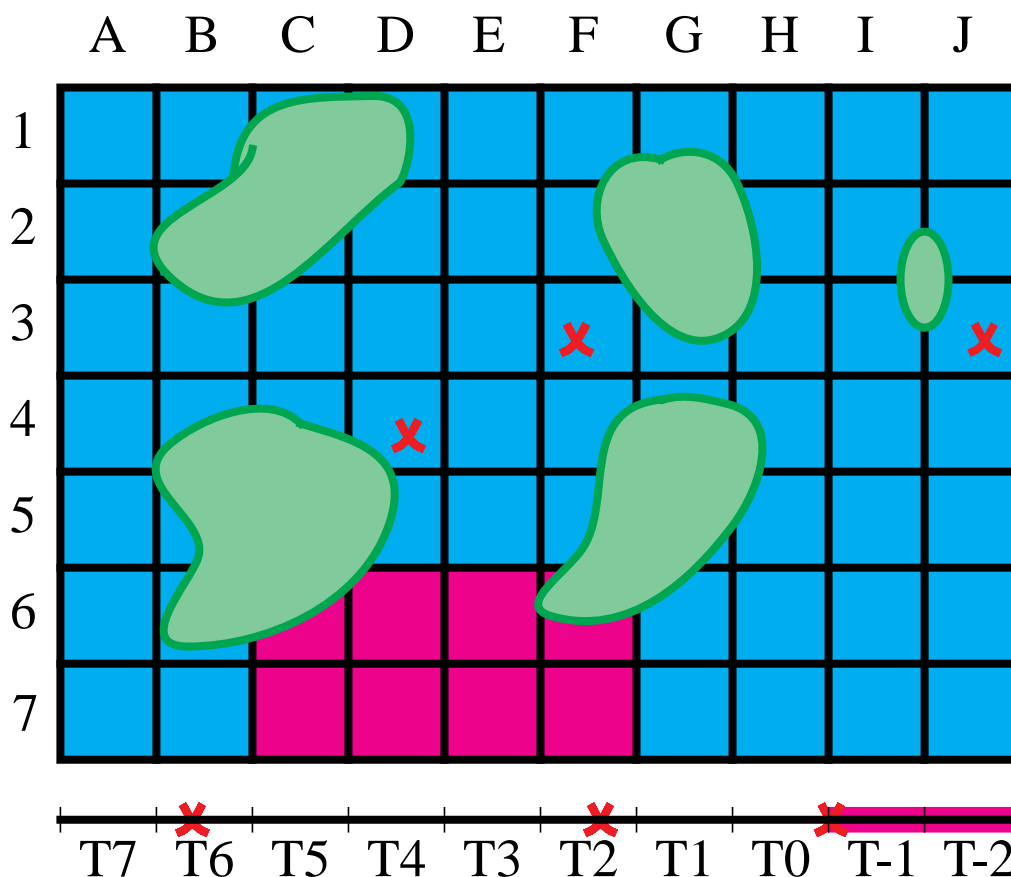


JOHAN SCHUBERT

Prediktion av främmande ubåtar framtida position



JOHAN SCHUBERT

Prediktion av främmande ubåtars framtida position

Projektnummer: 547440

Sändlista: HKV/ML, HKV/ML/MAna, Kfl/2 Yafj

FOA: 11/MTC OA, 53, 61, 62, 64, 65, 73(15 ex), FOA Prog(2 ex)

Dokumentets utgivare Försvarets Forskningsanstalt Avdelningen för Ledningssystemteknik Box 1165 581 11 LINKÖPING	Dokumentnamn och dokumentbeteckning FOA-R--96-00296-3.4--SE	
	Dokumentets datum September 1996	Projektnummer 547440
	Projektnamn (ev förkortat) Datafusion: analys och sammanvägning av uv-data	
Upphovsman(män) Johan Schubert	Uppdragsgivare	
	Projektansvarig Per Svensson	
	Fackansvarig	
Dokumentets titel Prediktion av främmande ubåtars framtida position		
Huvudinnehåll <p>I detta projekt har vi studerat metoder för prediktion av framtida händelser i samband med ubåtsjakt. Prediktionen avser de närmsta timmarna och är i första hand avsedd för den taktiske ledaren (TAL). Idén är att utveckla en metod som kan känna igen en sekvens av inkommande underrättelserapporter. Metoden baserar sig på en automatisk jämförelse med ett historiskt datamaterial. När vi erhåller en ny sekvens av rapporter analyseras den med hjälp av metoden. Om vi finner liknande historiska sekvenser så används de för att leverera en prediktion över framtida läge. En statistisk analys baserad på en simulering av metoden visar att sannolikheten för en korrekt prediktion var som bäst 54%, och noggrannheten var 5 km i predikterat läge och 48 minuter i predikterad tidpunkt.</p>		
Nyckelord Prediktion, prognos, ubåtsjakt, ubåtsskydd, underrättelseanalys, beslutsstöd, datafusion, genetiska algoritmer		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1104-9162	ISBN	
	Omfång	Pris
	() Begränsad distribution	

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. FOA-R--96-00296-3.4--SE	
	Date of issue September 1996	Project No. 547440
	Project name (abbrev. if necessary) Data Fusion: Analysis and Combination of ASW data	
Author(s) Johan Schubert	Initiator or sponsoring organization	
	Project manager Per Svensson	
	Scient. and techn. responsible	
Document title Prediction of foreign submarines future position		
Abstract <p>In this project we have studied methods for prediction of future events in connection with antisubmarine warfare. The prediction aims at the next few hours and is intended for the tactical commander. The idea is to develop a method that can recognize a sequence of incoming intelligence reports. The methods is based on a comparison with historical data material. When we receive a new sequence of reports they are analyzed with the method. If we find any similar historical sequences they are used to deliver a prediction about future position. A statistical analysis based on a simulation of the method shows that the probability of a correct prediction was at best 54%, with an accuracy in predicted position of 5 kilometers and in predicted time of 48 minutes.</p>		
Key words Prediction, prognosis, antisubmarine warfare, intelligence analysis, decision support, data fusion, genetic algorithms		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1104-9162	ISBN	
	Pages	Price
	() restricted distribution	

Distributor (if not issuing organization)

Innehåll

Introduktion	5
Bakgrund	5
Scenarier	9
Simulerade rapportdata	12
Inläring	15
Prediktion	19
Slutsatser	21
Referenser	22

1. Inledning

Sedan tio år tillbaka har vi i vår forskningsgrupp varit inriktade mot beslutsstöd i samband med underrättelseanalys i submarina tillämpningar [1-4]. Vi har stöttat den centrala underrättelsefunktionen för ubåtsskyddet (*Marina analysgruppen*) 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 har varit att skapa förutsättningar för att pröva olika slags hypoteser om regelbundenhet hos observationerna.

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 [5] som kan användas för att dra slutsatser ur osäkra data. Datafusion kan beskrivas som 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) och *hotanalys* (nivå 3) till *adaption* (nivå 4).

Vår forskning inom datafusionsområdet ligger på nivå två till fyra särskilt på nivå två och tre och har i huvudsak rört metodutveckling baserad på evidensteori (Dempster-Shaferteori [6, 7]).

Vi har här 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 [8-10]. Dessa objekt kan därefter analyseras självständigt. Vidare har vi utvecklat en metod för att analysera de troligaste färdvägarna för varje enskilt objekt [11]. Vi har också utvecklat metodik för beslutsfattande tillsammans med evidensteori [12].

2. Bakgrund

I en slutrapport för delprojekt Informationssystem inom Huvudprojekt Ubåtsskydd [2] beskrev vi vårt tidiga arbete och ett beslutsstödssystem Dezy:

“Under åren 1986 - 1989 genomförde Försvarets forskningsanstalt (FOA) en intensivsatsning på ubåtsskyddsforskning i form av ett Huvudprojekt Ubåtsskydd (UBS). UBS-projektet bestod ursprungligen av nio olika delprojekt. Ansvaret för delprojekt Informationssystem låg på tre forskargrupper vid tre olika huvudavdelningar. Den gemensamma målsättningen var att konstruera ett datorbaserat system för analys och presentation av underrättelser i samband med ubåtsincidenter. Systemet skulle demonstreras i slutet av projekttiden.

Informationssystemet visades för ett 50-tal inbjudna personer under fyra dagar i maj 1989. Vid konferensen MILINF'89 i Enköping senare i juni hölls tre föredrag och systemet ställdes ut i en monter så att valda delar av det kunde visas för en bredare krets. Delprojektet har dokumenterats i ett tiotal FOA-rapporter samt några konferensbidrag.

(...)

Vi tänker oss följande scenario: rapporter om ubåtsincident, sensorsignaler eller mänskliga observationer, flyter in till en rapportcentral. Varje rapport innehåller uppgifter om tidpunkt, läge, i vissa fall ubåstyp, hastighet och/eller färdriktning etc. Dessutom är varje rapport försedd med klassificering av vilken tilltro man satt till rapporten.

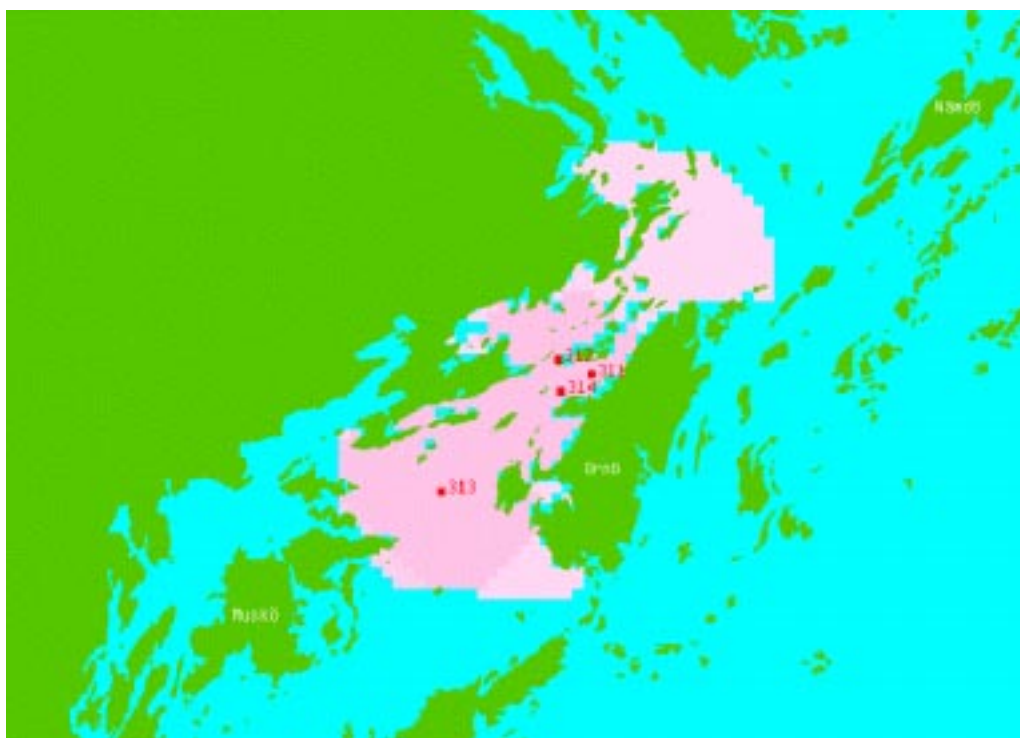
(...)

Evidenskartor:

Givet en rapport kan systemet beräkna hur långt den misstänkta ubåten kan ha hunnit under ett visst tidsintervall. På kartan ritas ett färgat utbredningsområde där ubåten kan uppehålla sig. Ju längre tid som förflutit sedan observationen gjordes, ju större blir detta område och ju svagare färgas området på kartan. Utbredningsområdena från olika rapporter vägs ihop på basis av evidensteori till en sammanjämkad bild. Resultatet blir en evidenskarta, där olika färgnyanser antyder olika grad av trolighet för att en ubåt kan uppehålla sig i området. Då en rapport blivit för gammal kommer utbredningsområdet från denna rapport att bli så stort att det inte ger någon information och den tas därför bort ur analysen. Denna funktion löper kontinuerligt i tiden och man kan när man så önskar få en bild av nuläget. Man kan även välja att betrakta hur bilden ser ut vid en viss tidpunkt. Det är således även möjligt att presentera evidenskartor över framtida uppehållsområden.

Troligaste färdväg:

Systemet beräknar troligaste färdvägar fram till nuläget under given hypotes om antal ubåtar. Man kan här tex välja att få de troligaste färdvägarna presenterade eller samtliga sorterade i trolighetsordning. Varje färdväg presenteras tillsammans med ett intervall där den undre intervallgränsen anger till vilken grad rapporterna stöder denna färdväg, medan den övre anger till vilken grad systemet anser att denna färdväg är möjlig (dvs ej motsägs av några kända faktorer). De presenterade färdvägarna är ej sanna färdvägar, utan de visar bara längs vilka rapporter färdvägarna går. Hur ubåten färdats mellan två rapporter kan systemet inte uttala sig



Figur 1. Evidenskarta. Olika färgnyanser anger olika trolighetsgrad för att en misstänkt ubåt vid en viss tidpunkt uppehåller sig inom området ifråga. Röda prickar anger observationer (observationerna är här fiktiva).

om. I beräkningarna tar systemet hänsyn till de ingående rapporternas trovärdighet, geografiska läge, tidsavstånd, ubåtstyp och kurser om sådana finns angivna, ubåtars hastigheter, djupdata samt avsaknad av sensorsignaler.”

Vid konferensen MILINF '89 [1] beskrev vi nyttan av att i framtiden komplettera befintliga metoder med prediktion av ubåtars framtida position:

“En möjlighet att prediktera ubåtars framtida lägen vore ett väsentligt tillskott till Dezzy. Detta kan uppnås med åtminstone två olika principer:

(i) **Mönsterigenkänning**

Genom att analysera historiska data kan förekommande rapportsekvenser delas in i klasser. Klassificeringsprincipen kan fastställas antingen manuellt eller automatiskt. Det finns ett flertal olika matematiska metoder som kan komma ifråga om man vill göra en sådan klassificering. En aktuell situation kan sedan automatiskt hänföras till en viss klass. Jämförelse med andra rapportsekvenser som tillhör samma klass kan nu ge användbar information.

(...)

Två av de tidigare beskrivna analysmetoderna skulle vinna på att använda prediktion:

(i) **Troligaste färdväg**

Analysmetoden troligaste färdväg skulle kunna kompletteras med prediktion. De olika färdvägarna skulle då kunna ge information om framtida troliga lägen samt kurser efter de sista rapporterna, medan de idag endast behandlar situationen fram till den sista rapporten.

(ii) **Evidenskartor**

Prediktionen skulle kunna vägas in i evidenskartor som har beräknats för en



Figur 2. Troligaste färdväg. Ett av operatörens val utifrån beslutstödssystemets föreslagna alternativ.

framtida tidpunkt. Till skillnad från fallet troligaste färdväg skulle detta inte ge detaljkunskap om de olika tänkbara fallen utan i stället en mer sammanfattande bild av ett framtida läge.”

Denna idé förtydligades i vår forskningsplan för åren 1993 - 2000 [13] där vi beskrev ett framtida projekt om prediktion enligt följande:

“Vid analys av underrättelserapporter är det av stor vikt att kunna utnyttja ett eventuellt historiskt material. Tanken är att kunna klassificera en serie inkommande underrättelserapporter som tillhörande en viss grupp med vissa gemensamma karakteristika vilka kan utnyttjas för prediktioner. Metoder för sådan klassificering är klassiska metoder för mönsterigenkänning samt moderna metoder från maskininlärning, bland dessa genetiska algoritmer, induktionsmetoder, neuronät samt s.k. case based reasoning.

Sådana metoder kan antas ha svårigheter då problemet ej är strikt deterministiskt. Dessutom visas i varje fall endast en liten del av ett mönster, varför ett och samma mönster kan se mycket olika ut från gång till gång. Trots detta bör inlärningsmetoder med en kunskapsrepresentation anpassad till den stora osäkerheten i sedda mönster kunna nå framgång om datamaterialet är stort och problemet innehåller en viss determinism.

Delprojektet avser:

1. Bedriva studier av maskininlärning medelst statistiska metoder, genetiska algoritmer, neuronät etc.
2. Tillämpa metoder från maskininlärning på problemet att prediktera nästa underrättelserapport. Testa metodernas tillämpbarhet med hjälp av simuleringssystemet UBSSIM [14].
3. Integrera de olika metoderna från maskininlärning till ett s.k. “intelligent hybridsystem”, som vi kan kalla Super-Dezzy (jmf. “Beslutsstödssystemet Dezzy - En Översikt”; Foa Rapport B 20078-2.7). Prova olika arkitekturer med såväl parallella som seriella integreringar av metoder samt både med och utan metoder från evidensteorin, särskilt förhandsklustrering av data samt efterhandskombination med troliga färdvägar. Testa de olika arkitekturerna med UBSSIM.
4. Testa och trimma det slutliga systemet mot verkliga data.”

Punkterna 1 och 2 i denna plan är nu delvis genomförda i detta delprojekt. Vi har använt genetiska algoritmer [15] för att lära in prediktionsregler. Tillvägagångssättet redovisas i kapitel 4 och resultatet i kapitel 5. I kapitel 2 och 3 redovisas de scenarier som tagits fram för inlärning och testning respektive de rapporter som genererats med hjälp av dessa scenarier.

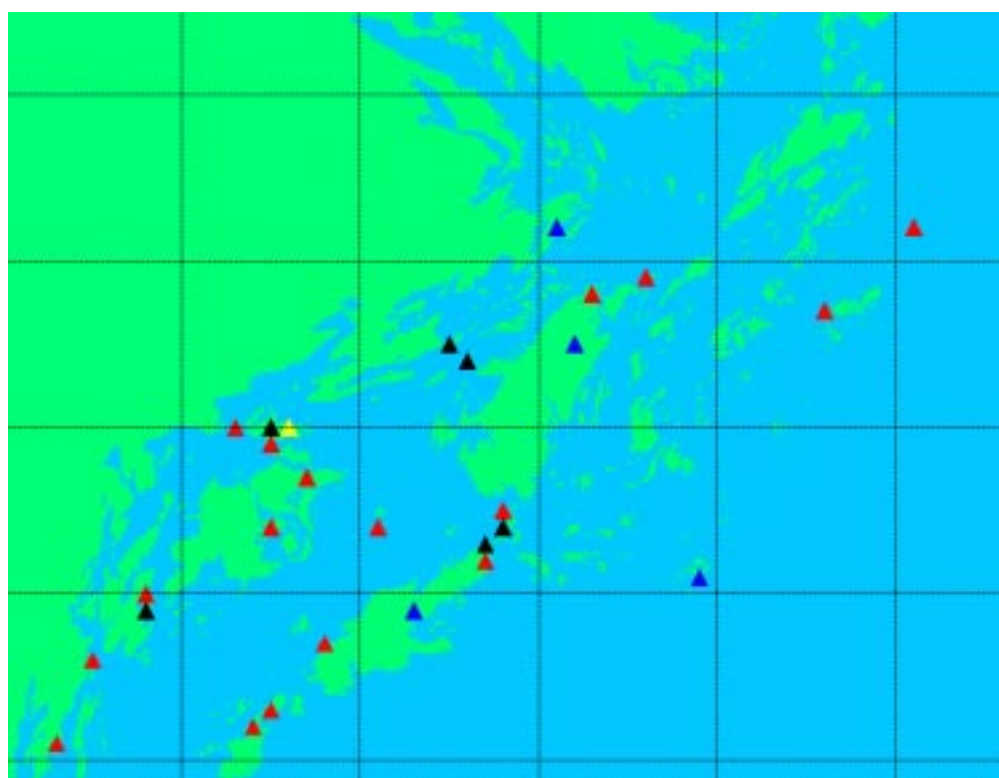
Detta delprojekt har varit en del av projektet “Datafusionsmetoder för analys och sammanvägning av data från undervattenssensorer mm.” Projektet avsågs ursprungligen löpa 94-07 - 99-12. Projektet har dock avslutats i förtid från 96-12 varför föreliggande resultat får betraktas som detta delprojekts slutresultat.

3. Scenarier

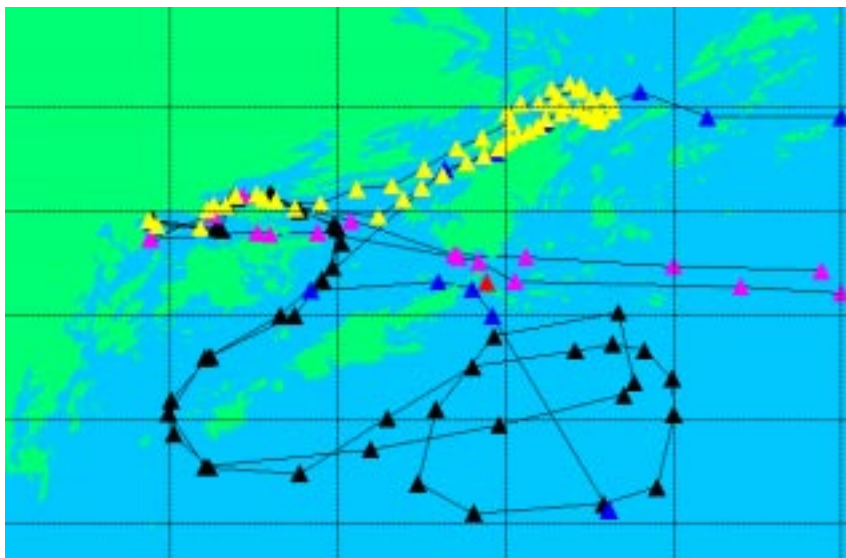
Under UBS framtogs med experthjälp ett realistiskt scenario för att testa projektets analysmetoder. Med detta som underlag har vi nu konstruerat sju nya scenarier.

Gemensamt för dessa senarier är att de alla utspelar sig i ett område om 50 x 50 km i Stockholms södra skärgård under 122 timmar (5 dagar och 2 timmar). Alla scenarier har samma fiktiva uppsättning fasta förband och rörliga enheter. De fasta sensorerna i scenariot framgår av figur 3. Här förekommer ett antal magnetslingor, ett flertal enheter för optisk spaning samt även passiv hydrofon och radar. Dessutom tillkommer civilt inrapporterade rapporter i alla scenarier. Sensorernas positioner är påhittade, dock med visst stöd av en karta om ankringsförbud som var publicerad i Dagens Nyheter.

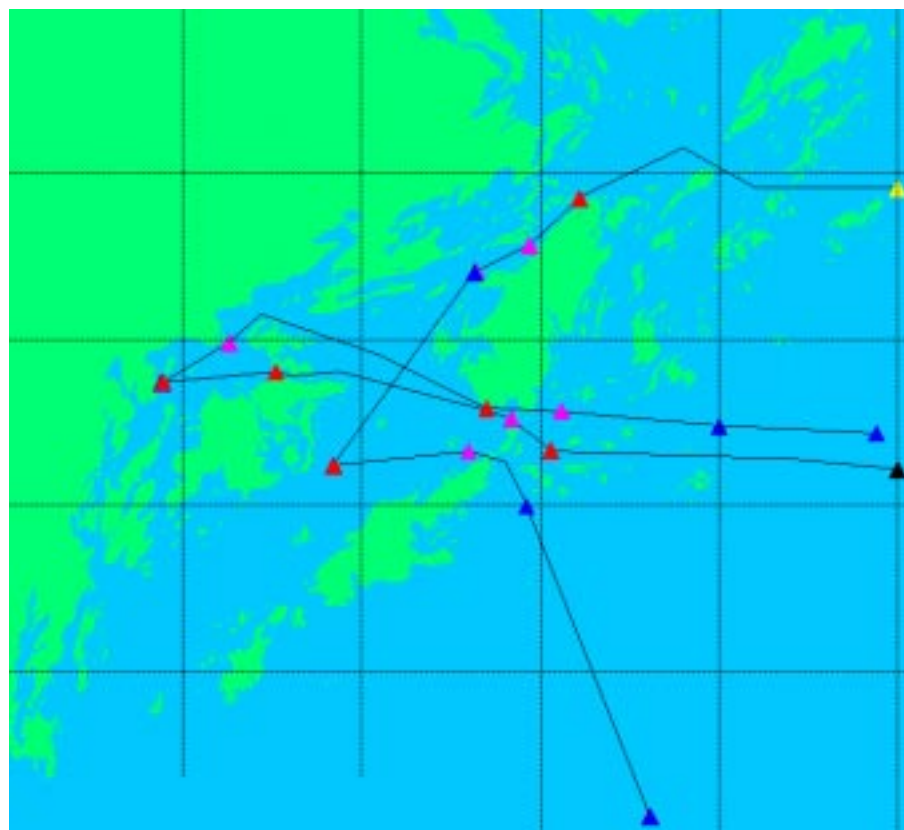
I figur 4 framgår de rörliga plattformar som ingår i ett typiskt scenario. I scenariot förekommer en kustkorvett och en patrullbåt. De är identiska i alla scenarierna och utgår vid en förutbestämt tidpunkt enligt en förutbestämd bana. Att banorna är förutbestämda innebär att plattformarna inte reagerar på vad de eventuellt upptäcker under sin bana. Något reaktivt beteende är inte möjligt i simulatören UBSSIM. I figur 4 ser vi att kustkorvetten börjar sin resa inne på Horsfjärden, går ut på Mysingen och söderut, ut genom Danziger Gatt. Den cirklar därefter i ett område söder om Huvudskärs skyddsområde. Slutligen går den tillbaka samma väg som den kom. Även patrullbåten börjar sin bana inne på Horsfjärden och går via Mysingen norrut mellan Fåglarö och Ornö ut på Jungfrufjärden och sedan tillbaks samma väg igen.



Figur 3. Fasta sensorer vilka ingår i alla scenarier: magnetslinga (svart), optisk spaning (röd), passiv hydrofon (gul) samt radar (blå).



Figur 4. Banor i ett av scenarierna. Scenariet består av två miniubåtar (blå/rosa), en patrullbåt (gul) och en kustkorvett (svart).



Figur 5. Banor och aktiviteter i scenariet för de två miniubåtarna: periskop-upp (röd), periskop-ner (rosa) samt paus (blå)

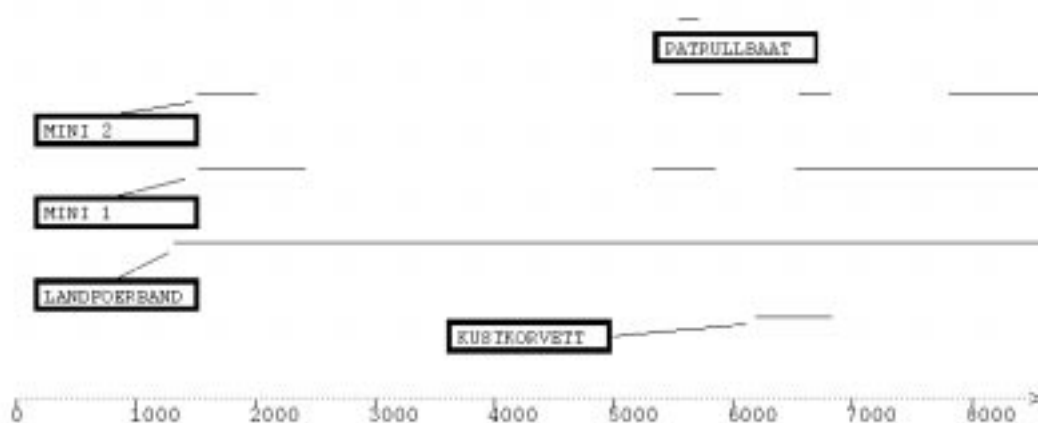
I figurerna 4-6 beskrivs ett av de sju scenarierna. Scenariot innehåller utöver de beskrivna fasta förbanden, kustkorvetten och patrullbåten, också två främmande miniubåtar.

Den första främmande miniubåten kommer i scenariot in från Östersjön på västlig kurs genom Huvudskärsfjärden, passerar norr om Gåssten och går mellan Ornö och Utö in i Mysingen. Den försätter sedan söder om Björnholmen och går in i södra Horsfjärden. Färden går norr och väster om Långgarn på sydlig kurs men vänder innan Ådfjärden åter mot norr och går sedan via norra Horsfjärden ut i Mysingen. Slutligen går miniubåten mellan Ornö och Utö samt mellan Gåssten och Stabbo återigen ut i Östersjön.

Miniubåt nummer två kommer in i området längre norr över, strax söder om Almagrundet och går på västlig kurs norr om Kastön, Biskopsön och Boskapsön in i Norrfjärden. Den rundar Mörtö-Bunsön och Ornös norra spets och går på sydlig kurs väster om Fåglarö, genom Mysingen ned mot Älvsnabben. Slutligen vänder den österut och går ut norr om Utö, passerar söder om Bodskär och nordost om Storskär på kurs sydsydost, figur 5.

I figur 6 framgår det vid vilka tidpunkter de olika farkosterna är i rörelse.

För en fullständig genomgång av alla scenarier hänvisas till [16] varifrån också figurerna 3 - 10 är hämtade.



Figur 6. Tidpunkter i det aktuella scenariet då de olika farkosterna är i rörelse.

4. Simulerade rapportdata

Totalt har det gjorts 20 simuleringar av vardera av de sju scenarierna. De sju första simuleringarna används vid inläring av prediktionsregler. De nästföljande fem simuleringarna sparas för en efterkommande utvärdering av prediktionsreglerna. De sista åtta simuleringarna har lämnats oanvända.

I figur 7 nedan ser vi antalet genererade underrättelserrapporter vid vardera av de 20 simuleringarna för ett typiskt scenario. Antalet rapporter varierar i detta scenario mellan 24 och 39 rapporter, med ett medeltal om 30,9 rapporter per simulering. I övriga scenarier finns det en spridning både över och under dessa antal.

Det minimala antalet underrättelserrapporter vid någon simulering av alla sju scenarierna är nio rapporter och det maximala antalet rapporter är 98 stycken. Medelantalet för alla simuleringar av alla scenarier är 32,1 underrättelserrapporter per simulering.

Det ger i genomsnitt en underrättelserrapport per 3,8 timmar.

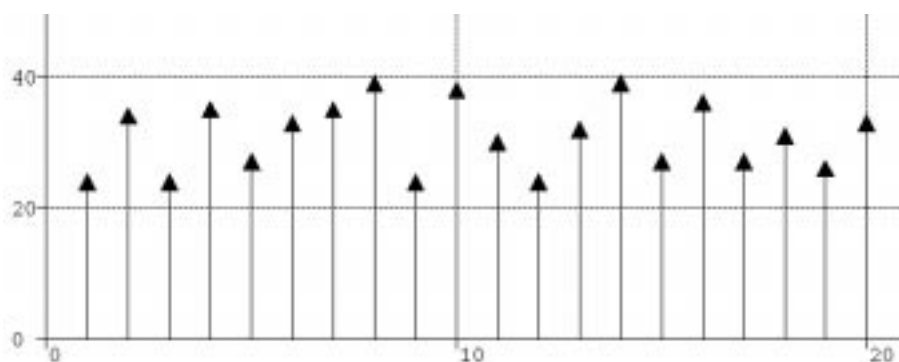
Den geografiska placeringen av den totala mängden sanna rapporter från alla 20 simuleringarna framgår av figur 8. Vi ser här en hyfsad täckning i den inre skärgården och en mer sporadisk sådan i den yttre. Anledningen till detta är att de flesta rapporterna är optiska indikationer av vågrörelser och den optiska spaningen är mest frekvent inomskärs. Därutöver har vi i ett typiskt scenario en radarkontakt, två till tre utslag på magnetslingor samt mellan två och tio hydrofonkontakter från fasta förband. Ibland har vi också någon hydrofonkontakt från kustkorvett eller patrullbåt.

Det kan tyckas vara en orimligt låg andel rapporter från kustkorvett och patrullbåt i dessa simuleringar. Det beror på att de rörliga plattformarna i simulatorn UBSSIM går på fasta banor utan möjlighet att anpassa sitt beteende efter den aktuella situationen. De saknar alltså möjlighet att följa upp en indikation.

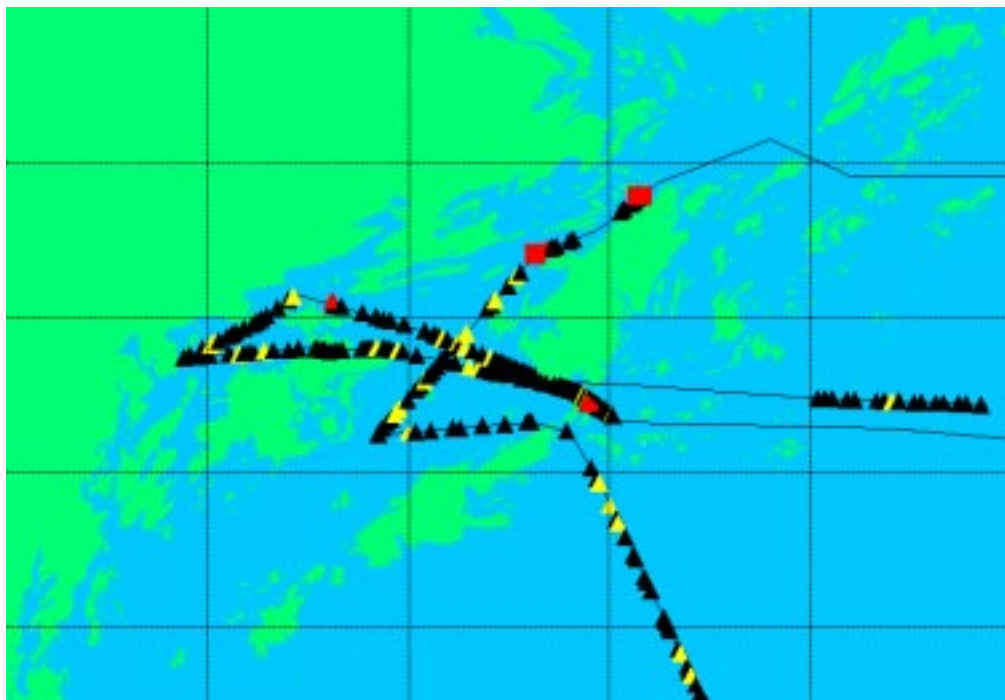
I figur 9 ser vi antalet rapporter per timme från alla 20 simuleringarna angående den första miniubåten. I figur 10 visas samma sak för minibåt nummer två.

Som framgår av figurerna är inflödet av underrättelserrapporter koncentrerat till tre tidsintervall. Vid en jämförelse med figur 6 över de tider då farkosterna är aktiva ser vi att det förekommer rapporter under hela deras aktiva period.

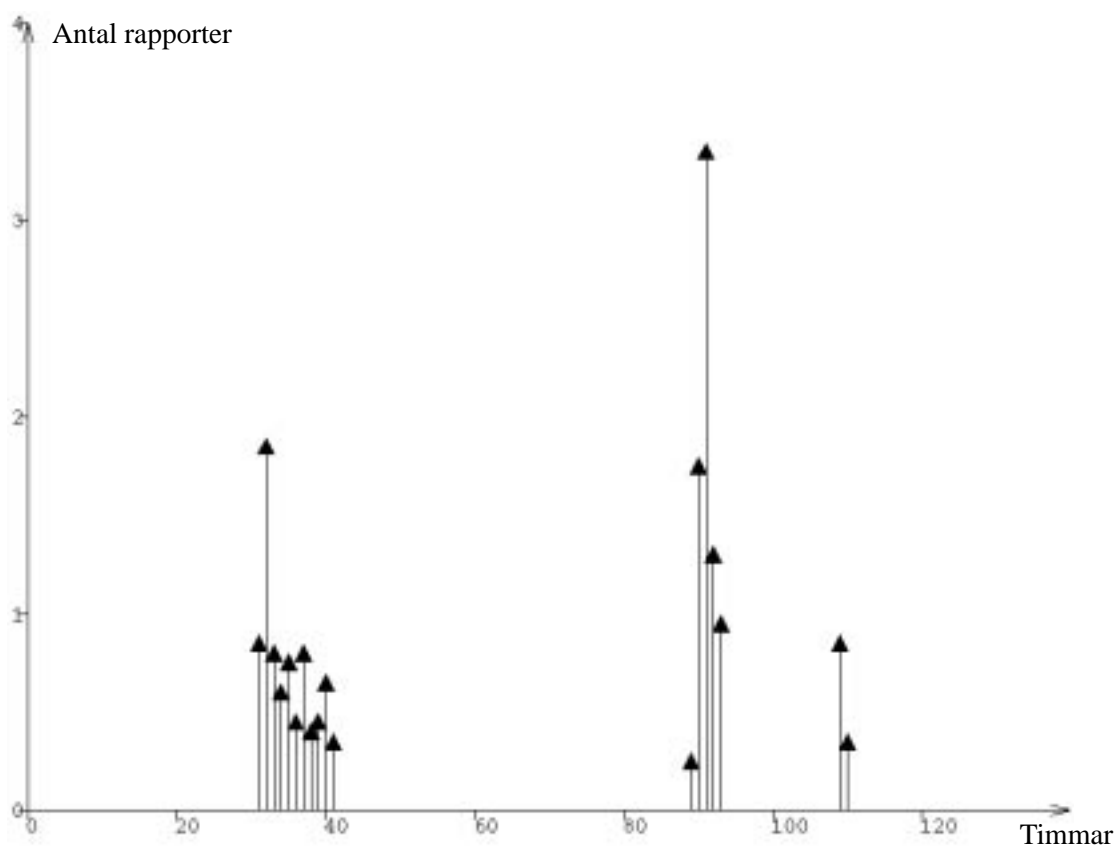
Den första perioden rör för miniubåt nummer ett färden in till Horsfjärden och för nummer två hela vägen ned till Älvsnabben. Den andra perioden som sker runt 90 timmar in i scenariot rör en förflyttning till respektive i Mysingen inför en förestående utfärd. Slutligen sker den tredje perioden av aktivitet då farkosterna passerar mellan Utö och Ornö och går ut i Östersjön.



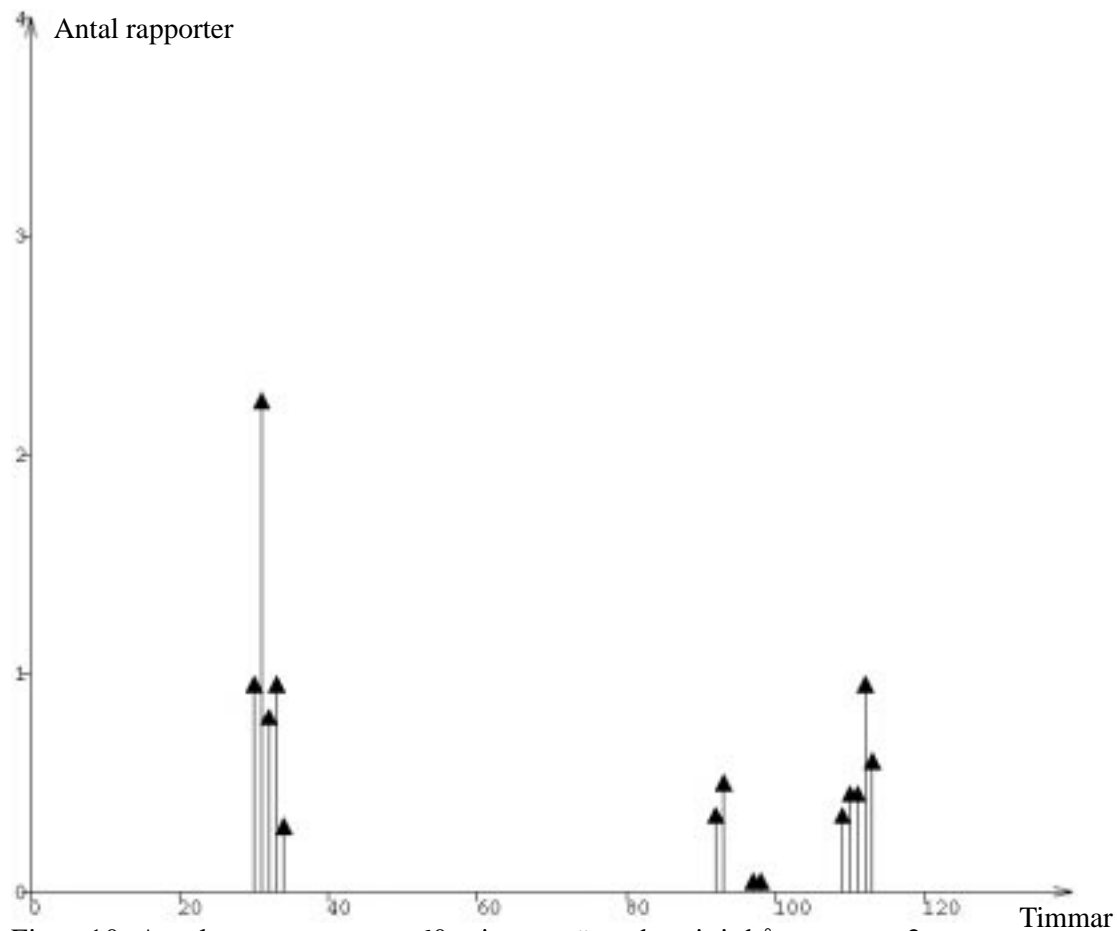
Figur 7. Antal rapporter per simulering.



Figur 8. Totala mängden sanna rapporter över 20 simuleringar: enstaka (svart), några (gul) samt många (röd).



Figur 9. Antalet rapporter per 60 minuter rörande miniubåt nummer 1.



Figur 10. Antalet rapporter per 60 minuter rörande miniubåt nummer 2.

Vi ser i figurerna 8 till 10 att miniubåt nummer ett klarar utfärden med endast ett fåtal indikationer, medan den andra miniubåten drar på sig ett större antal underrättelserapporter vid sin färd söderut i Östersjön.

För en fullständig genomgång simulerade rapportdata hänvisas till [16].

5. Inläring

Predikteringen av framtida händelser i samband med ubåtsjakt avser de närmsta timmarna. Informationen är i första hand avsedd för den taktiske ledaren (TAL).

Idén är att utveckla metoder som kan känna igen en sekvens av inkommande underrättelserapporter som tillhörande en viss kategori av sekvenser. Med hjälp av en sådan kategori av sekvenser erhålls sannolikheter för olika framtida utvecklingsscenarier givet den aktuella situationen.

Kategorier av sekvenser av underrättelserapporter tas fram med automatiska metoder från det historiska datamaterialet.

Vid utnyttjandet av ett historiskt datamaterial måste vi ställa oss två frågor:

1. Är ett datamaterial av denna typ relevant för att kunna göra prediktion?
2. Är detta historiska datamaterial fortfarande relevant idag?

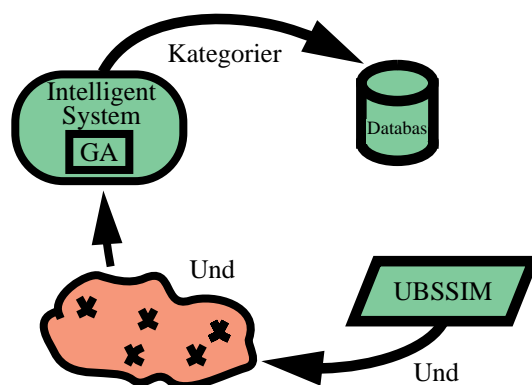
Tror vi att det går att dra slutsatser baserat på denna typ av datamaterial och att materialet också har en relevans över tiden, är det intressant att pröva värdet av denna typ av metodik för prediktion.

De utvecklade metoderna har testats med hjälp av simulerade underrättelserapporter från simulatoren UBSSIM [14]. I simulatoren körs de skapade scenarierna ett flertal gånger. Antalet körningar varierar från test till test. Vi genererar därmed en databas av underrättelserapporter från vilket vårt "intelligenta system" *lär* sig kategorier av sekvenser av underrättelserapporter, figur 11.

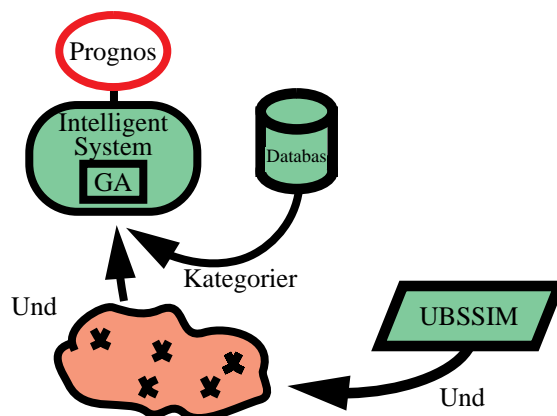
När vi erhåller ett nytt scenario analyseras detta med hjälp av de inlärd kategorierna. Om systemet finner en kategori av sekvenser liknande den aktuella sekvensen så används de historiska sekvenserna i kategorin för att leverera en prognos över framtida läge, figur 12.

Resultatet jämförs med scenariot. Under det att prediktionsreglerna används samlas statistik om varje prediktionsregel och hur ofta regeln gav en korrekt prediktion samt vilken noggrannhet som rådde i prediktionen. Det ger en utvärdering av metodernas teoretiska kapacitet. Vi får reda på hur väl metoderna *kan* fungera i bästa fall.

I detta projekt har vi endast använt oss av simulerade data, men det vore värdefullt att utvärdera metoderna mot historiska verkliga data. Den historiska databasen kunde då delas upp i två delar. Den första delen används för att *lära* metoderna de olika verkliga kategorierna. Den andra delen av databasen utgör då scenarier som ska analyseras. Vid



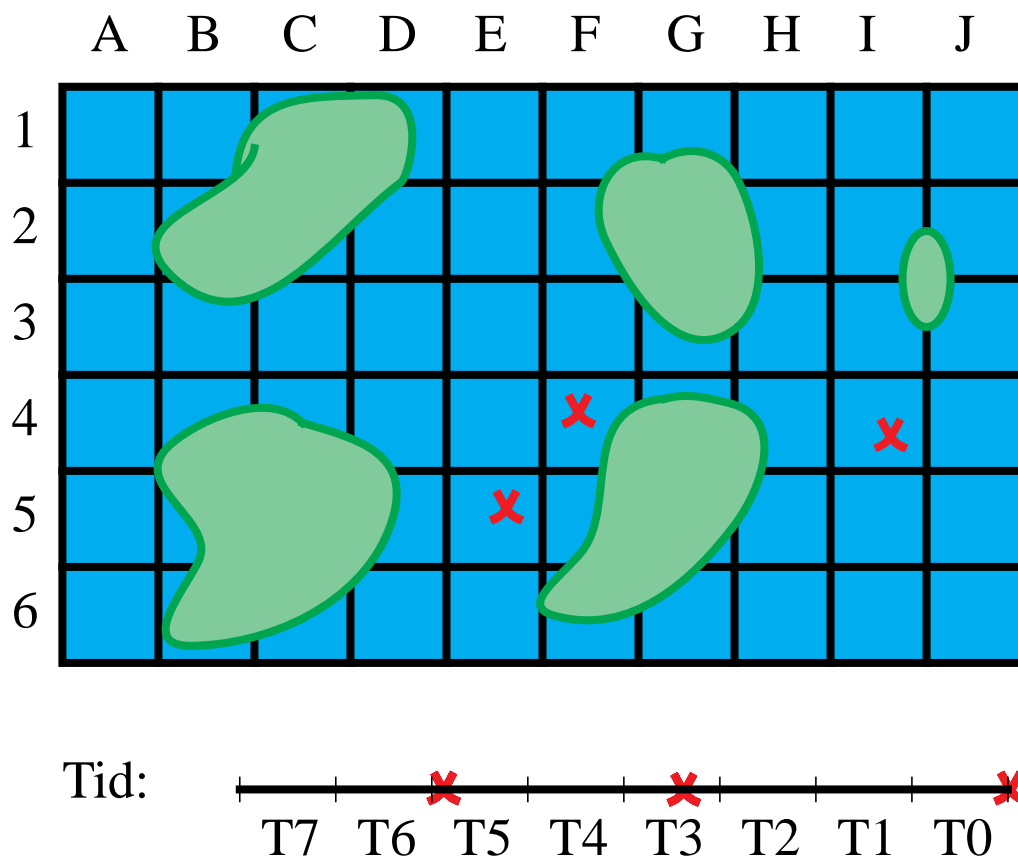
Figur 11. Inläring av kategorier av sekvenser av underrättelserapporter.



Figur 12. Systemet levererar en prediktion för en ny sekvens av underrättelserapporter.

utvärderingen undersöks alla sekvenser av underrättelserapporter. Första halvan av varje sekvens analyseras och systemet lämnar en prediktion om en framtida position. Det predikerade läget jämförs med den faktiska sekvensens fortsättning. Jämförelsen visar hur väl metoderna kan analysera verkliga sekvenser av underrättelserapporter.

En viktig aspekt hos ett lärande system är förmågan att även lära sig av en aktuell händelseutveckling. Systemet bör därför vara adaptivt.



Figur 13. Systemet levererar en prediktion för ett nytt scenario.

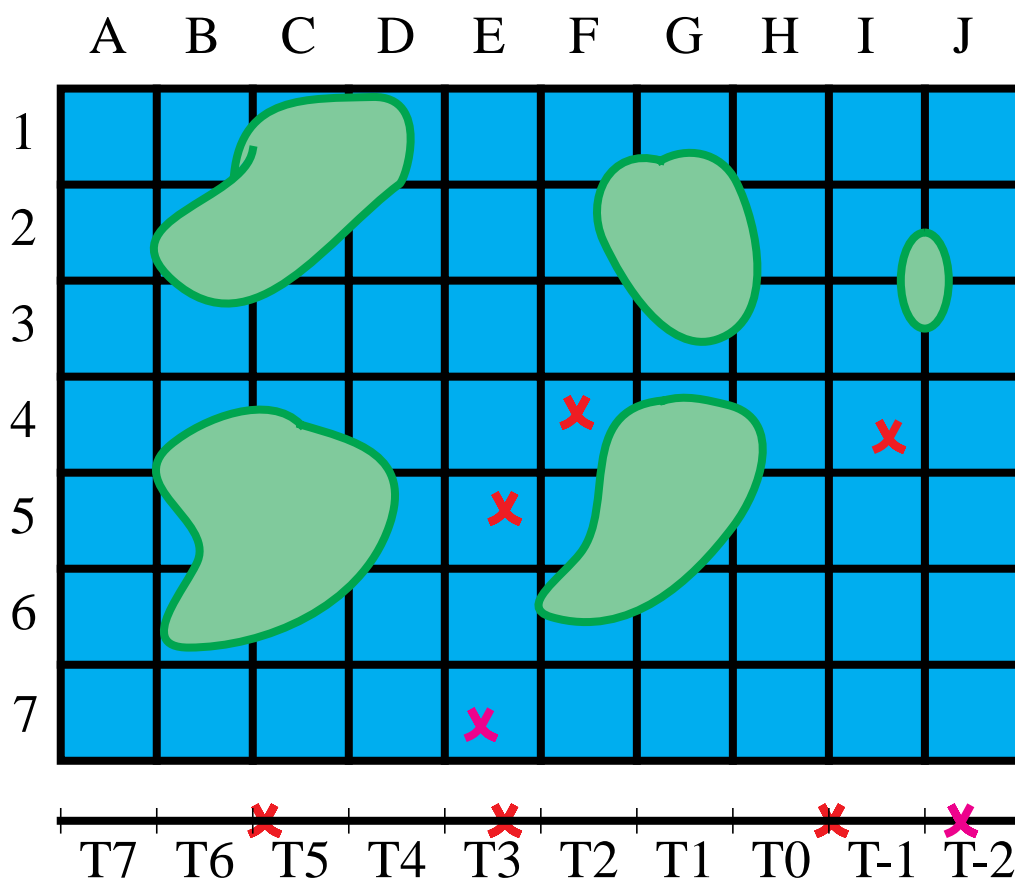
I den mån taktiska regler förändras över tiden bör systemet kunna lära sig de nya mönstren som uppstår på grund av den taktiska regelförändringen. Systemet bör således lära sig kontinuerligt under drift och uppdatera sina inlärd kategorier.

Hur går då inläring och prediktion till i praktiken?

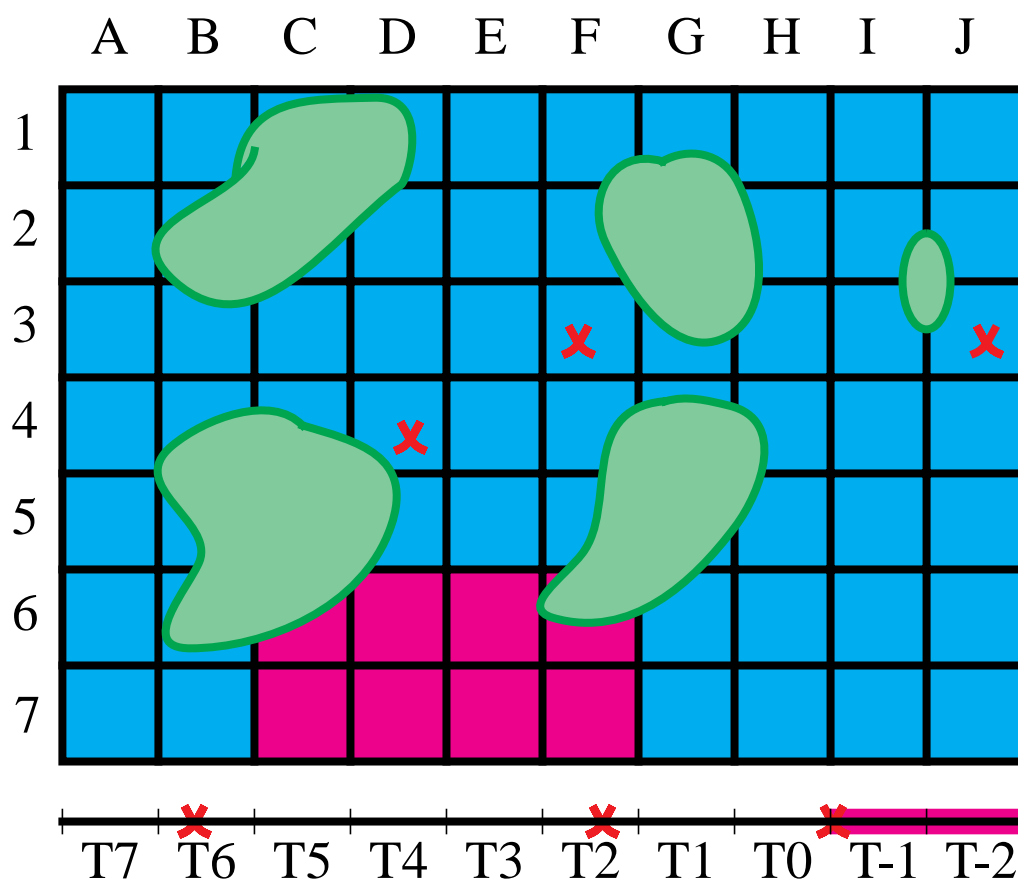
Först måste vi finna ett lämpligt sätt att representera problemet. Vi har valt att dela upp ytan i rutor om 1 x 1 km. Det område vi studerar är en del av Stockholms södra skärgård om 50 x 50 km. Då vi önskar prediktera utifrån någon speciell rapport använder vi oss av en relativ tidsskala utgående från den aktuella rapportens indikationstid. Vi har valt att vid inläring och prediktion endast ta hänsyn till aktivitet under de senaste 24 timmarna före denna rapport. Vi representerar dessa 24 timmar med 120 tidsintervall om 12 minuter vardera. Figur 13 visar en sådan representation. Här ser vi en sekvens med tre underrättelse-rapporter. Den senast inkomna rapporten i ruta E5 är placerad längst till höger vid T0 på tidsskalan och de två tidigare i ruta I4 och F4 är placerade i sina respektive tidsintervall, T5 och T3.

Vid inläring gäller det nu att prediktera nästa händelse. Antag att denna kommer att ske i ruta E7 två tidsintervall in i framtiden, figur 14. Vårt mål är nu att finna en regel som predikterar denna händelse baserat på den tidigare informationen. En sådan regel kan antingen var mycket specifik i både krav och utsaga:

Om [I4 & T5] [F4 & T3] [E5 & T0] så [E7 & T-2],



Figur 14. Finn en regel som predikterar nästa rapport.



Figur 15. En prediktionsregel lämnar en prediktion om en yta och ett tidsintervall.

eller så kan regeln kasta ett mycket vidare nät, t.ex.

Om [HIJ345 & T456] [EF34 & T1234] [DEF456 & T0] **så** [CDEF67 & T-1-2],

figur 15. Båda alternativ och alla andra kombinationer med viss specificitet på kravet eller delar av kravet och annan specificitet i utsagan är möjliga och provas automatiskt under inläringen.

Fördelen med en specifik utsaga är uppenbar, men nackdelen kan vara att regeln tenderar att bli ett specialfall och kan också få en låg sannolikhet. En mindre specifik regel blir sannolikare men är inte av lika stor nytta i det enskilda fallet. Inlärningsmekanismen använder sig av en poängsättningsmetod som tar hänsyn till detta och finner en lämplig avvägning. Under inläringens gång skapas nya regler automatiskt utgående från tidigare framgångsrika regler. På detta sätt kan allt mer framgångsrika regler skapas tills ett slutligt optimum nås.

Under denna process kommer tusentals regler med varierande noggrannhet att utvärderas och poängsätts. De bästa reglerna behålls, övriga elimineras. Kvarvarande regler utvärderas statistiskt och utgör därefter beslutsstödet. Varje regel har således en väl definierad noggrannhet i utlåtandet, t.ex., “med 60% sannolikhet finns en ubåt någonstans i rutorna CDEF67 någon gång under tidsintervallet T-1 till och med T-2.”

6. Prediktion

Vad har vi egentligen gjort?

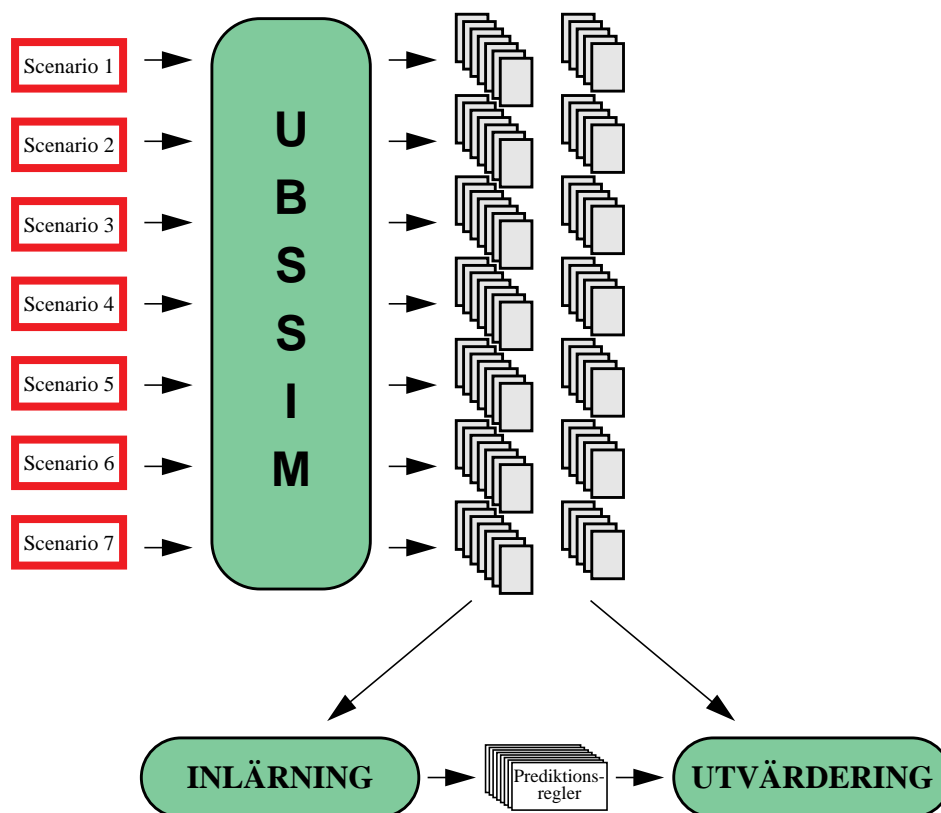
Vi har skapat sju olika fiktiva ubåtsscenarioer av den typ som beskrivs i kap. 3. Vi har använt oss av tolv simuleringar av varje scenario från ubåtsjaktssimulatorens UBSSIM. Totalt 84 simuleringar. Resultatet av en simulering är ett antal fiktiva underrättelserapporter rörande scenariot.

Vid inläringen av prediktionsregler använder vi alla sju scenarierna samtidigt. Vi har dock varierat antalet simuleringar från varje scenario till mellan en och sju. Det gör mellan sju och 49 simuleringar vid inläringen. Resultatet av en inläring är ett antal prediktionsregler av den typ som beskrivs i kap. 4.

Slutligen har fem simuleringar av vardera av de sju scenarierna lagts undan för att endast utnyttjas vid en senare utvärdering av prediktionsreglerna. Det gör totalt 35 simuleringar sparade för utvärdering, figur 16.

I tabell 1 på nästa sida visas resultatet av en utvärdering av de inlärdade prediktionsreglerna vid testning gentemot de 35 simuleringar som sparats för utvärderingen. Varje rad motsvarar ett test med separat inläring och utvärdering.

I kolumn ett anges antalet simuleringar av varje scenario som används vid inläringen. I kolumn två anges antalet avgivna prediktioner vid testning av de inlärdade prediktionsreglerna gentemot de 35 testscenarierna. Kolumn tre anger antalet prediktioner som var korrekta och kolumn fyra andelen korrekta. I kolumn fem anges medianytan bland alla avgivna prediktioner och i kolumn sex mediantidsintervallet i prediktionen.



Figur 16. Simulering, inläring och utvärdering.

Antal simuleringar	Antal prediktioner	Antal korrekta prediktioner	% korrekta	Prognos area (km ²)	Prognos tid (tim)
1	8 169	48	0,5%	80	10,0
2	151 467	71 106	46,9%	45	1,6
3	153 446	79 856	52,0%	45	1,6
4	276 022	147 665	53,4%	72	1,6
5	314 459	170 667	54,2%	80	1,6
6	297 491	145 985	49,0%	76	1,6
7	294 417	118 487	40,2%	80	1,6

Tabell 1. Resultat av prediktion i sju samtidiga scenarier.

I rad fem ser vi således att vi vid denna inläring av prediktionsregler använde fem simuleringar (kol. 1) från vardera av de sju scenarierna. Vi har vi utvärderingen av dessa inlärd prediktionsregler använt de fem sedan tidigare sparade simuleringarna från vardera av de sju scenarierna och då erhållit sammanlagt 314 459 prediktioner (kol. 2) av vilka 170 667 (kol. 3), dvs 54,2% (kol. 4), var korrekta.

Ur kolumn fem och sex ser vi att medianytan i en prediktion är 80 km² och prediktionen avsåg en framtida tid med ett tidsintervall om 1,6 timmar.

Noggrannheten i medianprediktionen är således 5 km i predikerat läge, ty en cirkel med radien 5 km har en yta om 80 km², och 48 minuter i predikerad tidpunkt, ty ± 48 minuter ger ett tidsintervall om 1,6 timmar.

En sådan prediktion har alltså en sannolikhet om 54% att vara korrekt.

Man kan diskutera om just fem simuleringar av varje scenario är det mest rimliga. Det motsvarar att motståndaren har genomfört samma typ av uppdrag fem gånger över årens lopp.

Ett lägre antal är kanske troligare.

För två till fyra simuleringar per scenario ligger sannolikheten för en korrekt prediktion några procentenheter lägre.

Att antalet avgivna prediktioner är högt beror på att det finns många prediktionsregler som skiljer sig så lite åt i krav och utsaga att dessa i hög grad överlappar varandra. Många regler kan samtidigt lämna nästan identiska prediktioner. I ett beslutsstödssystem kan dessa sammanfattas i en generell regel.

Även om det inte är troligt, så finns det därmed en risk att sannolikheten för en korrekt prediktion blir lägre för sådana sammanfattade prediktionsregler om det visar sig att de nuvarande prediktionsreglerna har en sned fördelning över de sammanfattade. Hurvida detta är fallet eller ej har vi inte hunnit med att undersöka.

7. Slutsatser

Projektets resultat är en prognosmetod över främmande ubåtars framtida position. Prognosen avser situationen om några timmar. Denna metod är 54% korrekt och har en genomsnittlig noggrannhet av 5 km i predikterat läge och 48 minuter i predikterad tidpunkt.

Låt oss betänka att Stockholm södra skärgård är ca 2500 km² stor, 50 x 50 km, vilket är det område som används i detta försök, och att en ubåtsjakt vanligen pågår i flera dagar. Då torde en prognosmetod som är korrekta drygt varannan gång med denna noggrannhet vara av stort värde.

Dessa försök är gjorda med simulerade data. Det är även nödvändigt att testa metoderna mot verkliga data för att få en uppfattning om metodernas egentliga prestanda. Resultatet i denna rapport kan sägas vara en övre gräns för vad som är möjligt.

8. 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, Huvudavdelningen för Vapensystem, verkan och skydd, 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, Department of Numerical Analysis and Computing Science, Royal Institute of Technology, Stockholm, 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*, C. Froidevaux and J. Kohlas (Eds.), *Proceedings of the European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning and Uncertainty*, Springer-Verlag (LNAI 946), Berlin, 1995, pp. 395-404.
5. Waltz, E., and Llinas, J., *Multisensor Data Fusion*, Artech House, Inc., Norwood, MA, 1990.
6. Shafer, G., *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1976.
7. Yager, R.Y., Fedrizzi, M., and Kacprzyk, J., (Eds.), *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence*, Wiley, New York, 1994.
8. Schubert, J., On nonspecific evidence, *Int. J. Intell. Syst.*, **8**, 711-725, 1993.
9. Schubert, J., Specifying nonspecific evidence, *Int. J. Intell. Syst.*, **11**, 525-563, 1996.
10. Schubert, J., Finding a posterior domain probability distribution by specifying nonspecific evidence, *Int. J. Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Syst.*, **3**, 163-185, 1995.
11. Bergsten, U., and Schubert, J., Dempster's rule for evidence ordered in a complete directed acyclic graph, *Int. J. Approx. Reason.*, **9**, 37-73, 1993.
12. Schubert, J., On ρ in a decision-theoretic apparatus of Dempster-Shafer theory, *Int. J. Approx. Reason.*, **13**, 185-200, 1995.
13. 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, Sundbyberg, 1993.
14. Bråmås, Å., och Fransson, J., UBSSIM - Ett system för simulering av ubåtsjakt, FOA Rapport C - 30515, Huvudavdelningen för Informationsteknologi, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1989.
15. Davis, L., *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
16. Neider, G., Simulerade incidentrapporter från ubåtsjakt, FOA-R--96-00295-3.4--SE, Avdelningen för Ledningssystemteknik, Försvarets forskningsanstalt, Linköping, 1996.

9. Forskningsgruppens publikationer

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

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.

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.

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, TRITA-NA-E-8663, Royal Institute of Technology, Sweden, 1986, ISBN 991-674494-7.