringliggande förband är tydliga: Spaningskapaciteten ökar, det taktiska handlingsutrymmet växer, telekriget kan föras mera flexibelt och varierande,



skyddsmöjligheten ökar, sårbarheten minskar och osäkerheten kan minska (genom datafusion).

**Traditionell resurshantering.** Nackdelen med den traditionella beslutsordningen är flera: Dels blir beslutsfattandet en tung och kanske också omotiverad arbetsuppgift för de chefer eller befattningshavare som måste engagera sig i varje underrättelsebehov; dessa kommer ganska tätt och många användningar kan bli kortvariga. Dels tar detta beslutsfattande tid som förloras för den som har informationsbehovet. Manuell hantering innebär att en eller flera operatörer måste sätta sig in i de konsekvenser, risker, prioriteringar och vinster som förknippas med varje enskild användning, vilket tar tid. Dessa nackdelar gör att mera mekaniska beslutsmetoder blir nödvändiga.

**Överlåtande av sensorresurser.** Överlåtandet av sensorresurser på andra användare än sensorägaren själv har sina risker: Dels förlorar sensorägaren - det vill säga det förband som har att sköta sensorresursen - en kontrollmöjlighet. Detta kan leda till helt oönskade konsekvenser, såsom att sensorägarens existens, position och aktiviteter avslöjas för dem som inte borde känna till detta. En annan effekt är att en viss användning förhindrar andra användningar av sensorerna, vilket återigen ökar känslan av förlorad kontroll. Även om sensorägaren inte använder sina sensorer kan han vilja ha möjligheten att använda dem, vilket blir omöjligt om någon annan har full förfoganderätt över dem. Dessa oönskade konsekvenser för sensorägaren är oacceptabla. Observera: Sensorägare är den befattningshavare eller förband som har att operera och ansvara för den plattform där sensorn är installerad, inklusive sensorn.

**Tjänstebaserad resurshantering.** Tjänstebaserad resurshantering erbjuder en möjlighet att lösa problem med delat beslutsfattande mellan användare och sensorägare. Idén går ut på att användaren kan utnyttja sensorresurserna via i nätet tillgängliga tjänster som erbjuds av sensorägarna istället för direkt och fullständig kontroll över sensorn. Sensorägaren utför tjänsten på det sätt denne själv väljer; detta ligger i linje med den definition av funktion som ges ovan. Sensorägaren kan till exempel ha sätt att utföra olika typer av tjänster, eller ha begränsningar på sensoranvändningen. Det innebär att användaren inte kan göra vad som helst med sensorn, utan bara sådana operationer som sensorägaren har metoder för. Sensorägaren kan också tillfälligt förkasta utförandet av vissa typer av operationer, eller operationsområden, vilket leder till att beställaren inte kan få sådana utförda.

Om användaren väljer att specificera hur han vill använda sensorerna hos utföraren, ges denne mindre handlingsfrihet. Om användaren då vill använda en sensor på sätt som inte sensorägaren tillåter, återstår två alternativ: Det ena är att användaren modifierar sin beställning så att sensorägarens villkor accepteras, det andra är att användaren löser sitt underrättelsebehov på andra sätt, till exempel via andra sensorägare. Utförarens val att utföra eller förkasta beställningen meddelas beställaren.

## 5. Multi-agentsystem

Agenttekniken har använts i internationell forskning som ett sätt att tillhandahålla tjänster i nätet. Den har använts i många militära tillämpningar, bland annat för internationellt militärt samarbete i koalitionsoperationer. DARPA har drivit ett antal stora agentprojekt under de senaste fem åren, och i Europa finns nu också ett stort intresse för denna teknik. Detta kapitel beskriver motiv, bakgrund, egenskaper och militära applikationer av agenttekniken.

### 5.1 Problembilden

Agenttekniken kommer enligt [GRE2] att bilda grund för lösningar av de svåra utmaningar som finns hos dagens - och morgondagens - IT-system. Viktiga egenskaper hos Internet-liknande system är att de ska vara distribuerade, skalbara, robusta, utvidgningsbara och pålitliga; militären brukar benämna sådana IT system dynamiska system-av-system. Exempel på metodik som tidigare har använts för att bygga sådana system baseras på idéer om top-down-analys, livstidsvalidering, enhetsarkitektur, flerskikts-säkra operativsystem, enhetlig hårdvara, konservativ programmeringsmetodik och välanalyserade resurs- och prestanda-krav. Dessa tekniker bidrar var och en till konstruktionen av ett framgångsrikt system. Resultatet har dock blivit en framväxt av monolitiska system. Problemet är att dessa metoder inte är användbara i morgondagens IT-värld, som istället kännetecknas av dynamiska system-av-system-lösningar, där varje distribuerat system-av-system består av heterogena hård- och mjukvarukomponenter av relativt okänt ursprung och av okänd prestanda.

Dessa förhållanden har fått dagens datavetare att se sig om efter nya verktyg och modeller, där gamla regler och tabun måste förkastas. De har också lett fram till ett starkt och nyvaket intresse för agenttekniken, som i sig bär på möjligheten att hantera flera av de aktuella problemställningarna.

### 5.2 "Intelligenta interagerande agenter"

Begreppet 'Intelligenta interagerande agenter' uttrycker en vision om hur programvaruagenter kan konstrueras och interagera så att de uppvisar likheter med rationellt beteende. Begreppet presenteras i [WEI].

Agenter är självständiga programvaruobjekt. I vissa fall kan dessa uppfatta omgivningen genom sensorer och bearbeta den med effektorer (virtuella armar eller händer genom vilka agenten agerar), s.k. situerade agenter. I andra fall är agenterna rena mjukvaruagenter. Att de är självständiga innebär att de har viss kontroll över sitt eget beteende och kan agera utan någon annans ingripande. Agenter har mål för att utföra sina uppgifter; dessa kan eventuellt vara motstridiga.

Intelligenta agenter utför sina uppgifter så att de optimerar något givet prestandamått. De arbetar flexibelt och rationellt i olika omgivningar, givet den information de har och de sensorer och effektorer de kan arbeta med mot omgivningen.

Interagerande agenter kan påverkas av andra agenter, yttre organ eller personer när de arbetar för sina mål. Interaktionen kan äga rum indirekt genom omgiv-

ningen, eller direkt genom språkliga uttrycksmedel. En speciell form av interaktion är koordination/samverkan, som ska ses i samband med ett speciellt mål eller uppgift. För att uppnå ett speciellt mål, måste interagerande agenter ta hänsyn till varandra.

Samarbete och konkurrens är två olika koordineringsmönster. Vid samarbete utnyttjar agenterna sina respektive kunskaper och förmågor för att nå ett gemensamt mål; detta kan inte uppnås av en ensam agent. Vid konkurrens försöker varje agent maximera sin egen fördel på bekostnad av andra; framgång för en leder till bakslag för andra.

Ett exempel på system av interagerande agenter är marknaden, som kännetecknas både av samarbete (köpare och säljare samverkar) och konkurrens. Det senare kan bestå i att flera säljare konkurrerar om en köpares behov av tjänst eller vara.

### 5.3 Agentteknikens utveckling

Agenttekniken har sina rötter i programmeringstekniken, där man tidigt använde objektbegreppet - objektet var en avgränsad entitet - för att lättare kunna bemästra komplexiteten hos stora program. Agentmodellen växte också fram inom AI-forskningen, då man förstod att intelligensen, hos en människa eller maskin, kunde delas upp i många små självständiga stycken. Forskningen inom agenttekniken har hjälpt till att förstå och bemästra ett antal problem inom kunskapsrepresentation, koordinering, och distribuerad problemlösning.

I nätverkssammanhang, inte minst Internet, har agenttekniken använts tillsammans med ansatser i Semantic Web, som är en World-Wide-Web-applikation där all information är maskinläsbar genom att vara försedd med meta-information och semantiska beskrivningar. Det normala inom Internet-världen är att den information som erhålls via användarens web-läsare presenteras på läsbart sätt för denne. Användaren tolkar sedan informationen, och hanterar den vidare. Om användaren istället är en agent, kan denne genom metadata och semantiska beskrivningar tillgodogöra sig informationen utan att en mänsklig användare behöver ingripa. Det innebär att informationen kan användas på sätt som är svårt eller omöjligt idag. En förutsättning är att agenterna kan utnyttja hjälpmedel av typen ontologier, interaktionsprotokoll och konversationspolicies [GRE].

Agentteknologin håller på att bli 'main stream' teknik idag. Flera framgångsrika industriella tillämpningar finns, till exempel inom tillverkning, E-commerce, telekommunikation, logistik, kontor och informationsfiltrering [RAD].

### 5.4 Militära tillämpningar

Användning av multiagentteknik för att hantera sensorer i samverkan gynnas av att den inte förutsätter någon central aktör. Tekniken bygger på tanken att komplexa system kan konstrueras genom att koppla ihop vitt skilda systemenheter, som är konstruerade i olika miljöer och för olika syften. Genom att utforma slutsystemet som ett samspel mellan "intelligenta" agenter förenklas både modellering, kodning, utvidgning och underhåll av systemet.

En fördel med agentansatsen är att olika agenter kan konstrueras utan att ta hänsyn till de övriga, och att olika deltagare kan samverka genom att erbjuda sina egna agenter till de övriga parterna. Detta medger att agenter från olika nationer, olika militära styrkor och olika partners kan samverka direkt, i det ideala fallet utan stora ansträngningar. Det som krävs för att de ska kunna kommunicera är att deras interaktionsmönster överensstämmer. Detta tillåter också att nya deltagare kan komma in och börja samverka med övriga vid olika tidpunkter.

En annan egenskap gäller skalbarheten: systemet kan byggas ut - skalas upp - utan att redan existerande systemfunktioner och delar behöver ändras.

Flera egenskaper hos agenttekniken gör den intressant för NBF och samverkans-tjänsterna. De delar som samverkar i ett NBF-nät är intelligenta, integrerande och samordnade vad gäller målsättning och taktisk planering. Plattformer och enheter av olika slag och med olika utrustningar och förmågor skall kunna samverka.

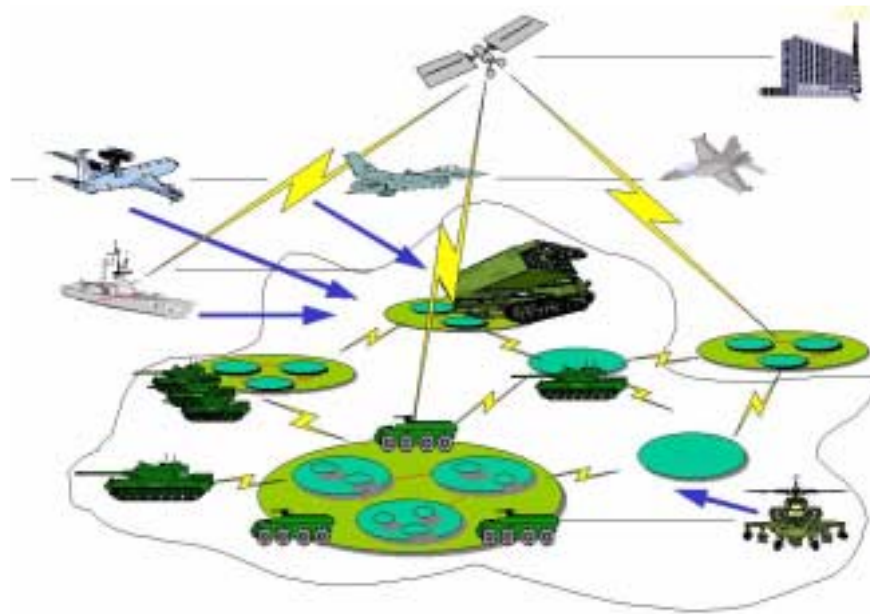
Internationella fredsbevarande operationer kommer att sättas upp som består av en mängd olika enheter, oförberedda - men ändå tvingade - att samverka. Information från flera olika typer av plattformar skall insamlas och sättas ihop. Denna insamling kan göras i olika typer av stridscentraler men också direkt på uppdragsutförande plattformar i realtid (figur 1).

I en stor holländsk studie [RAD] om agentteknik har följande militära applikationsområden beskrivits som särskilt intressanta för agentteknik:

- Kommunikation
- Ledningssystem
- Vapentechnik
- Sensorer

I fortsättningen beskrivs erfarenheter och ansatser för ett antal tillämpningar av tjänsteorienterad agentteknik:

- Koalitionsoperationer
- Plattformssamverkan och -kommunikation, samt
- Sensorstyrning



Figur 5.1. Figur 1: Nätverkscentrerad krigföring

#### 5.4.1 Ledningsstöd för koalitionsoperationer

COAX-programmet (COalition Agents eXperiment) är ett internationellt samarbete under beskydd av DARPA:s CoABS projekt (Control of Agent-Based Systems) [IEEE, ALL]. Målet med COAX är att demonstrera hur en agentförsedd infrastruktur kan underlätta interoperabilitet mellan heterogena komponenter, inklusive militära system, i realistiska scenarion.

En agentbaserad infrastruktur medger etablering av ett ledningsstödssystem för koalitioner, där agenter grupperas i domäner för att spegla organisatoriska och nationella gränser. Varje domän är en sammanslutning agenter som har sina egna säkra kommunikationssystem, förmågor och informationsrum, och som styrs av policyregler på olika nivåer för domäner, värddatorer och programvaruagenter.

Kommunikationen mellan agenterna styrs delvis av en (mindre) mängd semantiska konversationsregler, men kommer i framtiden att använda Semantic Web teknologin.

Efter COAX-programmet har forskningen fortsatt omkring försöken att bygga ledningssystem för koalitionsoperationer. Några arbeten är gjorda i Europa (Edinburgh), andra i USA. Exempelvis har gruppen kring Austin Tate i Edinburgh vidareutvecklat ett stödssystem I-X Process Panels [TAT] för att hålla reda på processer och händelser för samordnad arbetsledning. Systemet, som påminner om ett civilt projektledningssystem, ger användarna information om planerade, pågående och genomförda aktiviteter, milstolpar, synkroniseringstidpunkter, personal med mera. Systemet innehåller ett antal tjänster som kan användas av alla användare och nås från vilken systemnod som helst.

### 5.4.2 Annan militär agentforskning

DARPA har också finansierat studier av agenttekniken tillämpad på plattformskommunikation, i ett antal forskningsprojekt. En idé är att använda agentteknik för att skapa förmåga hos mobila plattformar (flygplan, fartyg, fordon etc) att bilda team med varandra under pågående uppdrag, "on-the-fly". Ett system med detta mål presenteras i [MAR]. Det går ut på att varje stridsenhet, till exempel flygplan eller soldat, har en färdig mall (force template) med information om sin identitet, avsikt, förmågor, resurser och hur den avser operera i ett aktuellt stridsrum. Genom att på ett entydigt sätt lagra, hantera och på uppmaning kommunicera dessa informationer till andra enheter i gruppen, kan förutsättningar skapas för ledning som möjliggör att den enskilda enheten kan delta tillsammans med andra plattformar i gemensamma uppgifter. Den fördefinierade mallen förutsätter att alla tolkar informationen på ett entydigt sätt.

Det finns en inbyggd svårighet med denna typ av information, och det är att hantera den information som inte ryms i mallen. Om de ingående aktörerna har olika bakgrund måste detta beaktas på annat sätt. Systemet förutsätter att alla aktörer har en gemensam uppfattning om språk, kulturell bakgrund, lämpliga färdigheter och kunskaper. Denna "tysta kunskapen" vinnns med träning och gemensam bakgrund, men kan inte uttryckas i formella termer. Om däremot dessa bakgrundskunskaper och kulturella fakta är gemensamma och allmänt spridda, har denna strukturerade och mall-baserade teknik stor potential.

### 5.4.3 Sensorstyrning

Sensorstyrning kan ses ur tre olika tidsaspekter, styrning på lång sikt, på medellång sikt och på kort sikt. Sensorstyrning på lång sikt handlar om att allokera rörliga sensorer till olika lokaler i transportmässig mening; de måste förflyttas till lämplig position för att kunna användas på bästa sätt. Sensorstyrning på kort sikt handlar om att styra sensoranvändningen på sekundnivå; sensorn byter uppgift eller samverkar med andra i snabba förlopp. Denna typ av sensorstyrning behandlas utförligt i nästa kapitel. Sensorstyrning på medellång sikt handlar om att reglera vilken tjänst som för tillfället kan utnyttja sensorn. Utgångspunkten är att operatören, en flygförare, marksoldat, eller marinoperatör, har liten tid att avsätta för att styra sensorn.

I sensorstyrning på kort sikt kan multiagentteknik användas [THA] och [STR]. Upprinnelsen är att AESA-radarer (fasstyrda radarer, array-radarer, multifunktionsradarar, MFR), och i viss mån också andra sensortyper, kräver avancerade och intelligenta styrsystem för att komma till sin rätt. Dessa system förenar i en och samma utrustning det som annars bara kan göras i ett antal sensorer, vilka var och en har sin speciella förmåga. En enda MFR-sensor har samma kapacitet som många enklare radarer, men kräver i gengäld att det finns ett effektivt sätt att bestämma vilken uppgift som ska utföras vid varje tidpunkt.

En ansats går ut på att betrakta varje uppgift som en självständig enhet, med egna mål, metoder och resurser. Agenttekniken kan då vara lämplig, eftersom varje uppgift kan representeras av en agent. Ett antal olika agenter kan konkurrera med var-

andra om gemensamma resurser, till exempel sensorresurser. Exempel på sådana i en MFR är tid och effekt.

I det medellånga perspektivet styrs agenterna av regler och begränsningar som operatörerna bestämmer. Exempel på sådana regler ges i kapitlet om sensorstyrning nedan.

### 5.5 Virtuella och reella existensformer.

Enligt ovan kan en tjänst betraktas såsom en funktion i nätet, det vill säga en funktion som lokaliseras i en nätnod men är tillgänglig från andra noder. Om ingen använder den, existerar tjänsten endast i virtuell mening. Då den initieras uppstår en instans av tjänsten. Instansen existerar så länge beställaren anser att den behövs. Varje tjänst kan resultera i flera instanser.

Detta innebär att tjänsterna kan realiseras med hjälp av agentteknik. Varje tjänsteanrop representeras då av en agent, och om flera användare vill anropa tjänsten skapas en agent eller instans per användning.

Agenter som (utför tjänster som) kräver sensoroperationer måste ha någon form av autonomt beslutsfattande och självstyrning. En modell för detta är OODA-cykeln.

### 5.6 Agentstödda OODA-cykler

OODA-cykeln är en gammal beslutsmodell [HAM] som har fått en renaissance. Begreppet används i modern litteratur om krigföring [GEM], och nya tolkningar och tillägg görs ständigt, se till exempel [MEY]. En fördel med OODA-cykeln är att den samlar ihop alla väsentliga bitar i beslutscykeln och ställer dem i relation till varandra. Varje operatör eller ledningssystem har att hantera ett antal OODA-cykler, som är autonoma och väl separerade, men som ändå kan påverka varandra genom att utnyttja en gemensam, begränsad resurs. Många OODA-cykler kan konkurrera om samma resurs.

I nätverk av samverkande system blir denna beslutsmodell speciellt användbar eftersom den dynamiska miljön och den stora mångfalden av operatörer, resurser och OODA-cykler tenderar att skapa ett mycket komplext system-av-system.

I ett agent-orienterat synsätt kan varje agent representera en OODA-cykel. En sådan agentmodell har implementerats i Datafusionsnoden [STR]. Där representeras varje (instansierad) tjänst av ett antal agenter, eller mekaniserade OODA-cykler, MOCar. Flera sådana agenter i olika plattformar kan tillsammans utföra en tjänst. I varje plattform kan ett antal av dem existera parallellt med varandra, sida vid sida. Varje agent har normalt information och datahanteringsprocesser rörande en mycket begränsad del av omvärlden. Varje agent kan använda sensorer på den plattform där den residerar, och varje sensor samordnar och schemalägger agenternas respektive arbetsinsatser. Operatören på plattformen är sensor- och agentägare. En agentorienterad beskrivning av Datafusionsnoden ges i [STR2].

Viktiga erfarenheter från detta arbete kan sammanfattas med följande utsaga: För att vara enkelt och hanterbart måste varje agentsystem ha enhetliga och standardiserade mekanismer och mönster för

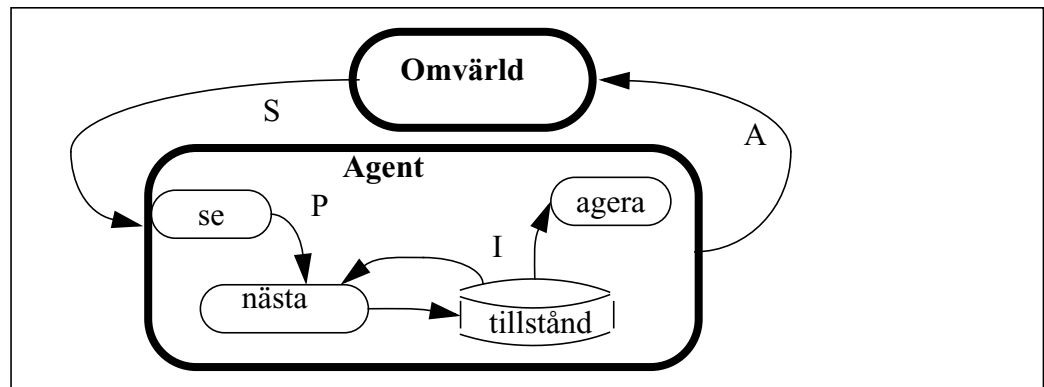
- definition av agenter,
- generering och uppstart av agenter,
- agenternas sensoranvändning,
- anrop/beställning av agenter från externa plattformar,
- presentation av information för användaren,
- terminering/dödande av agenter
- kontroll av resurskraven hos önskad agent,
- kontroll av resurskraven hos utföraren,
- användargränssnitt för ovanstående krav hos resursägare och tjänstebeställare.

## 5.7 Agentteoretisk ansats

En agentorienterad teori för datafusion och sensorstyrning ska beskriva relevanta agenter och deras interaktion, egenskaper och interna funktioner. Detta delkapitel beskriver en embryonal ansats till sådan teoribildning.

### 5.7.1 Allmänna agenter

En allmän agent som upprätthåller tillståndsbeskrivningar om omvärlden beskrivs enligt metodik i [WEI], se figur 5.2.



Figur 5.2. Agent som upprätthåller tillståndsbeskrivningar

Inför beteckningen  $S$  för mängden tillstånd i omvärlden,  $I$  för mängden av interna tillstånd hos agenten,  $A$  för mängden aktioner, och  $P$  för mängden observationer (Percepts). Agentens externa funktioner kan då beskrivas som (se efter följande förklaring)

$se: S \rightarrow P$

uppdatera:  $I \times P \rightarrow I$

$agera: I \rightarrow A$

där beteckningen  $x: Z \rightarrow Y$  betyder att funktionen  $x$  avbildar ett element av mängden  $Z$  på mängden  $Y$ .

Funktionen  $se$  omvandlar tillstånd i omvärlden ( $S$ ) till observationer i mängden  $P$ . Funktionen  $agera$  omvandlar interna tillstånd till aktioner.



Funktionen *nästa* uppdaterar det interna tillståndet, svarande mot S.

### 5.7.2 MOC-agenter

Samma notationer kan nu användas för att beskriva de agenter som behövs för datafusion och sensorstyrning. Inför tre typer av agenter:

1. Mekaniserade OODA-cykler (MOC) representerar små självständiga OODA-cykler.
2. Sensor-agenter.
3. Administrationsagenter.

Sambanden mellan agenterna illustreras i figur 5.3. Varje MOC-agent har en mycket begränsad uppgift och har representationer av viss del av omvärlden. Antalet MOC-agenter i en plattform ligger i storleksordningen 10-100.

MOC-agenten har funktioner för hantering av sensordata och underrättelseinformation, datafusion, tillståndsuppdatering, beslutsfattande och aktionsplanering. Dessutom finns funktioner för operatörsinteraktion och MOC-administration.

Sensor-agenten har funktioner för schemaläggning, sensorstyrning och perception.

Inför beteckningen R för mängden av sensoraktionsbeställningar, L för mängden scheman och G för mängden av MOC-beställningar. Då gäller, se figur 5.3,

see: S -> P

fuse: P x I -> I

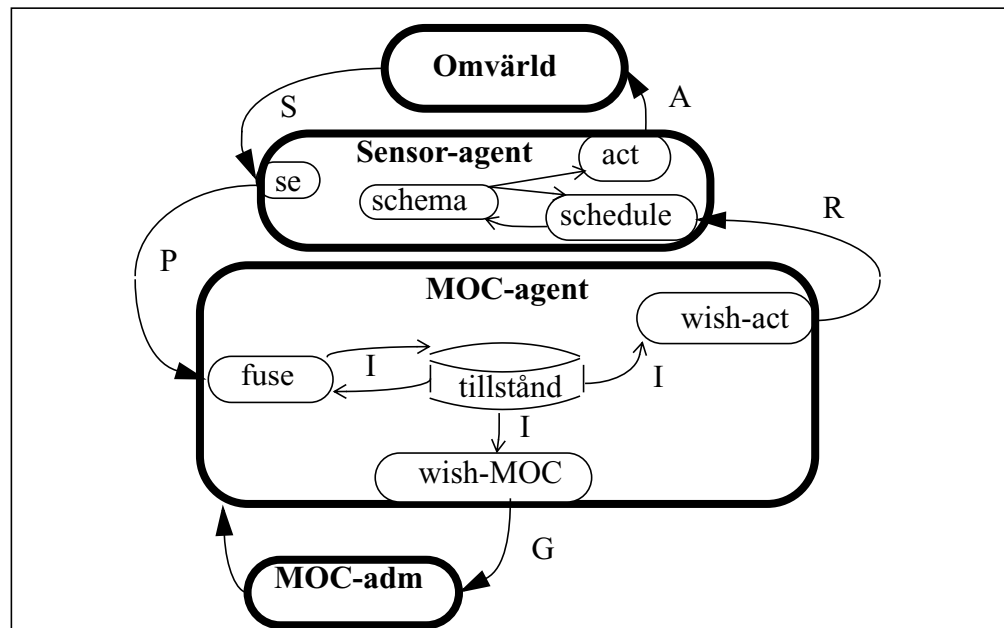
wish-act: I -> R

schedule: R x L -> L

act: L -> A

wish-MOC: I -> G

MOC-adm: G -> MOC-agent



Figur 5.3. MOC-agent med sensor och administratör.

MOC-agentens funktioner:

Funktionen *wish-act* beställer en sensoraktion.

Funktionen *fuse* fusionerar och uppdaterar det interna tillståndet.

Funktionen *wish-MOC* beställer en MOC-agent.

Sensor-agentens funktioner:

Funktionen *schedule* schemalägger sensoraktioner i sensors schema.

Funktionen *act* utför schemalagda sensoraktioner.

Funktionen *see* avbildar omvärldens tillstånd på observationer (Percepts).

Administratörens funktioner:

Funktionen *MOC-adm* utför beställda handlingar beträffande skapande och terminering av MOC-agenter. Administratören sköter också kommunikationen mellan plattformar, som består av beställningar av - respektive leveranser från - MOCar hos andra plattformar.

Funktionen för MOC-generering undersöker om önskemålen om ny MOC kan tillgodoses i gällande resursbegränsningspolicy. Denna policy beskriver resursägarens villkor för resursanvändningen, utformad såsom en lista av begränsningsregler (constraints eller logiska predikat). MOC-beställningen, ett element i mängden  $G$ , har också formen av en constraint, och funktionen löser ett 'constraint satisfaction problem'. Varje constraint kan tillskrivas en kostnad, vilket medger en kostnad för etablering av varje MOC, vilket ger en mera flexibel MOC-hantering.

De i resurspolicyn formulerade begränsningsreglerna beskriver dels hur plattformens sensorer ska användas och samverka internt i olika situationer och olika typer av uppgifter. Dessutom anger de vilka begränsningar som gäller för externt inkomna beställningar om sensorresurser. Reglerna är formella, det vill säga formulerade i en matematisk form och har en entydig tolkning. Fördelen är att de kan tolkas och bearbetas maskinellt. Deras komplexitet gör att den manuella hanteringen blir komplex och svår.

Funktionen för MOC-terminering terminerar en MOC-agent.

MOC-administratören administrerar både interna och externa beställningar av nya MOCar. Externa beställningar kan inkomma från annan plattform, respektive utsändas till annan plattform. Externa beställningar används för att realisera tjänster över nätet. Varje tjänst realiseras med (minst) en MOC hos avsändaren/beställaren, och (minst) en MOC-agent hos en eller flera mottagare. Varje mottagare kan i sin tur generera nya MOC-beställningar.

### 5.8 Bedömning av ett multi-agent-system

En agents intelligens kan variera kraftigt, och inga minimikrav ställts i detta avseende. I [RAD] presenteras ett frågeformulär som kan användas för att sammanställa egenskaper hos militära agenter; alla frågor är inte relevanta för alla agenter.

<b>Aspekter på agentteknologi</b>
<i>Definition</i>
<i>Möjligheter att hitta beskrivningar av agenten</i>
<i>Kostnader</i> Hur mycket kostar varje agent? Hur mycket kostar underhållet av varje agent?
<i>Ändamål</i> Vad uppnås med agenttekniken? Vad är vinsten? Vad är uppgiften? Vad behövs för att utvidga agentens uppgifter?
<i>Operativmiljö</i> I vilken operativ miljö kan agenten användas?
<i>Varaktighet</i> Hur länge kan agenten användas för att fullfölja sin uppgift?
<i>Beroendet av kraftkällor</i>
<i>Sårbarhet</i> Vad är motståndarens möjligheter att bemöta agentens effekter?
<i>Användningstyp (system-system/system-operatör)</i>
<i>Processmodell</i> Vilken processmodell används för beslutsfattandet i agenten?

<p><i>Självständighet (autonom/samarbetande//submissive)</i> Vad för slags autonomitet har agenten?</p>
<p><i>Organisation (single/multiple/hybrid)</i> Vilken organisation tillhör agenten?</p>
<p><i>Realisering (fysisk/virtuell/social)</i> Vad är agentens relation till omgivningen?</p>
<p><i>Dimensionsparametrar</i> <u>Fysiska/sociala</u> Vad väger agenten? Vilka yttre dimensioner har den? Vilken volym? <u>Virtuell/social</u> Hur mycket plats tar den i lagrat format?</p>
<p><i>Sensorer och effektorer</i> Vilka sensorer och effektorer behövs för att agenten skall uppfatta och agera i omgivningen?</p>
<p><i>Analyserad information</i> Hur noggrant kan informationen analyseras? Vilka verifikationsmetoder är nödvändiga? På vilket sätt kan informationen påverkas? Hur hanterar agenten tvetydigheter? Vad görs med ofullständig information? Vad görs med motstridig information?</p>
<p><i>Arkitektur</i> Vilken plattform behövs för att använda agenten?</p>
<p><i>Operatörsinterface</i> Hur interagerar agenten med människor?</p>
<p><i>Nedsmutsningseffekt</i> Vilken effekt har agenten på sin omgivning/ekologi? Om effekterna är negativa, hur kan de avlägsnas?</p>
<p><i>Känslighet mot väder eller omgivning</i> Hur påverkas agenten av väder och omgivning? Vilken påverkan har agenten av väder och omgivning?</p>
<p><i>Mogenhet</i> Vilken utvecklingsnivå har agenten i termer av teknologicykel?</p>
<p><i>Spridningstid</i> Hur lång tid krävs för att sätta igång agenten?</p>
<p><i>Övningsbehov</i> Vilken övning eller utbildning behövs för att använda agenten?</p>
<p><i>Rörlighet</i> På vilka sätt påverkar användningen av agenten rörligheten hos egna styrkor?</p>
<p><i>Villkor</i> Vilka förutsättningar finns för att använda agenten?</p>

<p><i>Signatur</i>  På vilka sätt kan agenten upptäckas?  Vilka risker finns för upptäckt?  Vilka möjligheter finns att skydda mot upptäckt?</p>
<p><i>Etiska frågor</i>  Är etiska frågor beträffande agenten utredda? Av vem?  Vilka etiska gränser finns för att använda agenten?</p>
<p><i>Lagar och regler</i>  På vilka sätt förbjuder lagen användningen av agenten?  Krävs regeländringar för att använda agenten?</p>

Tabell 6.1. Egenskaper med vilka en agent kan bedömas [RAD].

## 6. Sensorstyrning

### 6.1 Varför sensorstyrning

Plattformsoperatörer är under uppdragsgenomförande beroende av att ständigt ha tillgång till god situationsuppfattning. Sensorer på den egna och andra plattformar är viktiga verktyg för denna informationsinsamling. Tjänster som hjälper operatören få god situationsuppfattning utnyttjar därför i hög grad dessa sensorer. En introduktion av sensorstyrning gjordes i föregående kapitel, där en uppdelning gjordes i sensorstyrning på lång, medellång och kort sikt.

Exempel på sensorstyrning i det korta perspektivet penetreras i bilagorna A och B. Sensorstyrning i det långa perspektivet, som kräver förflyttning av sensorerna, har stora likheter med resursstyrning i mera generell mening och tas inte upp i denna rapport.

Ett skäl att lyfta fram omständigheterna kring sensorstyrning i det korta perspektivet är att visa på den variationsrikedom som de styrbara sensorparametrarna uppvisar och de beroenden som existerar mellan dem. Även sensorstyrning på medellång sikt kräver en insikt om dessa förhållanden.

### 6.2 Sensorstyrning på medellång sikt

Tjänstebaserad sensorstyrning är samma sak som operatörsstyrd eller uppdragsstyrd sensorstyrning, eller sensorstyrning i medellångt perspektiv. Uttrycket 'uppdragsstyrd sensorhantering' används i [BOL].

Den typ av uppdrag som försvarsmakten numera är engagerad i, fredsbevarande operationer, kännetecknas av krav på mångfald och snabbhet. Situationsbedömningen präglas av att många olika slags hot och objekt måste hanteras och värderas. Detta leder till behov av flexibla sensorsystem, såsom Multifunction Radar MFR. I det nätverkscentrerade försvaret förenas detta med en utspridning av sensorresurserna över många plattformar.

Förutom krav på funktionalitet och prestanda kan uppdragsmålen också medföra restriktioner på användningen av sensorer, av politiska eller taktiska skäl. Dessa restriktioner måste läggas på sensorparametrarna, vilket ytterligare försvårar sensorstyrningsuppgiften.

Traditionellt har sensorstyrningen baserats på värdering av tekniska parametrar såsom transmissionsfrekvens, effekt, polarisation, pulslängd, integrationstid, pulsrepetitionsfrekvens med flera. Styrningen görs av operatörer, som med olika hjälpmedel (modval etc) kan transformera sina uppdragsmål till dessa parametrar. Introduktionen av nya och fler sensorer, vilka blivit tillgängliga i nätverket, gör denna transformation allt mer komplex och tidsödande. Det leder också till större felsannolikhet och risk för suboptimala styråtgärder. Slutsatsen blir att en i och för sig lovvärd utvidgning av sensorfunktionalitet och prestanda kan visa sig vara kontraproduktiv om den inte följs åt av antingen mera stöd åt operatören eller automatisering av hans sensorhantering.

Ett problem med samverkande sensorsystem är att de är heterogena och att varje system är komplext. Det innebär bland annat att de har olika system för styrning, signalbehandling och interaktion/kommunikation med omvärlden. Om man tills vidare bortser från de två förstnämnda områdena, återstår interaktionsproblematiken, interoperabiliteten. Det som gör att agenttekniken kan bidra till att förenkla detta problem är att interaktionsmönstren mellan agenterna har gjorts tydliga. Varje agent har ett begränsat antal handlingar och datastrukturer den kan använda i sin interaktion mot andra objekt, och dessa interaktionsmönster är starkt begränsade och kontrollerade.

Ett exempel där agentteknik har använts för sensorsamverkan är [THA].

### 6.3 Teori för sensorstyrning i multipla plattformar

En agentorienterad teori för sensorstyrning omfattar agenterna och deras interaktion, egenskaper och interna funktioner. I avsnitt 5.7 ovan finns en embryonal ansats till sådan teoribildning.

Andra arbeten pågår också med liknande inriktning. Ett exempel är [BOL], som introducerar en ansats för att bedöma risker associerade med förekomsten av hot. Riskbedömningen baseras på sårbarhet och överlevnadschans. Ansatsen bygger på OODA-cykeln, sensorstyrningen och riskestimering.

## 7. Slutsatser

I detta kapitel utvärderas kraven från kapitel 5 (Operatörsaspekter), med tanke på de tekniska ansatser som presenteras i kapitel 6-7, d.v.s. agentteknik och sensorstyrning. Operatörens krav rör tillförlitlighet, begriplighet och enkelhet.

**Tillförlitlighet.** Programvarutillförlitlighet har en stark koppling till programstruktur, och agenttekniken har en viktig effekt på systemstrukturen. Detta kräver dock att agenttekniken baseras på en teoretisk grund, till exempel en sådan som finns i avsnitt 5.7. En

grund för påståendet att agenttekniken gynnar tillförlitligheten är att den gör en skillnad mellan interna och externa funktioner: Interna kan ändras utan att påverka den externa kommunikationen, och för interoperabla (externa) funktioner finns väl utvecklade gränssnitt.

**Begriplighet.** Begripligheten är liksom tillförlitligheten beroende av den interna programorganisationen. Här gäller också samma slutsats: begripligheten gynnas av en väl strukturerad programvara, och agenttekniken ger förutsättningar för detta.

**Enkelhet.** I kapitel 5 introducerades Enkelheten som den - gentemot användaren - viktigaste enskilda egenskapen hos funktioner i komplexa nätberoende system. Ett uttryck för Enkelhet är de eventuella metaforer som användaren kan "se" när han/hon interagerar med systemet - existensen av metaforer eller andra förenklingar gör systemet enkelt. Den i rapporten beskrivna teknologin om sensorstyrning innehåller inte någon beskrivning över metaforer eller andra egenskaper i användargränssnittet. Den mest välvilliga tolkningen av detta besked är därför att denna punkt inte kan bedömas. En mera sträng tolkning är att nya metaforer behövs för att göra sensorstyrningsfunktionen enkel. Detta gäller dock enbart de systemdelar som användaren kommer i kontakt med. Att sensorstyrningen systemmässigt sett är ett mycket komplext område framgår inte minst av bilagorna A och B, men detta har alltså ingen betydelse för Enkelheten gentemot användarna.

**Enkla agenter.** Däremot ger beskrivningen av agenttekniken utrymme för en metaforisk tolkning: Agenten kan i sig själv betraktas som en enkel metafor, och för någonting som agerar i enlighet med utförarens vilja. Begreppet innebär att användaren har tillgång till ett antal "hjälpredor", agenter, som hjälper honom att utföra det han ber dem om. Agentbegreppet kan därför tolkas som ett uttryck för Enkelhet, vilket är en mycket viktig slutsats. Förutsättningen är att agenten ur användarens synvinkel är enkel att förstå. Något som kan störa denna tolkning är uppdykandet av agenter som ter sig komplexa ur användarens synvinkel; detta kan inte befrämja enkelheten.

En metafor som ligger inneboende i tjänstebegreppet - att det kan liknas vid en Internettjänst - kan sägas befrämja den önskade enkelheten. Andra tänkbara metaforer är telefonsamtalet eller sökmotorn.

**Metaforer.** Vad är då en metafor? I brist på exempel på enkelhetsskapande metaforer kan exempel ges på system som präglas av motsatsen till enkelhet, nämligen komplexitet. Microsofts systemprogramvaror Office och Windows är två sådana exempel [ECO]. Det innebär att system som konstrueras med dessa programvaror som bas eller modell, knappast kan sägas vara präglade av användarmässig enkelhet. Detta är värt att notera då flera svenska militära ledningssystem har byggts med Windows som grund, bland andra ledningssystem CETRIS på korvett Visby. Ett annat diskussionsexempel finns i användargränssnittet i Gripen-systemet, där kompromissen mellan kraven på enkelhet och informationsbehov är tydlig. Exempel på enkelhetsskapande metaforer där är den elektroniska kompassrosen och den topografiska landskapsavbildningen. Ett annat exempel, som hämtats från cockpit i den

amerikanska rymdskytteln, är en display-kopplad mekanism för farkostlandning. På en display syns två punkter, varav den ena kan styras med styrspaken, och den andra är en punkt som genereras av systemet. Läget för den senare är det punktläge som systemet rekommenderar. Det är operatörens uppgift att föra styrspaken så att den punkt denne kan påverka sammanfaller med den punkt som systemet rekommenderar; när detta görs flygs farkosten på bästa sätt. Systemet förenklar på ett dramatiskt sätt rymdskyttelns landningsmanöver, vilket är viktigt då alla typer av besättningsmän, inte bara piloter, ska kunna landa farkosten.

## 8. Referenser

- [ALL] D.N.Allsopp, P.Beautement, J.M.Bradshaw, E.H.Durfee, M.Kirton, C.A.Knoblock, N. Suri, A. Tate, C.W. Thompson. *Coalition Agents experiment: Multi-agent cooperation in an international coalition setting*. Special issue on Knowledge Systems for Coalition Operations (KSCO), IEEE Intelligent Systems, 2002.
- [AND] M Andersson, M Folkesson, *Metoder för situationsanpassad målklassificering baserat på kinematiska data*. FOI-R--1022--SE, December 2003.
- [BLA] Blackman, S., Popoli, R., *Sensor Management* (Chapter 15) in Design and Analyses of Modern Tracking Systems, pp 967-1068, Artech House, Boston, 1999.
- [BOL] Fok Bolderheij and Piet van genderen, *Mission Driven Sensor Management*, International Conference on Information Fusion, Fusion04, Stockholm, 30 June-3July, 2004.
- [ECO], *Special section on future IT*, The Economist, Nr 45, 2004.
- [GEM] *Gemensam strid, Ledning på operativ och taktisk nivå i ett nätverksbaserat flexibelt insatsförsvaret*, Andra upplagan, Försvarshögskolan, Stockholm, Juni 2004.
- [GRA] Per Grahn, *Tjänstebegreppet inom Sensorområdet*, kapitel i [STE].
- [GRE] M Greaves, H Holmback, J Bradshaw, *What is a Conversation Policy?*, Mathematics and Computing Technology, the Boeing Company, Box 3707 MS 7L-43, Seattle, WA, 98124-2207, USA.
- [GRE2] M Greaves, V Stavridou-Coleman, R Laddaga, *Dependable Agent Systems*, IEEE Intelligent Systems, October 2004.
- [HAL] Niklas Hallberg, *Tjänstebegreppet inom FMA*, kapitel i [STE].



[HAM] G Hammond, *the Mind of War, John Boyd and American Security*, Smithsonian Institution Press, Washington 2001.

[IEEE] IEEE *Intelligent Systems*, May/June 2002.

[MAR] Robert Marmelstein, *Force Templates: A Blueprint for Coalition Interaction within an Infosphere*, in [IEEE].

[MEY] A Meystel, J Albus, *Intelligent Systems*, New York: Wiley, 2002.

[RAD] Rademaker et al, *Technology Watch and Forecast Agents Technology: a survey*, TNO, The Netherlands, to be published 2004 or 2005.

[STE] Stenumgard med flera, *Tjänstebegreppets användning inom olika tillämpningsområden*, FOI-R--1211--SE, Februari 2004.

[STR] Strömberg, *A platform-based data fusion and sensor management node*, In Proceedings of radar2002, IEE Conference Publication Number 490, pp 483-487, October 2002.

[STR2] Strömberg, *Agent-Based Resource Management*, In proceedings of Knowledge Systems for Coalition Operations, Czech Technical University in Prague, 2004.

[TAT] Austin Tate med flera, *Activity-oriented Instant Messaging for Coalition Operations*, In proceedings of Knowledge Systems for Coalition Operations, Czech Technical University in Prague, 2004.

[THA] René Thaens, *Sensor scheduling using Intelligent Agents*, International Conference on Information Fusion, Fusion04, Stockholm, 30 June-3July, 2004.

[THU] Ronny Thuren, *Systemtilltro*, FOI-R--1121--SE, Oktober 2003.

[WEI] Weiss (ed) *Multiagent Systems, An Approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, 2000.

## Bilaga A. Radarstyrning för målföljning

Avsikten med denna bilaga är att indikera sambanden mellan målföljefunktioner, det vill säga de funktioner som används för målföljning, och de styrbara sensorparametrarna hos ESA-radarer, också kallade agila eller spetsiga radarer för sin förmåga att "spetsa" sin observationsförmåga i olika dimensioner, bland annat riktning, frekvens och eller radialhastighet.

En ESA-sensor har en elektriskt styrd antenn med agilitet främst i fråga om riktning och hastighet. Antennen är en gruppantenn och består av många antennelement, vilka var och en utgör en riktningsokänslig men i övrigt känslig delantenn. Riktningskänsligheten erhålls genom jämförande signalbehandling mellan effektflödet i de olika antennelementen. ESA-radarn kräver styrning, både vid sändning och mottagning, för att utnyttjas rationellt.

Agilitet i frekvens gäller främst signalspaningssensorer. Deras förmåga att begränsa och lyssna av mindre och smalare frekvensområden är av stor betydelse för räckvidden samt förmågan att upptäcka och följa upp aktivitet hos radiosändare eller radaremittrar. Signalspaningssensorer diskuteras inte mera i denna rapport.

Kännedom om sambandet mellan styrmöjligheterna och en viktig användarnära funktion såsom målföljning är viktig för ett rationellt utnyttjande, och för att förstå hur samverkan ska ske med bäringsmätande sensorer, såsom IRST-sensorer. Kapitel är till stor del en genomgång av motsvarande kapitel i [BLA].

### Detektion

Det finns tre tekniker för att öka detektionsprestanda för en agil radar, nämligen

- **Variering av målbelysningstiden (Time-On-Target, TOT)** för en bestämd lobposition; denna facilitet kan också användas för att kompensera för effektförlusten vid mållägen långt från antenntyngans normalvinkel (boresight).

- **Vågformsanpassning**; bland annat med **PRF, pulsbredd och radarvågsfrekvens**. PRF betyder Pulse Repetition Frequency. HPRF (High PRF) och MPRF (Medium PRF) tillåter dopplerbehandling som kan diskriminera mot klotter, men signalen kan förvanskas på konsistent sätt i avstånds- och hastighetsled av en fiende. LPRF (Low PRF) med pulspackning ger entydig avståndsmätning men kan inte mäta radialhastighet. Pulspackning, dvs intermittent utsändning av pulser i flera riktningar, kan användas för simultan följning av flera mål. Störning kan ge avståndsavhakning. LPRF har fördelar i uppåtriktade lobar från fartyg, medan HPRF och MPRF i allmänhet är fördelaktigt i flygburna tillämpningar mot sjö- och luftmål.

- **Tvåstegssekvens för alert-confirm**, d.v.s. två belysningar där man för den första har en lägre signaltröskel för preliminär detektion (alert) och för den andra en något högre tröskel (confirm) för slutgiltig detektion. Detta kan åstadkommas med variation av TOT. Eclipsing-karaktäristik (vissa blinda fläckar uppstår i avstånds- och dopplerled på grund av transmitterspuls och markklotter) och radarmålyta bör hållas oförändrade vilket pekar på att PRF och RF skall vara konstanta, men för att försvåra fientlig ESM (elektroniska motmedel) och för att underlätta avståndsberäkning kan olika bärningsfrekvenser användas i de två faserna. Det är

önskvärt att tiden mellan alert och confirm blir så kort som möjligt, men fördröjning kan uppstå på grund av nödvändigheten att utföra alert-sökning i omkringliggande lobar för att undvika att samma mål ger alert i flera lobar. Även signalbehandlingen av alerts liksom schemalaggnings av nya confirms tar viss tid. Jämfört med integrationstiden, det vill säga TOT, är dock fördröjningen liten.

- JEM (Jet Engine Modulation), d.v.s. rotation hos turbiner eller propellrar, kan ge upphov till returerna som liknar effekter av målmanöver. För att undvika sådan felbedömning kan sofistikerad dataassociationsteknik behöva tillgripas.

## Sökning

En målsättning med resursstyrningen är att konfirmera målspar på så långt avstånd som möjligt, med hänsyn dels till vikten av att klara av följningen av etablerade målspar och dels till risken för falsklarm. Målsparskonfirmering utförs på ungefär samma sätt som konfirmering i alert-confirm-processen. Därför måste strategier utformas som samtidigt minimerar resursuttaget för målsparsinitiering och säkrar följning av etablerade målspar.

Signal-till-brusförhållandet för målupptäckt i konfirmeringssteget bör vara cirka 5-6 dB högre än motsvarande för alert. Detta motiverar ett tröskelvärde som är 5-6dB högre. En målsättning är då att minimera resursuttaget för alert och samtidigt säkra följning av etablerade målspar och upptäckt av pop-up-mål, d.v.s. mål som inte tidigare detekterats.

Avvägning måste göras mellan **lobavstånd, lobenergi (=TOT) och sättnings av upptäcktströskel**. Målet är att maximera upptäcktsavståndet (uttryckt exempelvis som  $R_{90}$ , det avstånd vid vilket 90% av målen upptäcks), givet viss radartidsandel för måluppdateringar samt radarmålyta, målhastighet och antal detekteringsluckor. Avvägningen är alltså applikationsberoende.

Avvägning måste också göras mellan **återbesökstid, energi och upptäcktströskel**. Målet är att välja värden för dessa parametrar så att resursuttaget minimeras under kravet på bevarade målspar.

## Dedicerad måluppdatering

Dedicerad måluppdatering förekommer då radarn belyser ett enstaka mål i avsikt att göra uppdatering av dess målspar. Många ställbara parametrar påverkar dedicerad måluppdatering, t.ex. återbesökstiden (dvs tid till nästa belysning), belysningslobens bredd, belysningstiden (TOT), upptäcktströskeln, acceptabel falsklarmssannolikhet, fel i målsparsprediktion samt signal-till-brus-förhållandet. Såsom målsättning väljs ofta minimal energiemiSSION över ett brett spektrum av omständigheter (målavstånd, målbeteende etc).

## Övriga funktioner

Flerfunktionssensorer kan simultant utföra flera funktioner. Exempel på funktionstyper är sökning, målföljning, kommunikation, störning, signalspaning, navigation och farkoststyrning. Sådana funktioner utförs iterativt där varje iteration

innehåller observationshantering, dataassociation, målföljningar, situationsbedömning och schemaläggning. Se [BLA] för noggrannare beskrivning av detta förlopp.

### **Filtrering och prediktion**

Målföljning förekommer både vid dedicerad måluppdatering, enkelmålsföljning, single target tracking STT, och vid följning under sökning, track-while-scan TWS. Detta innebär att radarn skannar av ett område både i avsikt att söka efter nya mål och att uppdatera befintliga målspar. I detta fall utförs flermålsföljning, multi target tracking, MTT, där observationer associeras till befintliga målspar.

Bland olika algoritmer för spårföljning mot luft- och sjömål har IMM (Interactive Multiple Models) [BLA] visat sig ha bäst egenskaper.

Vid målsparföljning är frågan om koordinatsystem kritisk. Två olika sådana är kartesiska koordinater (CC) och modifierade sfäriska koordinater MSC. CC är fördelaktigt att ha i nätverk och i IMM. Problemet är att olineariteter uppstår vid transformeringen av radardata till CC. MSC, å andra sidan, ger avsevärt bättre prestanda vid mätning av bäringsgivande sensorer, och de kan också användas vid avståndsmätning i radar. I samverkan mellan radar och IRST-sensor (Infrared Search-and-Track) finns därför starka argument att använda MSC i stället för CC.

Om både en bäringsmätande sensor (såsom IRST) och radar finns att tillgå kan adaptiv sampling tillämpas. Det innebär att bäringsmätaren används i normalfallet, och att radarn gör mätningar enbart när så behövs för att upprätthålla målsparskvaliteten. Detta uppträder bland annat då målet manövrerar. På så vis kan nödvändig målsparskvalitet upprätthållas med minskad (upp till 40%) användning av radarn.

### **Dataassociation**

Dataassociation är en följefunktion som har mycket lovande utvecklingspotential. Förbättring av denna funktion kan ge mycket stora vinster i målföljningen.

I metoder för konventionell dataassociation, baserade på Global Nearest Neighbour-algoritmen, associeras ett antal observationer på optimalt sätt till ett antal predikterade målpositioner. Denna metod är utvecklad med en svepande radar och TWS i åtanke och är inte utan vidare modifiering lämplig för en elektroniskt styrd radar (ESA). Befintliga algoritmer kan anpassas till ESAn, bland annat genom fördröjda associationsbeslut och genom att extrabelysningar görs på observationer med osäker och tvetydig målassociation.

Följning med multipla hypoteser (Multiple Hypothesis Tracking, MHT) är en klass av metoder som tillåter fördröjd association mellan observation och målspar. Styrningen av ESA-radarn kan utformas så att eventuell osäkerhet i denna association minskas vid dedicerad måluppdatering genom riktade belysningslober.

I JPDA-algoritmer (Joint Probabilistic Data Association) kan ett uppdaterat målspårsestimat innehålla bidrag från flera observationer, och en given observation kan användas för att uppdatera mer än ett målspår. Denna metod används särskilt vid initiering av nya mål i närheten av befintliga mål, och kan kräva speciell logik för styrning av radarns lob.

För gruppföljning med flera tätt lokaliserade mål, där det är viktigt att upptäcka individuella mål, finns en klass av högupplösningss algoritmer utvecklade speciellt för gruppantenner till ESA-radarer.

### **Referensproblemet, Definitionen**

I en ESA-radar kan loben styras både vid sändning och vid mottagning av signalen. Användning av smal lob för emission har fördelar till exempel då man vill undvika energispridning i vissa riktningar. Styrning av loben är därför en viktig del av sensorstyrningen. Avsikten med lobstyrning är att klara de funktioner som genomgås ovan på ett sätt som är optimalt. För att kunna göra samlad bedömning och jämförelse av de effekter som olika lobstyrningsalgoritmer har för målföljningen konstruerades under 90-talet ett referensproblem eller benchmarktest. Avsikten var att hitta optimala algoritmer för loballokering och målföljning. I testet definierades ett antal scenarion med manövrerande mål samt en agil radar. Scenariorna var defensiva och innehöll var sitt enkelmål. Flermålsaspekten beaktades genom att värdera de tids- och energi-resurser som går åt för att underhålla målspåret så väl att högst 4% målspårsförlust accepteras. Målspårsförlust definierades såsom den händelse då skillnaden mellan estimerad och sann målposition överskrider  $1.5^\circ$  i vinkelled eller 1.5 avståndsluckor. Simuleringen inkluderade effekter av fluktuationer i målamplituden, lobformningsförluster, missade detektioner, bristfällig upplösning, målmanövrering och målspårsförlust.

Mål med varierande radarmålarea ( $1.2\text{-}4.0\text{ m}^2$ ) användes i de olika scenariorna. Effekter av ECM (Electronic Counter Measurement) inkluderas i scenariorna, i form av SOJ (Stand-off Jammer) och RGPO (Range Gate Pull Off). SOJ kunde bemästras genom att öka signal-till-brus-kvoten (SNR) medan effekterna av RGPO var svårare att bemästra. Här används fördröjning av den returnerade radar-pulsen för att förvilla avståndsberäkningen. Den falska signalen motsvarar ett mål som separeras från det riktiga målet i linjär eller kvadratisk rörelse. RGPO-effekten stängs av efter cirka 15 sekunder varvid det falska målet "försvinner". RGPO kräver att datassociationslogiken upptäcker och kompenserar för effekterna av RGPO så att inte det sanna målet tappas bort.

### **Referensproblemet, Slutsatser om målfiltrering**

Slutsatsen blev att IMM och sofistikerad datassociation var överlägsna andra metoder, och att IMM blir ännu viktigare i flermålsscenarion där interagerande mål stressar målföljealgoritmerna.

Kriteriet var att minimera medelvärdet av den energi som behövs per sekund. Åtta olika vågformer kunde användas; de gav olika SNR (signal-till-brus kvot).

Loballokerings-specifikationen ger azimutvinkel, avstånd, utsänd energi, upptäckts-tröskel, SNR och falsklarmssannolikhet för de enskilda mätningarna.

### **Referensproblemet, Slutsatser om dataassociation**

En enkel GNN- metod (Global Nearest Neighbour) för dataassociering i kombination med en 3-modells IMM-algoritm var tillräcklig för att klara falsklarm och SOJ. I närvaro av RGPO blev dock bortfallet 25% vilket ansågs otillräckligt. GNN är icke acceptabel lösning för spetsig radar i närvaro av ECM eller annan avancerad störteknik.

En MHT-lösning utvecklades för RGPO-fallet, och logiken utvidgades för att ta hand om det kortare av de två målspar som utvecklades vid RGPO-aktivering. Denna lösning kunde kombineras med en Kalman-filtrering, men om IMM användes i stället för enkel Kalmanfilter erfordrades 3 dB mindre energi och 2.3 sekunders genomsnittlig intervalltid. Om IMM användes blev resultatet bättre ifråga om målsparskvalitet och målsparfel. Om dessutom JPDA (Joint Probabilistic Data Association) användes kunde effekterna av RGPO motverkas och SNR-värdet öka.

### **Kombination av data från IRST och spetsig radar**

Detektioner görs vanligen i två steg, alert och confirm. Varje alert följs av en confirm, och för att skapa en observation krävs positivt svar i båda stegen. Om enbart en sensor används görs båda stegen i denna. Om både ESA-radar och IRST-sensor används, kan varje sensor göra ett steg. Vanligen görs alert i IRST och confirm i ESA-radar, men det omvända är också möjligt. Den förstnämnda metoden har visat sig öka detektionsräckvidden med 20-25%.

Noggranna vinkelmätningar med IRST-sensor kan användas för att reducera utnyttjandet av sådana agila radarresurser som behövs för målföljning, vilket medger effektivare användning av radarn. Studier har visat att uttaget av radartid för sådana uppgifter kan reduceras med en faktor 2 på detta sätt. För att undvika målsparförlust bör dock en maximal väntetid mellan återbesök hos ESA-radarn sättas, till exempelvis 8 sekunder. Flera studier visar att den nödvändiga återbesökstiden växer från cirka 3 till cirka 6 sekunder [BLA].

Helt ostyrd användning av IRST-sensor parallellt med ESA-sensorn för målföljning minskar medelfelet i målsparret avsevärt. I en studie minskade positionsfelet från 150 till 12 meter, och hastighetsfelet halverades.

### **Sensorstyrning med makro- och mikro-arkitektur**

Denna arkitektur har föreslagits i [BLA]. Det bygger på idén om sensorstyrpolicy SMP (Sensor Management Policies).

Betrakta multisensorsystemet i figur A1. Det arbetar med multipla funktioner, där varje funktion associerar till ett objekt i omvärlden. Varje objekt genomlöper ett

antal representationer, nämligen sensorobjekt (efter sensorbearbetning), situationsbedömningsobjekt (efter situationsbedömning) och sensorstyrobjekt (efter makrosensorstyrningen).

### **Steg 1. Situation - policy-matchning**

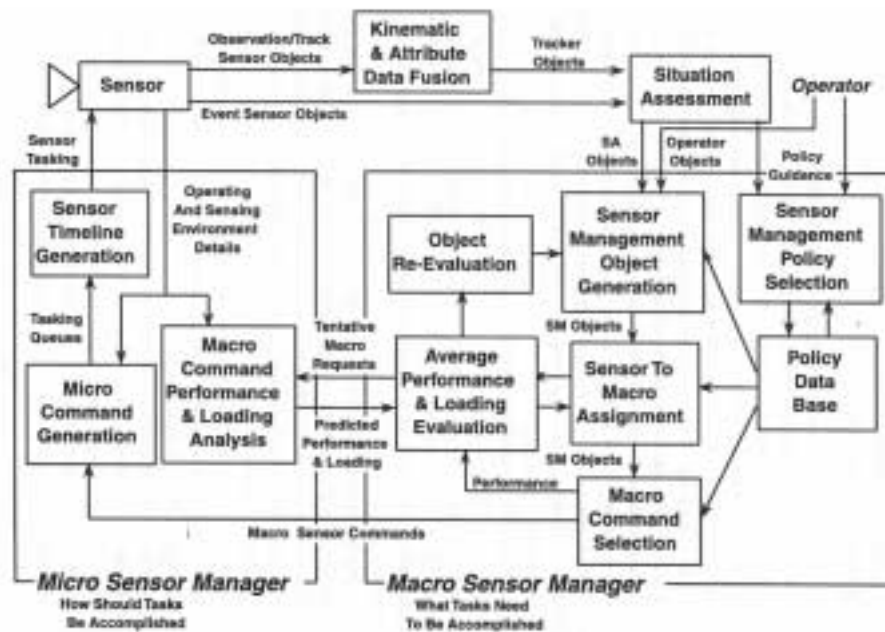
Ett sensorstyrobjekt skapas ur ett situationsbedömningsobjekt genom att sätta ett antal attribut för sensorhantering. Dessa attribut används sedan av sensorstyraren för att besluta om mängden och typen av resurser som behövs för objektet. Det finns attribut för kvalitativa prestandaparametrar, aktuella sensorprestanda, sensormedelprestanda, predikterade sensorprestanda och sensorlastkrav. Attributen skall användas för att avgöra hur bra situationsbedömningen för närvarande är i förhållande till det mål som satts upp för objektet, det vill säga hur långt i måluppfyllelse som situationsbedömningen ligger. Situationsbedömningsobjektet kan på så sätt värderas i relation till sitt mål. I detta steg värderas situationsbedömningsobjektet.

### **Steg 2. Generering och utförande av makrokommandon.**

Sensorstyrarens makrostyrare genererar och associerar för varje sensorstyrobjekt ett kommando som är konsistent med attributen, dvs som bäst bidrar till målet. Den omvandlar målbedömningen till krav eller Figures-Of-Merit (FOM) på sensorprestanda. Den undersöker också om sensorstyrpolicyn redan specificerat vilken sensor som ska användas. I annat fall initieras en sensorväljarmodul (modul för val av sensor) som samverkar med berörda sensorer (egentligen: mikrostyrmodulerna för varje berörd sensor) för att undersöka om kraven på predikterade sensorprestanda kan tillgodoses av respektive sensor, och om den förväntade sensorbelastningen ryms i fördefinierat lastutrymme - på så sätt kan den sensorspecifika informationen hanteras ute vid sensorn. Sensorväljaren baserar sitt val på medelbelastning och aktuell plus förväntad prestanda hos olika sensorer. Om ingen sensor uppfyller kraven utförs en procedur som omvärderar situationsbedömningsobjektet och skapar ett nytt sensorstyrningsobjekt.

### **Steg 3. Generering och utförande av mikrokommandon.**

Makrostyraren genererar sedan ett kommando till mikrosensorstyraren i berörd sensor, som utför kommandot. Mikrostyraren upprätthåller aktuell information om sensorns operationsstatus och också detaljerad information om relevanta förhållanden i omgivningen till det uppmätta objektet. Genereringsfunktionen för mikrokommandot använder dessa detaljer för att bestämma detaljerade sensorparametrar. Ett flödesschema för sensorstyrningens makro- och mikrodelar visas i figur A1.



Figur A1. Från [BLA]. Varje task genomgår ett antal iterationer, och i varje iteration genomlöps flera faser där omvärlden representeras i ett särskilt objekt (sensorobjekt, SA objekt och SM objekt). Kommunikationen mellan makro- och mikrodelen är omfattande. Både makro- och mikrodelen måste ha uppdaterad information om omvärlden. Makrodelen har hela tiden full kontroll på resursutnyttjandet i varje enskild sensor.

## Referenser

[BLA] Blackman, S., Popoli, R., *Sensor Management (Chapter 15) in Design and Analyses of Modern Tracking Systems*, pp 967-1068, Artech House, Boston, 1999.



## Bilaga B. Sensorstyrningens effekter på räckvidden.

Denna bilaga beskriver ett antal radarparametrars påverkan på sensorräckvidden; och den tar upp styrning av ESA radar och IRST. Data och exempel i kapitlet är till viss del hämtade från [BLA].

### Styrning av agil radar

#### Val av PRF-mode till sökuppgift

Upptäcktsprestanda för HPRF respektive MPRF varierar starkt för olika aspektvinklar av målet. En generell regel lär att HPRF ger högre detektionssannolikhet än MPRF vid större radialhastighet, och att skillnaden är mera markant ju högre höjd radarn har. På radarhöjden 1500 meter är HPRF överlägset MPRF i alla aspektvinklar. På radarhöjden 300 meter kan HPRF bara användas head-on och MPRF bara i svans-aspekt. Därför måste HPRF och MPRF användas omväxlande, vilket medför högre sensorbelastning. Sökuppgiften antas gälla fyra rader i höjded, s.k. barer, i en 120graders azimut-sektor.

Generellt sett är samspelet mellan målaspekt, radarhöjd, målhöjd och klottertätthet mycket komplext. Med en förenklad beskrivning gäller:

På låg radarhöjd (med backscatterkoefficient 0.15) och nos-aspekt hos målet är HPRF-räckvidden ( $R_{85}$ , 22nmi, 41 km) överlägsen MPRF-räckvidden ( $R_{85}$ , 12 nmi, 22 km) i alla målhöjder. Skillnaden beror på att HPRF har mer klotterfri detektering och högre medeffekt utsänd energi än MPRF. För svans-aspekt är HPRF-räckvidden (15nmi, 22 km) överlägsen MPRF-räckvidden (2-24 nmi, 4-44 km) enbart över 3000 meters målhöjd; detta beror på att radialhastigheten delvis döljs i HPRF-radarns klotter.

På hög radarhöjd (med backscatterkoefficient 0.015) gäller att HPRF-räckvidden (22 resp 8-30nmi) är överlägsen MPRF-räckvidden (12 resp 16nmi) både i nos- och svans-aspekt, utom på mycket låg målhöjd (300 m) där det omvända gäller i svansaspekt. Resonemanget gäller inte bara ackumulativ målförvärv utan också enkeltitt och målspårsuppdatering. Dessutom gäller att målkinematik bör användas för att anpassa HPRF resp MPRF-vågformen.

Ovanstående bedömningar bör göras på mikronivån (sensornivån), men diskussion visar behovet av att dela upp sensorstyrningen på två nivåer, och att det gagnar makronivån att viss del av hanteringen görs på sensornivån.

#### Mikrostyrningens roll i lastberäkningen, exempel

I en eldledningsuppgift är söksektorn fyra barer gånger 30 grader, dvs lasten är 4 gånger mindre än en sökning av en 120 graders sektor. Tiden för sökning minskar därmed till en fjärdedel. Anta att tidsåtgången för den längre sökningen var 6 sekunder, då åtgår här 1.5 sekunder. Den lediga kapaciteten (i tid) kan användas till räckviddsökning. Räckvidden är proportionell mot lystiden (effekten) upphöjt till

0.18 (att jämföras med 0.25). Om första räckvidden var 25 nmi ökar den till  $25 \cdot (6/1.5)^{0.18} = 32$  nmi.

Mikrostyraren kan behöva undersöka om FMR-mode (Frequency Modulated Ranging) skall användas. Om FMR-mode används så tredubblas koherenstiden, vilket medför en förbättring av  $R_0$  (instrumentell räckvidd, det avstånd vid vilket bruset är lika starkt som ett mål) med faktorn 3.  $R_{85}$  relaterar sig till  $R_0$  med faktorn 1.18, och  $R_0$  relaterar sig till koherensintervallet med exponenten 0.25. Total-effekten blir att  $R_{85}$  ökar med faktorn  $3^{1.18/4}$  eller 38% dvs från 32 till 44nmi.

Mikrostyraren behöver också undersöka vad som händer om ledig tid utnyttjas för sökning. Om söktiden förlängs till 2.5 sek, erhålls en  $R_{85}$ -räckvidd på  $1.38 \cdot 25 \cdot (6/2.5)^{0.18} = 40$ nmi till priset av en belastning på  $2.5/6 \approx 40\%$ .

Detta exempel visar också på nyttan av att göra detaljerade beräkningar på sensornivå och sedan kommunicera dessa till globala sensorhanteringsnivån. I detta fall kan mikrosensorhanteraren meddela makrostyraren att 40 nmi räckvidd kan erhållas genom sensorlast av 40%. Eftersom FMR använts bör del av den överblivna kapaciteten användas för att komplettera VS-mätningarna (Velocity Speed, som erhålls med HPRF-mätningar) med avståndsmätningar.

I ovanstående resonemang approximerades FMR till VS-prestanda. Detta innebär att vissa vågformsegenskaper ignorerades (i detta fall att FMR kräver 3 upptäckter på 3 försök). Det är viktigt för mikrosensorstyraren att förstå för vilka prototypfall prestandasiffrorna gäller, så att rimlig approximering och skalning kan göras. Därför kan det vara viktigt att mikrohanteraren har information om olika målspardata och situationsbedömningar.

### **Variation av PDI och koherensid för olika radarmålytor**

För FMR-vågformer gäller att ett givet SNR för mål med viss radarmålarea kan uppnås med en mängd kombinationer av PDI (Post Detection Integration) och koherensintervall - för varje koherensintervall kan PDI beräknas. Vissa värdekompositioner är oacceptabla för manövrerande mål (på grund av att dopplerhastigheten kan spridas i flera dopplerintervall), och andra är oacceptabla för offensiva missiler som leds mot egen radar - för att undkomma dessa måste radarns koherensintervall begränsas till säg 10 ms. En tredje grupp av värdekompositioner är oacceptabla på grund av att alltför långa TOT-tider. Detta är en typ av taktiskt betingad sensorstyrning.

Ovanstående resonemang visar ånyo att konstruktören av sensorstyrare måste ha en djup insikt om egenskaper och karaktäristika hos de sensorer han skall styra.

## **Kombinationer av radar och IRST**

### **IRST och ESA-radar**

Anta att vi har ett multisensorsystem som arbetar med multipla funktioner, där varje funktion fokuserar på ett objekt som kan relateras till situationen i omvärlden. Dessa objekt representeras i sensorstyraren i form av sensorstyrningsobjekt [BLA].

Betrakta ett multisensorsystem som samtidigt hanterar följande sensorstyrningsobjekt:

- ett eldledningssökobjekt,
- ett självskyddssökobjekt,
- ett ospecificerat antal eldledningsmålföljeobjekt,
- ett ospecificerat antal underhållningsmålföljeobjekt och
- ett ospecificerat antal IRST-alert-objekt.

Systemet skall effektivt använda befintliga resurser som består av en ESA och en IRST. Styrkonstruktionen skall se till att kvalitetskrav tillgodoses. Den skall anpassa sig efter manövreringar och dataassociationsproblem. Den skall utnyttja synergieffekter och underlätta datafusionsprocessen. I synnerhet skall den tillåta att radarn och IRST samarbetar kring spårunderhållet och tillhandahåller medel för sensorinvisningar. Slutligen skall systemet underlätta situationsbedömningsprocessen, samt utnyttja den för att få en taktiskt effektiv användning av resurserna: Den skall spendera resurser på de spår och sökvolymer som situationsbedömningen finner mest intressant. En operatör bestämmer den generella inriktningen av eldledningförvärvet och avgör vilka mål som ska bli föremål för följe-eldledning.

Vissa FOM för systemet i sin helhet måste introduceras. Det gäller bl a  $R_{90}$  hos de två formerna av sökobjekt, målsparvariansen hos de två formerna av målföljning och sannolikheten för upptäcktsbekräftelse efter enkeltitt vid IRST-alerts:

$R_{90}$  hos eldledningssökobjektet: 40nmi inom Field-Of-View (FOV) med  $12^{\circ} \times 30^{\circ}$  (höjd\*azimut). De yttre 20nmi behövs för identifiering, målfångning, radarmålläsning mm.

$R_{90}$  hos självskyddssökobjektet: 20nmi inom  $12^{\circ} \times 120^{\circ}$ , 10-15 sek pop-up-skydd

Noggrannhet hos underhållningsmålföljeobjekt: i avståndsled: 2nmi, i vinkelled:  $\sigma = 1.5^{\circ}$ , beroende på att målet ska tillåtas manövrera inom  $2\sigma = 3^{\circ}$ .

Noggrannhet hos eldledningsmålföljeobjekt: i avståndsled: 1.6nmi, i vinkelled:  $2.6^{\circ}$ . Motivation: Denna noggrannhet beror på vapensystemets krav. Här antas radarjaktrobot med autonom målsökare i slutfasen. Anta vidare att roboten har X-bandsradar ( $\lambda=3$  cm) och antennapertur på  $\delta = 5$  in. Detta ger lobbredd  $\Theta = \lambda/\delta = 0.03/0.13 = 13^{\circ}$ . Anta vidare att roboten startar sin slutfas på avståndet 5nmi i en anfallsvinkel mot målet på  $45^{\circ}$ , vilket innebär att målpositionen måste vara känd inom 1.6nmi i avståndsled. För vinkelnoggrannheten gäller  $\alpha = \sigma/\Theta = 0.2$ , (dvs vinkelnoggrannhet är en femtedel av lobbredden) vilket leder till en noggrannhet i vinkelled på  $\sigma = 13^{\circ} \times 0.2 = 2.6^{\circ}$ .

Noggrannheten hos IRST-alert-objekt ges enbart i vinkelled. Motivet till att skapa sensorstyrningsobjekt för enstaka alerts är att de kan distribueras över flera sensorer, vilket ger flexibilitet vid anpassning av IR-trösklar, se till exempel nedanstående fall.

**Tre adaptiva strategier för samverkan mellan IRST och ESAradar.** Nedan presenteras tre fall där räckvidden hos sensorsystem med IRST-sensor kan utökas på olika sätt. Betrakta tre olika fall med signal-till-brus-kvot 4, 5 eller 6 för en ensam IRST. Dessa fall ger antalet falsklarm som 17st/s, 10st/min och 2st/h. Upptäcktsavståndet i, säg arktisk havsmiljö, för 70% upptäcktssannolikhet med IRST, är 126, 117 respektive 110 km för dessa tre SNR-trösklar. Det högre SNR-kravet ger alltså ett lägre antal falsklarm till förlusten av 16 km i räckvidd. Betrakta tre samverkansfall:

1. Måldetektion med ensam IRST sensor.
2. Samverkan mellan IRST och radarn för långräckviddig målsparsetablering
3. Samverkan mellan IRST och radarn för korträckviddig målfångning.

**1. Måldetektion med ensam IRST sensor.** Fallet med de många falsklarmen kan hanteras om de kompenseras med krav på målsparsetablering. För att kontrollera denna idé utgår vi ifrån att villkoret för målsparsetablering är 12 måldetektioner, att varje övermålning (scanning) tar 1 sek, och att målen är missiler med 600m/s inflygningshastighet. På 12 sek går ett sådant mål 7km. Sålunda kan alternativet med lågt tröskelvärde, som gav hög andel falsklarm, vara att föredra, eftersom den ökade räckvidden tål att minskas med de 7 km fördröjningseffekt som åtgår för att etablera målspar. Resultatet är ändå en räckvidd på  $126-7=119$  km, som är bättre än de 110 resp 117 km som erhöles med de högre SNR-tröskelvärdena. I tropiskt klimat blir effekterna större eftersom skillnaden i räckvidd blir större.

**2. Samverkan mellan IRST och radar för långräckviddig målsparsetablering.** Här används radarn för att bekräfta alerts hos en IRST som antas ha en rimlig upptäcktssannolikhet på 120km. Anta att radarns instrumentella räckvidd är  $R_0=180$  km, med en 30 ms TOT FMR på 72 km vid 40%ig belastning; en sådan radar kan tillbringa 200ms koherent TOT för tre målsökningar i hastighetsled (velocity search), motsvarande hantering av tre IRST-alerts per sekund. Detta ger samma detektionssannolikhet hos radarn på avståndet  $72*(200/30)^{1/4} = 115$  km, som också erhållas på 72 km, dvs 60% längre radarräckvidd, som också blir det totala sensorsystemets upptäcktsräckvidd.

**3. Samverkan mellan IRST och radar för korträckviddig målfångning.** I detta fall samverkar IRSTn och radarn i upptäcktsfasen. Här anpassas SNR-tröskeln för IRST-sensorn till radarns förmåga att hinna kontrollera de larm som IRSTn gör. Tanken är att kunna avspana närområdet i en ganska stor sektor runt plattformen. Scanningstiden för IRST-sensorn är 4 sekunder, men målsparbildning är inte tänkbar på grund av det korta avståndet till målet. Detta borde indikera en hög SNR-tröskel för att inte få för många falsklarm, vilket dock skulle försämra upptäcktssannolikheten. Istället kan en låg IRST tröskel, och därmed många falsklarm, accepteras,

ifall dessa upptäckter bara betraktas som alerts som radarn måste kontrollera. Grundidén är då att välja en sådan SNR-tröskel hos IRST som ger det antal alerts som radarn hinner kontrollera med viss belastning, säg 5%. Mikrosensorstyraren hos IRST-sensorn måste därför kontinuerligt underhållas med det SNR-värde som ger radarn "rätt" arbetsbelastning; blir radarn underutnyttjad så sänks SNR-värdet, och vice versa.

Jämfört med fallet som beskrivs i ovanstående avsnitt så används här IRST till att reducera radarns defensiva arbete vilket gör att den får mera tid för offensiva uppgifter. IRST har på så sätt indirekt bidragit till att göra de offensiva uppgifterna.

### Tätt kopplade fusionspolycys

Alla metoder i detta kapitel förutsätter uppdelning av sensorstyrningen i två delar, bestående dels av en makrosensorstyrare på plattformsnivå, och en mikrosensorstyrare på sensornivå (se bilaga A). För vissa applikationer är denna uppdelning orealistiskt; då måste sensorerna kopplas ihop direkt. Ett sådant fall är uppdelningen av alert- och confirm-faserna vid målupptäckt på olika sensorer - avsikten med att ha två faser vid upptäckt är att gallra ut falskmål från reella mål. Om både ESA-radar och IRST-sensor finns att tillgå kan denna upptäcktsoperation delas upp mellan sensorerna på endera av följande sätt:

- IRST-sensorn gör alert av mål och ESA-sensorn confirm samtidigt som avstånd beräknas.
- ESA-sensorn gör alert och utnyttjar eventuell motsvarande detektion hos IRST-sensor för att bekräfta målupptäckt.

Följande lista ger ytterligare exempel på fall där tätt kopplade sensorer är motiverade:

- IRST sensorn använder a-priori-information om mål- eller vinkelhastighet för att begränsa antalet hastighets- resp vinkelceller som måste kontrolleras.
- Radarsökning anpassas till sökning nära de vinklar där målet sågs av IR-sensorn.
- Radarn använder apriori information (t.ex. från markradarsystem) för att undvika eclipsing-effekter.
- Radarn använder apriori information för att begränsa antalet PRF'er som krävs för att undvika tvetydighet. Eventuellt räcker det med att använda en PRF. Sparad tid kan användas för att förlänga integrationstiden.
- Radarn använder apriori information för att åstadkomma nollifiering av störare. Detta kan också hjälpa att motverka vissa former av vinkelavhakning.

### Referenser

[BLA] Blackman, S., Popoli, R., *Sensor Management (Chapter 15) in Design and Analyses of Modern Tracking Systems*, pp 967-1068, Artech House, Boston, 1999.