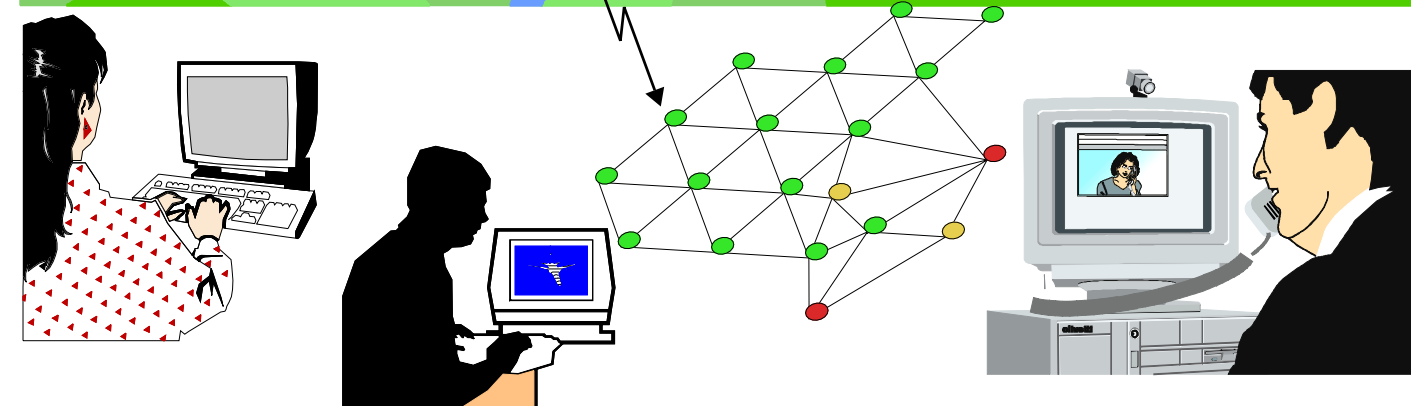
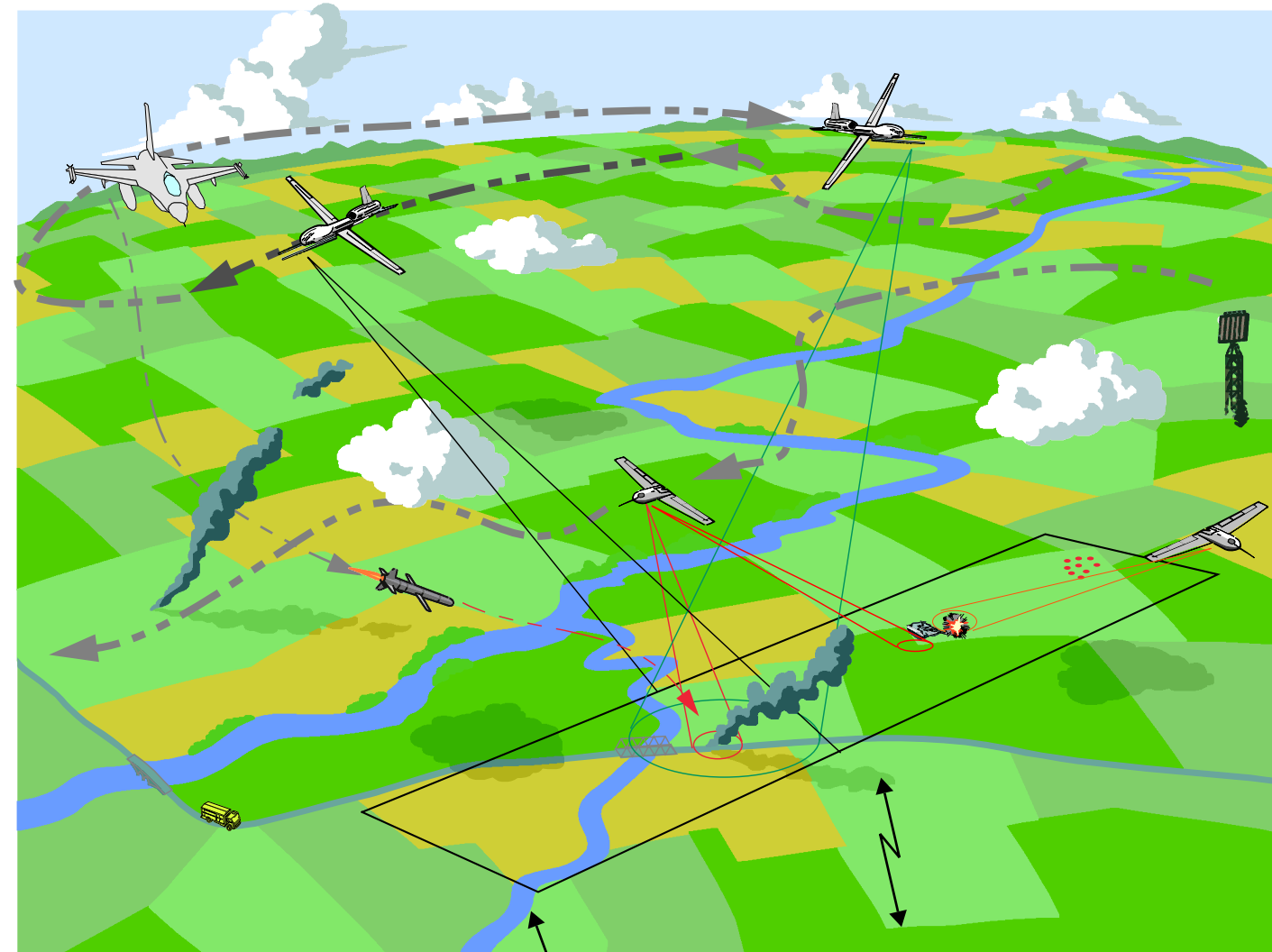


PER GRAHN, FREDRIK LANTZ, CHRISTINA GRÖNWALL,
MAGNUS HERBERTHSON, MORGAN ULVKLO, DANIEL MURDIN



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

Per Grahn, Fredrik Lantz, Christina Grönwall, Magnus Herberthson,
Morgan Ulvklo, Daniel Mordin

Sensorstyrning i NBF, slutrapport

Rapportnr / Report no	FOI-R--2397--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport User report
Utgivningsår/Year	December 2007
Antal sidor/Pages	55
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and low Observables
Delområde Subcategory	42. Sensorer 42 Above surface Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance
Projektnr/Project no	E3083
Godkänd av/Approved by	Lena Klasén

Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI
Avdelningen för Sensorsystem
Box 1165
581 11 Linköping

Innehållsförteckning

1. Sammanfattande resultat.....	7
2. Bakgrund.....	9
2.1 Sensorsamverkan	11
2.2 Generella krav	13
3. Metodikfrågor i sensorstyrproblemet	15
3.1 Beslutsstöd	17
3.2 Verksamhetsmodell	24
3.3 Sensormodell.....	25
3.4 Sensordataanalys i autonoma system.....	26
3.5 Ansats till metod för sensorval	28
3.6 Resursallokering	28
3.7 Automatiska marknadsmekanismer för sensorsamverkan	30
3.8 Förhandling	31
4. Modell för sensorstyrning	35
4.1 Förslag till övergripande modell	35
4.2 Miniscenario	38
4.3 Tänkbar lösning med sensorstyrning	41
4.4 Implementering.....	44
5. Behov av forskning	47
6. Införande av sensorstyrfunktionalitet i försvarsmakten.....	49
6.1 Kommunikation.....	49
6.2 Realisering.....	50
7. Referenser.....	53
Bilaga A. Konkretisering av resursallokering.....	55

Sammanfattning

Inom ramen för så kallade *strategiska forskningskärnor* har författarna under 3 år studerat en sensorstyrfunktionalitet föranledd av det nätverksbaserade försvaret (NBF). Vi har kartlagt sensorstyrfunktionen och konstaterat att sensorstyrfunktionen är mycket komplex och mångfacetterad. Det finns många interaktioner med ledningssystemet i stort, men lösningar som kan vara aktuella för att lösa delar av sensorstyrproblemet kan också hantera andra problem i ledningssystemet.

Vi beskriver ett urval av viktiga metodikfrågor som behöver hanteras i ett sensorstyrsystem samt några förslag till lösningar. En av bristerna är en sammanhållen modell för sensorstyrning, varför vi har börjat utveckla en sådan. Mycket arbete återstår dock på detta område.

Viktiga behov av fortsatt forskning inom området beskrivs liksom vår uppfattning om hur försvarsmakten bör införa en sådan här funktionalitet och vad man särskilt bör beakta.

Sensorstyrfunktionen är ett kraftfullt hjälpmedel för att öka snabbhet och flexibilitet i sensoranvändning. Exklusiva sensorplattformar kommer att utnyttjas mer effektivt vilket på sikt håller ner kostnaderna.

Nyckelord: sensorstyrning, sensoradministration, autonom styrning, kravkonflikthantering, sensorplanering, distribuerad sensorstyrning

Summary

We have, during the last years, been studied a sensor management and control functionality what will be necessary in a network centric C³I system. We have characterized the functionality and found it very complex. There are many interactions with the rest of the C³I system. Sensor management and control solutions might also be used for other similar problems in the C3I system.

We describe a number of important areas that need to be addressed in the sensor system together with some method suggestions. One of the current shortcomings is the lack of a unifying sensor management and control model, which is why we have started to develop such a model. A lot of work remain to be done in this area.

We also point out the need for, and suggest, continuous research i the area as well as describe our view on how the sensor management and control functionality should be implemented by the defence forces.

This functionality is a powerful tool to increase flexibility and responsiveness in the sensor usage. Exclusive sensor platforms may be more efficient utilized which will hold down future costs.

Keyword: sensor management, sensor control, sensor planning, autonomous control, requirement conflict resolution, distributed sensor control

1. Sammanfattande resultat

Inom ramen för så kallade *strategiska forskningskärnor* har författarna under 3 år studerat en funktionalitet som vi kallat sensorstyrning. Under denna tid har vi producerat en tidigare rapport [1] som visar på grunderna inom området. Vi har också haft ett bidrag till konferensen MilTech3 i Stockholm, se [3]. Den här slutrapporten avser att sammanfatta vår syn på sensorstyrning samt ge lite mer detaljer runt övergripande modeller.

För att sensorer skall kunna fås att agera som utmålats i det nätverksbaserade försvaret (NBF) så krävs det en funktion som kallas *sensorstyrning*. Sensorstyrning innehåller i stort sätt alla aktiviteter som styr sensorernas användning från hög förbandsnivå ända ned till en sensors inre schemaläggning av operationsmoder och fokuseringsområden. Det innebär att funktionen skär igenom många hierarkiska nivåer i ledningssystemet. Vilka faktorer som skall styras varierar mellan nivåerna. På högre nivåer handlar det om inriktning i stort, målsättningar, avvägningar och resursfördelning etc. Styrning sker också med olika tidshorisont beroende på var i hierarkin som betraktaren finns. Inom detta område finns mycket att göra och utvecklingen har bara börjat.

Vårt arbete

Vi har kartlagt funktionen och konstaterat att sensorstyrfunktionen är mycket komplex och mångfacetterad, ännu mer komplex än vi insåg från början. Interaktionen med ledningssystemet i stort är mycket komplex, och många lösningar som kan vara aktuella för att lösa delar av sensorstyrproblemet kan också hantera andra problem i ledningssystemet. Vi har också konstaterat att en av de största bristerna idag är att det saknas en sammanhållen modell för hur sensorstyrning skall hanteras. Vi har därför satsat mest energi för att skapa en början till en sådan modell, vilken beskrivs närmare i avsnitt 4. Denna modell bygger på en hierarkiskt organiserad planering för att ta hänsyn till olika plattformar, hierarkiskt organiserade grupperingar och olika tidshorisont. Planer bryts ner i denna modell till scheman som sedan exekveras. Vidare så uppdateras dessa planer och scheman med hjälp av händelser som skickas mellan de olika planeringsnoderna. Konflikter mellan olika krav hanteras med hjälp av en strategi för hur konflikter skall lösas upp. Vi har kommit så långt att en första grov simuleringsmodell gjorts, men mycket arbete återstår.

Det har också ägnats energi åt att studera ett par specifika problem, nämligen:

- Resursallokering
- Värdering av olika förslag till planer
- Distribuerat beslutsfattande
- Samtidig styrning av optisk sensor och plattform
- Schemaläggning i multifunktionsradar.

Dessa problem har till stor del studerats inom ramen för andra pågående eller avslutade projekt. Det finns inom det civila samhället ett problemområde som har relativt stora likheter med sensorstyrning, nämligen produktionsplanering av flera olika produkter i ett nätverk av olika produktionsanläggningar med skilda egenskaper. Sensorstyrningsproblemet är dock mycket mera dynamiskt,

produktionsanläggningarna är mobila och produkterna är olika typer av information. Dessutom finns det en motsida som aktivt kan försöka motverka "produktionen".

Fortsatt forskning

I avsnitt 5 tar vi upp forskningsfrågor inom området som vi bedömer att det är angeläget arbeta med för att komma närmare målet att åstadkomma en kvalificerad sensorstyrfunktion. Det återstår många och svåra frågor att besvara innan målet nås. En liten bråkdel av de angivna frågorna kommer att tas upp i den fortsatta planerade verksamheten av andra pågående projekt, då med lite mera specifik inriktning.

Nytta med sensorstyrning

Sensorstyrfunktionen är ett kraftfullt hjälpmedel för att öka snabbhet och flexibilitet i sensoranvändning. Tekniken hjälper sensoranvändarna att analysera användarvärde med och kostnaderna för ett specifikt sensoranvändande. Andra effekter av avancerad sensorstyrning jämfört med enkel styrning från en enda operatör per plattform är:

- Färre antal UAV:er behövs vid samma krav på den levererade informationens kvalitet
- Kortare ledtid från informationsbehov till dataleverans
- Mycket flexibelt - anpassas ständigt till situationen
- Effektivt utnyttjande av UAV:er och andra spaningsplattformar
- Håller ner kostnader på sikt och hanterar risker

Sensorstyrning kan ses som en grundkomponent för att bedriva spaning med ett begränsat antal spaningsplattformar t.ex. UAV:er så att höga prestanda där detta är viktigt kan erhållas med korta ledtider.

Införande av sensorstyrfunktioner

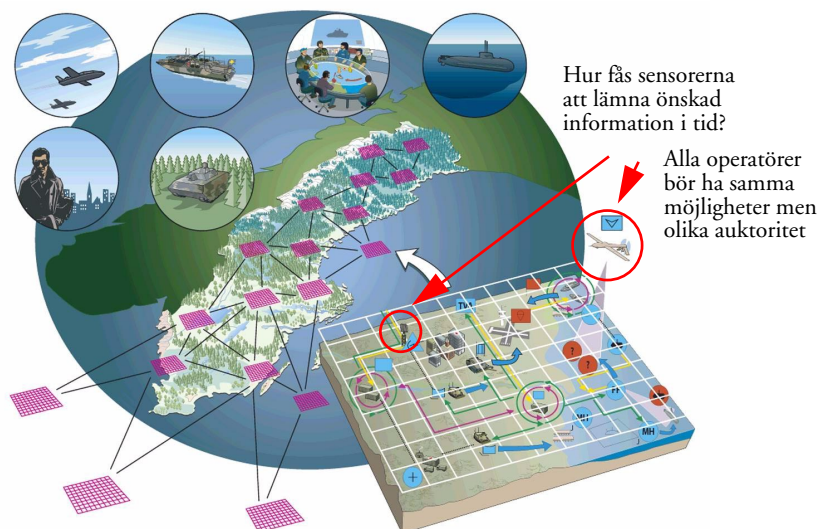
En av svårigheterna med sensorstyrfunktionen är att den är så komplex och griper in på så många ställen i ledningssystemet. Detta gör det svårt att krävställa, implementera och sedan verifiera en sådan funktion. Man kan dock se ett par grundläggande strategier för detta arbete.

- Modularisera i tillräckligt små moduler där funktionen i sin tur bygger på användning av andra moduler. Detta för att motverka komplexiteten och underlätta implementering.
- Kravställ modulerna separat och kravställ mot enstaka typsituationer i statistiska termer. Ha sedan med stabilitetskrav vars syfte är att säkerställa att andra situationer än de utvalda kan hanteras.
- Verifiera krav i huvudsak med hjälp av simulatorer. Ta då även med icke direkt krävställda situationer för att fastställa hur robust systemet blivit. Endast ett fåtal tester med riktig hårdvara bör göras för kontroll.
- Evolutionär uppbyggnad. Det är omöjligt att vid ett tillfälle förutse alla behov, utan man behöver börja med enklare funktion som man skaffar sig erfarenhet utifrån. Därefter bör funktionen utvecklas i steg.

2. Bakgrund

I ett framtida försvar kommer det att finnas en stor mängd sensorer. Två trender kan identifieras vad gäller sensorutvecklingen. En utvecklingstrend går mot mer flexibla sensorer som dynamiskt kan anpassa sig till skiftande behov och miljöer. Dessa sensorer kommer att vara högt belastade och många användare kommer att vilja nyttja dem för sina syften. För att utnyttja dessa effektivt krävs förmåga att kompromissa, prioritera och hantera motstående krav från de många skiftande uppgifter som kommer ska utföras. En annan utveckling går mot små och billiga sensorer som kan användas i mycket stor mängd och som lätt kan ersättas. För sådana sensorer är samverkan i nätverk en absolut förutsättning för att de ska ge användaren tillräcklig information. Målsättningen är att dessa sensorer ska kunna nyttjas effektivt och ändamålsenligt av användare på olika platser i ett nätverk och inte bara av dem som finns på en plats nära sensorerna. Det är också viktigt att komma ihåg att det troligen inte är sensorernas medelegenskaperna som kommer att vara avgörande för att vinna slaget utan de extraordinära egenskaperna, goda som dåliga, som man utnyttjat väl i förhållande till motsidan. Exempel på sådana förhållande är när vi fokuserar en multifunktionsradar mot ett litet område för tidig upptäckt då motsidan har en konventionell radar, eller att vi maskerar oss i dimma mot motsidans optiska sensorer och istället utnyttjar information från andra sensorer till vi kommit mycket nära.

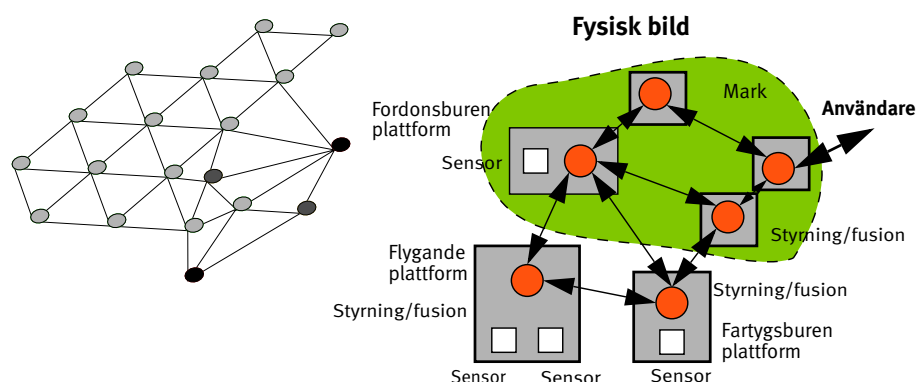
Varje sensor tillhandahåller mättjänster mot nätverket. Utspritt i nätverket finns det informationskonsumenter både i form av automatiska processer och i form av slutanvändande operatörer i olika roller, se figur 2.1. Varje konsument har ett tidsvariabelt behov av information i termer av geografisk område, informationskvalitet, uppdateringstakt etc. Betydelsen av varje enskild konsument varierar under en militär operation från tidsögonblick till tidsögonblick. Trots det bör de ha samma tekniska möjligheter att utnyttja sensorresurserna men olika auktoritet för att maximera en flexibel sensoranvändning och ge visst utrymme för operatörerna att ta ett egna initiativ.



Figur 2.1: I det nätverksbaserade försvaret NBF är många sensorer direkt anslutna till nätverket. Konsumenter av sensorinformation finns utspridda i nätverket och bör i princip alla ha samma tekniska möjligheter.

Sensorstyrning är den process som gör det möjligt att utnyttja den framtida sensorutvecklingen effektivt. Detta är en process som kontrollerar vem som för tillfället bestämmer över sensorerna, hur motsägande krav ska hanteras, hur sensorplattformar eller sensorer ska placeras för att få bästa möjliga förutsättningar och mycket mer. Nyckelfrågor gäller hur man kan hantera samverkan mellan sensorer på olika plattformar och ett delat, distribuerat beslutsfattande. Den största utmaningen finns i detta sammanhang då sensorerna inte är designade för att samverka i en speciell grupp, utan måste anpassa sig till de andra sensorer och plattformar som finns tillgängliga för tillfället.

En förutsättning för att kunna realisera sensorsamverkan i nätverk är att man har tillgång till robusta kommunikationskanaler. Det handlar inte enbart om bandbredd utan också om autentisering och skydd mot dataintrång etc. Idag löses detta med olika typer av kommersiella kommunikationslänkar. I militära sammanhang kan funktionssäkerheten likaväl som datasäkerheten ifrågasätas. Exakt vilka kanaler för kommunikation som finns tillgängliga påverkar vilken sensorsamverkan som är möjlig att realisera. Ju mindre de samverkande parterna (sensorer och operatörer) vet om varandra, desto mer information måste överföras för att man ska kunna förutsäga de andras beslut och därmed kunna samverka på ett bra sätt. Sensorstyrningen får då inte förutsätta att det finns möjligheter att kommunicera alltför stora mängder information. Det måste också finnas speciella kommunikationsprotokoll för att utbyta information om sensorers kapacitet och status. Figur 2.2 visar ett exempel på en del av nätverket vid ett givet ögonblick.



Figur 2.2: Ett exempel på hur nätet kan vara uppkopplat fysiskt. Funktionerna är typiskt spridda på samtliga fysiska plattformar i form av tjänster.

Då information har överförts på ett tillförlitligt sätt måste den fusioneras med annan information. En del av detta behöver ske med hjälp av automatiska metoder för datafusion, även om användarna till slut tolkar informationen och fattar beslut baserat på sin tolkning. Detta beror bl. a. på att antalet sensorer är alltför många, att det ibland kan vara svårt att tolka deras resultat och att besluten måste fattas snabbt. Det finns flera metoder för att fusionera information och hur man gör detta kan också påverka vilken samverkan och styrning som är den bästa. Om ett system inte kan tolka och ta till sig en viss sensorinformation har den heller inte samma värde för användaren. Om systemet använder automatiska algoritmer för att fusionera sensorinformationen till en lägesbild som användaren får tillgång till, så beror värdet av sensorin-

formation på hur algoritmens automatiska bedömning av den informationens värde i förhållande till värdet av annan information.

För att kunna styra de sensorer som finns tillgängliga i nätverket måste användarna ha tillgång till verktyg för detta, beslutsstöd. Beslutsstödet ska kunna användas för att planera sensoranvändning i förväg, för att visualisera planerat och verkligt resultat av sensoranvändningen och för att lösa konflikter med andra användare om resursanvändningen. Eftersom alla sensorer och operatörer är knutna till olika plattformar behöver stödet tillåta distribuerat beslutsfattande där beslut delegeras till den nivå där de bästa möjligheterna att lösa problemet finns. Detta innebär att vissa styrproblem ska lösas automatiskt.

NBF-tanken är aktuell inte minst i försvarsmaktens internationella uppdrag, vid naturkatastrofer eller vid terrorishot. Vid dessa situationer kan försvarsmaktens spaningsresurser användas för en mängd uppgifter de annars inte skulle användas till, t.ex. att spana efter flyktingströmmar, eventuell missväxt eller översvämningshot. Det är då helt avgörande för uppdraget att spaningsresurserna kan anpassas efter den aktuella situationen utan tidskrävande och komplicerade ingrepp i sensorerna. Sensorstyrning kan användas inte bara för att avväga mellan olika organisatoriska enheters behov, utan även för att justera enskilda parametrar, arbetsmoder eller signalbehandlingsalgoritmer ute i sensorerna när man vill övervaka vattenmassor istället för stridsvagnar. Ibland kan det krävas att man agerar taktiskt, på grund av motsidans resurser på samma sätt som i rent militära operationer, till exempel i fråga om användning av telekrig och störning. Vid internationella uppdrag är frågan om interoperabilitet viktig eftersom man samverkar med andra nationer.

Några ytterligare viktiga inslag i dessa situationer är tidsaspekten och kontinuiteten. Det får inte ta för lång tid från det att ett informationsbehov uppstått tills det att sensorerna kan lämna data, och varje intressant operation skall kunna studeras under viss tid och från olika håll. Detta åstadkommes genom att förkorta ställtider och samutnyttja sensorer med olika egenskaper.

2.1 Sensorsamverkan

En stor fördel med nätverksmiljön är att man kan låta många sensorer samarbeta i informationsinhämtningsprocessen. Det finns många olika skäl eller syften med sensorsamverkan och de varierar dessutom med tid och plats. Vi har försökt att katalogisera dessa i sex grupper av renodlade syften.

- (i) Skapa *kompletterande täckningsområden* i rum och tid. Använda fler sensorer för att öka spaningsområdet.
- (ii) Tillgodose skiftande informationsbehov (utnyttja *kompletterande egenskaper* hos sensorer). Ett exempel är att först använda en sensor för stora ytor som t.ex ett SAR¹-system för att detektera potentiella målkandidater och sedan låta ett mer högupplösande system som t.ex ett IR-system mer noggrannt mäta in mer högupplöst och kanske gör klassificering.

1. SAR = Synthetic Aperture Radar

- (iii) Uppnå *bättre prestanda* jämfört med vad enstaka sensorer kan åstadkomma. Flera olika slags förbättringar kan åstadkommas:
 - Bättre detektioner
 - Bättre kvalitet vid estimering av målparametrar
 - Högre dataakt
 - Bättre kapacitet
- (iv) Uppnå *bättre tålighet mot olika hot* i skilda miljöer jämfört med enstaka sensorer. Hoten kan vara av både elektronisk och fysisk art.
 - Förstörelse. Hur man undviker att själv bli ett mål som en följd av att sensorn används. Här är samarbeten med några sensorer passiva aktuella.
 - ECM¹. Här kan man reducera effekten av motsidans ECM-användning. Exempel är användning av Bi- eller multistatiska mätmoder, spektral spridning eller datafusion.
 - Lågsignaturmål. Man kan använda många sensorer för att lättare upptäcka signaturanpassade mål. Exempel är användning av multistatisk geometri eller spektral spridning.
- (v) Uppnå *taktiska fördelar* t.ex genom att kraftsamla sensorverkan eller använda sensorer på ett oväntat sätt så att motsidan luras.
- (vi) Uppnå *ekonomiska eller logistiska fördelar*. Använda icke-optimala men tillgängliga sensorer för att erhålla acceptabel information.

Inom ledningssystemtekniken finns det en vetenskaplig disciplin som kallas datafusion. Ibland anses även kontrollprocessen ingå i datafusion, men vi har valt i vår beskrivning att separera kontrollprocessen från sammanställningsprocessen. Därför är *datafusion* i vår rapport:

- det verktyg som sammanställer och sammanväger data från olika källor,
- har olika fokus beroende på den aktuella blandningen av ovanstående sensorsamverkanssyfte.

Traditionellt har datafusion varit inriktad mot *Ökad prestanda* och *Kompletterande täckning*.

Sensorstyrning är i vår rapport

- det verktyg varmed man åstadkommer förutsättningar för sensorsamverkan,
- är delvis en ny funktion som orsakas av nätverksmiljön,
- är tidigare endast analyserat i små delområden av det fulla problemområdet.

1. ECM = Electronic Counter Measures

2.2 Generella krav

Nedan kommer ett antal generella krav på informationsinsamlingsfunktionen i ledningssystemet och därmed sensorstyrfunktionen som kan verka triviala men som tillsammans är ganska utmanande och svåra att uppfylla.

Kapacitetsutnyttjande	Alla sensorer bör utnyttjas optimalt.
Dynamik	Sensorstyrfunktionalitet måste kunna hantera stora belastningsfluktuationer utan att övergripande mål äventyras.
Skalbarhet	Antalet sensorer, användare och nättjänster skall kunna variera och växa obegränsat med minimalt eller inget behov av administration, så kallad konfiguration.
Evolutionärt	En godtycklig komponent kan tillkomma, uppgraderas eller tas bort från nätet när som helst utan att andra komponenter skall behöva uppgraderas eller ändras. Uppkopplade användare skall inte märka detta om de inte använder just denna komponent. Ny funktionalitet skall direkt kunna användas.
Decentralisering/Tålig- het	Centrala funktioner i nätet skall undvikas. Detta innebär att enbart de användare som för tillfället använder en komponent påverkas om denna uppgraderas, ändras eller försvinner.
Distribuering	Varje komponent skall i princip kunna placeras i eller vid en godtycklig fysikalisk nod i nätet. Prestanda kan dock påverkas av placering.
Informationskvalitet	Användaren måste kunna ställa krav på den tekniska kvaliteten hos den levererade informationen samt få ett svar om vad kvaliteten faktiskt blev. Kvalitet används till att bedömma osäkerhet genom att t.ex svara på frågorna: Vad vet vi? Vad tror vi? och vad vet vi inte?
Enhetlighet	Alla tjänster t.ex. de som hanterar sensorer skall styras med samma regeluppställning, dvs det finns inga separata regler för viktiga befattningshavare.
Prioritering	Varje användare har till sin disposition ett medel som ger honom möjlighet att "betala" och sätta prioritet på sina beställningar. Denna "betalning" ger rätt till användning av sensorresurser. Hur fördelning av detta "betalningsmedel" skall gå till är helt upp till försvarsmakten att bestämma.
Utbildningsbehov	Varje användare måste på ett intuitivt sätt förstå hur sensorstyrningen arbetar samt hur prioriteringen går till. Det skall man kunna öva under enkla och säkra förhållanden i fredstid.
Tillgänglighet	Sensorsystemet måste fungera på avsett sätt då det verkligen behövs, dvs i en kris- eller krigsliknande situation.
Säkerhet	Sensorstyrningen måste även se till att obehörig användning, fientlig överbelastning och liknande säkerhetsproblem minimeras.

Generella krav

3. Metodikfrågor i sensorstyrproblemet

Sensorstyrningen kan beskrivas som en aktivitet bland andra i nätverket men det är en aktivitet som inte har så lång tradition och därför inte är utredd tillräckligt väl. Sensorstyrning är en funktion som är ny i den meningen att det tidigare inte funnits någon genomgripande och formaliserad metod som haft hjälp av ett tekniskt stödsystem. Sensorstyrning i nuvarande system sker främst genom direkta order från högre chef, som sensoroperatörers parameterändringar för att åstadkomma en störskyddsåtgärd eller att en operatör manuellt styr t.ex en kamera. Ett undantag är dock den flygburna radarn PS-890 som är den första sensorn med en mer avancerad form av styrning.

Generellt för all typ av styrning är att man hela tiden har klart för sig vad det övergripande målet med verksamheten är, liksom önskemål och krav från användarna. Styrning med kort tidshorisont innebär styrning av individuella sensorer och parametersättningar hos sensorerna eller olika mätmoder. Styrning med medellång tidshorisont innebär en grövre tidsplanering där hela sekvenser hanteras samordnat. Ett av problem inom denna kategori är resursallokering. Resursallokeringsproblemet är generellt och gäller inte enbart sensorer. Styrning med lång tidshorisont innebär att bestämma var sensorplattformar skall operera samt vart och när de skall förflyttas. Dessutom skall det avgöras vilka sensorer/sensorplattformar som skall användas i ett givet läge. Valet beror på många faktorer såsom väder, miljö, motståndarens system samt de egna dispositionerna (logistik mm). Kostnader och risker för förluster är en annan faktor liksom osäkerheten i samtliga bedömningar.

Systemdefinition

Det är viktigt att det system som ska styras är definierat så tydligt som möjligt. I detta fall är det system som ska styras ett delsystem av hela ledningssystemet som samlar in information. Det är styrning av hela den process som sker för att samla in information med sensorer som är målet för ett verktyg för sensorstyrning. Exakt vilka sensorer som kommer att ingå i det system som ska styras kommer att variera. I allmänhet måste inte bara sensorerna, utan även de plattformar sensorerna är monterade på, de informationsbearbetningsresurser som finns på plattformarna, samt slutligen de operatörer som finns på dessa plattformar anses ingå i det system som ska styras. Målet med sensorstyrningsprocessen kan sägas vara att styra detta system så att uppdragets mål uppnås, men fortfarande tillåta operatörer i systemet att agera då detta är nödvändigt.

Sensorstyrning genom tjänster

I ett nätverksbaserat försvar finns många sensorer och användare knutna till nätverket. Sensorer och sensorplattformar kan i allmänhet ses som producenter av information och användarna som konsumenterna av denna information. Konsumenterna erbjuds sensorinformation genom tjänster som finns tillgängliga på nätverket. Genom dessa tjänster kan konsumenterna beställa den information de vill ha och även i viss utsträckning styra sensorer och sensorplattformar. Eftersom en viss del av styrning och bearbetning av information i nätverket sker automatiskt, så måste även vissa andra system, t. ex. andra sensorer eller system för sammanställning av lägesbilder, också kunna beställa information och styra sensorer genom dessa tjänster. En konsument av information kan även vara en annan sensor som behöver a priori-information för att kunna utföra sin uppgift. I vissa sammanhang kan man även tänka

sig att information faktiskt tillkommer i systemen via användaren, varför användaren också kan vara en producent. Användare, sensorer och andra system spelar alltså olika roller vid olika tillfällen och i olika skeden av datainsamlingen. Ett fullständigt system för sensorstyrning i ett nätverksbaserat försvar måste alltså kunna hantera att både sensorer och användare spelar olika roller beroende på situation och uppgift.

Uppgifters variation

Konsumenters behov av information är olika och varierar med tiden. Olika typ och kvalitet på informationen krävs för olika uppgifter. Dessutom är inte alla konsumenters uppgifter lika viktiga då ett givet uppdrag ska utföras. Olika konsumenters behov av att styra en viss sensor kan inte alltid förutses långt i förväg. Möjligheterna att få sina behov tillgodosedda och styra sensorerna enligt sina egna önskemål bör därmed inte bestämmas av organisatorisk tillhörighet eller fysisk närhet till sensorn, utan ta hänsyn till behoven i det aktuella uppdraget. Alla konsumenter bör ha samma tekniska möjligheter att få tillgång till och styra en sensor. Möjligheterna bör heller inte vara statiskt tilldelade, utan kunna ändras i takt med att behoven varierar och uppdragen byter karaktär.

Decentralisering

Ett system för sensorstyrning kan inte styra sensorresurserna fullständigt från en enskild central plats. Vissa styrprocesser måste gå mycket snabbt och därför vara decentraliserade. Dessutom måste processen ge rum för enskilda initiativ till de som har bäst och närmast uppsikt över en given situation. Hastigt uppkomna hot måste kunna hanteras av plattformsoperatörer som därmed vid vissa tillfällen måste kunna ta över kontrollen över sensorresurserna för eget skydd.

Planering

Användarna har olika uppgifter som de vill att sensorstyrssystemet ska utföra. Avsikten för sensorstyrningen är att bestämma vilken uppgift en viss sensor och sensorplattform ska utföra under ett visst tidsintervall i framtiden. Utförandet av en uppgift beställs genom en tjänst. En uppgift karaktäriseras av:

- Det geografiska området för spaning.
- Tiden för uppgiftens utförande (ett tidsintervall).
- Vilka objekt i spaningsområdet som är av intresse (fordon A, fordon B, fordon i allmänhet, människor, vägar, ...).
- Typen av tjänst systemet ska utföra. Detta bestämmer vad vi vill veta om objekten (position, identitet, ...).

För att kunna utföra de uppgifter som beställts skapar sensorstyrningssystemet planer och scheman där sensorernas användning koordineras. I detta fall är en plan för sensoranvändning en mängd av uppgifter på en lägre hierarkisk nivå. Planen kan innehålla begränsningar på vilka uppgifter som ska utföras före andra uppgifter, men måste inte göra det. En av uppgifterna för sensorstyrningen är att utifrån en plan för sensoranvändning skapa ett schema för sensoranvändning. I ett schema är varje uppgift inplanerad i ett visst ögonblick i tiden. På varje planeringsnivå finns olika noggrannhet i schemaläggningen. Scemaläggningen ska för varje tidsintervall bestämma antingen

- (i) hur stor procentandel (belastning, λ) som ska ägnas åt varje uppgift eller

- (ii) med vilken tidsutsträckning (t_u) och repetitionsfrekvens (f_R) uppgiften ska utföras.

Att bestämma sensorns belastning under ett visst tidsintervall är mindre restriktivt än att bestämma tidsutsträckning och repetitionsfrekvens eftersom

$$\lambda = t_u f_R.$$

3.1 Beslutsstöd

Uppgiften är att designa ett stödsystem för beslutsfattare som ger dem möjlighet att fatta beslut på en strategisk och taktisk nivå. De flesta bedömmare anser att användare som inte är direkt knutna till sensorplattformar, i fortsättningen kallade externa användare, kommer att få tillgång till information genom användning av tjänster. Tanken är att sätta fokus på de funktioner som ett system utför istället för de komponenter som ingår i systemet. Med andra ord hoppas man att användaren genom en tjänst t. ex. ska kunna beställa att han/hon vill veta vilka nya mål som finns i ett visst område utan att veta vilken sensor som upptäcker de nya målen. Detta är tänkt att dölja ointressanta detaljer angående delfunktioner i systemet. Även om användarens interaktion med systemet ska göras så enkel som möjligt är det viktigt att den inte görs för enkel. Det är viktigt att användaren får möjlighet att påverka datainsamlingen i tillräcklig omfattning.

För en extern användare till sensorsystemet är de delfunktioner som utförs och de personer som är inblandade dolda. De externa användarna interagerar med systemet genom att beställa och få information från sensorsystemet. Det är dock otillräckligt att användaren enbart får tillgång till information om datainsamlingsprocessen då informationen levereras. Det är inte självklart att användaren vet hur man ska beställa den information som uppgiften kräver. Att formulera en beställning kan vara komplicerat. Dessutom riskerar en användare göra misstag då de är upptagna med andra och mer omedelbara uppgifter och krav. Detta gäller speciellt för oerfarna användare. Det är också olyckligt om användarens beslutsprocess ses som ett separat steg i en kedja där all informationsinsamling sker först. Beslut och analys sker ofta parallellt i en svårdelbar process.

En extern användare till systemet kan ges kontroll över vissa aspekter av systemets beteende. Då man betraktar systemet som ett informationsbearbetningssystem som genererar information av en viss typ, vid en viss tid och av en viss kvalitet bör en extern användare kunna kontrollera just dessa aspekter av systemets bearbetning. Om detta är tillräckligt innebär detta en verklig reduktion av komplexitet för systemets användare och inte bara en design för enkelhet, genom att styrningen delegeras till andra användare och till automatiska processer.

Den typ av kontroll som en extern användare har av systemet bör vara:

- Förmåga att formulera, fråga och beställa information av relevant typ.
- Progressrapporter angående insamlingsprocessens status. Till exempel måste den aktuella fasen av insamlingsprocessen och resultatprognos

rapporteras till användaren. Om detta inte är tillgängligt är det oklart för användaren om systemet utför uppgiften eller inte och i så fall hur bra det går. Därmed finns det risk att användaren inte får sin information eller att uppgiften inte omdistribueras eller att för många beställningar skickas.

- Kvaliteten på den insamlade informationen måste bedömmas och visualiseras.
- Det måste finnas stöd för planering av den återstående tiden för att slutföra uppgiften.
- Användaren bör kunna avsluta uppgiften om något oförutsatt inträffar.
- Om någon form av fel uppträder så måste systemet tillåta förhandling om nya försök att lösa informationsbehovet.

Vissa av dessa funktioner påverkar inte insamlingsprocessen på något sätt, men är ändå nödvändiga för att ge användaren en förståelse av såväl den nuvarande processen som framtida beslut.

Rollfördelning

För att försäkra sig om att systemet kan utföra sina uppgifter och för att användare och kontrollsysteem ska kunna styra systemet så behöver det finnas redundans i alla funktioner hos systemet. Det måste alltså finnas ett överlapp bland funktioner så att de kan omdistribueras i systemet vid behov. Eftersom de flesta sensorer är designade för att fungera utan samverkan med andra sensorer finns det ofta en redundans vad gäller upptäckt och lokalisering av objekt i en grupp av sensorer, även om det kan ta olika lång tid att utföra uppgiften för olika sensorer. För igenkänning eller identifiering av objekt finns det i praktiken inte lika ofta redundans. Ibland kan man dock kompensera för bristande upplösning med att utföra mätning på kortare avstånd, från flera vinklar eller under en längre tid. Redundans i dessa avseenden kan också uppnås med erfarna användare som kan tolka sensordata i en mer primitiv form. Utan stöd för upptäckt och lokalisering är detta dock en mycket tidskrävande uppgift.

Även med mycket omfattande planering kan man aldrig försäkra sig fullständigt mot att systemet gör fel. I detta fall har vi dessutom en intelligent motståndare som kommer att göra allt för att undvika att vi kan kontrollera situationen. En viktig förmåga för sensorstyrningen blir därvidlag att stöja beslutsfattarens möjligheter att förutsäga de viktiga styrbesluten i förväg. Förmågan att förutsäga involverar i huvudsak tre processer: 1) generering av plausibla alternativ, 2) karaktärisering av dessa alternativ i förhållande till de aktuella målsättningarna och 3) evaluering och val av de bästa handlingsalternativen givet de aktuella begränsningarna. Mänskliga användare är i allmänhet bra på att evaluera och välja de bästa alternativen, men sämre på att generera alla möjliga lösningar och att bedöma dessa ur alla möjliga aspekter. En viktig funktion för ett system för sensorstyrning är därmed att fokusera på att generera alternativa och intressanta lösningar samtidigt som systemet bedömer dessa lösningar ur de aspekter som systemet kan göra. I detta fall är det speciellt fyra faktorer som systemet är bra på att bedömma:

- Bedömning av osäkerhet i sensordata givet olika förutsättningar. Dvs sannolikhet för upptäckt, falska detektioner, noggrannhet etc. givet olika

sensorplaceringar, mättider och dylikt.

- Bedömning av osäkerhet i lägesbilden givet olika data. Dvs. hur nya sensordata påverkar lägesbilden, hur lägesbilden förändras med tiden och hur olika kommunikationer påverkar lägesbilden.
- Bedömning av krav på kvalitet från omgivande tekniska system. Detta gäller vapensystem eller andra sensorer.
- Bedömning av snabbaste, kortaste eller billigaste vägen att ta sig till en plats för att utföra uppgiften, och för att ta sig därifrån.

Det slutgiltiga valet av plan för sensoranvändningen gör användaren, givet att det finns tillräcklig tid för att göra detta. Om det inte finns tillräcklig tid måste det finnas en tydlig metodik för hur systemet väljer planer. Bara om beslutsmekanismen är transparent kan användaren bedöma när och vid vilka förutsättningar han/hon själv måste fatta besluten eller om det kan lämnas över till den automatiska funktionen. Det är alltså bra om det finns något eller några tydliga kriterier för värdering av planer som användaren förstår. Användaren bör sedan ha möjlighet att bestämma om beslut ska fattas av honom eller automatiskt enligt något kriterium.

Samverkanstyper

Sensorsamverkan innebär en koordinerad användning av sensorresurser. Detta måste ske på en rad olika sätt beroende på de förutsättningar som gäller, se också avsnitt 2.1. Det är för det första inte givet att alla samverkande parter har samma delmålsättningar, t ex kan olika användare ha som målsättning att slå ut olika mål eller att bevaka olika platser, varför konflikter kan uppstå om vad som är de viktigaste målsättningarna. Även om parterna har samma målsättning är det inte säkert att man har samma uppfattning om hur man ska agera för att på bästa sätt ta sig dit. Man kan t.ex. ha olika uppfattningar om vad som är den bästa sensorn för en viss uppgift. Givet att de samverkande parterna har samma delmål och samma uppfattning om bästa beslut i en given situation beror den bästa formen av samverkan fortfarande på vad de olika samverkande sensorerna och användarna vet om varandra och vad de kan kommunicera till varandra. Därtill påverkas samverkan av eventuella skillnader i lägesbild hos olika samverkansparter. Olikheter i lägesuppfattning uppkommer i systemet t. ex. då bandbredden begränsar informationsspridningen, då informationen tolkas olika av olika delsystem (olikheter i modeller) eller av rent beräkningsmässiga skäl (numeriska, olika former av approximativa metoder).

I den sensorsamverkan som diskuteras i denna rapport görs inga specifika antaganden om gemensamma lägesbilder, delmålsättningar eller agerande. Det enda som förutsätts är att parterna har samma övergripande målsättning, att de är villiga att åta sig uppdrag från varandra (eventuellt emot en motprestation från uppdragsgivaren) och att man är villig att ingå mer eller mindre beständiga allianser för att uppnå sin målsättning. I och med att en viss grupp av producenter har åtagit sig en uppgift så har de också samma tillfälliga målsättning och är beredda att samarbeta på bästa sätt för att uppnå denna. Om man antar att samverkande sensorer eller sensorplattformar har (i princip) samma lägesbild och att parterna känner till varandras beslutskriterier finns helt andra förutsättningar för samverkan. Detta kan ibland förutsättas om till-

räckligt stor bandbredd finns tillgänglig för att alla relevanta observationer av mål ska kunna kommuniceras och plattformarna samtidigt är tillverkade av samma tillverkare. I detta fall kan alla parterna enkelt skatta vad de andra parterna ska göra i en viss situation, t ex samma som man själv hade gjort, och anpassa sitt beteende efter det utan att någon koordineringsprocess måste utföras.

Planvärdering ur informationsperspektiv

Värdet av en plan för sensorstyrning beror i hög grad på den information som blir resultatet av planens implementering. Vid planeringsstillfället kan dock inte resultatet vara känt, utan det måste skattas. Detta sker med fördel med hjälp av datormodeller av de objekt, i första hand sensorer och mål, som planen gäller. Det är, som tidigare diskuterat, i många fall svårt för en användare att bedöma resultatet av datainsamling samtidigt som detta är en uppgift av en typ där datorernas beräkningskraft kommer till sin rätt. En automatisk skattning av resultatet av en datainsamling betyder dock att det uppskattade värdet av de planer vi skapar blir beroende av tillförlitligheten i de modeller vi använder och egentligen av modeller av alla de processer som ingår informationsbearbetningen.

Värdet av en plan för sensorstyrning kan inte bedömas enbart utifrån den information som uppskattas att planen samlar in, utan beror också på vårt utgångsläge vad gäller information, dvs. vår a priori-information. Det enklaste exemplet på detta är det triviala fall då vi redan har den information som planen är skapad för att inhämta, i vilket fall planens värde är noll för oss. Lika klart är att värdet är mycket stort då vi inte har någon a priori-information som är relevant för vår uppgift. Det finns dock en rad fall där emellan då värdet inte är lika enkelt att bedöma. En central slutsats från dessa exempel är ändå att värdet av en plan för sensorinhämtning inte kan bedömas strikt utifrån vad sensorn levererar, utan måste ta hänsyn till utgångsläget. Det är vad vi tror om hur pass mycket den planerade sensorinformationen *förbättrar* vår lägesbild som är den relevanta frågan vid värdering av planen.

Värdet av en plan för sensorstyrning beror också på hur vi tror att information åldras. Om informationen fort blir gammal så måste uppgiften göras om med kortare tidsintervall. Den modell som används för att bedöma hur fort informationen åldras (hur fort läget kan förändras) påverkar alltså vår bedömning av hur ofta en sensor måste utföra en uppgift för att en viss kvalitet ska upprätthållas.

Slutligen kan värdet av en plan för sensorstyrning också bero på både den strategi för fusion som används för att sammanställa sensordata till information i en relevant lägesbild och på den information som kommuniceras i nätverket. Kommunikationsstrategin och fusionsstrategin beror av varandra. Eftersom fusionsstrategin påverkar hur vi värderar nyinkommen information påverkar denna även hur man bedömer den optimala sensoranvändningen. Vilken typ av sensordata som kommuniceras, dvs. om det är rådata, rådata tolkade till separata observationer eller målspar där information har aggregerats, påverkar vilken fusion som är rimlig att göra.

Då flera plattformar ska samverka i ett nätverk finns några olika, tydliga strategier för fusion och kommunikation:

- (i) Sensorn, sensorplattformen eller någon annan producent tar över uppgiften från konsumenten. Detta leder till att den information vi får levererat helt ersätter vår egen information angående uppgiften. Konsumenten behöver inte själv ägna sig åt att förutsäga vilken information som sensorn kommer att producera och hur denna ska tolkas och fusioneras med vår tidigare information. För att kunna skatta resultatet av en plan måste planeraren bedöma resultatet av både datainsamling och all databearbetning hos producenten.
- (ii) Uppgiften utförs fullständigt både av konsumenter och av producenter. I detta fall använder vi delvis vår egen kunskap och modeller för att förutsäga lägesutvecklingen. Då konsumenten ska skatta värdet av den levererade informationen måste konsumenten betrakta hur trovärdig den egna skattningen är i förhållande till det som levereras av producenterna.
- (iii) Konsumenten får enbart nya observationer levererade. I detta fall måste konsumenten enbart använda sin modell av sensorerna och inte av producenternas databearbetning i sin skattning av informationens värde.

Då planeringen ska ske för en grupp av sensorplattformar måste modellerna gälla hela det resultat som kan levereras från plattformarna och inte bara en enskild sensor på plattformen. Med andra ord kräver verktyg för planering av sensorsamverkan flera modeller på olika nivåer, med olika grad av detaljering och där delvis olika saker ingår i modellen. I detta dokument antas att värdet av sensordatainsamling kan bedömas av konsumenten. Det är endast denne som kan bedöma hur värdefullt tillskottet är. Detta kräver att konsumenten har tillgång till en modell av producenten.

Tillgänglighet av modeller

De modeller som används för att skatta och förutsäga värdet av att utföra planer för sensoranvändning påverkar vilken plan som kommer att väljas. Hur måste dessa modeller se ut? I avsnitt 4 beskrivs att planering sker på olika hierarkiska nivåer, där de olika nivåerna planerar för olika typer av sensorresurser. Planeringsverktygen på varje nivå måste ha tillgång till modeller över de resurser som de planerar.

En möjlighet är att lämpliga modeller över resurserna görs tillgängliga via nätverket. Detta kommer dock i allmänhet att kräva en stor bandbredd, vilket som tidigare nämnts inte kan förutsättas. Alltså kan modeller inte utan vidare överföras under uppdragets utförande. Härvidlag skiljer sig förutsättningarna för planeringen på en viss bestämd plattform och planeringen där ett antal plattformar ska samverka. För den enskilda plattformens egna sensorer finns goda möjligheter att bygga upp detaljerade modeller över de olika former av data som dessa kan leverera till plattformens lägesbild. Detta gäller även om plattformens sensorer i viss mån är utbytbara. Troligen finns ändå inte möjligheter att använda mer än ett fåtal sensorer.

Det finns ett antal möjligheter för att göra relevanta modeller tillgängliga:

- Varje planeringsverktyg har en intern, generell modell för olika typer av resurser som den använder oaktat specifika karaktäristika hos sensorn.
- Varje planeringsverktyg har en intern, generell modell för olika typer av

resurser, men som är parametriserad på ett lämpligt sätt och där varje specifik sensor kommunicerar en aktuell parameteruppsättning till planeringsverktyget.

- Då planeringsverktyget har tillgång till fast uppkoppling med hög bandbredd kan modeller kommuniceras vid behov. Eftersom mycket av den planering som sker på högre nivåer inte behöver ske från en rörlig plattform, och dessutom sker under i sammanhanget långa tidsperioder är det rimligt ur bandbreddssynpunkt att kommunicera modeller.

Även i de fall där noggranna modeller av sensorer kan göras tillgängliga är det inte säkert att dessa kan användas i sensorplaneringen. Detta beror på att noggranna modeller i allmänhet kräver långa beräkningstider, oftast kan de endast användas för att förutsäga resultat under korta tidsperioder och kräver noggranna modeller av spaningsobjekten och dessas omgivning. Med andra ord kan helt olika modeller för planering av sensorsamverkan vara tillgängliga beroende på var planeringen sker och vilka möjligheter till kommunikation av modeller som finns.

Kvalitetsmått för sensorinformation

Tillräcklig kvalitet är ett knepigt begrepp som beror på många faktorer. En faktor är kopplad till den acceptabla risken att fatta ett felaktigt beslut och därmed skada eller döda en av de egna eller en oskyldig civil. Kravet på kvalitet kan vara kopplat till uppgiften, ROE¹ eller begränsas av tillämpning enligt Folkkrätten. Kvalitet kan beskrivas som säkerheten i informationen och därmed kopplas till ansvaret för handlingen som grundar sig på informationen. Därmed kan den som är ytterst ansvarig vilja uppfatta med egna sinnen vad sensorer registrerat. Det kan innebära behov vid vissa tillfällen att sända ut stora datamängder till plutoner med rörliga fordon, vilket kan ta avsevärd tid. I värsta fall via flera nät som då blockeras under längre tider.

Då planer för sensoranvändning ska skapas måste de konsumenter och producenter som finns i nätverket ha ett gemensamt sätt att beskriva och mäta kvaliteten hos de tjänster som produceras. Om kvalitet uttrycks eller tolkas på olika sätt av olika producenter blir det svårt för en konsument att göra en rättvis bedömning mellan producenternas tjänster. Om en producent och en konsument har olika sätt att se på kvalitet ökar också risken att konsumenten beställer information från fel producent. Kvalitet vad gäller sensorinformation har huvudsakligen att göra med fyra aspekter:

- (i) Den typ av information som levereras.
- (ii) Den osäkerhet som är förknippad med informationen.
- (iii) Det tidsintervall informationen levereras.
- (iv) Hur ofta informationen levereras.

Detta betyder inte att det enbart är dessa aspekter som är viktiga vid planering av sensoranvändningen, men att andra aspekter gäller något annat än just informationens kvalitet. En gemensam beskrivning av kvalitet hos sensordata måste hantera dessa aspekter tillsammans.

1. ROE = Rules Of Engagement

Att kvaliteten har att göra med att rätt typ av information levereras är ganska uppenbart. Det är dock inte självklart hur detta ska bedömas i alla fall. Att kvaliteten på en tjänst är låg om producenten levererar information om ett måls position då information om målets klass är beställd är klart. Det är dock kanske inte lika klart hur man ska bedöma kvaliteten då en producent levererar information om vilken riktning ett mål befinner sig då positionen är beställd. Det samma gäller om en klassificering levereras då en identifiering är beställd. Om dessa partiellt fullgjorda leveranser har ett acceptabelt värde kan inte avgöras i förväg, utan beror på omständigheterna i varje enskilt fall.

En väsentlig kvalitetsaspekt kan gälla vid vilken tid som en insamling och leverans av information kan ske. I vissa fall är det viktigt att informationen samlas in och levereras så snart som möjligt, medan det i andra fall kan vara bra om informationen samlas in vid ett senare tillfälle. En riktigt noggrann positionsangivelse för ett rörligt mål kan t. ex. vara viktigt enbart vid det tillfälle målet ska bekämpas.

En närbesläktad kvalitetsaspekt gäller hur ofta information samlas in och levereras. Om den information en konsument söker gäller positionen för ett potentiellt rörligt mål, så måste information samlas in med jämna mellanrum. Därmed är hög insamlingsfrekvens en väsentlig kvalitetsparameter. Om informationen istället gäller klasstillhörigheten hos ett visst mål så behöver denna information bara samlas in en enda gång.

Många system för lägespresentation där sensordata och datafusion är en viktiga delar använder sannolikhets teori för att beskriva osäkerheten i sin lägesbeskrivning. Detta gäller speciellt för beskrivningar av osäkerhet i sensordata. Lägesbeskrivningen sker då i termer av att sannolikheten för att ett mål befinner sig på en viss plats, sannolikheten för att målet har en viss typ, etc.. Ännu vanligare är kanske att medelvärden och kovarianser används i lägesbeskrivningen. Det är dock svårt att använda sannolikhet som direkt beskrivning av kvaliteten i sensordata. Det som istället behövs är ett mått som beskriver den totala osäkerheten och som beror av hur sannolikhetsfördelningen ser ut. Ett exempel på detta är fördelningens entropi. Detta kan användas som mått på hur väl lokaliserad fördelningen är. Om all sannolikhet är samlad i ett tillstånd är entropin noll. Entropin uppnår ett maximalt värde om alla tillstånd har samma sannolikhet.

Att det finns olika typer av kvalitetsparametrar kan leda till att det blir svårt för en konsument att avgöra vilken tjänst som bäst tillgodoser behoven. Då planering av sensoranvändning ska ske kan ännu svårare problem uppstå. Det är nämligen rimligt att värdera en plan högre om den leder till bättre kvalitet i konsumentens lägesbild. En plan innehåller dock många olika typer av uppgifter. För att bestämma kvaliteten hos en plan krävs det att kvalitetsaspekter för olika typer av uppgifter kan jämföras och sättas samman.

Att väga samman alla dessa olika kvalitetsparametrar till en enda "tjänstekvalitet för sensordata" kan visa sig vara mycket svårt, om inte omöjligt. Ofta är kvalitetsbedömningen knuten till en viss typ av uppgift. Detta hjälper dock inte då tjänster av olika typ och med olika kvalitetsbegrepp ska jämföras. Om en automatisk bedömning av den bästa tjänsten ska göras måste ändå parame-

trarna vägas samman på något sätt. På vilket sätt detta ska ske bör styras av användaren.

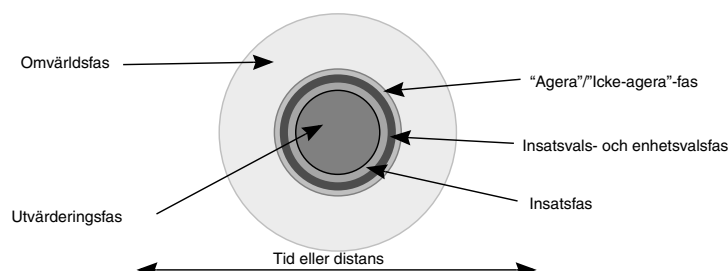
Det kan finnas skäl att knyta ett bestämt krav på kvalitet till varje uppgift. Detta kan användas för att sätta ett tak på hur väl uppgiften utförs. Avsikten med detta är att sensorerna inte ska ägna tid åt att förbättra uppgifter som inte behöver bli utföras bättre. Kvalitetskravet gör att man kan mäta hur väl uppgiften utförts på en enkel skala mellan 0 och 100%. Om inget explicit krav finns som kan användas som tak för hur väl uppgiften ska utföras, kan uppgiften alltid utföras bättre. Givet att ett kvalitetskrav finns kan också tjänstens värde mätas i relation till graden av kravuppfyllelse. Kvalitetskravet tydliggör också för alla användare och operatörer vilka behoven faktiskt är. Användarna kan också se vilka möjligheter att uppfylla kraven som olika system har.

3.2 Verksamhetsmodell

Om alla som skall använda sensordata alltid begär att få maximala prestanda så kommer det hela tiden att uppstå svårlösta konflikter och hela idén med resursdelning kommer att förfelas. Istället bör man analysera den verksamhet som skall bedrivas och de krav på information som gäller just den och då uppstår frågan om hur verksamheten egentligen ser ut. Nedanstående modell togs fram av en studiegrupp som hade som uppgift att studera ett försvarsmakts-gemensamt sensorsystem. De kom fram till att all sensorrelaterad verksamhet bestod av ett antal faser som följer på varandra, se figur 3.1.

- Omvärldsfas. Här är uppgiften att studera den relevanta omvärlden och i denna detektera avvikelser från normaltillståndet. Vad som skall anses normalt kan variera kraftigt.
- "Agera"/"Icke-agera". I denna fas avgör man om en detekterad avvikelse skall leda till en åtgärd, dvs en insats, av något slag.
- Insatsvals- och enhetsvalsfas. När det avgjorts att en insats skall göras så måste man avgöra vilken typ av insats som har bäst verkan under rådande omständigheter. Dessutom skall man avgöra vilken tillgänglig enhet som skall utföra insatsen.
- Insatsfasen. Insatsens utförande kan exempelvis kräva att vapen sätts in eller att en händelse dokumenteras noggrannt.
- Utvärderingsfas. I den sista fasen avgörs det om den utförda insatsen haft den avsedda verkan eller ej.

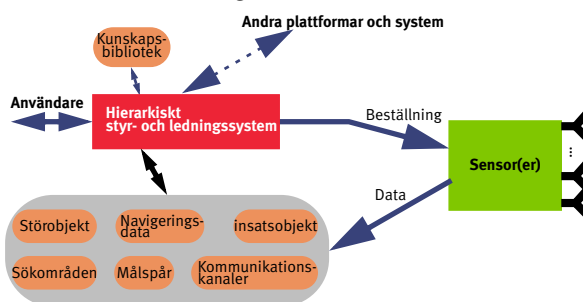
Vid en given tidpunkt finns det multipla befattningshavare som kommit olika långt genom de olika faserna. En del avbryter mitt i och börjar om med omvärldsfasen likaväl som att man kan behöva återgå från utvärderingsfasen till insatsvalsfasen igen ifall det visar sig att insatsen misslyckats. Befattningsharna kan dessutom ha olika mål med sina verksamheter vilket påverkar deras krav på information.



Figur 3.1: En enkel verksamhetsmodell som kan användas när man analyserar hur krav på informationsbehov skall ställas

3.3 Sensormodell

En sensor som skall anslutas till NBF behöver ha ett gränssnitt utåt som funktionellt bör se likadant ut oavsett vilken sensor vi talar om. Den inre strukturen hos en sensor illustreras av figur 3.2. Notera att de yttre användarna eller



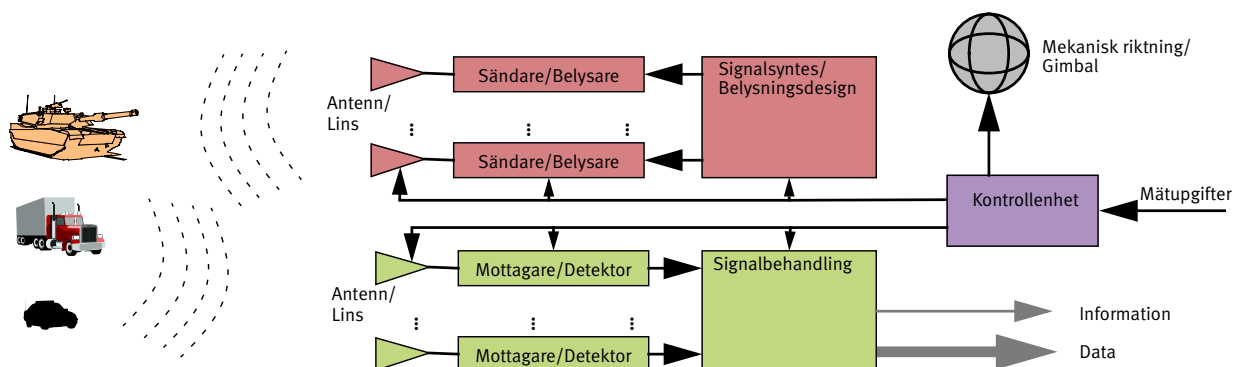
Figur 3.2: En sensor består förutom själva sensorn, även av styrsystem och en samling data, både statiska och dynamiska.

användarprocesserna har kontakt med sensorns styrsystem som i sin tur ger uppdrag till sensorn som lämnar någon form av resultat att bearbeta eller skicka direkt tillbaka till den yttre användarprocessen. Det finns många olika typer av sensorer. Dessa bygger på olika fysikaliska principer med skilda egenskaper ur spaningshänseende. Samtliga dessa sensorer bör ha något slags kontrollsystem som styr vad sensorn levererar ut för slags data, kontrollerar datakvalitet samt administrerar vem som får använda sensorresursen för tillfället. Det som kan påverkas i ett sensorsystem beror naturligtvis av sensorn självt, men det går också att skapa en generisk modell av en styrbar sensor där alla styrbara parameterklasser finns med, se figur 3.3. Exempel på parameterklasser är

- Avsökningssmönster (skanning)
- Antal kanaler vid belysning
- Vågform vid belysning
- Önskad energifördelning i rummet vid belysning, relativt mekanisk riktning
- Önskad mekanisk riktning vid belysning
- Önskad känslighetsfördelning i rummet vid mottagning, relativt

mekanisk riktning vilket påverkar val av och justering av optik eller antennkonfiguration, lobformning etc

- Antal kanaler vid mottagning
- Önskad mekanisk riktning vid mottagning
- Önskad signalbehandling som normalt är matchad med belysningens vågform och/eller den eftersökta informationen



Figur 3.3: Schematisk sensorhårdvara. Moderna sensorer har många kanaler, både på den belysande och den mottagande sidan. Passiva sensorer saknar den belysande sidan helt och hållet. En sensor kan vara monterad på ett vridbord, i ett eller flera dimensioner, så att synfältet kan regleras oberoende av plattformens färdriktning.

För en specifik sensortyp kan en del av dessa parameterklasser vara icke påverkbara eller saknade. Som exempel kan nämnas att en flygburen radar som liknar SMW:s Erieye saknar den mekaniska styrningen. En kamera för synligt ljus monterad på en UAV typiskt har med den mekaniska styrningen, men har endast en mottagarkanal samt saknar helt belysningssidan.

Framtida moderna sensorer t.ex. multifunktionsradarer eller multifunktions-lasrar kommer att ha olika arbetsmoder specificerade i ovanstående parameterklasser. En del av dessa kan ha speciell funktion och bara utnyttja delar av sensorn som till exempel bistatiska mätmoder som kan öka prestanda eller ge oss andra fördelar under speciella omständigheter.

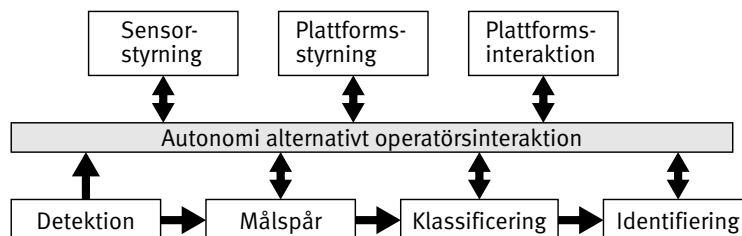
3.4 Sensordataanalys i autonoma system

Robusta metoder för detektion, association, geolokalisering och olika typer av bildrelaterad återkoppling är alla fundamentala kritiska funktioner för att ett autonomt system skall kunna fatta egna sunda beslut vid en interaktionen med en icke tillrättalagd omvärld.

Autonomi versus operatörsinteraktion

I situationer då autonoma system skall nyttjas för spaning och verkan måste viss typ av automatisk detektion nyttjas. Ju högre grad av autonomi hos systemen, och därmed minskad grad av operatörsmedverkan, desto större krav ställs på den autonoma förmågan att ur sensordata kunna detektera eftersökta objekt på marken även i de fall signal/brusförhållandet mellan objekt och bak-

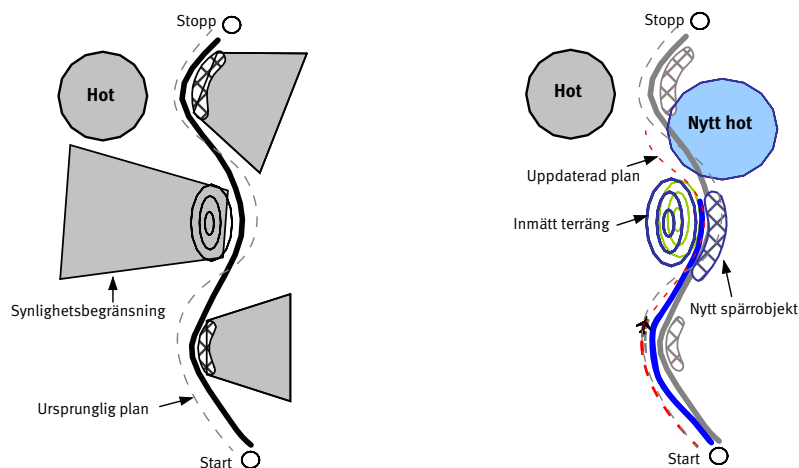
grundsklottret är svagt. Se figur 3.4, här illustreras hur en signalbehandlingskedja för ett autonomt system kan se ut där den klassiska kedjan av sensordataanalys via förmågorna detektion-klassificering-igenkänning av mål kompletteras med kapaciteten att påverka datainsamlingen via sensor- och plattformstyrning. Denna kapacitet kommer i närtid ske via kvalificerad interaktion med operatör för att på längre sikt kunna ersättas med autonoma metoder.



Figur 3.4: Signalbehandlingskedja för detektion/igenkänning vid generering av markläge och dess påverkan på styrning av sensorer och plattform samt interaktion med andra plattformar. Interaktionen kan ske autonomt eller via en operatör.

Vägvalsplanering

En autonom sensorplattform behöver veta inte bara vart den skall bege sig för att sensorn eller sensorerna skall kunna lämna de önskade resultaten utan också vilken väg som skall väljas. På en hög nivå anges typiskt enbart slutmål och ett antal kriterier för hur vägen till målet skall väljas, dessa kan innehålla hot som skall undvikas eller kanske att visst område skall passeras med förhöjd beredskap. Till sist kan sensorplattformens egna sensorer användas under färd. Vägvalet kan typiskt utföras som ett planeringsproblem där den initiala planen uppdateras under plattformens färd både genom de egna sensorerna och genom information från yttre enheter, se figur 3.5. I vår planeringsmodell som beskrivs i avsnitt 4 så sker den här typen av planering på den lägsta nivån.



Figur 3.5: Planering av en sensorbärande UAV:s färdväg med återkoppling från sensorn för att uppdatera färdplanen.

3.5 Ansats till metod för sensorval

Målet på lång sikt är att hitta en metod som gör det möjligt för oss att planera markspaningsinsatser, som hjälper oss att välja rätt sensortyp, rätt plattform och rätt beteende för multipla plattformar och sensorer inför en kommande operation. Det är ingen lätt sak att åstadkomma ett sådant viktigt planeringsverktyg. Man kan dock säga något om vilka egenskaper som ett sådant bör ha.

En av funktionerna i ett planeringsverktyg är att uppskatta relativ nytta respektive relativ kostnad för såväl enskild sensorinsats som den uppskattade sekvensen av sensorinsatser i den totala operationen som planläggs. Nyttan respektive kostnad låter ju enkelt och bra men i praktiken består dessa siffror av en stor mängd mindre prestandauppskattningar respektive riskuppskattningar förutom renodlade kostnader som i sin tur beror av andra faktorer. Nedan kommer exempel på funktioner för att bedöma nyttan:

Sannolikhet för att detektera målet med viss risk för falsklarm:

$P_{detektion}(avstånd, aspektvinkel, miljö, tid, \dots)$

Sannolikhet för att klassificera målet med godtagbar konfidens:

$P_{klassificering}(avstånd, aspektv., miljö, tid, \dots)$

Sannolikhet för att positionera målet med önskade krav på noggrannhet:

$P_{positionering}(avst.ånd, aspektv., miljö, tid, \dots)$

En av kostnadsfaktorerna är sannolikheten för att ej kunna utföra den avsedda mätningen är: $P_{ej\ genomförd}(hot, miljö, tid, \dots)$ som i sin tur är sammansatt av flera andra sannolikhetsmått. Som en del i planeringssystemet skall man avgöra hur man värderar dessa nyttomått respektive kostnadsått mot varandra. I dessa kostnader och nytta ingår att bedömma svårigheter som härrör från bakgrunden respektive motsidans aktiviteter, dessa behöver därför modelleras och hanteras på ett adekvat sätt, vilket i sig innebär utmaningar.

Det är ganska svårt och arbetsamt att bestämma sannolikhetsfunktioner av den här typen med stor statistisk säkerhet eftersom det kräver många mätningar under olika situationer. En mer framkomlig väg är förmodligen att basera dem på resultat från relativt noggranna simuleringar. Ett steg i denna riktning är simulatorer av liknande typ som tagits fram inom SEMARK och börjat användas inom projektet, se [4]. Dessa simuleringsverktyg är framtagna för att noggrannt kunna förutsäga sensorresultat baserad på modeller av sensorn, målobjekt samt miljön dvs terrängen runt objekten samt atmosfär, väder, rök etc.

3.6 Resursallokering

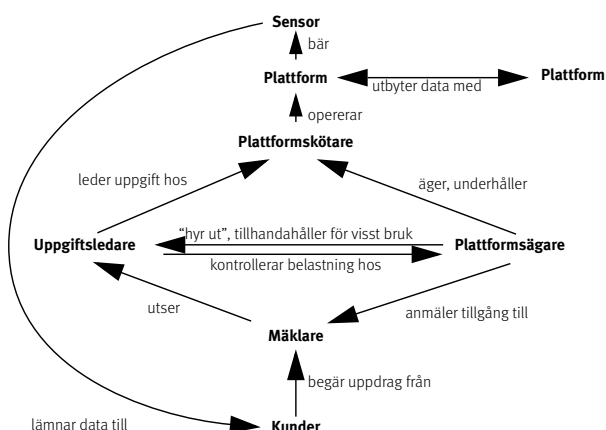
Traditionellt har sensorer tillhört olika militära förband som var och en haft total kontroll över sina sensorer, eventuella samutnyttjanden har alltid skett på det "ägande" förbandets villkor. Detta långsamma traditionella sätt att samutnyttja sensorer kommer inte att fungera i en framtid där i princip alla sensorer skall kunna samutnyttjas. Det traditionella sättet leder till att nyttjandetillstånd hanteras för långsamt, med för stora tidsintervall och för slumpmässigt

för att en befattningshavare skall se resursen som en viktig tillgång. Resursägaren tenderar att hålla för hårt i "sin" resurs eftersom han inte törs låna ut den av rädsla att själv inte kunna utnyttja sin resurs när han behöver den. Hanteringen av sensorutnyttjande (resursallokering) måste därför systematiseras och formaliseras, samt få ett tekniskt stödsystem. Detta är också ett exempel på sensorstyrning med medellång tidshorisont om vilket vi har skrivit tidigare. Man kan också betrakta resursallokeringen som en del i den totala planeringsprocessen på en nivå där vi fördelar uppgifter att inhämta information på sensorplattformar.

I detta förslag till hur resursallokering kan hanteras, som vi tidigare fört fram i syfte att lyfta fram problematiken och ha något att diskutera kring, har vi velat åstadkomma följande:

- Resursallokeringsprocessen måste gå snabbt
- Alla resursanvändare skall i princip behandlas lika men med olika auktoritet
- Det skall finnas utrymme för egna initiativ

Den föreslagna modellen är ett rollspel mellan olika befattningshavare med olika uppgifter som beskrivs i figur 3.6. I modellen så *köper* man sensortjänst-



Figur 3.6: Resurshanteringsmodell baserat på olika renodlade roller och genom att köpa tjänster med något slags betalningsmedel.

ter med hjälp av något slags *betalningsmedel*. Detta betalningsmedel kan vara baserat på en global prioritet eller på en fiktiv valuta. Båda systemen har fördelar men också nackdelar. Den främsta fördelen med betalningsmedel baserat på prioritet är att det är ett förhållandevis enkelt system att förstå och kontrollera, nackdelen är att det är mycket svårt att göra nödvändiga globala uppdateringar utan att det uppstår fördröjningar eller att undvika känslighet för fel i centrala noder. Fördelen med en fiktiv valuta är att det är ett decentraliserat system som anpassar sig självt vid störningar, nackdelen är att det måste finnas en rundgång av denna valuta och det finns risk för samma problem som i det ekonomiska livet t.ex inflation, deflation eller lågkonjunktur. Se bilaga A för ett mer konkret exempel på användning av den föreslagna resursallokeringsmodellen.

En sådan här resursallokeringsmodell kan implementeras ovanpå ett planeringssystem av det slaget som beskrivs i avsnitt 4.1.

Det finns naturligtvis många andra resurstyper som vi inte behandlar i denna rapport som också skulle kunna hanteras på liknande sätt som sensorer. En sådan resurs som vi identifierat är kommunikationsbandbredd och tidsfördröjning.

3.7 Automatiska marknadsmekanismer för sensorsamverkan

En mekanism för att koordinera sensorersurser baserar sig på en idé om att producenter och konsumenter köper och säljer tjänster på en öppen marknad. Detta kräver att det finns en fiktiv valuta att handla med och att det finns en väldefinierad process för hur producenter och konsumenter kan handla med varandra. Vanligen brukar en sådan mekanism förutsätta att alla parter är ekonomiskt rationella och vill maximera sin egen vinst. Detta betyder inte att parterna är ointresserade av samverkan, men det betyder att de måste tjäna mer på att samverka än att inte göra det.

Tanken med detta är bland annat att den konsument som är mest villig att betala ska vara den som har störst behov av resursen i just det läge som råder. En annan tanke är att priset på resurserna ska regleras så att de mest behövda resurserna också är de mest dyrbara resurserna. Detta ska leda till att de konsumenter med behov som kan tillgodoses av mindre dyra resurser ska vända sig till dessa, eftersom priset där är lägre. Om en producent är vinstmaximerande så kan vi anta att den strävar efter att sätta sina priser på ett sådant sätt så att den arbetar så mycket som möjligt. Det kan dock vara rationellt för en producent att ha en viss ledig kapacitet om den kan förvänta sig att nya uppgifter kommer att komma in vid en senare tidpunkt.

Hur väl en marknadsmekanism fungerar beror på många saker. Hur priset på sensorresurser sätts från början är en fråga. Om detta sätts för högt kommer inte sensorerna att användas alls. Så länge producenterna anpassar sitt pris till vad de kan få betalt för, bör inte detta leda till några problem annat än i en inledande fas av marknadssystemets användning. Hur den fiktiva valutan fördelas mellan olika konsumenter från början och hur konsumenterna får tillgång till förnyad valuta är andra viktiga frågor. Ett sätt att lösa vissa av dessa problem är genom att låta konsumenternas tillgängliga valuta vara omvänt proportionell emot den kvalitet varmed ens uppgift är löst. Detta skulle innebära att varje konsument har tillgång till mer valuta om producenterna löst uppgiften med dålig kvalitet, varefter konsumenten i ett senare tillfälle har möjlighet att betala mer för att få sin uppgift utförd. Detta skulle också innebära att en producent som maximerar sin vinst maximerar den globala kvaliteten i de uppgifter den utför.

Om den tillgängliga valutan beror på hur stor kvalitetsförbättring som sker genom insatsen leder detta till att man jämnar ut den kvaliteten med vilken de olika uppgifterna utförs. Om tillgången till valuta beror på hur nära man har uppnått sina kvalitetsmål kommer systemet att se till att alla är lika nära att uppnå sina mål. Problemet är att det kan vara bättre att göra 5 uppgifter till

100% bra och 5 uppgifter 90% bra än att göra 10 uppgifter 95% bra. Det är troligen bra att slutföra uppgifter.

En faktor som bör påverka kostnaden för sensoranvändning är tiden det tar att utföra en uppgift. Om priset beror på tiden leder kostnadsminimering för konsumenten till att sensorerna utnyttjas så lite som möjligt. En mycket vanlig modell för prissättning av olika resurser är att de är förknippade med en viss kostnad per tidsenhet. Då en producent erbjuder flera tjänster kan priset på dessa sättas olika. Om det sedan finns en fungerande marknad för producenter och konsumenter så kommer priset per tidsenhet på tjänster med hög kvalitet att öka och tvärtom.

Det finns inte något enkelt och entydigt sätt att mäta kvalitet för olika typer av uppgifter. Oavsett om något sådant sätt existerar idag eller om kvalitet används för sätta priser i en marknadsekonomi, så måste något sätt att mäta tjänsternas värde definieras. Detta är en förutsättning för att automatiskt kunna jämföra och prioritera mellan olika typer av tjänster.

3.8 Förhandling

En förhandling om sensorresurser innebär att koordineringen av tillgängliga sensorresurser sker genom en process där alla inblandade parter deltar och där resultatet är en kompromiss mellan olika behov och krav. Det huvudsakliga alternativet till en förhandling om resurser är att en användare eller ett system fattar ett ensidigt beslut över hur sensorresursen ska användas. Syftet med att istället låta olika producenter och konsumenter förhandla om resurserna är att besluten ska bli bättre, framför allt eftersom risken minimeras för att beslut fattas som är riktigt dåliga ur någon parts synvinkel. Antalet allvarliga fel minimeras troligen till priset av att processen tar längre tid.

I ett nätverk av samverkande sensorplattformar där plattformarna är rörliga, har olika typer av sensorer och där sensorerna inte från början har designats för att samarbeta på speciellt utpekade sätt, finns speciella förutsättningar för samverkan. För det första finns information och kompetens om läget, sensorerna etc. distribuerat bland användare och system i nätverket. Informationen om hur sensorerna ska används på bästa sätt finns därmed inte samlad på en central plats i nätverket. För det andra så har besluten om resursernas användning konsekvenser i flera olika avseenden. Besluten kan innebära att t ex plattformsoperatörer är tvingade att ta risker som är olämpliga. Användandet av en viss resurs kan innebära att taktiska eller strategiska planer avslöjas. Dessa förutsättningar innebär att besluten inte kan fattas utan någon form av process där all relevant information har spridits i nätverket.

Man kan alltså inte förutsätta att all information kan göras tillgänglig till en bestämd part där ett optimalt beslut kan fattas. Istället måste vissa beslut fattas distribuerat. I den mest allmänna situationen kan ingen part kan antas ha en fullständig bild över läget, men ändå ha tillgång till unik information. Detta kräver en process där de olika parterna kommer överens om en lösning, en förhandling. Generellt sett så är syftet med en förhandling att uppnå ett avtal. Detta avtal ska tillfredsställa så många som möjligt av alla målsättningarna för

de parter som ingår i förhandlingen. Ett avtal kan ses som en gemensam plan för sensoranvändningen.

Det finns åtminstone två delprocesser där förhandling kan vara en bra lösning. Den ena av dessa delprocesser är då flera olika användare måste komma överens om vem av dem som ska få en viss uppgift utförd. Detta gäller om det inte varit möjligt att utforma en plan som uppnår acceptabel kvalitet med de resurser som är tillgängliga. Då kan det vara nödvändigt med en förhandling med andra användare om de kan acceptera en sämre kvalitet på någon av sina uppgifter genom att släppa en viss del av en resurs. Den andra delprocessen är då en högre nivå av styrning har åtagit sig att utföra en uppgift åt en användare. I detta fall gäller det att utföra uppgiften med en så hög kvalitet som möjligt och till ett så låg kostnad som möjligt. Detta kan då ske genom en automatisk förhandling om villkoren för att utföra en viss uppgift med tillgängliga producenter. Automatisk förhandling måste ske i en formell process med väldefinierade beslutsriterier. Detta måste utgå från ett sätt att väga samman olika kvalitets- och kostnadsaspekter.

Förhandling mellan användare

Förhandling mellan olika användare kan behövas om det inte varit möjligt att lösa en uppgift med acceptabel kvalitet genom de resurser som är tillgängliga. Vissa användare kan då behöva acceptera en sämre kvalitet på någon av sina uppgifter genom att släppa en viss del av en resurs. Detta bör ske genom att planeringsverktyget tillverkar ett antal nya, alternativa planer för sensoranvändningen och kommunicerar dessa till de användare som berörs. Alla användare får sedan ta ställning till om de kan acceptera någon av de nya planerna. Om de olika användarnas uppgifter är förknippade med olika prioritet kan detta användas för att avgöra konflikter. En prioritering mellan uppgifterna kan göras av en överordnad användare eller av ett regelsystem som kan ta över denna uppgift då användaren är upptagen. Det är inte nödvändigt att prioritera mellan alla uppgifter i systemet, bara då användarna inte kan komma överens i en förhandling.

Automatisk handel med fiktiv valuta

Automatisk handel kan ske mellan ett planeringsverktyg på högre nivå (konsumenten) och de sensorplattformar som är tillgängliga (producenterna). Handeln gäller utförandet av tjänster till ett pris. För att det ska finnas någon vilja att handla, så måste det finnas incitament för producenterna att utföra uppgifterna. Detta sker genom utbetalning av en fiktiv valuta. Prissättningen bör vara konstruerad så att producenterna kan ta för givet att egen vinstmaximering är det samma som att den totala nyttan blir så hög som möjligt. Den automatiska mekanismen bör se till att så många uppgifter som möjligt blir lösta, till en så hög kvalitet som möjligt. Den bör också se till att viktiga uppgifter löses före oviktiga uppgifter.

För en konsument är värdet av en plan detsamma som det konsumenten är villig att betala minus vad avtalet säger att konsumenten måste betala till producenterna. Det konsumenten är villig att betala beror både på värdet av planen för konsumenten och på den totala mängd valuta som finns kvar då producenten betalats. För en producent är värdet av planen den mängd valuta som tjänas på att utföra uppdraget minus det man i sin tur måste betala för att få deluppgifter utförda.

Priset är en signal till olika konsumenter om hur pass bra resultatet blir. Om priset med jämna mellanrum uppdateras baserad på beläggning ger det också en signal om hur upptagen en viss resurs är.

Process för koordinering av sensorresurser

Den process som sker för koordinering av sensorresurser kan gå till ungefär enligt nedan med användning av en marknadsmekanism:

- (i) Användaren skapar en uppgift åt styrsystemet genom ett användargränssnitt.
- (ii) Styrsystemet känner till vilka tjänster som finns tillgängliga, med vilken kvalitet dessa kan bli utförda och vilken kostnad per tidsenhet som producenten har för respektive tjänst. Detta har annonserats på nätverket. Kostnaden per tidsenhet uppdateras fortlöpande enligt producentens erfarenhet av marknaden.
- (iii) Styrsystemet skapar genom sitt planeringsverktyg ett antal relevanta planer för att utföra uppgiften. I planen ingår generellt sett att flera olika tjänster ska utföras av flera olika producenter. Tidsåtgången för varje tjänst skattas av konsumenten i planen. Detta betyder att konsumenten genom att känna till kostnaden per tidsenhet kan skatta den totala kostnaden för varje tjänst. Den totala kostnaden för hela planen måste sedan summeras.
- (iv) Konsumenten frågar de tilltänkta producenterna om de verkligen kan utföra planen, planen förankras. Eventuellt kan konsumenten fråga om möjligheten att utföra flera, alternativa planer.
- (v) Producenterna måste nu planera in att utföra dessa tjänster. I denna process beräknar de hur mycket tid som att gå åt för att utföra tjänsten och ger en mer noggrann uppskattning av kvaliteten som den kan utföras med.
 - Om producenterna kan utföra de tjänster som efterfrågas besvarar de frågan med att ge ett bud på det verkliga priset och kvaliteten som uppgiften kan utföras med.
 - Om producenten inte kan utföra uppgiften besvaras frågan med nekande.
- (vi) Om uppgiften inte kan utföras måste konsumenten förhandla om att använda resursen med andra användare. Detsamma gäller om uppgiften inte kan utföras till acceptabel kvalitet eller kostnad.
- (vii) Om uppgiften kan utföras till acceptabel kvalitet och kostnad ingår producent och konsument ett kontrakt där konsumenten förbinder sig att "betala" det pris som är överenskommet och där producenten förbinder sig att leverera en tjänst med viss kvalitet.

En plan ska ses som en ram inom vilken producenterna måste arbeta. Producenterna måste utföra uppgiften i enlighet med ramen, men kan i övrigt utföra uppgiften på det sätt som passar. Om producenten accepterar planen är det upp till producenten att förfina planeringen på det sätt den kan.

Förhandling

Det är inte säkert att kontraktet kan visa sig vara möjligt att uppfylla av producenten. Det är heller inte säkert att konsumentens bedömning av värdet visade sig vara korrekt. Därför måste konsumenten få möjlighet att planera om vid vissa tillfällen. Dessa frågor har inte analyserats färdigt i detta projektet.

4. Modell för sensorstyrning

Inom vårt projekt har vi gått igenom vad som krävs för att på ett ordnat sätt styra ett antal sensorer anslutna i ett nätverk, för att lösa viktiga militära sensoruppgifter. Sensorerna antas bäras av fasta och rörliga plattformar samtidigt som en plattform kan tänkas bära flera sensorer. Sensorerna antas vara av multifunktionell typ, vilket betyder att en sensor utför en serie mätningar, där varje mätning med tillhörande signalbehandling är anpassad till att leverera den efterfrågade informationen. Detta betyder att den data som sensorn levererar inte längre genereras som resultat av något stelt avsökningsschema utan är ett resultat av den information som operatörerna har efterfrågat.

Vi har letat efter lösningar på delproblem som uppkommer i ett sådant scenario. Detta har tidigare beskrivits i rapporten [1] och [2]. Därefter har vi fokuserat på att försöka hitta en modell för hur man kan binda samman och hantera alla de delproblem som beskrivits. Eftersom problemet är så komplext till sin natur har detta tagit sin tid. Vi är nu mogna att presentera ett utkast till en modell som skulle kunna hantera hela det komplexa sensorstyrproblemet. Det återstår dock mycket arbete innan den är genomarbetad.

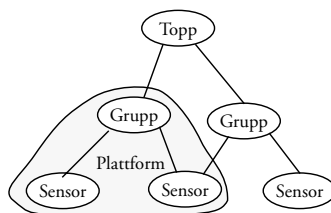
Vi talar här om automatiserade processer med stöd på olika sätt från mänskliga operatörer. Operatörers huvudsakliga roll är att bestämma globala parametrar som styr hur de automatiserade processerna ska prioritera i olika val. Operatörerna ska också kunna vara med i processen mer direkt genom att välja ett av ett antal föreslagna beteenden eller rent av föreskriva ett visst beteende. Den mest uppenbara rollen är att skapa och avsluta uppgifter på relativt höga nivåer.

4.1 Förslag till övergripande modell

I nätverket kan alla enheter i princip utbyta data med varandra. I praktiken däremot så finns det flera begränsningar i detta antagande, till exempel kan en flygande plattform förmodligen bara nås direkt från ett fåtal noder i nätverket, dessutom är kanalen begränsad i kapacitet. En annan begränsning ligger i hur sensorerna allokeras till uppgifter och vart data primärt skall levereras. Denna senare struktur är väsentligen hierarkisk och dessutom dynamisk i tiden.

Vår modell tar fasta på den hierarkiska strukturen i en typisk användning. I korthet går den ut på att organisera styrprocessen hierarkiskt, där varje nod arbetar efter samma princip. Skillnaderna mellan de hierarkiska nivåerna ligger i att detaljeringsgraden blir grövre och tidshorisonten längre ju högre upp i hierarkin man kommer, se figur 4.1.

I varje nod på en given nivå hålls en lista av uppgifter i tidsordning som man tagit emot och accepterat samt ett schema av nedbrutna uppgifter som skall utföras av lägre nivåer. Dessutom tar man emot nya uppdrag samt lyssnar efter planeringshändelser. Planeringshändelser kan vara synkrona, dvs svar på frågor, men också asynkrona, dvs plötsligt uppkomna händelser som uppstått och som påverkar lagda planer, se figur 4.2. När noden hanterar dessa inkom-



Figur 4.1: Planering i en hierarkisk struktur.

mande planeringshändelser så skapas det utgående planeringshändelser som skickas både uppåt och neråt i trädet. Det kan till exempel vara:

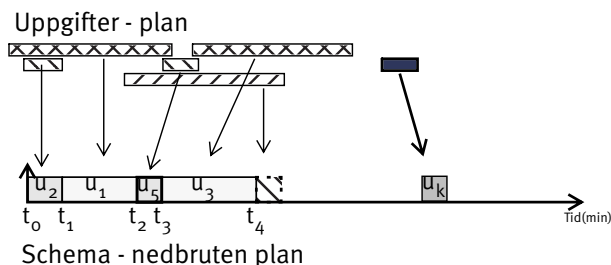
- Efter preliminärinplanering: Svar på förfrågan uppåt i trädet.
- Förfrågan om att utföra uppgift på underliggande noder neråt i trädet.
- Händelser som påverkar planerade uppgifter både uppåt och neråt.

Förutom att hantera inkomna meddelanden så administrerar noden dessa tidsordnade listor (planer/scheman) genom att avföra redan utförda uppgifter från listorna när de efter bekräftelse utförts eller av någon annan anledning blivit inaktuella. Noden varskor också underställda noder om nästa uppgift. Man kan se denna administration som att exekvera en plan.

Hantering av ny uppgift

När en ny uppgift kommer in så utförs i princip nedanstående process hos noder på samtliga nivåer. Det som skiljer på de olika nivåerna är i princip detaljeringsgrad och tidshorisont.

- Tag emot uppgiften och placera den i den tidsordnade listan med uppgifter att göra. Denna lista beskriver vad som skall göras och kan kallas *uppgiftsplan*.
- Kontakt tas med resursmäklare för att få en lista på tillgängliga resurser som kan bidra till att lösa uppgiften. Se avsnitt 3.6 om resursallokering.
- Bryter ner den inkommande uppgiften till ett antal alternativa "hur göra"-planer. Detta sker genom att utnyttja de tillgängliga resurserna, med annonserade funktioner och användningsregler. Denna nedbrytning sker efter ett antal olika principer t.ex. kokbok, slump, optimala spaningsprestanda, optimala telekrigsprestanda, snabbast utförande etc. Resultatet av detta steg är ett antal tänkbara lösningar på hur den inkommande uppgiften skall lösas, se figur 4.2.



Figur 4.2: På en given nivå bildas en plan av uppgifter som bryts ner till ett schema av uppgifter på nivån under.

- Dessa planer (förslag till lösningar) värderas i syfte att välja den lösning som är "bäst" och möjlig i nuvarande läge, givet också vad som tidigare

planerats av denna nod. Vad som är bäst beskrivs av en kriteriefunktion som påverkas av många och komplexa faktorer. Planeringen sker under osäkerhet vilket måste återspeglas i denna kriteriefunktion.

- (v) Om problem uppstår i de båda föregående punkterna med att hitta en möjlig plan (lösning) så har en konflikt mellan olika krav uppstått. Dessa måste hanteras, se stycket om konflikthantering nedan.
- (vi) Vald plan skall förankras hos resurserna och deras resursägare. Detta är först en förhandling med respektive resursägare och därefter en begäran hos resurserna att planera in den önskade sekvens av uppgifter som önskas. Även denna begäran kan ses som en förhandling. Det skapas därför planeringshändelser som skickas mellan berörda instanser, se också diskussionen i avsnitt 3.8.

Det kan på flera ställen i den ovan beskrivna processen behövas svar på förfrågningar där svaret föranleder oss att gå tillbaka ett par steg i processen för att uppdatera resultatet. Vi får då en iterativ process som måste ha ordentliga kriterier när och hur man skall ge upp, vilket också är en form av konflikthantering. Man kan se en sådan här planeringsnod som en tillståndsmaskin som vid inkommande händelse skapar en eller flera aktioner och ett nytt tillstånd utifrån det tillstånd man befinner sig i innan händelsen och händelsen självt.

Konflikthantering

Konflikter mellan olika krav kan lätt uppstå eftersom man lätt önskar sig maximala prestanda och snabba resultat. Det är med andra ord viktigt att man från början har formulerat rimliga krav och önskemål. Om ändå konflikter uppstår så måste dessa hanteras på ett ordnat sätt, dvs att det finns en strategi att lösa upp konflikter. En sådan är att i tur och ordning försöka med:

- Försök samutnyttja planerade aktiviteter
- Försök lätta på kraven så "billigare" aktivitet kan användas
- Stryk lågt prioriterade aktiviteter som är tillåtna
- Då omständigheter tillåter, starta en förhandlingsprocess
- Om inget annat går - skicka avgörandet en nivå upp för avgörande

Exakt hur detta går till bör styras av generella regler. Ett väl fungerande konflikthanteringssystem är avgörande för att användarna skall uppfatta hela sensorsystemet som användbart.

Uppgifter

Uppgifter måste formuleras efter strikta regler och se likartade ut mellan de olika nivåerna. På samtliga nivåer behövs information om:

- Uppgiftens typ, dvs vad är det för huvudtyp av information som sökes.
- Uppgiftens status dvs om detta är en uppgift som är *förberedande*, *preliminär* eller *konfirmerad*
- Uppgiftens syfte, dvs varför skall uppgiften lösas.
- I vilket område skall uppgiften lösas.
- I vilket tidsintervall skall uppgiften utföras
- Vilken eller vilka typer av objekt eftersöks.

- Vilken kvalitet krävs eller eftersträvas.

Som beskrivs i avsnitt 3.1 är kvalitetsmått multidimensionella och består exempelvis av

- osäkerheter i resultatvariabler till exempel positionsnoggrannheter, detektionssannolikheter, falsklarmrisk, klassningskonfidens etc.
- tidsförhållanden som till exempel krav på upprepningsfrekvens eller tid då uppgift blir inaktuell

Skillnaderna mellan de olika nivåerna ligger i precision samt i olika storleksordning på tidsskalor. En annan olikhet mellan planeringsnoderna blir att var och en kan hantera endast en delmängd av alla tänkbara uppgifter.

Kriteriefunktionen

Det finns en kriteriefunktion på varje planeringsnivå som beskriver vad som för tillfället är viktigt och vad som är mindre viktigt på den aktuella nivån. Kriteriefunktionerna på samtliga nivåer skall naturligtvis vara konsistenta med varandra för att åstadkomma anständiga beteenden. Kriteriefunktionen används för att bestämma hur värdefull en enskild aktion är eller hur mycket en hel plan är värd. Den har många dimensioner, till exempel flera nyttoaspekter och flera kostnadspekter. I denna funktion måste också osäkerheter ingå på ett sådant sätt att osäkra värden på nytta eller kostnad viktas ner till förmån för mera säkra värden. Man bör också vikta nytta eller kostnader i när-tid något högre än nytta eller kostnad i framtiden.

Begränsningar

Det finns dessutom hårda och mjuka begränsningar på varje nivå. Den tillgängliga energin är exempelvis begränsad liksom att det fysikaliskt skall vara möjligt att utföra den begärda uppgiften vid den föreslagna tidpunkten. Exempel på mjuka begränsningar är det tidsområde som ger optimalt resultat. Val av annan tidpunkt kan ge lika bra resultat men till en högre kostnad alternativt sämre resultat till en lägre kostnad. Taktik och metodik kommer att innebära en stor mängd begränsningar eller bivillkor som skall sättas upp och vidareutvecklas under systemets livstid.

Dessa begränsningar finns med i den optimering som görs när scheman och planer läggs. En begränsning av t.ex. tidsintervall finns alltid med i bilden och parametersätts av data som medföljer uppgiften. Begränsningar av teknisk eller fysikalisk art skapas utifrån modeller av sensorer, målobjekt, miljö, väder, plattformar etc. Begränsningar av taktisk art skapas utifrån operatörernas önskemål, oftast indirekt, men också mera direkt.

Utvärdering av planer

Som tidigare sagt skall ett antal olika nedbrutna planer utvärderas mot varandra. Detta sker genom att kriteriefunktionen appliceras på varje enskild komponent i planen efter att denna adderats till den plan vi sedan tidigare redan hade. Det är med andra inte nytillskottet separat utan de totala planerna med nytillskotten inkluderade som skall värderas mot varandra.

4.2 Miniscenario

Vi har skapat ett litet scenario i syfte att användas för att studera och illustrera olika aspekter av sensorstyrning. Det är därför hållet så enkelt som möjligt

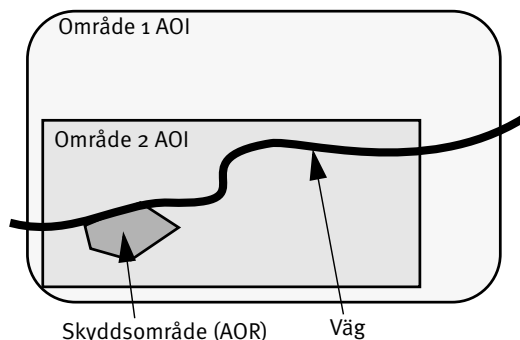
men ändå tillräckligt komplext för att vara intressant. Bland annat är det meningen att följande fenomen skall kunna uppstå:

- Konflikt mellan olika krav skall uppstå
- Miljön (terräng, väder etc) skall påverka hur val görs
- Syftet med spaningen skall påverka (Vad är det som skall uppnås?)
- Det uppskattade hotet från spaningsmålen skall påverka.

Vi har två flygburna plattformar med sensorer. De är valda så att deras användningsområden skall vara olika men att det finns vissa överlapp.

- UAV A, finns det en radarsensor som har tre moder: stripmap-SAR¹, spot-SAR², samt GMTI-SAR³. För dessa moder finns det dessutom ett antal parametrar som skall väljas. Exempelvis stråkbredd och -längd, flygbana, lobbredd och riktning, hastighetsintervall etc
- UAV B, har en multispektral IR-sensor samt en 3D-fokalplans lasersensor. Kopplat till dessa två finns det en kamera för synligt ljus som kan ta bilder triggat av någon av de andra sensorerna. Man kan välja mellan fyra olika filter till kameran för multispektral IR samt zoom:a bägge kamerorna. Alla tre sitter i samma fritt rörliga upphängningsanordning (gimbal).

Dessutom finns det tre operatörer(officerare) som behöver sensordata för att



Figur 4.3: Principskiss över geografins berörda områden. AOI=Area Of Interest, AOR=Area Of Responsibility.

lösa sina uppgifter. Dessa operatörer är oberoende av varandra och har delvis olika mål även om de deltar i samma större operation. Det finns utöver dessa två även andra operatörer som vi utelämnar.

- Operatör 1: Har som uppgift att övervaka område 2 i syfte att skydda ett mindre område inom detta område.
- Operatör 2: Skall förbereda och senare genomföra transport med ett eget fordon fram längs en väg som går igenom område 2, så att sammanstötningar med motståndaren undviks, går inte detta skall

1. Konventionell syntetisk aperturradar som abildar ett markområde med typisk upplösning i intervallet 0.5 m upptill 10 m beroende på våglängd och integrationstid

2. SAR med rörliga lobar och upplösning mellan 1 dm och 1 m beroende på en förlängd integrationstid

3. SAR för rörliga mål genom flera antennkanaler. Har normalt sämre upplösning än vanlig SAR beroende på kortare integrationstid

motståndaren slås ut.

- Underrättelseoperatören: Har som uppgift är att övervaka ett större område 1 som innehåller område 2 . Han är intresserad av om motståndaren gör förflyttningar och i så fall hur detta sker. Han har inte samma höga krav på noggrannhet eller snabb uppdatering, men hans uppdrag har pågått en tid för att kunna följa långsiktiga förändringar i motståndarens gruppering.

I detta scenario finns fyra mål (fordon) att spana mot, tre som tillhör motståndaren och ett eget. De två UAV:erna ska lösa spaningsuppgifterna så att alla tre operatörerna klarar sina uppgifter.

De tre operatörerna gör upp mer långsiktiga planeringar som syftar till att de skall klara sina uppgifter. Planerna innehåller vilka resurser (UAV:er) som krävs och när behoven behöver tillgodoses.

Underrättelseoperatören lägger följande uppdrag till sensorsystemet (där sensorstyrning sker):

- (1) Övervaka område 1. Rapportera förändringar av stillastående mål relativt föregående avspaning. Uppdatera 2 gånger per dygn, ungefär kl 08 och kl 19 i 5 dygn.

Operatör 1 börjar med att lägga följande uppdrag:

- (2) Övervaka område 2. Rapportera rörliga mål på vägen samt mål i terräng som nytillkommit sedan förra mätning. Uppdatera en gång per timme.

Som en reaktion på vad som kommer in ger han följande uppföljningsuppdrag:

- (3) Uppföljningsuppdrag 1: Rörliga mål på väg mot skyddsområdet närmare än 5 min skall identifieras (hastighet och avstånd till skyddsområdet ger uppdateringstakten).
- (4) Uppföljningsuppdrag 2: mål tillhörande motståndaren skall följas upp kontinuerligt för att varningsskott skall avgas och för att se om detta stoppar honom.
- (5) Uppföljningsuppdrag 3: Följ upp motståndaren kontinuerligt för verkanseld.
- (6) Uppföljningsuppdrag 4: Vad blev resultatet av verkanselden ?

Operatör 2 får sitt uppdrag efter att operatör 1 fått sitt. Han ger följande uppdrag:

- (7) Övervaka färdväg och en zon på 2 km på båda sidor om färdvägen och alternativa vägval. Rapportera rörliga mål på vägen samt mål i terräng som nytillkommit sedan förra mätning. Uppdatera en gång per timme. (Liknar operatör 1:s uppdrag).
- (8) Övervaka närzonen runt det egna fordonet (1,5 km runtom utom framåt, där 3 km skall bevakas). Rapportera skillnader mot förra avspaningen, upprepa var 15:e minut. Eventuella hinder ska rapporte-

ras så att alternativvägar kan väljas

Upptäcks det något misstänkt kan han välja mellan att ge det egna fordonet order att ta en annan väg, t.ex. ut i terrängen eller ge order om att slå ut det misstänkta målet. Följduppdragen blir:

- (9) Uppföljningsuppdrag 1: Misstänkta mål ska identifieras i syfte att avgöra hotgrad.
- (10) Uppföljningsuppdrag 2: Följ upp motståndaren kontinuerligt för verkanseld.
- (11) Uppföljningsuppdrag 3: Vad blev resultatet av verkanselden, BDA¹ ?

Dessa uppdrag skall läggas ut på våra två UAV:er. Hur detta skall ske, liksom vad som skall hända då uppföljningsuppdragen kommer in är en uppgift för sensorstyrningen, liksom att i detalj sköta om insamlingen i respektive UAV.

4.3 Tänkbar lösning med sensorstyrning

De uppdragen som läggs under den initiala planeringen blir ett antal som är mer av grundläggande karaktär. Sedan när olika händelser inträffar, t.ex. att nya mål hittats, så läggs det specifika uppdrag som kan genomföras snabbt därför att en förplanering skett.

- (i) Underrättelseoperatören har ett uppdrag som innebär att UAV A allokeras och planeras att mäta in område 1 två gånger per dygn.
- (ii) Operatör 1:s uppdrag (2) innebär att UAV A allokeras och planeras in för att mäta in område 2. Observera att detta AOI sammanfaller till stor del med underrättelseoperatörens behov vilket medför samordningsvinster.
- (iii) Operatör 1:s uppdrag (3) innebär att UAV B förallokeras (förbereds) för att genomföra identifiering av dem som närmar sig skyddsområdet.
- (iv) Operatör 1:s uppdrag (4) innebär att både UAV A(GMTI) och UAV B förallokeras. Vilken som används bestäms när uppdraget skall genomföras och beror av omständigheter såsom förflyttningstid till skyddsområdet.
- (v) Operatör 1:s uppdrag (5) innebär att både UAV A(GMTI) och UAV B förallokeras. Vilken som används bestäms när uppdraget skall genomföras och beror av omständigheter såsom förflyttningstid till skyddsområdet. Troligt att samma väljs som i uppdrag (4). Skillnaden mot föregående är andra krav på mätningarna
- (vi) Operatör 1:s uppdrag (6) innebär att UAV B förallokeras (förbereds) för att genomföra BDA.
- (vii) Operatör 2:s uppdrag (7) innebär att UAV A allokeras och planeras att bevaka vägzonen som till stor del innefattas i operatör 1:s uppdrag (2),

1. BDA = Battle Damagement Assessment = verkansanalys

vilket ger en samordningsvinst.

- (viii) Operatör 2:s uppdrag (8) innebär att UAV B allokeras och planeras för bevakning av detta mindre vägavsnitt. Observera att UAV B kan genomföra operatör 1:s uppdrag (3), (4), (5) eller (6) om detta inte medför för långa transporttider.
- (ix) Operatör 2:s uppdrag (9) innebär att UAV B förallokeras (förbereds) för att genomföra identifiering av detekterade hot mot transporten.
- (x) Operatör 2:s uppdrag (10) innebär att både UAV A(GMTI) och UAV B förallokeras. Vilken som används bestäms när uppdraget skall genomföras och beror av omständigheter såsom transporttid, hot etc.
- (xi) Operatör 2:s uppdrag (11) innebär att UAV B förallokeras (förbereds) för att genomföra BDA.

Vi kan i detta fall räkna med att kapaciteten kan bli hög, på grund av att yt-täckande spaning i hög grad kan samordnas. Kvaliteten på besluten blir bättre för alla på grund av att anpassade sensorer används och att all insamlad data kan utnyttjas där den behövs. Våra operatörer kan få se mer "live" sensordata där så är önskvärt, med hjälp av bandbreddsstyrning. Vid förlust av förbindelse bör strategin vara att UAV:n försöker lösa sina mer långsiktiga uppgifter och sedan ta sig tillbaks mot utgångsläget.

Nedbrytning av uppgifter

Som exempel på hur uppgifterna kan brytas ner tar vi uppgiften (1) i listan på sidan 40. Jämför också med avsnittet om hur planering går till i stort på sidan 16. I tabell 4-1 visas hur den formaliserade uppgiften ser ut på högsta nivån.

Tabell 4-1: Exempel på inkommande uppgift till högsta nivån.

Uppgiftstyp	Objekttyp	Område	Tid	Kvalitet	Syfte
Förändring	fordon, hus	AOI 1 Förändring	upprepat 5 dygn ca kl 08-12 och kl18-22	upplösning = x m	Detektera förändringar i gruppering

Denna uppgift bryts ner till att bilda ett schema på denna nivå och som utgör uppgifter nästa underliggande nivå genom att utnyttja UAV A (radarsensor) och låta UAV:B vara beredd att titta närmare på några detektioner. För att täcka det avsedda området två gånger per dygn behöver vi lägga upp en sekvens av uppgifter. Observera att vi måste börja med en referensmätning som vi senare behöver vid de ordinarie mätningarna.

Tabell 4-2: Exempel på inkommande uppgifter till gruppnivån.

Resurs	Uppgiftstyp	Objekttyp	Område	Tid	Kvalitet	Syfte
UAV A	SAR referens	fordon, hus	AOI 1	dygn 00, kl 20-24	upplösning = x m	Skaffa referens bild
UAV A	SAR förändring	fordon, hus	AOI 1	dygn 01, kl 08-12	upplösning $\leq$ x m signifikans i förändring $\geq$ 0.8	Hitta förändringar som underrättelse
UAV B	Multispektral IR, verifiering	fordon, hus	AOI 1 - invisat från UAV A	dygn 01. kl 08-12, efter 15 minuters varsel	upplösning = x m signifikans i förändring $\geq$ 0.8	Vara beredd på identifieringsmätning

Tabell 4-2: Exempel på inkommande uppgifter till gruppnivån.

Resurs	Uppgifttyp	Objekttyp	Område	Tid	Kvalitet	Syfte
UAV A	SAR förändring	fordon, hus	AOI 1	dygn 01, kl 18-22	upplösning = x m signifikans i förändring ≥ 0.8	Hitta förändringar som underrättelse
osv dygn 02 till 04						
UAV A	SAR förändring	fordon, hus	AOI 1	dygn 05, kl 08-12	upplösning = x meter signifikans i förändring ≥ 0.8	Hitta förändringar som underrättelse
UAV A	SAR förändring	fordon, hus	AOI 1	dygn 05, kl 18-22	upplösning = x meter signifikans i förändring ≥ 0.8	Hitta förändringar som underrättelse

Var och en av uppgifterna i tabell 4-2 bryts sedan ner ytterligare när uppdraget förs ner på lägsta nivå (sensor + plattform) vilket visas i tabell 4-3 där vi brutit ner uppgiften från andra raden i tabell 4-2. Som synes så kopieras en del data hela vägen från högsta nivån ända ner till sensorn medan annan data förfinas i sin bestämning, därför att detta är nödvändigt för fullständig funktion. Notera också att det är ett tidsglapp mellan varje delstrip i vilket plattformen förflyttar sig till utgångsläget för nästa strip. I detta tidsintervall kan andra mätningar göras för någon av de andra operatörerna. men dessa mätningar är då nedbrutna utifrån de andra operatörernas uppdrag vilket skulle bli rörigt att återge i rapporten. Detaljer i plattformens förflyttning planeras av plattformen själv som sedan rapporteras uppåt i form av planeringshändelser där man anger hur lång tid förflyttning kräver.

Tabell 4-3: Exempel på inkommande uppgifter till sensornivån. (andra uppgiften i tabell 4-2)

Resurs	Uppgifttyp	Objekttyp	Område	Tid	Kvalitet	Syfte
SAR	Strip-map	fordon, hus	AOI 1, strip 1	dygn 01, kl 08:13-08:23	upplösning $\leq x$ m signifikans i förändring ≥ 0.8	Mäta stripmap, detektera förändring
SAR	Strip-map	fordon, hus	AOI 1, strip 1	dygn 01, kl 08:33-08:43	upplösning $\leq x$ m signifikans i förändring ≥ 0.8	Mäta stripmap, detektera förändring
SAR	Strip-map	fordon, hus	AOI 1, strip 1	dygn 01, kl 08:53-09:03	upplösning $\leq x$ m signifikans i förändring ≥ 0.8	Mäta stripmap, detektera förändring
SAR	Strip-map	fordon, hus	AOI 1, strip 1	dygn 01, kl 09:13-09:23	upplösning $\leq x$ m signifikans i förändring ≥ 0.8	Mäta stripmap, detektera förändring

Kommentarer kopplat till exemplet

Anpassning till olika förhållanden kan ske t.ex vid störning, då UAV B kan användas i högre utsträckning eller vid högre hot från luftvärn då UAV A som opererar från längre håll kan nyttjas.

Planeringsverktyg bör vara inbyggda i sensorsystemet, de är nödvändiga för funktionen. I praktiken måste man troligen ha någon slags minsta tidsenhet på varje planeringsnivå.

4.4 Implementering

Optimeringsteknik

Hittills har vi talat om modeller och principer för att få det hela att fungera, men det behövs också praktiska sätt att implementera dessa. Att lägga optimala planer eller scheman kan ske med hjälp av tekniken *stokastisk dynamisk programmering* som är en mycket allmängiltig optimeringsteknik. Denna teknik kan hantera multidimensionella kriteriefunktioner baserat på osäkra data och stokastiska utfall. Det gäller därvid att kunna dela upp problemet i olika steg och definiera ett antal tillstånd för varje steg, vilket beskrivs i [13] och [14]. Lämpliga steg i denna tillämpning är att låsa fast nästa uppgift i det nya schemat, dvs stegen blir tidsordnade men har olika varaktighet. Vanligt i tillämpningar som liknar denna är att man löser problemet så att säga baklänges, dvs man börjar med att lägga in det som ligger längst bort i tiden och beräknar nytta/kostnad för detta. Sedan arbetar man sig mot nuvarande tid och behåller hela tiden det val som ger den optimala nyttan/kostnaden från den inplanerade tiden och framåt. Man kommer om man gör detta på rätt sätt att skära bort icke-optimala delar av lösningsträdet och på så sätt spara beräkningsmöda. Görs det på fel sätt har vi skapat ett systematiskt sätt att testa alla alternativa lösningar vilket kan resultera i mycket stor beräkningsbörda.

Vårt arbete har ännu inte kommit in på tillräcklig detaljeringsgrad för mer än ytliga studier som visar på denna tekniks användbarhet. Det kan därmed finnas andra tekniker som visar sig vara mer lämpliga i slutändan.

Kriteriefunktionen

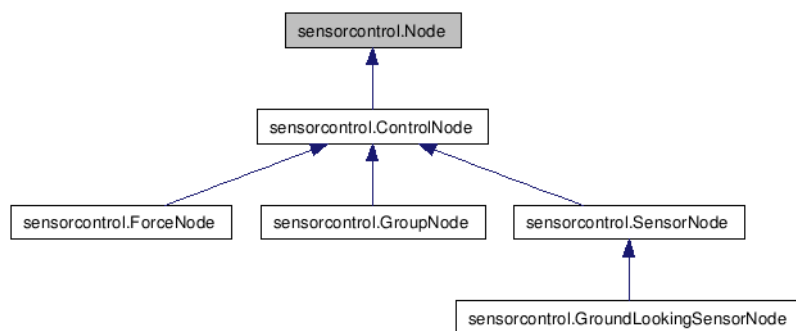
Som lätt kan inses så är det mycket viktigt att kriteriefunktionen utformas på rätt sätt, liksom att alla ingående termer i denna är lämpligt utformade och kompatibla med varandra. Detta är definitivt ingen lätt sak att utföra i praktiken utan här krävs det både forskning och massor av testning av föreslagna sätt att göra detta på. Observera att flera av termerna som ingår behöver innehålla prestandavärdering av sensorer i olika avseenden. Dessa värderingar måste vara mycket mer detaljerade nere på sensornivån jämfört med de som görs på högsta nivån och på olika mellannivåer. Metodik för att estimerar prestandamått studeras bland annat i SEMARK, där förslag ges på hur man kan göra detta för flera olika markspanande sensorer. De prestandamått vi talar om är typiskt detektionssannolikhet, följningssannolikhet, klassificeringssannolikhet, upplösning, precision, etc. För var och en av dessa prestandamått gäller att olika faktorer påverkar resultatet och ibland måste man också få en uppfattning om olika statistiska fördelningsfunktioner för att kunna sätta upp dessa korrekt vilket också leder till mycket simuleringsarbete och behov av mätförsök.

Sättet att sammanställa prestandamåtten i en total sammanhållen kriteriefunktion är fortfarande en öppen fråga även om det givetvis finns förslag. Formen på denna påverkas också av hur den precisa formuleringen av optimeringsproblemet.

Implementerad kod

Den kod som faktiskt implementerats idag är en grov implementering av den hierarkiska planeringsmodellen utförd i programmeringsspråket java. Den har gjorts för att visa hur modellen arbetar med att bryta ner uppgifter samt skapa planer, scheman och skickar planeringshändelser snarare än att åstadkomma

en implementering som kan visa detaljsvar eller ge en bild av totalprestanda. Här återstår mycket arbete som får utföras under kommande år och som en del av andra projekt. Implementeringsspråket java är objektorienterat vilket innebär att man bygger sitt program i termer av "objekt" som interagerar med varandra. Ett objekts egenskaper bestäms av vilken klass det tillhör. Samtidigt är det så att en klass kan ärva egenskaper från en eller flera andra klasser för att uttrycka likhet i egenskaper. Dessa arv kan illustreras i form av ett träd, se exempel i figur 4.4 där klasserna som implementerar nodstrukturen i bild 4.1 på sidan 36.



Figur 4.4: Exempel på arvsstruktur hämtat från vår implementering. En pil skall tolkas som "ärver egenskaper från".

Implementering

5. Behov av forskning

Enligt vad vi tidigare sagt har man inom vetenskapen bara börjat titta på hur sensorstyrning skall hanteras. Det finns likheter mellan andra tillämpningar till exempel produktionsplanering av ett stort antal produkter i många fabriker. Det finns också stora skillnader till exempel att sensorstyrning är mycket mera dynamisk än till exempel produktionsplaneringsproblemet. Andra skillnader är stora osäkerheter i samtliga ingående data och bedömningar samt vilka konsekvenser som ett felaktigt beslut kan leda till.

Sammantaget är sensorstyrning ett mycket komplext problem som vi ännu inte vet tillräckligt om hur man bäst hanterar. Vi saknar framförallt erfarenhet från användningen av dess metoder varför det finns ett mycket starkt behov av att undersöka dessa. Emellertid är det svårt och dyrt att testa i verklig miljö, vilket leder oss in på simulering. Simulering är inte heller en helt lätt metod att använda eftersom det krävs detaljerade modeller av en verklighet som vi knappt förstår samt att vi måste sätta upp tillräckligt komplicerade scenarion utan att de blir triviala. Detta leder oss in på kompromissen att omväxlande simulera och testa delsystem i verkligheten, delsystem som blir mer och mer utvecklade med tiden.

Mot denna bakgrund kan vi se att det behövs forskning med följande inriktning:

- (i) Hur ska alla relevanta sensorer, grupper av sensorer, sensorplattformar etc. modelleras för att deras prestanda ska kunna förutses och användas vid planering av sensoranvändning? De modeller som är tillgängliga idag behöver vidareutvecklas och anpassas med hjälp av både expertkunskap och simulering.
- (ii) Hur ska kvaliteten på de tjänster som sensorer och andra producenter i nätverket erbjuder kunna beräknas och jämföras för olika typer av tjänster? De modeller som tas fram i forskningsfråga (i) ovan ligger till grund för att göra detta och tjänstekvaliteten ligger i sin tur till grund för att bedöma värdet av planer för sensoranvändning.
- (iii) Hur ska en metodik för att skapa relevanta planer för sensorsamverkan se ut? Detta kan ske med optimeringsmetoder, men måste troligen kompletteras med kunskapsbaserade metoder. I en optimeringsbaserad metod används någon form av sammansatt kvalitetsmått för att avgöra vilken plan som är den bästa. Eftersom det inte är troligt att ett sådant mått kan beskriva alla de aspekter som är viktiga för värdering så måste även expertkunskap användas för att se till att ett tillräckligt stort antal relevanta planer skapas.
- (iv) Föreslå och visa bättre metoder för att hantera osäkerheter i indata och gjorda bedömningar så att både operatörer och automater kan göra sounda bedömningar.
- (v) Testa helheten i simulerad och verklig miljö med gradvis utökad komplexitet och fullständighet. Ett testsystem behöver utvecklas för att studera hela den process som sker för att bestämma scheman för sensor-

samverkan. Det räcker inte att studera enskilda komponenter i ett system för sensorsamverkan. Hur systemets olika komponenter samverkar för att uppnå en bra användning av resurserna behöver också studeras. Ett sådant testsystem måste idag arbeta med simulering av modeller och verkliga händelseförlopp.

- (vi) Hitta lösningar på ännu inte lösta delproblem till exempel: hur kriteriefunktionen bör se ut mer konkret, samt testa denna på relevanta fall.

6. Införande av sensorstyrfunktionalitet i försvarsmakten

För att kunna använda koncept liknande det som används inom SEMARK krävs att också ledningssystemet i sin helhet kan hantera konceptet. SEMARK-konceptet innebär spaning med olika sensortyper mot olika objekt på marken i sekvens eller samtidigt för att svara mot olika informationsbehov och utnyttja sensorerna optimalt, se [4].

Ledningssystemet kan grovt sägas bestå av metodik och ett tekniskt stödsystem som understödjer metodiken. Ledningssystemets tekniska stödsystem behöver exempelvis vara beskaffat så att sensorerna dynamiskt kan hanteras så som vi beskrivit. Vi har i några punkter försökt bryta ner vad som behöver beaktas speciellt.

6.1 Kommunikation

Sensorinformation återspeglar alltid den del av verkligheten som sensorn kan uppfatta under de förhållanden som råder vid inhämtningstillfället. För den som begärt informationen önskas ofta ett svar så snabbt som möjligt med högsta möjliga kvalitet. Dessa två behov är motstridiga. Därtill finns ledningssystemets begränsningar avseende bandbredd för alla behov som kommer att behöva tillgodoses. Detta gäller främst de rörliga enheter som traditionellt utnyttjat radio som sitt huvudsambandsmedel.

Tidskrav ger en annan aspekt. Stora datamängder innebär långa sändningstider eller stor bandbredd. Det innebär att data behöver extraheras eller fusioneras för att minska dataöverföringsbehovet utan att förvanska informationen. Det görs med fördel så nära insamlingen som möjligt, antingen vid sensorn eller i en nod som sammanställer data från flera sensorer. Det kan ske som förändringsanalys och/eller jämförelseanalys där *förhandsvalda regler* (algoritmer) jämför sensorns inmätta data med modeller som är gjorda efter tänkbara objekt t.ex. olika typer av fordon. Sedan skickas skillnadsbilden vidare eller resultatet av jämförelseanalysens resultat ev kompletterad med en sannolikhetsanalys (t.ex. stridsvagn med 80% sannolikhet och en T-80 med 63% sannolikhet). De *förhandsvalda reglerna* måste kunna förändras beroende på informationens kvalitetskrav.

Beroende på graden av datafusion kan resultatet delas in i ett antal steg beroende på sensortyp. Dessa steg ger olika möjligheter av granskning av resultatet från den sensornära datafusionens tolkning och därmed också olika datamängder. Den sensornära datafusionen tar i och för sig tid men jämfört med överföring av större datamängder är den med utvecklade metoder betydligt kortare.

För att kunna använda sensorerna på det sätt som vi har förespeglat så krävs att sensorerna kan ta instruktioner (styras) för att insamla data och därefter ska de insamlade data delges en eller flera mottagare någonstans i datanätverket. Kraven på denna kommunikation kommer att variera beroende på många olika faktorer och de handlar inte enbart om bandbredd (bits/s) utan lika mycket om förbindelsesäkerhet och tidsfördröjningar. Krav på förbindelsesäkerhet

uppstår då sensorerna skall mäta mot något objekt upprepat med hög repetitionsfrekvens. Krav på låg tidsfördröjning uppstår t.ex. när man skall skjuta med något vapen efter inmätning av en eller flera sensorer. Träffsannolikheten beror då i mycket hög utsträckning på den tidsfördröjning som finns mellan sensorobservation och vapen, speciellt omedelbart innan det att vapnets egen målsökare ska fånga målet. Krav på korta överföringstider uppstår t.ex. när bilder skall överföras.

Dessa krav sammantaget och problemet med balansen mellan kravet på tid och kvalitet medför krav på att kommunikationssystemet kan styras så att prioriterade kanaler med de eftersökta egenskaperna kan skapas för en tidsbestämd period mellan två eller flera punkter i nätverket där också geografisk plats har betydelse. Man behöver också använda metoder som hanterar data så att olika prioriteringar hanteras med hjälp av lagring på låga nivåer och läglighetssändning när tillfälle ges.

6.2 Realisering

Sensorstyrfunktioner är centrala för att kunna utnyttja SEMARK-konceptet, det behöver därför snarast starta en verksamhet med målsättningen att införa sensorstyrfunktioner i ledningssystemet. Troligen skall en implementering ske stegvis där första steget handlar om ett första enkelt verktyg till hjälp för grovplanering av sensoranvändning. Arbete med att definiera de första versionerna av speciella sensorstyrprotokoll bör också starta i närtid så att man kan börja implementera och testa sensorstyrfunktionalitet.

Sensorstyrningen kan inte implementeras som en självständig monolitisk modul som kopplas in i ledningssystemet utan funktionen består av många samverkande moduler som är utspridda över stora delar av ledningssystemet. Detta beroende på att funktionen är komplex och vertikal till sin natur och att ledningssystemet är distribuerat. Detta är samma synsätt som förekom då de digitala och datoriserade telefonväxlarna togs fram. Till varje samtal är det kopplat funktioner som skall tillse att samtalet kopplas om vid behov, avgifter tas ut, kvaliteten säkerställas etc. På liknande sätt bör också sensorstyrfunktionerna implementeras.

Ett annat argument för modularisering är den höga komplexitetsnivån som kan hanteras genom att modularisera på ett förnuftigt sätt. Varje modul får inom sig inte innehålla för mycket funktionalitet. Den får heller inte bli för liten, då prestandaförlust lätt inträffar.

Säkerhet

Det finns olika slags säkerhet t.ex. olovligt brukande, datasäkerhet och funktionssäkerhet.

För att funktionssäkerhet skall kunna uppnås så måste funktioner för hantering av detta införas på ett tidigt stadium. Det kan handla om att dubblera hårdvara, kommunikationsmetoder och dataprocessningssteg. Dessutom måste det finnas sätt att upptäcka problem. När en störning eller ett problem uppstått så måste det finnas en metodik som på ett bra sätt väljer hur man går vidare för att lösa eller gå runt problemet.

Kravspecificering och kravverifiering

Datasäkerhet hanteras i flera steg eftersom det handlar om att säkert överföra data mellan noder i nätverket, att säkra att inte viktig data förstörs eller kommer i orätta händer. Sist men inte minst handlar det om hur man kan tillse att data inte manipuleras och/eller bakgrundsinformationer och liknade ändras.

Sensorstyrfunktionen innebär också en säkerhetsrisk eftersom oauktoriserad tillgång till dessa funktioner kan leda till att någon överbelastar sensorsystemet. Detta kan leda till att vi inte kan använda sensorplattformarna alls eftersom de är på fel ställe och gör fel saker om de överhuvudtaget kan användas.

Traditionellt sätt har kravspecificering i ledningscentraler gått till så att man identifierat ett antal gränssättande scenarion och sedan har man angett ett antal krav som inte får över eller underskridas t.ex. osäkerheten i positionsangivelsen av ett flygmål efter inmätning och målföljning inte får överskrida xx meter. Ett sådant krav har man sedan kunnat verifiera i praktiken genom att i det här fallet flyga enligt det angivna scenariot ett antal gånger med samtidig registrering av målets sanna position och den kravsatta och inmätta positionen.

Att specificera och sedan verifiera en sensorstyrfunktion kan inte göras på detta traditionella sätt eftersom den är så komplex och utfallsrummet är i det närmaste oändligt. Det går helt enkelt inte att hitta ett tillräckligt litet antal testfall som å ena sidan testar alla viktiga funktioner och som å andra sidan är möjliga att verifiera i praktiken. En annan svårighet är att det är mycket svårt att i förväg förstå alla detaljer i detta komplexa system och att därefter kunna ställa rimliga och relevanta krav.

Lösningen på problemet ligger förmodligen i att modularisera kravspecificering och kravverifiering i mindre hanterbara moduler som sedan testas genom i huvudsak simulering. Dessa moduler ordnas så att funktioner på högre nivå använder krav på lägre nivå etc. Sedan kan man iterera så tillvida att man förfinar modeller och modifierar krav samt går ett varv till osv. Denna metodik ställer dock höga krav på modellering och simulering och på att kontrakterade leverantörer är med i processen och bidrar med sin del i helheten.

Realisering

7. Referenser

- [1] P. Grahm, C. Grönwall, M. Herberthson, T. Kaijser, F. Lantz, D. Strömberg, M. Ulvklo, "*Sensor Control in NCW, Problem description and important areas*," FOI-R--1860--SE, December 2005
- [2] P. Grahm, C. Grönwall, M. Herberthson, T. Kaijser, F. Lantz, D. Strömberg, M. Ulvklo, "Lägesredovisning för projektet Sensorstyrning i NBF", FOI Memo 1943, December 2006
- [3] P. Grahm, F. Lantz, "*Sensor management and control in multi sensor ground surveillance*," MilTech 3 Conference, Stockholm, Sweden, June 14-15 2007
- [4] P. Grahm (red.) "*SEMARK, Multipla sensorer för markspaning, Slutrapport etapp1*", FOI-R--2163--SE, December 2006
- [5] J. Nygårds, P. Skoglar, J. Karlholm, R. Björström, Morgan Ulvklo, "*Towards Concurrent Sensor and Path Planning - A Survey of Planning Methods Applicable to UAV Surveillance*," FOI-R--1711--SE, May 2005,
- [6] P. Skoglar, J. Nygårds, R. Björström, P. Ögren, J. Hamberg, P. Hermansson and M. Ulvklo, "*Path and Sensor Planning Framework Applicable to UAV Surveillance with EO/IR sensors*." Scientific Report FOI-R--1741--SE, 2005.
- [7] D. Strömberg, "*Situationsanpassad sensorstyrning, planering och schemaläggning*", Minnesanteckningar 2006-10-10
- [8] F. Lantz, "*Sensorstyrning i NBF, planhantering*", Minnesanteckningar 2006-06-06
- [9] D. Strömberg, P. Grahm, "*Scheduling of tasks in phased array radar*," IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology, 1996.
- [10] J. Wintenby, "*Resource Allocation in Airborne Surveillance Radar*," Ph D, Chalmers University of Technology, 2003.
- [11] F. Lantz, D. Strömberg, "*Task management in sensor-provided operator platforms*," Proc. of Int. Conf. on Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, 1-3 October 2003, Cambridge USA.
- [12] R. Johansson, "*Information Acquisition in Data Fusion Systems*," Licentiate Thesis Royal Institute of Technology, TRITA-NA-0328, December 2003
- [13] R. Johansson, C. Mårtensson, R. Suzic, P. Svenson, "*Stochastic dynamic programming for resource allocation*", FOI-R--1666--SE, September 2005
- [14] D. P. Bertsekas, "*Dynamic Programming and Optimal Control*", Vol I-II, 3. ed. , Belmont, MA, Athena Scientific, 2005

Bilaga A. Konkretisering av resursallokering

Steg 0: Ägare A och B anmäler till Mäklaren att deras respektive sensorplattform finns tillgänglig

Steg 1: Kunden, Officer 1 vänder sig till mäklaren med en begäran om bevakning av ett område

Steg 2: Mäklaren vet att UAV-A och UAV-B är i närheten. UAV-A har en SAR-radar och UAV-B en IR-sensor. Han utser X till uppdragsledare och tilldelar honom UAV:erna

Steg 3: Uppdragsledaren X förhandlar med Ägare-A om tillgång till UAV-A. Han får tillgång till denna 10 minuter senare. Detta rapporteras till Officer 1.

Steg 4: UAV-A beordras utföra uppdraget och rapportera resultatet till Officer 1 och den gemensamma databasen.

Steg 5: UAV-A utför mätningen och rapporterar enligt order.

Steg 6: Officer 1 analyserar resultatet av mätningen och konstaterar att han behöver mer detaljerad information om ett tänkbart mål. Han kontaktar Uppdragsledare X och ber honom lösa uppgiften.

Steg 7: Uppdragsledare X förhandlar med Ägare-B om tillgång till UAV-B.

Steg 8: UAV-B beordras utföra mätning och rapportera till Officer 1

Steg 9: Mätningen utförs. Resultatet rapporteras direkt till Officer 1 och den gemensamma databasen.

Steg 10: Officer 1 är nöjd och avslutar uppdraget

