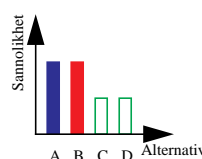
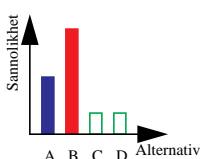
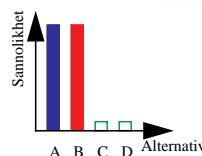
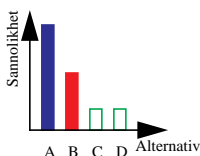
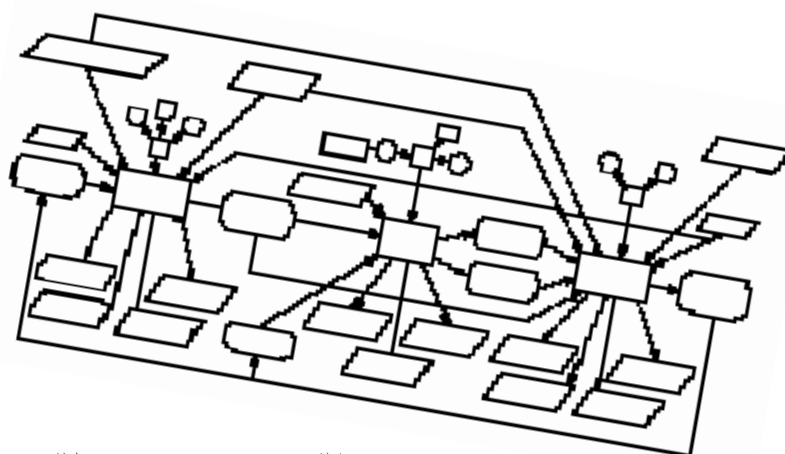
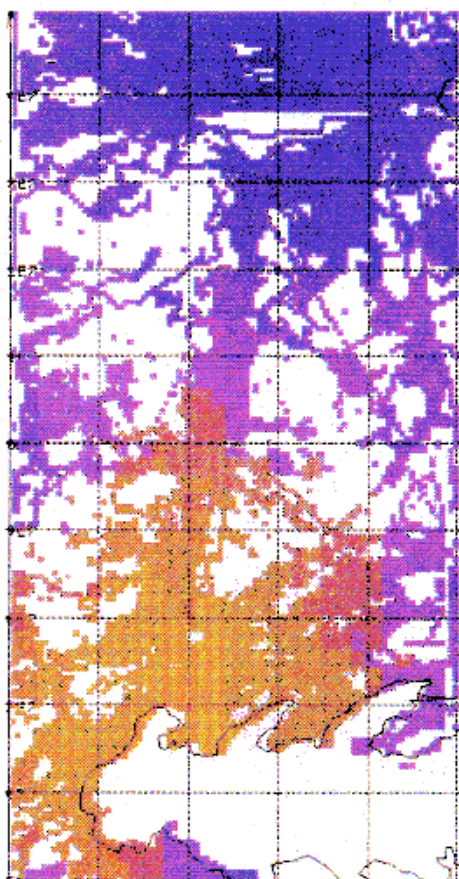


ÅSA BRÅMÅ, JÖRGEN FRANSSON,
KARSTEN JÖRED OCH JOHAN SCHUBERT

Datafusionsmetoder för sammanställning och analys av underrättelsesdata - En Förstudie



ÅSA BRÅMÅ, JÖRGEN FRANSSON,
KARSTEN JÖRED OCH JOHAN SCHUBERT

Datafusionsmetoder för sammanställning och analys av underrättelsesdata - En Förstudie

Uppdragsnummer: E 14362

Sändlista:

FOA: 100, 12, 500, 700, 73 (15 ex), FOA Prog

Dokumentets utgivare FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT Avdelningen för Ledningssystemteknik Box 1165 581 11 LINKÖPING	Dokumentbeteckning, ISRN FOA-R--98-00698-505--SE	
	Dokumentets datum Mars 1998	Uppdragsnummer E 14362
	Projektamn (ev förkortat)	
Upphovsman(män) Åsa Bråmås, Jörgen Fransson, Karsten Jöred och Johan Schubert	Uppdragsgivare	
	Projektansvarig Per Svensson	
	Fackansvarig	
Dokumentets titel Datafusionsmetoder för sammanställning och analys av underrättelsedata - En förstudie		
Sammanfattning <p>Denna rapport är en förstudie angående forskning om datafusionsmetoders användning inom underrättelseanalys. Vi har studerat ett antal problemområden och lagt fram följande fyra projektförslag:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projektförslag I: Datafusion för underrättelsebearbetning • Projektförslag II: Datafusion för COMINT • Projektförslag III: Datafusion för presentation av händelser • Projektförslag IV: Presentation av underrättelsedata. <p>Förstudien genomfördes och rapporten skrevs 1995.</p>		
Nyckelord Datafusion, situationsanalys, hotanalys, adaption, underrättelseanalys		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1104-9154	ISBN	
	Omfång 43 s.	Pris: enligt prislista
Distributör (om annan än ovan)		

Issuing organization Defence Research Establishment Division of Command and Control Warfare Technology P O Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING SWEDEN	Document name and doc. ref. No., ISRN FOA-R--98-00698-505--SE	
	Date of issue March 1998	Project No E 14362
	Project namn (abbrev. if necessary)	
Author(s) Åsa BråmÅ, Jörgen Fransson, Karsten Jöred and Johan Schubert	Initiator or sponsoring organization	
	Project manager Per Svensson	
	Scientifically and technically responsible	
Document title Data Fusion Methods for Combination and Analysis of Intelligence Data - A Prestudy		
Abstract <p>This report is a prestudy regarding research about the usage of data fusion methods in intelligence analysis. We have studied a number of application areas and presented the following four project proposals:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Project proposal I: Data fusion for intelligence analysis • Project proposal II: Data fusion for COMINT • Project proposal III: Data fusion for presentation of events • Project proposal IV: Presentation of intelligence data. <p>This prestudy was done and the report written in 1995.</p>		
Key words Data fusion, situation assessment, threat assessment, adaptation, intelligence analysis		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1104-9154	ISBN	
	Pages 43 p.	Price Acc. to price list
Distributor (if not issuing organization)		

Innehållsförteckning

1. Introduktion	5
2. Vad kan datafusion bidra med i underrättelseanalys?	11
3. Projektförslag: Datafusion i underrättelseanalys	15
4. Teknisk diskussion av projektförslag	17
4.1 Datafusion på olika nivåer i en hierarkisk organisation	18
4.2 Taktisk militär vilseledning och dess påverkan på datafusionsprocessen	21
4.3 Datafusion för analys av signalspaning mot samband (COMINT)	27
4.4 Datafusionsmetoder för situationer med begränsad kunskap om doktriner	29
4.5 Analys och presentation av händelser som stöd för integrerad situationsbedömning	31
4.6 Presentation av tät och förvirrande information med visualiseringsmetoder	34
5. Referenser	39
6. Forskningsgruppens publikationer	41

1. Introduktion

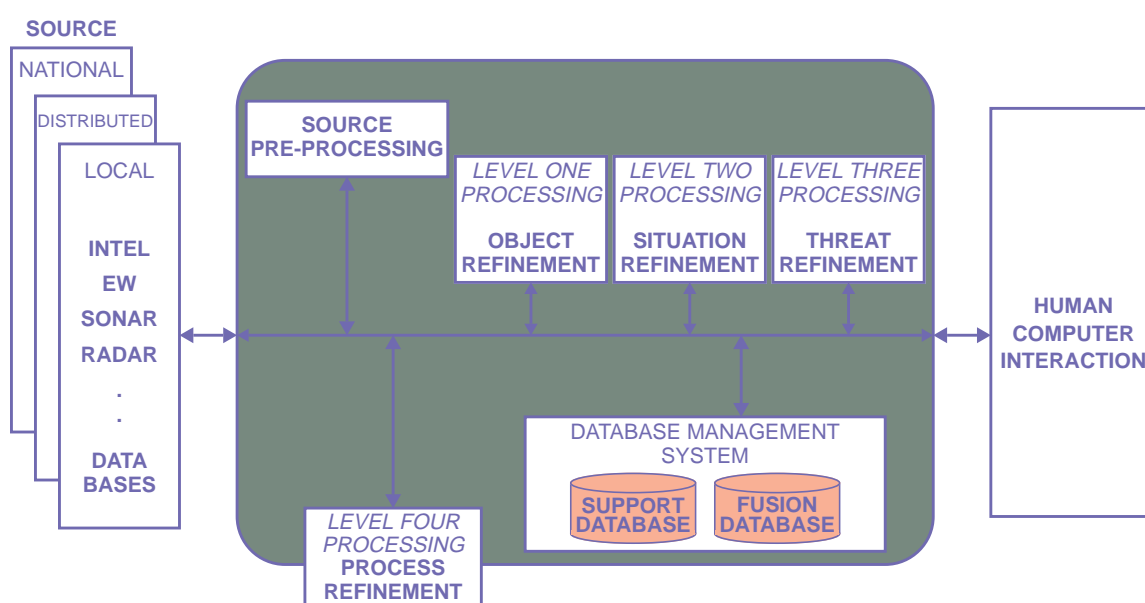
Datorstödda metoder för simulering, dimensionering, optimering och presentation av egna resurser, liksom databaser över underrättelseinformation och beräkningsregler för att uppskatta motståndarens taktiska möjligheter ingår sedan länge i försvarets lednings- och underrättelsesystem på olika nivåer i organisationen.

Vår verksamhet inom datafusion har i betydande utsträckning varit inriktad mot beslutsstöd i samband med underrättelseanalys i submarina tillämpningar [1-4]. Verksamheten har pågått sedan 1986, och kan kort beskrivas så att den centrala underrättelsefunktionen för ubåtsskyddet (*Marina analysgruppen*) stötts med programvara och konsulttjänster för att kunna lagra, hantera, analysera och sammanställa underrättelserapporter över observationer med anknytning till främmande undervattensverksamhet. En viktig uppgift för verksamheten är att skapa förutsättningar för att pröva olika slags hypoteser om regelbundenhet hos observationerna. Mycket talar för att vi även i fortsättningen bör lägga vår tyngdpunkt inom underrättelseområdet [5]. Vi bedömer att våra kunskaper om metodik för underrättelseanalys kan komma till nytta även inom andra områden än undervattenstillämpningar.

Utmärkande för underrättelseanalys är att man där arbetar med ett material som nästan alltid är behäftat med betydande osäkerhet. Vi har därför inriktat vår verksamhet mot utveckling av datafusionsmetoder som kan användas för att dra slutsatser ur osäkra data.

Datafusion är den process där osäker, ofullständig och motstridande information från olika källor slås samman för att ge en mer komplett och mindre osäker översikt över ett aktuellt problem baserat på hela informationsmaterialet. Datafusion spänner över ett stort område, från *multisensordatafusion* (Nivå 1), över *situationsanalys* (Nivå 2), *hotanalys* (Nivå 3) och *adaptation* (Nivå 4) med koppling till beslutsstöd och AI-tillämpningar, figur 1.

I situationsanalys identifierar man den situation som har orsakat observerade data



Figur 1. Datafusion enligt *Data Fusion Subgroup* (Joint Directories of Laboratories, USA).

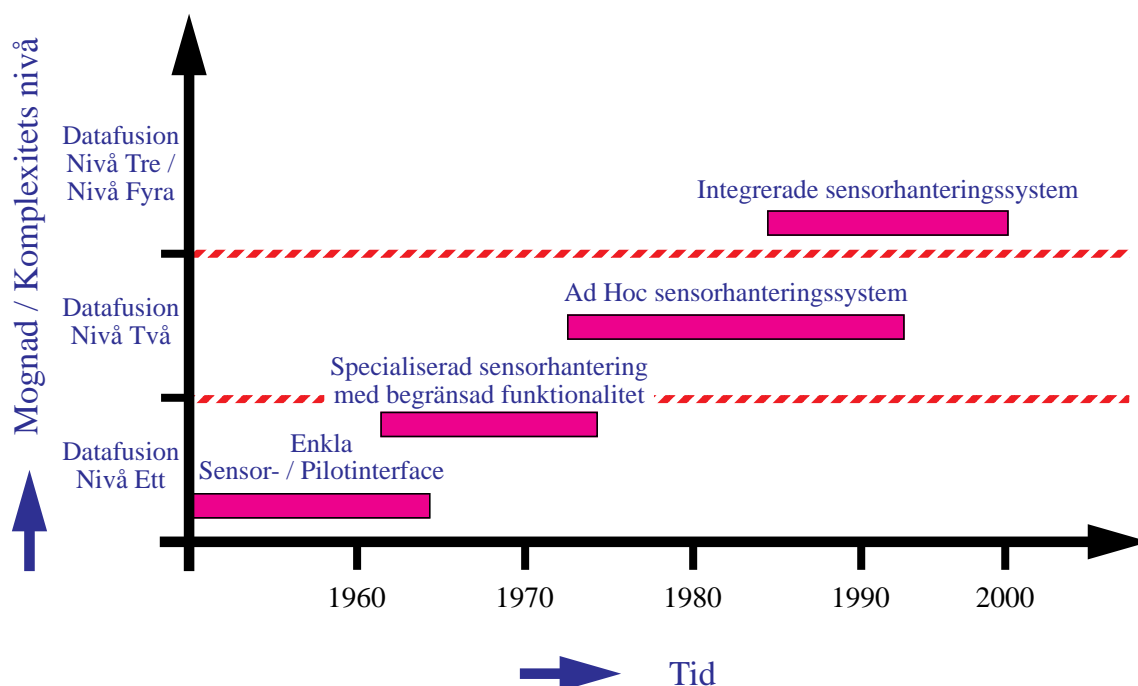
och händelser. Resultatet från lägre nivåers datafusion överlämnas till ett beslutsstödssystem för situations- och hotanalys. Här genererar man en mängd alternativa hypoteser angående den aktuella situationen. Hypoteserna utvärderas med hänsyn till observationerna och tilldelas sannolikheter. Målet för analysen är att maximera sannolikheten för den mest sannolika hypotesen. Situationsanalysen är en kronologiskt ordnad process där data anländer över tiden och analysen successivt förfinas mot en allt mer detaljerade och säker bästa hypotes.

Hotanalys är en process med flera olika perspektiv. Här analyseras risker och möjligheter för de egna styrkorna att möta motståndaren på ett effektivt sätt. Resultatet av den tidigare situationsanalysen kombineras med erhållna indikationer om motståndarens avsikter samt förhandslagrad information från tekniska och doktrinära databaser för att leverera en fullständig hotanalys.

Som resultat av beslutsstödsprocessen på datafusionsnivåerna 2 och 3 levereras ett antal tänkbara handlingsalternativ för de egna styrkorna. Beslutsfattaren kan observera både den genomförda situations- och hotanalysen direkt samt de mest lovande föreslagna handlingsalternativen inför sitt beslutsfattande.

Internationellt sker ungefär 2/3 av forskningen inom datafusion på delområdet multisensordatafusion, och 1/3 av forskning på högre nivåer: situations- och hotanalys samt adaptation. En kontinuerlig förskjutning pågår dock mot de högre nivåerna, figur 2. Vår forskning inom datafusionsområdet rör nivåerna två till fyra, särskilt nivå två och tre.

Datafusion är fortfarande en "emerging technology". Utvecklingen har sedan 70-talet letts av den militära forskningen. På låg nivå (Nivå 1: Multisensordatafusion) har datafusion rönt framgång inom både forskning och tillämpning. Denna utveckling förväntas fortsätta med både större bredd och djup. Sedan mitten av 80-talet har dock en snabb utveckling skett för den akademiska forskningen inom metodik som *management of uncertainty* och *machine learning* för de högre datafusionsnivåerna (Nivå 2: Situationsanalys, Nivå 3: Hotanalys). På sista tiden har även adaptation (Nivå



Figur 2. Datafusionens utveckling.

4) blivit ett prioriterat område, figur 3. Resultatet från en multisensordatafusionsprocess på låg nivå tillställs ofta en högre nivå datafusionsprocess där en situations- och hotanalys utförs. Denna analys utmynnar sedan vanligen i ett beslutsstöd eller ibland i indata till någon AI-tillämpning.

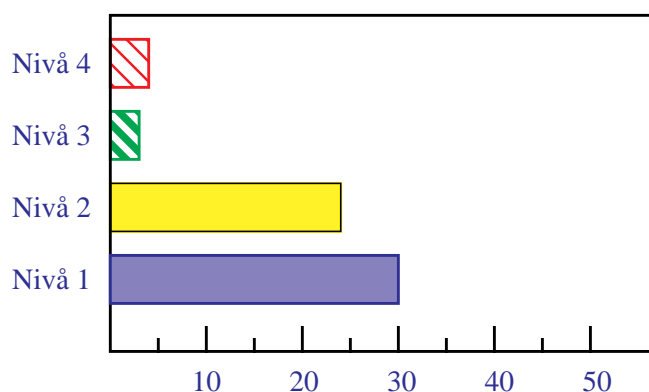
Det är på dessa högre nivåer som de största möjligheterna

ligger till nya genombrott. Ett sådant genombrott kan vara av avsevärd betydelse, särskilt inom tillämpningar som syftar till ett beslutsstöd på chefsnivå. Av stor betydelse i det något längre perspektivet, är också kopplingen mellan datafusion och sådana AI-tillämpningar där datafusionsprocessen utgör ett naturligt första steg i AI-tillämpningen. Denna utveckling kan successivt antas ersätta vissa beslutsstödstillämpningar på låg och mellannivå.

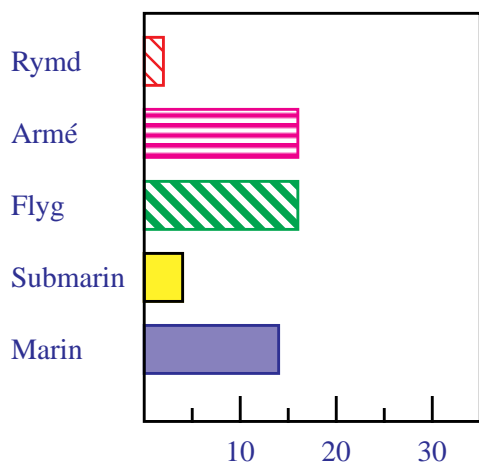
AI-tillämpningar har redan nått stora framgångar i enklare tillämpningar. Ett militärt exempel ges i den amerikanska rapporten *Critical Technology Assessment of the US Artificial Intelligence Sector* (US Commerce Department, Aug. 1994). I rapporten omnämns ett AI-system kallat DART (Dynamic Analysis and Replanning Tool). Systemet användes för planeringen av trupp- och materieltransport från Europa till Saudiarabien under *Desert Shield*. Rapporten säger att "this one application alone reportedly more than offset all the money the Advanced Research Projects Agency had funneled into AI research in the last 30 years."

I en rapport kallad *C⁴I for the Warrior* (Joint Chiefs of Staff, USA, 1992) beskrivs en samordning och utveckling av USAs C⁴I-system. Programmet innehåller tre faser bestående av: Quick Fix Phase (1992-2000), Mid-Term Phase (1995-2005) och Objective Phase (2000+). Målet är att ge "A fused, real time, true representation of the Warrior's battlespace - an ability to order, respond and coordinate horizontally and vertically to the degree necessary to prosecute his mission in that battlespace." För att uppnå detta under the Objective Phase satsar man nu speciellt på forskning inom "artificial intelligence (AI) applications; Multilevel security; data compression and data fusion; common operating and interface environments." Vidare säger rapporten "Artificial Intelligence (AI) techniques will support more efficient fusion and fully integrated multimedia, multi-functional workstations capable of near-real-time decision making."

I den amerikanska *National Critical Technologies Report 1995* skrivs i ett kapitel om Information and Management: "The ability to control and manage the increasing amounts of information available to us today remains a major technological challenge. The elements of this that are particularly critical are: data fusion, i.e., the ability to integrate data from a variety of different sources into a meaningful form; (...) There is also important applicability of data fusion to national security and warfighting. Highlighting key relationships, and simultaneously suppressing extraneous data can have direct application to tactical and strategic decisions made by commanders. They would have presented to them a digitized battlefield, plus its companion decision support system." Rapporten säger också



Figur 3. Antalet datafusionsystem i Amerikanska försvaret på olika datafusionsnivåer (1991).



Figur 4. Antalet datafusionssystem i Amerikanska försvaret för olika tillämpningar (1991).

att USA har ett litet försprång inom datafusion gentemot både Europa och Japan. Detta försprång påstås ha varit oförändrat under de senaste 5 åren.

Datafusion identifierades redan 1985 som en av de 20 viktigaste teknologierna för det amerikanska försvaret i *Critical Technologies Plan*. De senaste årens utveckling mot ledningskrigföring, informationskrigföring, digitala stridsrummet och *C⁴I for the Warrior* accentuerar datafusionens allt ökande

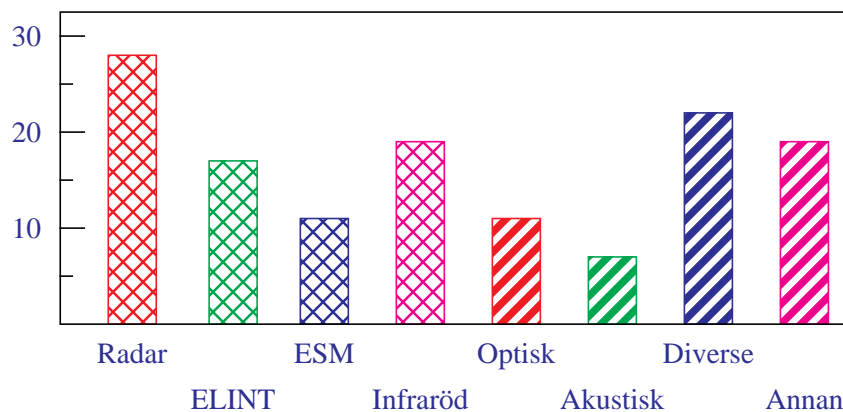
betydelse som kärnan i ett modernt ledningssystem informationsbehandlingsprocess.

Figurerna 4 och 5 visar fördelningen av insatser inom datafusion i det amerikanska försvaret 1991 på respektive tillämpning samt utnyttjande av datakällor.

Vår egen forskning har i huvudsak rört metodutveckling baserad på evidensteori (Dempster-Shaferteori) och metoder för klusteranalys.

Vi har utvecklat metoder som, baserat på tillgängliga underrättelserapporter, geografisk information samt negativ information i form av frånvaro av iakttagelser från egna underrättelsestyrkor med känd position, stöder underrättelseanalytiker i deras analys av flera samtida objekts tidigare, nuvarande och framtida positioner. Exempelvis har vi utvecklat metoder för att kunna särskilja vagt specificerade och sammanblandade underrättelserapporter med avseende på vilket objekt de hänför sig till. Dessa objekt kan därefter analyseras självständigt. Vidare har vi utvecklat en metod för att analysera de troligaste färdvägarna för varje enskilt objekt. Vi har också utvecklat metodik för beslutsfattande tillsammans med evidensteori.

I kapitel 2 diskuterar vi vad datafusionsmetoder kan bidra med till underrättelseanalys. I kapitel 3 diskuterar vi ett antal projektförslag för forskning om datafusionsmetoder för olika militära tillämpningar och i kapitel 4 ger vi en detaljerad beskrivning av ett antal studerade tillämpningar med aktuella metoder. De



Figur 5. Antalet datafusionssystem i Amerikanska försvaret som utnyttjar respektive typ av data (1991).

studerade tillämpningarna har varit:

- Datafusion på olika nivå i en hierarkisk organisation
- Taktisk militär vilseledning och dess påverkan på datafusionsprocessen
- Datafusion för analys av signalspaning mot samband (COMINT)
- Datafusionsmetoder för situationer med begränsad kunskap om doktriner
- Analys och presentation av händelser som stöd för integrerad situationsbedömning
- Presentation av tät och förvirrande information med visualiseringsmetoder

2. Vad kan datafusion bidra med i underrättelseanalys?

Inom underrättelseanalys talar man ofta om *Intelligence Preparation of the Battlefield* (IPB), figur 6. Det är en analytisk process för att ge befälhavare information om motståndarens gångna och nuvarande handlande samt framtida avsikter. Processen består av två delar:

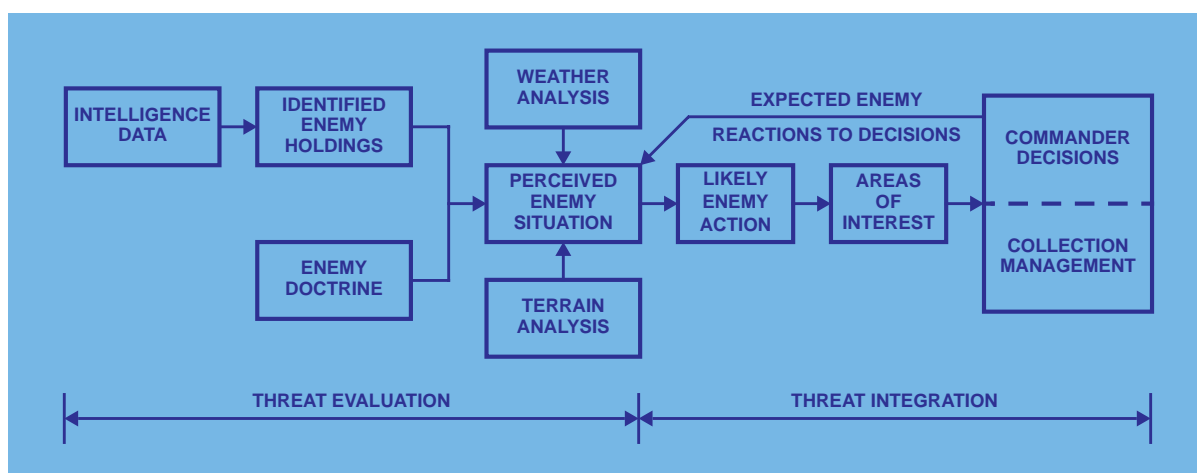
1. Bedömning av hot (*Threat evaluation*), och
2. Samordning av hotbedömning med geografi och väder (*Threat integration*).

För en beskrivning av underrättelseprocessen i allmänhet se [6].

I hotbedömning används erhållna underrättelserapporter för att tillsammans med förhandslagrad information om fientliga enheters hierarkiska förbindelser (*order of battle*) och doktriner presentera en bild av den aktuella situationen. Detta sker genom att mallar konstrueras vilka beskriver motståndarens olika typer av styrkors sammansättning, gruppering och förmåga. Dessa gör det möjligt att prognostisera motståndarens avsikter innan ett angrepp, samt att efter ett angrepp bekräfta eller förkasta sådana prognoser.

Hotbedömningen (*Threat evaluation*) sker i tre faser: Först skapas en doktrinmall för den aktuella styrkan. Detta görs genom att inkommande underrättelserapporter jämförs med förhandslagrade doktrinmallar. Alla tillgängliga underrättelserapporter fusioneras och resultatet av denna fusion fusioneras igen med doktrinmallarna. Dessa beskriver antagen gruppering av motståndarens styrka enligt doktrin men utan hänsyn till geografi och väder. Beskrivningen görs i detalj och kan själv utgöra ett viktigt element för att tillsammans med underrättelserapporterna identifiera vilken typ av motståndare vi möter. Eventuella konflikter mellan utsagorna hos underrättelserapporter samt mellan underrättelserapporterna som helhet och den förhandslagrade informationen om beteende och doktriner studeras och om möjligt elimineras. Resultatet blir en initial situationsbedömning på hög nivå baserad endast på generella beteenderegler och aktuella rapporter utan hänsyn till t.ex. geografien. Denna situationsbedömning utgör grunden för en samordning av hotbedömningen med geografisk information för att ge en förfinad situationsanalys.

I den andra fasan går man vidare och fokuserar på det aktuella geografiska



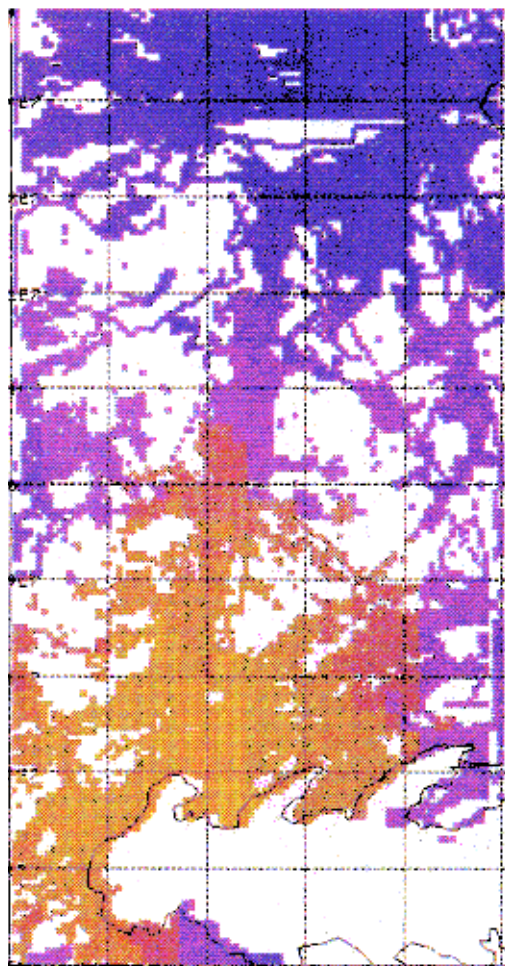
Figur 6. Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB).

området. Denna analys för att avgränsa det aktuella området baserar sig på alla de identifierade enheterna från den första fasen.

Slutligen studeras vår egen och motståndarens förmåga att röra sig, kommunicera samt bekämpa mål i den aktuella terrängen. Analysen baseras på det aktuella geografiska området med hänsyn tagen till vädret och de identifierade enheterna från föregående fas. Resultat av analysen är korridorer för förflyttning, avgörande terrängområden, skyddade områden, etc., figur 7, [7].

Därefter görs en samordning av hotbedömningen med geografi och väder (*Threat integration*). Detta är en sekventiell process i tre faser: Inledningsvis skapas en situationsmall utgående från den aktuella geografin och den tidigare doktrinmallen som beskrev motståndarens gruppering utan hänsyn till geografin. Analysen ger som resultat en trolig gruppering av motståndaren styrkor med hänsyn tagen till geografi och väder. Dessutom identifieras ett antal av de möjliga korridorer där motståndaren kan förväntas rycka fram.

Under samordningen av den initiala situationsbedömningen med geografisk information studeras utöver den förfinade situationsanalys som resulterar från samordningen, även de framtida kritiska händelser som kan förväntas ske baserat på



Figur 7. March genom korridorer av fientligt landstigningsföretag. Kartans färger anger tidigaste ankomsttid i minuter, räknat från marchstart (ljusgult = 0 minuter, mörkblått = 70 minuter).

den aktuella analysen. Här i den andra fasen skapas så ett antal händelsemallar baserat på några särskilda områden utefter dessa korridorer där förekomst eller frånvaro av aktivitet kan bekräfta eller förkasta gjorda prognoser över motståndarens avsikter. Med hjälp av dessa händelsemallar kan inhämtningen av underrättelser styras så att inhämtningsprocessen fokuseras på avgörande potentiella händelser. Detta görs genom att ställa specifika underrättelsefrågor angående de potentiella händelserna. Dessa förväntade händelser kan då användas som ett kriterium för om den aktuella analysen är riktig. En analys av vilka händelser som sker kan också användas som ett sätt att ytterligare förfina situationsanalysen om vissa av de förväntade händelserna sker men inte andra. Om det sker andra händelser än de förväntade och dessa står i strid med den aktuella situationsanalysen kan analysen förändras eller helt förkastas.

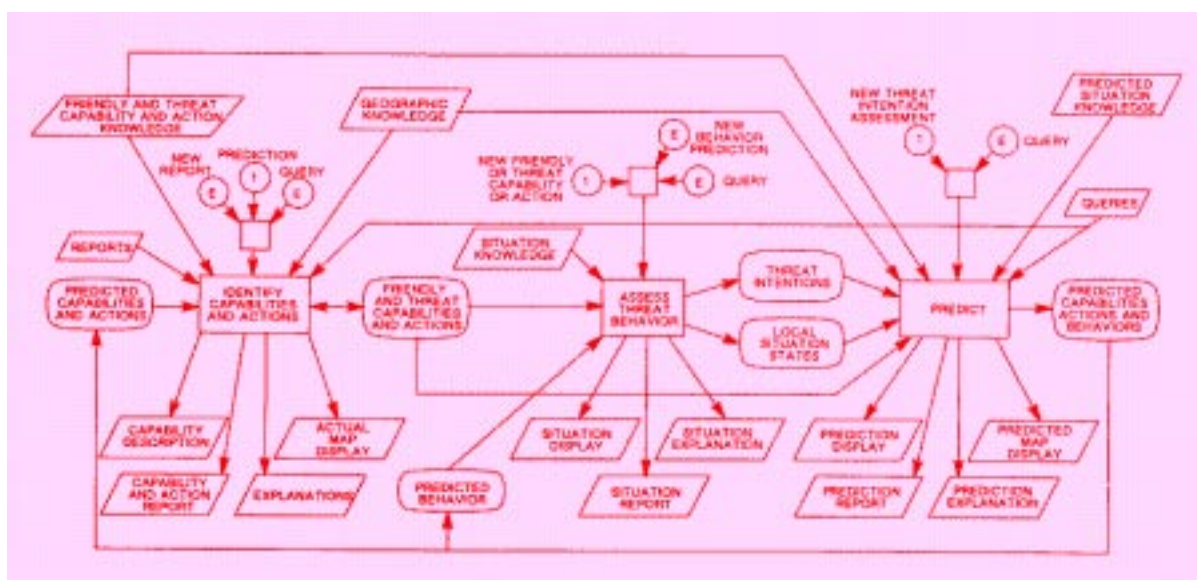
Det sista steget är att konstruera beslutsmallar. Dessa utgår ifrån de gjorda händelsemallarna och tänkbara mål för motståndaren och relaterar dessa till den egna beslutsfattarens beslutstillfällen. Det är de tillfällen då beslutsfattaren måste avgöra vilka uppgifter han skall ge de egna styrkorna för möta eller behålla möjligheten att senare möta motståndaren i de olika händelsealternativ som

ännu inte har förkastats.

Det är uppenbart att det finns mycket stora likheter mellan IPB-processen och datafusion. Det som i IPB kallas för hotbedömning (*Threat evaluation*) kallas i datafusion för situationsanalys, figur 8. Vidare är det som i IPB kallas för samordning av hotbedömning med geografi och väder (*Threat integration*) en kombination av det som inom datafusion kallas för situationsanalys och hotanalys.

IPB är således mycket lika datafusionens nivå 2 och 3. Man kan nästan säga att IPB är kombinationen av dessa två nivåer inom datafusion tillämpat på underrättelseanalys.

I termer av underrättelsecykelns fyra faser (*Direction, Collection, Production, Dissemination*) svarar IPB och Datafusion på nivå 2 och 3 mot underrättelsecykelns *Production* fas. I de fall där även en återkoppling finns från IPB till de två tidigare faserna för att styra informationsinhämtningen motsvarar detta datafusionens nivå 4: adaptation.



Figur 8. En funktionell modell av situationsanalys.

3. Projektförslag: Datafusion i underrättelseanalys

Här presenterar vi ett antal grupperingar (projektförslag) av tekniska diskussioner angående datafusion i underrättelseanalys. Dessa är

- Projektförslag I: Datafusion för underrättelsebearbetning
- Projektförslag II: Datafusion för COMINT
- Projektförslag III: Datafusion för presentation av händelser
- Projektförslag IV: Presentation av underrättelsesdata

I nedanstående tabell framgår hur dessa projektförslag relateras till de tekniska diskussionerna i kapitel 4.

Projektförslag

	Projekt I	Projekt II	Projekt III	Projekt IV
4.1	★			
4.2	★	★		
4.3		★		
4.4		★		
4.5	★		★	
4.6				★

4.1 Datafusion på olika nivåer i en hierarkisk organisation

4.2 Taktisk militär vilseledning och dess påverkan på datafusionsprocessen

4.3 Datafusion för analys av signalspaning mot samband (COMINT)

4.4 Datafusionsmetoder för situationer med begränsad kunskap om doktriner

4.5 Analys och presentation av händelser som stöd för integrerad situationsbedömning

4.6 Presentation av tät och förvirrande information med visualiseringsmetoder

4. Teknisk diskussion av projektförslag

I detta kapitel förs en teknisk diskussion av sex olika idéer vilka i olika kombinationer motsvarar de fyra projektförslagen. Dessa sex idéer kan indelas i tre olika kategorier:

1. Bred tillämpbarhet samt måttligt komplicerat
2. Långsiktiga vetenskapliga studier
3. Enkelt och användbart där olika tekniker med lätthet kan samordnas

Kategorisering av idéer

	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
4.1	★	★	
4.2		★	
4.3	★	★	
4.4		★	
4.5			★
4.6	★		★

- 4.1 Datafusion på olika nivåer i en hierarkisk organisation
- 4.2 Taktisk militär vilseledning och dess påverkan på datafusionsprocessen
- 4.3 Datafusion för analys av signalspaning mot samband (COMINT)
- 4.4 Datafusionsmetoder för situationer med begränsad kunskap om doktriner
- 4.5 Analys och presentation av händelser som stöd för integrerad situationsbedömning
- 4.6 Presentation av tät och förvirrande information med visualiseringsmetoder

4.1. Datafusion på olika nivåer i en hierarkisk organisation

Problemställning

En eller flera källor levererar data (eventuellt information) via olika kanaler / system.

Leveranserna påverkas

- dels genom tidsmässig fördröjning beroende av genom vilka system / sammanställningsnivåer som leveranserna skall passera,
- och dels struktureras data av olika befattningshavare vilket kan ge olika information då den görs tillgänglig för nästa högre nivå.

Detta skapar en osäkerhet i beslutsunderlaget hos beslutsfattare på aggregerad nivå.

Är det samma iakttagelse?

Vad är korrekt respektive förvanskat?

Underrättelsetjänsten behöver kunna genomföra jämförelser mellan källors rådata och olika organisatoriska nivåers sammanställningar och bedömningar.

Utvecklingen går mot att olika källor rapporterar in i en informationsdamm.

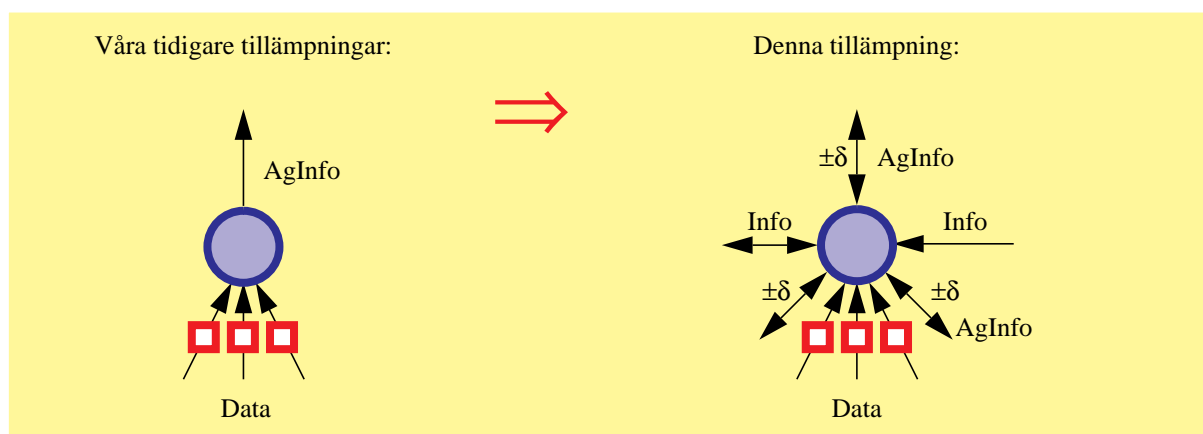
Diskussion

Denna problemställning kan i jämförelse med problemställningen i våra tidigare UND-projekt beskrivas enligt följande, figur 9.

Tidigare har vi studerat problem där vi tog emot inkommande data, sammanställde dessa och levererade ett beslutsunderlag. Nu får vi betrakta problemet då vi befinner oss i ett nätverk där vi både mottar data från lägre nivå och aggregerad information från högre och lägre nivå, samt lämnar vidare aggregerad information till både högre och lägre nivå.

I tidigare tillämpningar inom underrättelseområdet har vi utnyttjat evidensteori för att hantera statistisk osäkerhet i underrättelserapporter. Denna metodik kan utnyttjas även i denna tillämpning. Dessutom tillkommer här ett problem med underrättelserapports utsaga. Underrättelserapporters utsagor på olika nivåer kan ha olika specificitet och dessutom kan utsagor vara störda.

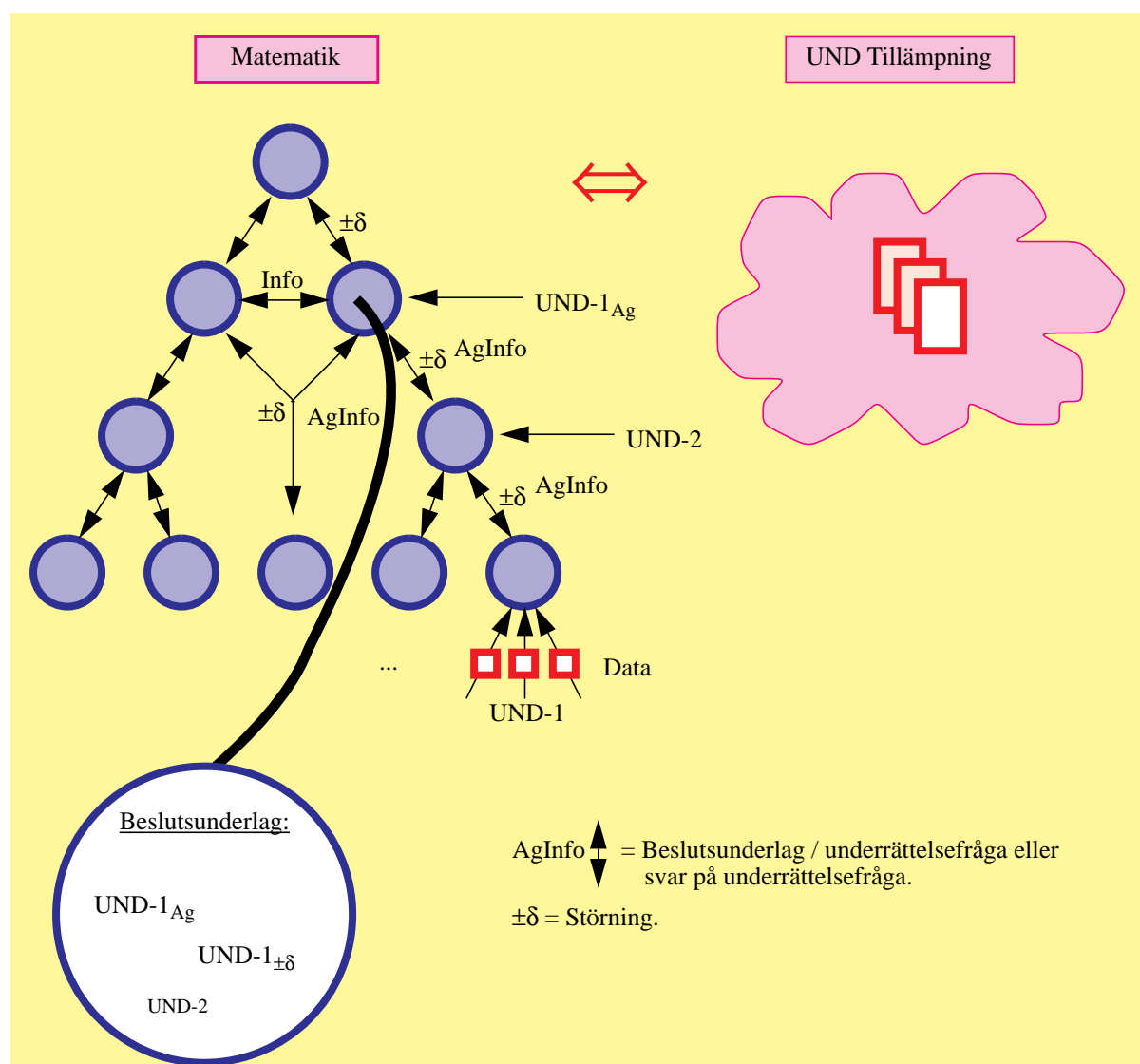
Inom evidensteorin finns viss metodik för att hantera uppgifter med olika specificitet. Man kan anta att uppgift från lägre nivå ingår i uppgift på högre nivå, och



Figur 9. Olika typer av tillämpningar.

därefter dra ifrån uppgiften på lägre nivå. Resultatet på högre nivå skulle då motsvaras av aggregerad information från övriga källor. Om detta är rimligt kan konstateras med hjälp av evidensteorin. Metodiken måste klara av aggregerad information både av typen sammanfattad information (På låg nivå: stridsvagnar i område A + stridsvagnar i område B, På högre nivå: stridsvagnar i område AB) och av typen olika representation på olika nivåer (På låg nivå: stridsvagnar, På högre nivå: stridsvagnskompani). Denna metodik kan ge ett bidrag till svaret på frågan: *Är det samma iakttagelse?*

Problemet med störd information, figur 10, har ingen omedelbar lösning inom evidensteorin. Här får vi finna kompletterande metodik. En idé vore att finna ett lämpligt mått på skillnaden mellan utsagor i underrättelserapporter. Skillnaden i ett



Figur 10. UND-1_{Ag} och Und-1 baseras på samma källa, UND-2 på annan källa. Två problem: Und-1_{Ag} är aggregerad information med lägre specificitet än Und-1 samt Und-1_{±δ} är information med störning. Vi måste således kunna hantera både störd information och information med olika specificitet samt information från samma och olika källor. Dessutom: UND-1_{Ag} och UND-1 kan basera sig på samma eller olika UND-enheter. Om det är samma UND-enhet så är dessa ej oberoende, om det är olika UND-enheter så förstärker informationen varandra.

sådant mått torde vara mindre för en störd utsaga och dess original än mellan två slumpvisa utsagor. Om måttet för skillnaden mellan utsagorna då ligger under ett visst tröskelvärde kan det vara frågan om en störd utsaga. Detta kan då ge ett bidrag till svaret på frågan: *Vad är korrekt respektive förvanskat?*

En annan intressant fråga är: *Vilken information är falsk? Är vi utsatta för vilseledning?* Inom evidensteorin finns ett konfliktmått alltid tillgängligt. Detta mått mäter hur motstridig den bakomliggande informationen är som ingår i aggregerad information på högre nivå. Ett högt konfliktmått tyder på att någon eller några av följande händelser har inträffat:

1. Våra egna källor rapporterar fel,
2. Vi har sammanblandat information som rör olika saker, eller
3. Vi har fått in falsk/vilseledande information i systemet. Ett högt konfliktmått är således en varningsklocka! Om man kan utveckla metoder som kan skilja på de tre anledningarna till ett högt konfliktmått återstår att se.

De här diskuterade lösningsidéerna ska bara ses som skissartade exempel på att dessa frågeställningar troligen har lösningar. Det kan naturligtvis uppkomma helt andra idéer om hur dessa problem bör angripas. I dagsläget kan vi inte säga något om hur stort bidrag dessa metoder ger till svaret på de ställda frågorna. Detta visar sig först vid en utvärdering av metodiken gentemot ett verkligt problem.

I en tillämpning med olika nivåer bör betydelsen av eventuella tröskelvärden för när information lämnas vidare till annan nivå beaktas. Om tröskelvärdet sätts för högt kan det utesluta information som betraktas som betydelselös på viss nivå men som skulle ha varit av betydelse på annan nivå. Man bör också betänka vilka effekter tröskelvärden kan ha när flera successiva nivåer är inblandade.

Ett annat intressant problem är ställande av underrättelsefråga och den påverkan av tolkningen som detta ger ("Man hittar där man letar"). Ställande av underrättelsefråga är en typ av styrning av underrättelseprocessen. Sådan styrning kan vara av åtminstone tre typer:

1. Styrning av *fokus*,
2. Styrning av *handlande*, och
3. Styrning av *inferens*.

Styrning av *fokus* bestämmer vilket delproblem vi nu söker lösning till. Styrning av *handlande* bestämmer när vi ska sluta insamla uppgifter och gå till beslut. Styrning av *inferens* bestämmer vilka metoder vi ska använda för att lösa problemet, vissa metoder kan vara mycket noggranna men långsamma, andra kan vara snabba men med lägre noggrannhet. Hur dessa aspekter av underrättelsefråga påverkas vid förändring av specificitet och störning när underrättelsefråga ställs till en annan nivå kan vara av intresse.

Slutsats:

Den angivna frågeställningen är i högsta grad relevant att studera! Dock är det nödvändigt att göra detta studium / utvecklande av generell metodik tillsammans med ett konkret problem.

4.2. Taktisk militär vilseledning och dess påverkan på datafusionsprocessen

Projektet avser studera och utveckla datafusionsmetoder för att analysera underrättelser vid taktisk militär vilseledning inom ledningskrigföring. Låt oss börja med några definitioner:

Definition (MOP 30): Command and Control Warfare (C2W), figur 11:

The integrated use of operations security (OPSEC), military deception, psychological operations (PSYOP), electronic warfare, and physical destruction, mutually supported by intelligence, to deny, influence, degrade, or destroy adversary command and control capabilities while protecting friendly command and control capabilities. C2W is both offensive and defensive:

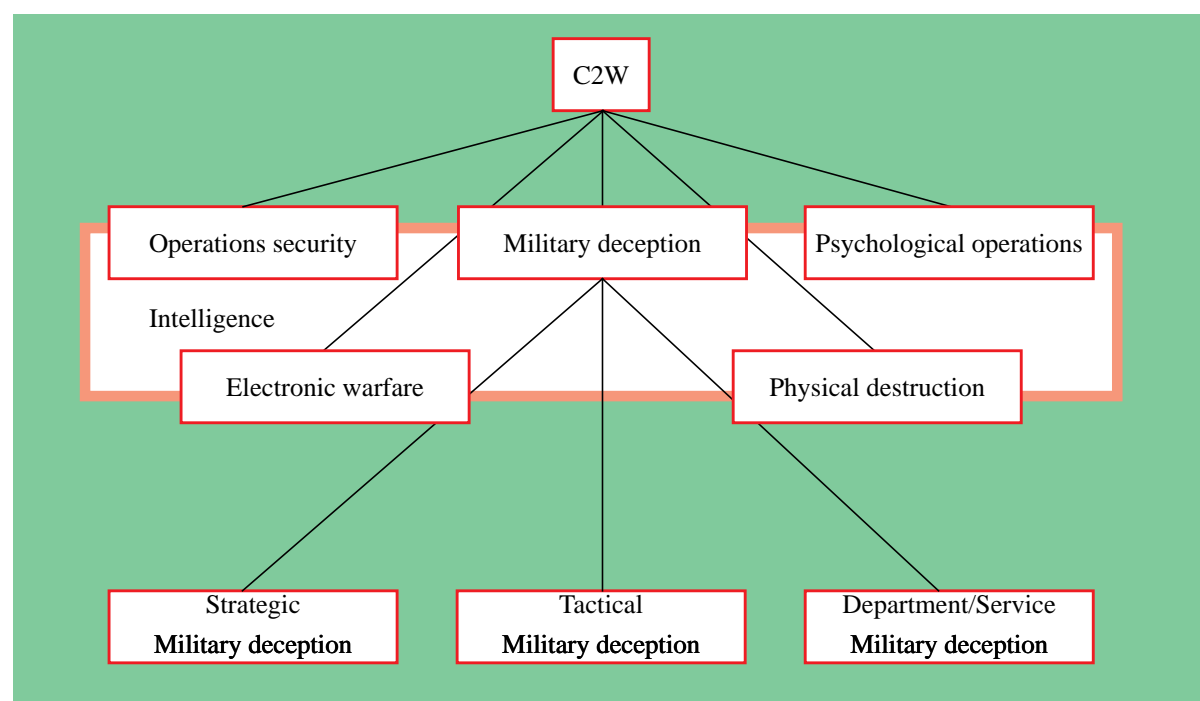
- a. **Counter-C2.** To prevent effective C2 of adversary forces by denying, influencing, or destroying the adversary C2 system.
- b. **C2-Protection.** To maintain effective command and control of own forces by turning to friendly advantage or negating adversary efforts to deny, influence, degrade, or destroy the friendly C2 system.

Definition (MOP 30): Military Deception:

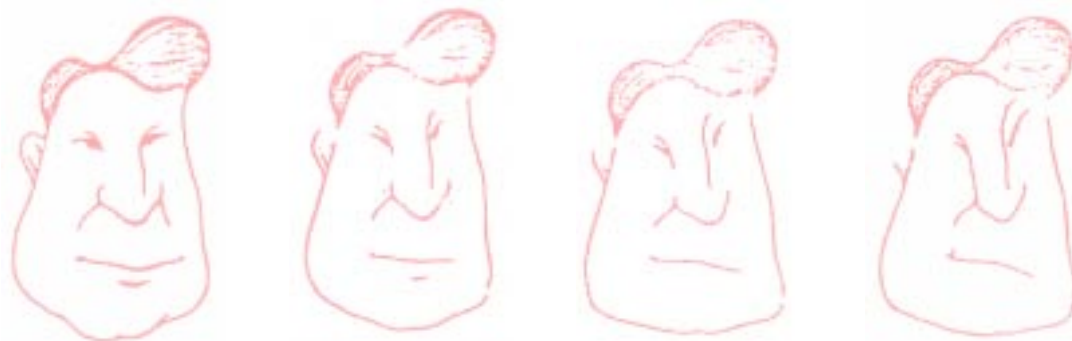
Actions executed to mislead adversary decision makers, causing them to derive and accept desired appreciations of military capabilities, intentions, operations, or other activities that evoke foreign actions that contribute to the originator's objectives.

Definition: Tactical Military Deception:

Military deception planned and executed by and in support of operational commanders against the pertinent threat, to result in opposing operational actions favorable to the originator's plans and operations.



Figur 11. C2W taxonomi.



Figur 12. En man!

Diskussion om analys av underrättelsesdata vid vilseledning:

Vilseledaren vill förmå sin motståndare att sluta sig till [9]:

- att vilseledaren är någon annanstans,
- att vilseledarens vapen och trupper är annorlunda än vad dom är,
- att vilseledaren avser göra någonting annat,
- att vilseledaren avser göra det vid någon annan tid,
- att vilseledaren avser göra det på något annat sätt,
- att motståndarens kunskaper om vilseledaren är större eller mindre än vad de faktiskt är,
- att motståndarens operationer är antingen mer eller mindre framgångsrika än vad de faktiskt är.

Motståndaren vill ha svar på frågorna:

- Är jag utsatt för vilseledning?
- Vem (exakt) vilseleder mig?
- Varför är jag utsatt för vilseledning?
- Vilka händelseutvecklingar är möjliga?

Vilseledaren uppnår detta genom att förse motståndaren med information som är trovärdig i sig själv och som samtidigt överensstämmer med en händelseutveckling som motståndaren finner rimlig [10], figur 12, 13.

Att motverka vilseledning är en tvåstegsprocess. Först måste man identifiera målen för vilseledningen. Det andra steget är att identifiera hur vilseledning mot dessa mål kan kännas igen.

Att upptäcka vilseledning består i hög grad av att upptäcka inkonsekvens i underrättelseinformationen! På lägre nivå kan man söka efter inkonsekvens i sensorinformationen. Om man har tillgång till sensorer av olika typ kan man undersöka om information saknas från en viss typ av sensor:

1. På underrättelsenivå kan vilseledning upptäckas genom att jämföra aktuell underrättelseinformation med vilseledarens *förmåga och valmöjligheter*. Detta motsvarar vad som inom datafusion kallas för "Nivå 2 / Situation Assesment"



Figur 13. En man?

respektive “Nivå 3 / Threat Assessment”.

2. När relationen mellan aktuella indikationer (med uppgift om tid och rum) och tänkbara händelseutvecklingar har fastställts så kan *avvikelser från hypoteserna* hjälpa underrättelseanalytikern att upptäcka vilseledning. Här är det också möjligt att frånvaron av viss information, som borde ha funnits för att bilden skulle vara konsekvent, kan fungera som en varningsklocka. Avsaknad av information kan bero på att:

- aktivitet finns men är dold,
- aktivitet saknas och andra aktiviteter är iscensatta, figur 14,
- aktivitet saknas och andra aktiviteter är del av en händelseutveckling för vilken vi saknar hypotes.

I datafusionstermer är detta frågan om situations- och hotanalys (Nivå 2/3) sammanblandat.

Om information saknas kan informationsinhämtningen styras för att finna eventuell dold aktivitet. Detta motsvarar vad som inom datafusionen kallas för “Nivå 4 / Adaption”. Om aktivitet trots detta inte upptäcks så måste både inhämtningsprocessen och analysen omstyras (Datafusion Nivå 2/3/4).

3. Även utan att göra en situations-/hotanalys kan det vara möjligt att finna inkonsekvens i underrättelseinformationen:

Inom evidensteorin (en metod från datafusion) finns ett konfliktmått alltid tillgängligt. Detta mått mäter hur motstridig den bakomliggande informationen är som ingår i aggregerad information på högre nivå.

4. Slutligen borde det gå att utveckla viss generell metodik som bygger på generell kunskap om hur analysresultatet från två olika analyser vid två olika tider rimligen kan förändras. En förändring mellan två olika tidpunkter som inte är konsekvent med denna generella kunskap vore en varningsklocka för att vilseledning pågår.



Figur 14. Två kvinnor!

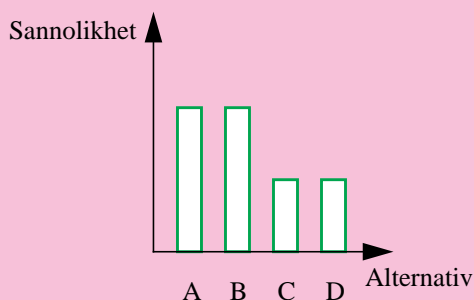
Exempel (förenklat resonemang!):

Antag att underrättelserapporter är klassificerade efter hur trovärldiga de är. Detta medför att vi kan beräkna sannolikheten för olika alternativ baserat på de rapporter som stöder respektive alternativ.

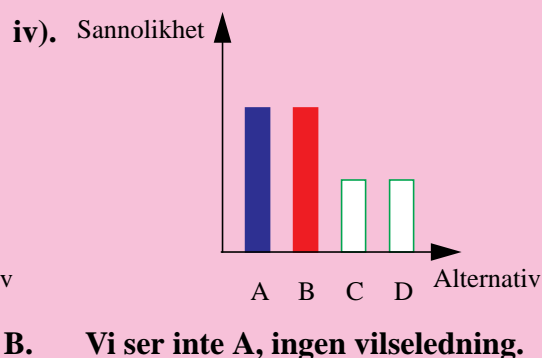
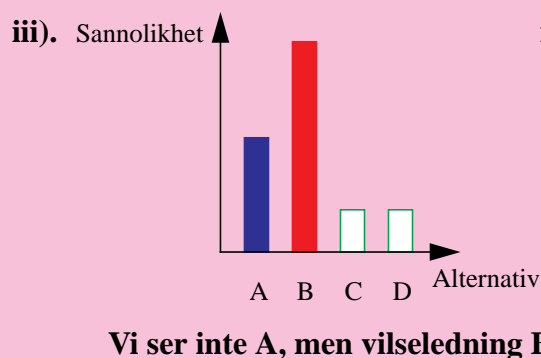
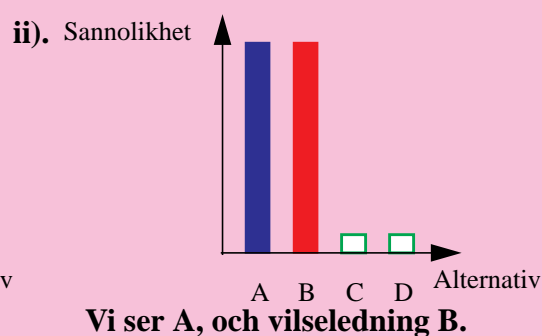
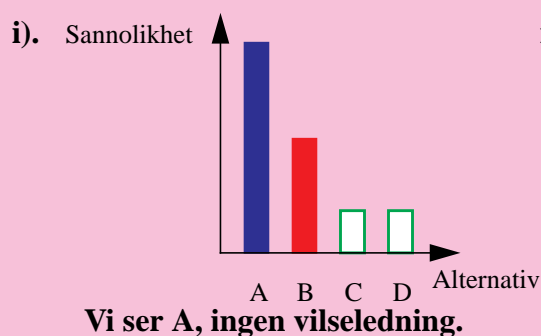
Antag vidare att vår motståndare har fyra (4) handlingsalternativ. Vi har en

I

Vår sannolikhet för motståndarens nästa handling (baserad på vår redan gjorda datafusion).

**II**

Motståndaren gör A (utan vår direkta vetskap). Vår nya sannolikhet:



Figur 15. I situation iii) kan vi inte upptäcka vilseledning, däremot finner vi att vi är utsatta för vilseledning i situation ii).

sannolikhetsfördelning för dessa alternativ som är baserat på den datafusion vi redan har gjort (figur 15: Situation **I**).

Vår motståndare väljer (oss ovetande) alternativ A. När vi erhåller ny information förändras vår sannolikhetsfördelning. Om vilseledning förekommer borde den förändras på ett annat sett än om vilseledning inte förekommer. I vissa situationer borde det gå att upptäcka att en sådan förändring är inkonsekvent med vår grundkunskap om vad som är möjligt (figur 15: Situation **II ii**). Detta vore en indikation på vilseledning!

Antag att vilseledaren utför alternativ A och vilseleder oss med alternativ B, vilken är vår näst bästa hypotes **II ii**). Båda alternativen upptäcks och får högre sannolikhet än tidigare. Då både aktiviteten och vilseledningen är trovärdiga får vi svårt att vet vilken som är den riktiga aktiviteten. Jämför med situation **II i**) där vi upptäcker A utan vilseledning. Här får A högre sannolikhet och B lägre.

Om vår grundkunskap nu säger oss att sannolikheten inte bör öka samtidigt på de bästa hypoteserna, så vore detta en varningsklocka i situationen **II ii**). Emedan vi i situationen **II i**) skulle acceptera analysen. Observera att vi tyvärr också skulle acceptera analysen i situation **II iii**) med denna metodik.

Det torde således gå att utveckla både metoder som bygger på en situations/hotanalys (1-2), metoder som är rent matematiska (3) och metoder som kombinerar en matematisk analys med generell kunskap om vad som är möjligt (4) för att upptäcka och hantera vilseledning. Man kan sedan naturligtvis också göra en datafusion på hög nivå av resultatet av alla dessa fyra metoder, och då erhålla en säkrare analys!

Resonerande över tiden

Även om den tidigare diskussionen av analys av underrättelsesdata vid vilseledning säkert är det viktigaste i ett projekt med inriktning mot datafusion för taktisk militär vilseledning så uppkommer också två följdproblem.

1. Det första är ett spelteoretiskt problem. Vi har en sannolikhetsfördelning över våra hypoteser. Vilseledaren har en egen sannolikhetsfördelning om vad han tror om våra egna hypoteser. Vilseledarens aktivitet och vilseledning beror således på hans uppfattning av vår uppfattning. Om vi antar att vilseledaren vill vilseleda oss genom att simulera aktivitet för en av våra trovärdiga men felaktiga hypoteser, så måste vi också känna till hans uppfattning om vår sannolikhetsfördelning för att kunna göra en korrekt analys.

Här uppstår ett resonemang av typen, om vilseledaren simulerar aktivitet för alternativ B och vi riktar vår energi mot att undersöka alternativ B så vet han, om han upptäcker vår riktade energi, att alternativ B får en högre sannolikhet hos oss än den tidigare hade. Om vi sedan riktar vår energi åt andra håll så kan han anta att alternativet har fått en minskad sannolikhet. I situationen då vi inte riktade vår energi överhuvudtaget mot alternativ B, så kan han anta att alternativet hade och fortfarande har en låg sannolikhet. Då är B kanske plötsligt en intressant och överraskande handlingsalternativ för vår motståndare.

2. Det andra problemet är när vi senare upptäcker att vi måste ändra på en tidigare slutsats. Vi kan resonera med hjälp av två olika metodiker.

Om vi har ett inte alltför stort antal alternativ vid varje tidpunkt så kan vill hålla reda på alla dessa alternativ och alla dess kombinationer. Vi skulle kunna beräkna sannolikheten för varje kombination av alternativ från de olika tidpunkterna. Om

vissa kombinationer av alternativ från olika tidpunkter är likvärdiga så kan dessa slås ihop för att förenkla resonemanget. Detta är den vanliga metoden inom evidensteorin (en metod inom datafusion).

Om vi istället har ett mycket stort antal alternativ men där endast ett eller ett fåtal alternativ är riktigt trovärdiga, då blir det enklare att göra ett antagande om händelseutvecklingen (som vi kanske senare måste göra om). Detta för att förenkla resonemanget. Detta kallas för icke-monotont resonerande (en metod inom artificiell intelligens). En typ av resonerande där man håller reda på gjorda antaganden och kontrollerar under det fortsatta resonemanget att dessa antaganden fortfarande är möjliga.

Ett verkligt problem:

Det torde vara absolut nödvändigt att vi får tillgång till en verklig ("tvättad") problemställning så att vi under utvecklingen av generell metodik för att lösa denna *typ av* problem (som beskrivs i kapitlen 4.1 och 4.2) kan testa metoderna på ett konkret exempel! Om inte det ställs till förfogande så kommer metodiken att utvecklas i ett vakuum där vi inte kan vara säkra på dess användbarhet. Att vi söker ett verkligt konkret problem betyder inte att metodiken konstrueras speciellt för detta problem. Metodiken ska fortfarande vara generell för denna *typ av* problemställningar.

Slutsats:

Att införliva metodik för att hantera vilseledning i system med datafusionskapacitet är naturligt [10]! Det torde vara mest intressant att göra detta på underrättelsenivån.

4.3. Datafusion för analys av signalspaning mot samband (COMINT)

4.3.1. Bakgrund

Signalspaning är en förutsättning för effektiv insats av telekrigsmedel mot radiokommunikation. Den utgör samtidigt en viktig informationskälla vid sammanställning av en allmän lägesöversikt. Typiska uppgifter för signalspaning mot radiosamband kan vara att fastställa var fiendliga förband finns och av vilken typ de är, samt hur radionätsstrukturen ser ut.

I framtiden kommer signalspaningen mot radiosamband successivt att få en annan karaktär än vad den hittills har haft. Förändringen som sker är att en ökande andel av det militära taktiska radiosambandet använder sig av frekvenshopp och/eller kryptering. Även om man lyckas med att pejla sådana sändningar innebär detta att informationsinnehållet inte längre är tillgängligt för avlyssning. Den information som ligger i radionäts användning av fixfrekvenser är likaledes borta. Dessa förändringar innebär ett klart försämrat underlag för slutsatsdragning från signalspaningsdata.

Problemet har blivit aktuellt genom att man vid FOA har utvecklat ett signalspaningssystem (SP-systemet) som är kapabelt att pejla frekvenshoppande radiosystem. Den fråga som för närvarande inte har studerats närmare är vilka metoder man kan använda för att tolka data från ett sådant system.

4.3.2. Problembeskrivning

Problemet att tolka data vid signalspaning mot frekvenshoppande radiosystem kan delas in i två nivåer. Den ena är vad man brukar benämna "Teknisk signalspaning", vilket innebär att man utvinner information om radiotrafiken på signalnivå. Det kan t.ex vara att man i signalen hittar komponenter som är unika för varje radionät, etc. Hur långt man kommer med denna typ av analys är osäkert, det beror i hög grad på radiosystemens tekniska lösningar, vilka kan variera mellan system och framförallt ändras när den tekniska utvecklingen går vidare. På den andra nivån gäller det att försöka göra en helhetstolkning av alla enskilda informationsbitar. Detta görs i dagens signalspaning av en erfaren expert. Den uppgift experten löser kräver mycket kunskap, bl.a om fiendens typiska organisation och uppträdande, men kan i mycket betecknas som en intuitiv process som är svår att formalisera.

Den roll som datafusion skulle kunna spela i det här sammanhanget är som stöd för tolkningen på den högre nivån. Detta motiveras av den utveckling som skisserades i bakgrundsbeskrivningen ovan, med ökande inslag av radiosystem som använder sig av hoppfrekvens och kryptering. Denna utveckling medför stora svårigheter att se vem som kommunicerar med vem. Detta är något av ett kärnproblem i sammanhanget vars lösning är en förutsättning för vidare slutsatsdragning.

Under antagandet att man genom data från lägre nivå i analysen (t.ex Teknisk Signalspaning) kan få indikationer, behäftade med osäkerhet, på parvis kommunikation mellan enheter, får uppgiften på den högre nivån karaktären av ett kombinatoriskt problem. Sådana problem är i allmänhet svåra för en människa men kan sägas vara en huvuduppgift inom datafusion.

Avsikten med datafusion i denna tillämpning vore alltså inte att försöka ersätta eller överträffa experten, utan att ge stöd till den del av problemlösningen som är av

kombinatorisk karaktär. För att använda datalogitermer är det inte ett expertsystem som behövs utan snarare en "intelligent assistent" med förmåga att hantera kombinatoriska problem.

Det finns flera tänkbara utvidgningar av problemet. En är att man kombinerar data från signalspaningssystemet med Und-information om fientliga enheters typ och position. Denna typ av fusion sker idag "manuellt" vid signalspaningsförbanden.

4.3.2.1. Relevans

Projektet har en viktig funktion att fylla i det att man visar vad som i framtiden är möjligt att få ut av de data man får via signalspaning. I närtid blir resultaten direkt användbara för SP-systemet. Resultaten från ett sådant här projekt skulle dessutom kunna ge en uppfattning om vilken information våra egna förband ger ifrån sig genom sitt radiosamband.

4.3.2.2. Testbarhet

Genom data från SP-systemet kan framtagna metoder testas vid svenska försvarsövningar. För systematisk testning kan man använda data framtagna genom simulering.

4.3.2.3. Risk

Problemet kan delas upp i flera nivåer med olika svårighetsgrader och därmed risker. Eftersom inget är gjort inom området kan även "enkla" lösningar, t.ex inom visualiseringsområdet, vara värdefulla. Det är m.a.o. möjligt att sprida sina risker.

4.3.2.4. Teknikområden

De teknikområden vars relevans för problemet verkar uppenbara är statistik- och sannolikhetsteori, mönsterigenkänning och kombinatorisk optimering. Då problemet till sin grund är av kombinatorisk art så kommer naturligtvis tekniker för kombinatorisk optimering i fokus. Några användbara tekniker inom detta område är bl.a. metoder baserade på neuronnät och genetiska algoritmer.

4.3.3. Resurser och samarbete

4.3.3.1. Involverade grupper

De grupper som är av intresse är SP-projektet [11] vid Foa 7 samt kanske S1 i Enköping. Att SP-projektet finns "inom huset" är av avgörande betydelse. Genom detta man kan få tillgång till verkliga data samt även allmän kunskap om signalspaningssystem. Kontakter inom S1 kan vara ett sätt att skaffa sig en bild av hur experterna inom signalspaning resonerar och vilka apriorikunskaper som finns.

4.3.3.2. Andra aktiviteter inom området

Inom ramen för Foa-projektet "Teknisk-Taktisk Duellsimulering" har det utförts en del arbete inom området. Man har där tagit fram statistiska metoder för detektering av trafik mellan två enheter samt påbörjat försök med datafusion av dessa data. Denna verksamhet har emellertid varit klart underbemannad och det finns all anledning att genomföra ett projekt inom detta område i större skala.

4.4. Datafusionsmetoder för situationer med begränsad kunskap om doktriner

4.4.1. Bakgrund

Denna idé är *exemplifierad* (!) med signalspaning med låg apriori kunskap.

Ett potentiellt problem vid datafusion på hög nivå (t.ex för övergripande situationsbedömning) är utnyttjandet och därmed beroendet av förkunskaper om fiendlig organisation, doktrin, etc. Ett sätt att minska detta beroende är att man ökar inslaget av inläring i datafusionsmetoderna.

4.4.2. Problemet

Ett centralt problem vid situationsbedömning utgående från signalspaning mot radiosamband är att försöka fastställa hur nätstrukturen ser ut. När detta är gjort har man sedan bättre underlag för att gå vidare med typbestämning och eventuell identifiering av enskilda enheter. När fastställandet av nätstrukturen inte kan göras med säkerhet måste man försöka göra en bedömning av den troliga nätstrukturen. Vid denna bedömning spelar förkunskaper om fiendens organisation och doktrin en stor roll. Risken med detta är att man står hjälplös om verkligheten inte stämmer med det förväntade. Ett sätt att tackla detta problem vore införandet av datafusionsmetoder som använder sig av en minimal uppsättning förkunskaper och som sedan bygger på detta med inläring från data.

4.4.3. Relevans

Framtidens krig blir mer och mer ett informationskrig. Att under pågående konflikt snabbt lära sig hur fienden uppträder och hur han använder sina tekniska hjälpmedel är därför något som är av stor vikt. Detta projekt skulle visa på vilka möjligheter som datafusion ger i detta sammanhang.

4.4.4. Testbarhet

Testning av sådana här system är onekligen ett problem. Hur testar man mot det oförutsedda? En stor del testningen måste troligtvis ske via simuleringar men även test mot verkliga data (från svenska försvarsövningar) är nog nödvändigt om man vill skapa förtroende för metoderna.

4.4.5. Risk

Projektet måste bedömas som ett högriskprojekt.

4.4.6. Involverade grupper

S1 i Enköping med sina experter på signalspaning mot radiosamband är naturligtvis mycket viktig i sammanhanget. SP-projektet [11] vid FOA 7 är också viktigt som källa för verkliga data.

4.4.7. Teknikområden

Området “Machine Learning” (ML) är naturligtvis centralt i sammanhanget. ML är ett stort område som rymmer många olika tekniker och det är omöjligt att i förhand, innan man analyserat problemet, säga vilka som är lämpliga.

4.5. Analys och presentation av händelser som stöd för integrerad situationsbedömning

4.5.1. Problemområdet

Integrerad situationsbedömning är en kunskapsintensiv process som består i att övervaka iakttagbara händelser i syfte att finna indikationer på särskilda aktiviteter eller avvikelser från förväntade mönster. Uppgiften är att hålla beslutsfattare informerade om läget och prediktera framtida aktiviteter. Resultatet och kvalitén på situationsbedömningen är i hög grad beroende av den enskilde analytikerns kunskap och erfarenhet.

Uppgiftens karaktär gör problemområdet lämpat för stöd i form av kunskapsbaserade tekniker. I [12] beskrivs ett kunskapsbaserat system för situationsbedömning baserat på analys av temporala samband mellan händelser. Nedan följer en översiktlig beskrivning av detta system.

4.5.2. Vad har gjorts - exemplet TAS/TTM

TAS (= Timeline Analysis System) är namnet på en samling beslutsstödsverktyg för lagring, display och manipulation av underrättelsesdata, särskilt händelser (kommunikation, förflyttningar, etc.). Systemet är utvecklat av GTE Laboratories Inc. för Rome Laboratory (U.S. Air Force), och innehåller följande verktyg:

- Tidsdiagram ("Timeline"), som möjliggör visning av inrapporterade händelser i tidsordning, med olika ikoner för olika typer av händelser. Alla händelser har klickbar hypertext som visar kommentarer och attribut för händelsen.
- Karta, som visar händelsernas läge på en karta. Både karta och tidsdiagram innehåller filtrerings- och frågemekanismer som stöd för analysen.
- Ordbok, som innehåller användardefinierad terminologi som anknyter till problemområdet, med nyckelord för frågor mot händelsesdata.
- Skrivtavla ("Chalkbord"), där användaren kan föra anteckningar.

Syftet med systemet är alltså att stödja underrättelseanalysen genom att möjliggöra för användaren att visa och manipulera inrapporterade händelser på olika sätt. Analysen utförs fortfarande manuellt.

Till TAS har senare fogats verktyg som syftar till att delvis automatisera även analysprocessen, dels ett verktyg för uppbyggnad av modeller av typiska händelseförlopp och dels en modul baserad på expertsystemteknik där aktuella händelser jämförs mot de händelsemodeller som finns inlagda i modelldatabasen, i syfte att identifiera möjliga pågående förlopp och prediktera förestående händelser. Målet har varit att ytterligare underlätta analytikerns arbete, inte genom att helt låta systemet ta över analysen, utan snarare genom att låta systemet fungera som en "intelligent assistent" till analytikern. I och med att erfarna analytikerns kunskap dokumenteras i modellerna kan man också få en bättre kontinuitet i arbetet, vilket minskar problemen då erfarna analytiker slutar.

Med hjälp av ett modelluppbyggnadsverktyg specificeras modeller av händelseförlopp, sk TTM:er (= Temporal Transition Models), som innehåller tillstånd (motsvarande händelser) och övergångar mellan tillstånd ("transitions"), vilka definierar ordningen mellan olika tillstånd och temporala relationer mellan händelser. Villkor kan sättas både på tillstånd (t.ex., händelsens typ måste stämma, händelsens

attribut måste stämma) och övergångar mellan tillstånd (t.ex., övergången måste ske inom viss tid), och vilka förgreningar i modellen som tillåts (AND, OR). Verktøget är grafikbaserat och upplagt på samma sätt som TAS tidsdiagram. Tillstånd representeras med ikoner och övergångar med pilar som går mellan händelserna. Modelluppbyggnadsverktøget är konstruerat så att användaren själv, som troligtvis har begränsad datalogisk kunskap, ska klara av att lägga in och modifiera modellerna utan hjälp av en sk kunskapsingenjör. Detta för att möjliggöra snabba ändringar i modellerna.

Expertsystemdelen, kallad K-PASA (= Knowledge-based Prediction Analysis and Situation Assessment), fungerar som ett datadrivet expertsystem. Som indata ges en samling händelser som valts från TAS tidsdiagram och en eller flera modeller från modelldatabasen. Jämförelsen utgår från modellernas första tillstånd, och systemet letar reda på de händelser som matchar detta. Då matchningen lyckas fortsätter processen med påföljande övergångar och tillstånd i modellen i den ordning de kommer, tills alla grenar i modellen terminerat eller inga händelser matchar nästa tillstånd eller övergång. Utdata från K-PASA är en beskrivning av de mest sannolika aktiviteterna, tillsammans med en förklaring av systemets slutsatser baserade på grafik och naturligt språk. Man kan i detta läge också få en prediktion om förestående händelser baserad på aktuella slutsatser.

Systemet stödjer inte hantering av konfidenser vad gäller data, alltså den tilltro man sätter på de händelser som inrapporteras, eftersom händelserna i TAS databas aldrig åsätts något konfidensmått. De konfidensvärden som åsätts en viss hypotes härrör från modellmatchningen, och går efter den enkla principen att ju flera steg som matchas desto högre sannolikhet har man att hypotesen stämmer.

Förklaringsmekanismen är en viktig del i systemet, eftersom det är känt att man som användare tenderar att misstro automatiska system om man inte får en förklaring av hur systemet kommit fram till sina slutsatser. Förklaringen består dels av en grafisk beskrivning av modellen, där matchade händelser markerats, och en förklarande text genererad med en relativt enkel naturligt språk-generator.

Prediktionskomponenten i systemet aktiveras genom att användaren väljer en föreslagen trolig aktivitet och en tidsram. Utifrån detta ger systemet en förutsägelse baserad på de tillstånd hos modellen som ännu inte uppfyllts, med ungefärlig tidsangivelse, som dock blir osäkrare ju längre fram i modellen man kommer. Prediktionen visas grafiskt i form av tidsdiagram.

Hela systemet är utvecklat med tanke på att vara flexibelt och lätt anpassningsbart till olika applikationer. De ingående modulerna är uppbyggda så att det i botten finns en applikationsoberoende inre kärna, på vilken man bygger högre applikationsberoende nivåer, anpassade till en specifik tillämpning. Systemet har bl.a. testats på en tillämpning som gäller övervakning av en flygbas.

4.5.3. Andra angreppssätt

K-PASA, som beskrivits ovan är ett exempel på ett datadrivet expertsystem. Man utgår i analysen från de data, i detta fall händelser, som rapporterats in. Man kan också tänka sig ett frågedrivet expertsystem, som likt t.ex. medicinska expertsystem, ställer frågor till användaren och utifrån svaren ger en "diagnos" om det aktuella läget. Som utgångsmaterial skulle då t.ex. kunna användas det frågebatteri som

vanligen används vid underrättelseanalys.

Analysen i TAS/TTM baseras helt på temporala samband mellan inrapporterade data. Det rumsliga förhållandet mellan observationerna kan studeras på en karta, men ingår inte i sig i analysen. Här finns möjligheter till utvidgning av modellerna, förutsatt att rumsliga samband kan hanteras på liknande sätt som temporala (“spatio-temporal reasoning”).

4.6. Presentation av tät och förvirrande information med visualiseringsmetoder

Datafusion innebär insamling, sammanställning och extrahering av information från flera källor. Informationen kan vara explicit, men kan också bestå av mer eller mindre implicita mönster i data. Problemet är att upptäcka eller urskilja dessa mönster. Manuella eller automatiska metoder för att underlätta denna process utgörs ofta av olika transformationer av data som framhäver vissa egenskaper.

Människan är ännu överlägsen maskinen när det gäller att urskilja spatiala mönster. Att använda sig av olika grafiska metoder ("diagram") för att åskådliggöra exempelvis numeriska data är ju en sen gammalt etablerad teknik. Men människans spatiala förmåga sträcker sig mycket längre än vad man kan utnyttja i statistiska bilder. Med modern datorgrafik och genom att representera och presentera data på olika sätt kan man dra nytta av fler dimensioner hos det mänskliga sinnet.

I de flesta fall kan data beskrivas med ett litet antal parametrar eller attributvärden. Dessa värden må sedan vara diskreta eller kontinuerliga. Det ändliga antalet sådana parametrar kan sägas utgöra informationens dimensionalitet. (ej att förväxla med rent geometrisk dimension).

De traditionella diagrammatiska metoderna beskriver normalt data med hjälp av 2 å 3 dimensioner. Man utnyttjar därvid exempelvis två geometriska dimensioner samt form, textur och färg. Genom perspektivisk projektion av ett 3-dimensionellt diagram kan man delvis utnyttja tre geometriska dimensioner. Sådana tekniker har förvisso sedan länge datoriserats. Men detta har oftast bara inneburit en överföring av rent manuell metodik till datormiljö. Med modern datorutrustning och grafik får man tillgång till ytterligare tekniker för att åskådliggöra flerdimensionella data. Exempel på fenomen som dessa tekniker kan utnyttja är (de överlappar i flera fall varann): belysning, blinkning, dynamik, färg, färgförändring, interaktivitet, markör, mätfunktioner, parallax, perspektiv, rörelse, skuggor, skymda ytor, stereo, textur, transparens.

4.6.1. Trender och utveckling.

Utvecklingen inom datoriserad visualisering har tidigare huvudsakligen sysselsatt sig med hur man kan skapa så användbara eller realistiska bilder som möjligt på ett snabbt och effektivt sätt. Man kan säga att intresset koncentrerats till datorgrafiken för dess egen skull, och mest rört hårdvara och algoritmer för bildalstring. Tekniken har också nått en hög grad av förfining. Nu har man nått en punkt där allt större intresse börjar ägnas åt frågan hur och vad man skall använda den uppnådda grafiska datortekniken till. Nya tekniker och begrepp börjar introduceras, och etablerade metoder får större spridning.

4.6.2. Några exempel på begrepp i omlopp:

4.6.2.1. Dynamik

Genom ett interaktivt reglage (t.ex. ett grafiskt skjutreglage) kan man visa ett samband som ett dynamiskt förlopp. Den variabla parametern behöver här inte vara tid, även om det är ett vanligt fall.

Exempel: Förändring över tid av en befolkningssiffra.

4.6.2.2. *Brushing*

En teknik att visa samma datamaterial sett från olika aspekter, från olika "dimensioner". Genom att markera (tex med en mus) en viss del av ett stort datamaterial presenterat med avseende på en viss parameter (exempelvis tid), så visas samtidigt motsvarande urval som funktion av någon annan parameter i samtliga fönster på dataskärmen.

4.6.2.3. *Data Mining*

Metodikerna syftar dels till finna data eller mönster i mycket stora datamängder (gigabytes). Här utnyttjas visualisering genom människans förmåga att snabbt överblicka en bild, och flera dimensioner utnyttjas genom rumsdimensioner, färgkodning och interaktivitet.

4.6.2.4. *Simuleringar*

Simuleringar med syntetiska bilder och kopplingar mellan bildgenerering och bildbehandling. Exempel: Förflyttning i syntetiska landskap med överlagrade satellitbilder.

4.6.2.5. *Volume Rendering*

Volume Rendering betecknar tekniken att visualisera en rumsvolym av data. Exempel på detta är ett uppmätt eller beräknat skalärfält i rummet såsom temperaturen inuti godset i en motor eller strömningshastigheten i en gasmassa.

En viktig tillämpning har man i åskådliggörandet av syntetiska medicinska data från datortomografer och "magnetkameror" (NMR = Nuclear Magnetic Resonance). I båda dessa anordningar lagras en tredimensionell mängd av mätdata från vilken sedan en syntetisk bild byggs upp.

Den enklaste tekniken är att visualisera plana skikt eller snitt genom mätvolymen, men med användning av 'volume rendering' kan man perspektiviskt visualisera inre organ som volymer som kan vridas och betraktas ur valfri synvinkel.

Ett problem inom denna typ av visualisering är mängden data.

Som bekant kräver 2-dimensionella bilder stora mängder data. Går vi upp från två till tre dimensioner blir detta storleksproblem ännu mer accentuerat. En vanlig skärm på en datormonitor innehåller idag ca $1000 \times 1000 = 1000000$ pixels. Ett naturligt och rimligt krav vore då att i realtid kunna hantera och manipulera en volym med samma djuputsträckning, dvs. $1000 \times 1000 \times 1000$ voxels = 1 miljard datavärden.

Om varje voxel (volume element) så bara representerades med 1 byte så kräver detta ändå 1 Gbyte lagringsutrymme som helst skall vara av primärminnestyp. Det är fortfarande litet bortom eller precis på gränsen för vad dagens datorer klarar av.

4.6.3. **Förslag till försöksverksamhet inom detta område.**

4.6.3.1. *Tendenser eller kluster*

- Att urskilja tendenser eller kluster hos flerdimensionella data.

Antag t.ex. att data karakteriseras med ett större antal numeriska värden.

Genom att transformera data till ett lämpligt tillståndsrum (fasrum), reduceras

antalet variabler.

Antag exempelvis att antalet variabler är 5. Data kan då åskådliggöras som punkter eller ytor i en 3-dimensionell rymd, där färg är den 4:e koordinaten. Genom att interaktivt flytta betraktarens observationspunkt runt bland datapunkterna, som ses stereoskopiskt, uppnår man en förtrogenhet med materialet som är svår att nå med en statisk bild. Ytterligare dimensioner kan representeras med t.ex. ljusstyrka och rörelse.

4.6.3.2. Metoder att visualisera stora datamängder

Studera metoder för att kunna handskas med det ovannämnda storleksproblemet då existerande primärminne inte räcker till.

4.6.3.3. Åstadkomma rymduppfattning av data

Detta kan nås med flera samverkande metoder, såsom:

- perspektiviskt korrekt återgivning
- skymda punkter / ytor, korrekt dolda av mer närbelägna objekt
- parallaxförskjutningar när ögat flyttas interaktivt
- s.k. depth-cues såsom avtagande färgintensitet med tilltagande avstånd
- belysning och skuggor
- stereoseende genom stereopsis (olika bilder för vardera ögat)
- rörelse (flygning) genom materialet.

4.6.3.4. Upptäcka mönster

Mönster kan upptäckas genom att man betraktar en 3-dimensionell representation av materialet från ett visst lämpligt håll i rymden, och denna betraktningsriktning letar man sig fram till genom att interaktivt manipulera bilden, figur 16.

4.6.3.5. Att markera och gruppera data

Pröva olika verktyg för att markera och gruppera data, t.ex.:

- stereoskopisk markör
- direkt mätning på materialet
- halvgenomskinliga ytor eller volymer
- omfärgning av valda kluster
- blinkande markering
- grafisk presentation av beräknade statistiska värden.

4.6.3.6. Upptäcka förändringar

Upptäcka förändringar i annars svåröverskådliga material:

- Blink-komparator (jfr. att leta asteroider på fotografiska plåtar)

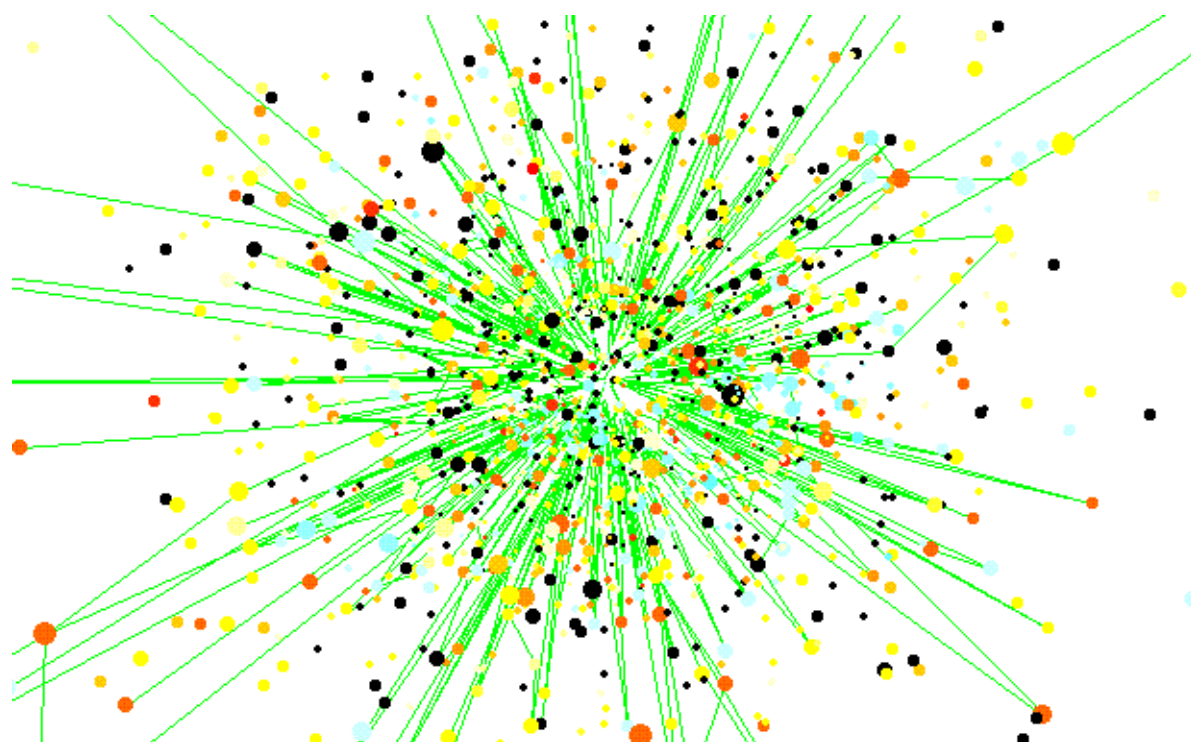
- Skillnadsbilder för att upptäcka förändringar över tid (ubåtsspår, byggnation)

Det kan förtjäna att påpekas att det i dessa sammanhang inte finns behov av att åstadkomma någon form av fotorealism. Den grafiska utformningen är istället helt underordnad syftet att göra materialet begripligt och lättolkat för observatören. Jämför tex med den välkända tekniken att pseudofärga en svartvit bild för att framhäva vissa delar.

4.6.4. Problemsvårighet:

Det är förhållandevis enkelt att genomföra undersökningar inom detta område. FOA har redan de datortekniska förutsättningarna och metoderna är ganska lätta att applicera.

Att åstadkomma något kreativt och nytt är naturligtvis betydligt svårare, men redan att kunna demonstrera värdet av etablerad men mindre känd teknik har ett stort värde i sig. En svårighet kan vara att få tillgång till lämpliga data. För att demonstrera militär signifikans behövs ett realistiskt och stort datamaterial av underrättelsetyp.



Figur 16. Våra vanligaste stjärnbilder sedda från en punkt i vintergata långt från vårt solsystem. Vi känner inte alls igen oss i detta sammelsurium av punkter. Men samma punkter (stjärnor) sedda från "rätt" håll i rymden uppvisar ett välbekant mönster.

5. Referenser

1. Bergsten U., Schubert, J., och Svensson P., Beslutsstödssystemet DEZZY - En översikt, *Dokumentation 7 juni av Seminarium och fackutställning om samband, sensorer och datorer för ledningssystem till försvaret (MILINF'89)*, Försvarets materielverk, Enköping, 5-9 juli 1989, Telub AB, Växjö, 1989, 07B2:19-07B2:31
2. Schubert, J. (Red.), Delprojekt informationssystem inom huvudprojekt ubåtsskydd - Slutrapport, FOA Rapport A 20046-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1990.
3. Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory for an Evidential Intelligence Analysis of Multiple Target Tracks, Ph. D. Thesis, TRITA-NA-9410, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1994, ISBN 91-7170-801-4.
4. Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory, in *Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning and Uncertainty, Proc. European Conf. (ECSQARU'95)*, 395-404, University of Fribourg, Switzerland, July 3-5, 1995, Springer-Verlag (LNAI 946), Berlin, 1995.
5. Svensson, P. och Schubert, J., Dataanalys och datafusion för underrättelsebearbetning och beslutsstöd. Forskningsplan 1993 - 2000, FOA Rapport A 20054-2.7, Huvudavdelningen för Vapensystem, verkan och skydd, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1993.
6. Johansson, S., Arméns underrättelsesystem 1. Underrättelseprocessen, FOA Rapport C 30755-3.8, Huvudavdelningen för Informationsteknologi, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1994.
7. Schubert J., *et al.*, Delprojekt 7 Beslutsstöd i GIS, i IT-GIS Geografiska Informationssystem Slutrapport, IT-GIS, Stockholm, 1992.
8. Ulfving, L., Den stora maskeraden, FOA-R--94-00017-5.3--SE, Avdelningen för Humanvetenskap, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1994.
9. Marino, T.H., et al., *Marine Corps Expeditionary Intelligence Study--Tactical Deception (TAC-D)*, BDM Intl. Final Rpt. BDM/NOR-89-0299-TR, 1989.
10. Waltz, E., and Llinas, J., *Multisensor Data Fusion*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1990.
11. Bergdal, H., och Wallden, R., Telekrigföring, *FOA-tidningen* 1, 20-21, 1991.
12. Jesse, L., Temporal Transition Models. A New Approach to Situation Assessment and Predictive Analysis, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Colorado, CO, 1993.

6. Forskningsgruppens publikationer

Här presenterar vi forskningsgruppens samlade publikationer (inklusive examensarbeten) sedan 1986:

Schubert, J., Fast Dempster-Shafer Clustering Using a Neural Network Structure, in *Proc. Seventh Int. Conf. Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU'98)*, (B. Bouchon-Meunier, and R. Yager, Eds.), Paris, France, 6-10 July 1998, to appear.

Jöred, K., and Svensson, P., Submarine Tracking in Archipelagic Anti-Submarine Warfare: a Not-So-Impossible Proposition? in *Proc. Undersea Defence Technology Europe 98 (UDT Europe 98)*, (P. Tyrell, Ed.), London, UK, 23-25 June 1998, to appear.

Bråmås, Å., Fransson, J., Jöred, K., och Schubert, J., Datafusionsmetoder för sammanställning och analys av underrättelsesdata - En Förstudie, FOA-R--98-00698-505--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1998.

Alm, I., Eriksson, E. A., Lindgren, T., Odar, S., Sköld, S., och Svensson, P., Ny systemarkitektur för evolutionär utveckling av lednings- och informationssystem för försvaret. En förstudierapport inom projektet Systemarkitektur, FOA-R--98-00673-505--SE, Avdelning för Försvarsanalys, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

Schubert, J., Analys och prediktering med osäkra data ur det geografiska rummet, i *Dokumentation av ULIs höstmöte (ULI'97)*, Session 5:3, Linköping, Oktober 22-23, 1997, ULI, 1997.

Johansson, K., Jöred, K., och Svensson, P., Submarine tracking using multi-sensor fusion and reactive planning for the positioning of passive sonobuoys, in *Proc. Hydroakustik 1997*, (N. Hörnqvist, and E. Norrbrand, Eds.), Session: Sensors, Stockholm, September 9-10, 1997, FOA-R--97-00552-409--SE, Avdelning för Styrning, material och undervattenssensorer, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

Bergsten, U., Schubert, J., and Svensson, P., Applying Data Mining and Machine Learning Techniques to Submarine Intelligence Analysis, in *Proc. Third Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'97)*, 127-130, Newport Beach, USA, August 14-17, 1997, The AAAI Press, Menlo Park, 1997.

Schubert, J., Creating Prototypes for Fast Classification in Dempster-Shafer Clustering, in *Qualitative and Quantitative Practical Reasoning*, (D.M. Gabbay, R. Kruse, A. Nonnengart, and H.J. Ohlbach, Eds.), *Proc. First Int. Joint Conf. (ECSQARU-FAPR'97)*, 525-535, Bad Honnef, Germany, June 9-12, 1997, Springer-Verlag (LNAI 1244), Berlin, 1997.

Neider, G., Ubåtsföljning med passiva sonobojar, FOA-R--97-00447-505--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1997.

Johansson, K., och Svensson, P., Submarine Tracking by Means of Passive Sonobuoys. II. Position Estimation and Buoy Deployment Planning, FOA-R--97-00440-505--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1997.

Wahlstedt, A., Fredriksson, J., Jöred, K., och Svensson, P., Submarine Tracking by Means of Passive Sonobuoys. I. Design of a Simulation Model and System, FOA-R--96-00386-505--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1997.

Schubert, J., Prediktion av främmande ubåtars framtida position, FOA-R--96-00296-3.4--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1996.

Neider, G., Simulerade incidentrapporter från ubåtsjakt, FOA-R--96-0295-3.4--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1996.

Schubert, J., Specifying Nonspecific Evidence, *Int. J. Intelligent Systems* **11**(8), 525-563, 1996.

Schubert, J., On Rho in a Decision-Theoretic Apparatus of Dempster-Shafer Theory, *Int. J. Approximate Reasoning* **13**(3), 185-200, 1995.

Mojtahed, V., och Moradi, F., Automatisk generering av grafiskt användargränssnitt till kommandostyrda dataanalyssystemet Cantor m.h.a. TeleUSE, FOA-R--95-00172-3.4--SE, Avdelning för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1995.

Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory for an Evidential Intelligence Analysis of Multiple Target Tracks (Thesis Abstract), *Australian J. Intell. Inf. Proc. Syst.* **2**(1), p. 70, 1995.

Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory, in *Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning and Uncertainty* (C. Froidevaux, and J. Kolas, Eds.), *Proc. European Conf. (ECSQARU'95)*, 395-404, University of Fribourg, Switzerland, July 3-5, 1995, Springer-Verlag (LNAI 946), Berlin, 1995.

Schubert, J., Finding a Posterior Domain Probability Distribution by Specifying Nonspecific Evidence, *Int. J. Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* **3**(2), 163-185, 1995.

Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory for an Evidential Intelligence Analysis of Multiple Target Tracks (Thesis Abstract), *AI Communications* **8**(2), 107-110, 1995.

Sjöberg, F., Index och åtkomstmetoder för spatiella databaser - En litteraturstudie, FOA-R--95-00115-3.4--SE, Avdelningen för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1995.

Schubert, J., Cluster-based Specification Techniques in Dempster-Shafer Theory for an Evidential Intelligence Analysis of Multiple Target Tracks, Ph.D. Thesis, TRITA-NA-9410, Royal Institute of Technology, Sweden, 1994, ISRN KTH/NA/R--94/10--SE, ISSN 0348-2952, ISBN 91-7170-801-4.

Fristedt, E., Algoritmer för geometriska beräkningar på enkelt slutna polygoner, baserade på konvex uppdelning, FOA Rapport C 20930-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Sundbyberg, Oktober 1993.

Bergsten, U., and Schubert, J., Dempster's Rule for Evidence Ordered in a Complete Directed Acyclic Graph, *Int. J. Approximate Reasoning* **9**(1), 37-73, 1993.

Schubert, J., On Nonspecific Evidence, *Int. J. Intelligent Systems* **8**(6), 711-725, 1993.

Schubert, J., A Blurred Focal Elements Generalization of Dempster's Rule, FOA Report C 200938-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Sundbyberg, August 1993.

Huang, Z., and Svensson, P., Neighborhood query and analysis with GeoSAL - a spatial database language, *Proc. Third Large Spatial Database Symposium*, Singapore, 1993.

Svensson, P., och Schubert, J., Dataanalys och datafusion för underrättelsebearbetning och beslutsstöd, FOA Rapport A 20054-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Sundbyberg, Juni 1993.

Schubert, J., Multiple Target Tracks in Evidential Intelligence Analysis, L.Eng. Thesis, TRITA-NA-9305, Royal Institute of Technology, Sweden, 1993, ISBN 991-640094-6.

Schubert, J., *et al.*, Delprojekt 7 Beslutsstöd i GIS, i IT-GIS Geografiska Informationssystem Slutrapport, IT-GIS, Stockholm, 1992.

Grape, P., and Waldén, K., Automating the Development of Syntax Tree Generators, *Proc. 1992 Conf. Technology of Object-Oriented Languages and Systems (TOOLS USA'92)*, 1992.

Huang, Z., Svensson, P., and Hauska, H., Solving Spatial Analysis Problems with GeoSAL, a Spatial Query Language, *Proc. Sixth Int. Working Conf. Scientific and Statistical Database Management*, Ascona, 1992.

Elg, R., Sökgraf för kortaste vägen, FOA Rapport C 20891-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Juni 1992.

Andersson, P., och Sjölander, R., Förklaringsgenerering med hjälp av Glenn Shafers och Arthur P Dempsters evidensteori, FOA Rapport C 20867-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Januari 1992.

Andersson, G., User's Guide to CANTOR. Part II: Graphical Output, FOA Report C 20865-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, January 1992.

Svensson, P., and Huang, Z., Geo-SAL - a Query Language for Spatial Data Analysis, in *Advances in Spatial Databases* (O. Gunther and H.-J. Schek, Eds.), Springer-Verlag (LNCS 525), Berlin, 1991.

Svensson, P., and Neider, G., User's Guide to CANTOR - A Data Analysis System Based on the Relational Model. Version 1.2, FOA Report C 20842-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, May 1991.

Friman, B., and Sandberg, U., X-System User's Manual. Version 3.0, FOA Report C 20810-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, September 1990.

Hagwall, K., Metoder för beräkning av kortaste vägen mellan två punkter i planet med hänsyn till hinder i form av disjunkta, enkelt slutna polygoner, en litteraturöversikt, FOA Rapport C 20798-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Maj 1990.

Schubert, J., (Red.), Delprojekt informationssystem inom huvudprojekt ubåtsskydd - Slutrapport, FOA Rapport A 20046-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, April 1990.

Rozén, U., (Ed.), User's Guide to Groda - a Graphic Utility for Cantor, FOA Report C 20767-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, October 1989.

Bergsten, U., Schubert, J., och Svensson, P., Beslutsstödssystemet DEZZY - En översikt, *Dokumentation 7 juni av Seminarium och fackutställning om samband, sensorer och datorer för ledningssystem till försvaret (MILINF'89)*, Försvarets materielverk, Enköping, 5-9 juli 1989, 07B2:19-07B2:31, Telub AB, Växjö, 1989.

Koistinen, J., Vidareutveckling och provning av X-systemet ett programsystem för dynamisk definition av kommandospråk, FOA Rapport C 20750-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Mars 1989.

Andersson, M., and Svensson, P., A Study of Modified Interpolation Search in Compressed, Fully Transposed, Ordered Files, in *Statistical and Scientific Database Management* (Rafanelli, Klensin, and Svensson, Eds.), Springer-Verlag (LNCS 339), Berlin, 1988.

Svensson, P., Database Management Systems for Statistical and Scientific Applications: Are commercially available DBMS good enough?, in *Statistical and Scientific Database Management* (Rafanelli, Klensin, and Svensson, Eds.), Springer-Verlag (LNCS 339), Berlin, 1988.

Andersson, M., Användning av interpolationssökning vid boxsökning i komprimerade, fullständigt transponerade, ordnade filer, FOA Rapport C 20717-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Juni 1988.

Rykatkin, M., Menystyrning av databashanteraren Cantor, FOA Rapport C 20716-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Juni 1988.

Heimdahl, M., Direkt manipulation vid en arbetsstation - programmeringserfarenhet från ett Apollosystem, FOA Rapport C 20701-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Februari 1988.

Jansson, L., Presentation av kartinformation på bildskärm, FOA Rapport C 20687-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, December 1987.

Svensson, P., Creative Research and Product Development in Software Projects: The Cantor Experience, in *Experience with the Management of Software Projects* (P. Elzer, Ed.), Pergamon Press, 1987.

Stjernberg, M., Användning av relationsdatabassystemet Cantor för bearbetning av geografisk information, FOA Rapport C 20627-2.7, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm, Oktober 1986.

Karasalo, I., and Svensson, P., The Design of Cantor - a New System for Data Analysis. *Proc. Third Int. Workshop Statistical Data Base Management*, Luxemburg, July 24-26, 1986.

Hollman, J., and Schubert, J., Computer Algebra for Root Isolation, M.Sc. Thesis, TRITANA-E-8663, Royal Institute of Technology, Sweden, 1986, ISBN 991-674494-7.