



FOA rapport
A 20046-2.7
April 1990
ISSN 0348-4580

DELPROJEKT INFORMATIONSSYSTEM INOM HUVUDPROJEKT UBÅTSSKYDD - SLUTRAPPORT.

Sammanställd av
Johan Schubert

Medverkande: Ulla Bergsten, Jörgen Fransson, Carl-Eric Hedin,
Tomas Lindgren, Hans Marmolin, Johan Schubert, Magnus Stjernberg,
Per Svensson, Eva Toller, Anders Wellving

Försvarets Forskningsanstalt
Huvudavdelningen för Vapensystem, verkan och skydd
102 54 STOCKHOLM

Försvarets Forskningsanstalt
Huvudavdelningen för
Vapensystem, verkan och skydd
102 54 STOCKHOLM

FOA rapport
A 20046-2.7
April 1990
ISSN 0348-4580

DELPROJEKT INFORMATIONSSYSTEM INOM HUVUDPROJEKT
UBÅTSSKYDD - SLUTRAPPORT

Johan Schubert (red)

Medverkande: Ulla Bergsten, Jörgen Fransson Carl-Eric Hedin,
Tomas Lindgren, Hans Marmolin, Johan Schubert,
Magnus Stjernberg, Per Svensson, Eva Toller,
Anders Wellving

Projektansvarig: Anders Wellving, Torleiv Orhaug

Antal sidor: 25

Kostnadsbärare: 5127054

Sändlista: ÖB, Fst, CM, FMV, MHS, MB S, MB Ö, Bofors Electronics AB,
Ericsson Radar Electronics AB, BÖS, MKN, MKV, Kfl, SK/KA 1, ÖrlB O,
ÖrlB S, KAS, FOA Ck, FOA 1, FOA 3, FOA 4, FOA 5
FOA2: 28

Dokumentets utgivare Försvarets Forskningsanstalt Huvudavdelningen för Vapenssystem, verkan och skydd 102 54 STOCKHOLM	Dokumentnamn och dokumentbeteckning FOA rapport A 20046-2.7	
	Dokumentets datum April 1990	Kostn.bärare 512 7054
	Projektamn (ev förkortat) UBS dp Informationssystem	
Upphovsman(män) Uppdragsgivare Johan Schubert (red) Medverkande: Ulla Bergsten, Jörgen Fransson, Carl-Eric Hedin, Tomas Lindgren, Hans Marmolin, Johan Schubert, Magnus Stjernberg, Per Svensson, Eva Toller, Anders Wellving. Projektansvarig: Anders Wellving, Torleiv Orhaug		
Dokumentets titel DELPROJEKT INFORMATIONSSYSETM INOM HUVUDPROJEKT UBÅTSSKYDD - SLUTRAPPORT		
Huvudinnehåll Inom ramen för Försvarets forskningsanstalts treåriga huvudprojekt Ubåtsskydd har delprojekt Informationssystem utvecklat metoder till ett beslutsstödssystem för hantering och analys av underrättelser om främmande undervattensverksamhet.		
Nyckelord Ubåtsskydd, ubåtsjakt, informationssystem, ledningssystem, beslutsstödssystem, artificiell intelligens, evideskalkyl.		
Anm		
Övriga bibliografiska uppgifter		Språk Svenska
ISSN 0348-4580		ISBN
		Omfång 25 sid
		Pris
Sekretessuppgifter		

Distributör (om annan än ovan)

Issuing organization National Defence Research Establishment Department of Weapon Systems, Effects and Protection S-102 54 STOCKHOLM Sweden	Document name and doc.ref.no. FOA report A 20046-2.7	
	Date of issue April 1990	Item designator 512 7054
	Project name (abbreviated if necessary) ASW sp Information Systems	
Author(s) Johan Schubert (ed) Contributors: Ulla Bergsten, Jörgen Fransson, Carl-Eric Hedin, Tomas Lindgren, Hans Marmolin, Johan Schubert, Magnus Stjernberg, Per Svensson, Eva Toller, Anders Wellving. Project manager: Anders Wellving, Torleiv Orhaug	Initiator or sponsoring organization	
Document title INFORMATION SYSTEMS SUBPROJECT WITHIN THE ANTI-SUBMARINE WARFARE PROJECT - FINAL REPORT		
Abstract Within the scope of the three-year anti-submarine warfare project of the National Defence Research establishment, the Information Systems subproject has developed methods for handling and analysis of intelligence reports concerning foreign underwater activities which could be used in future decision support systems.		
Key words Anti-submarine warfare, information systems, C ³ I systems, decision support systems, artificial intelligence, evidential reasoning.		
Notes		
Further bibliographic description		Language Swedish
ISSN 0348-4580		ISBN
		Pages 25
		Price
		Restricted distribution Unclassified

Distributor (if not issuing organization)

Kontaktperson UBS delprojekt Informationssystem: Göran Stensson.

Projektets deltagare

***Institutionen för Tillämpad matematik och databehandling.
Huvudavdelning för Vapensystem, Verkan och Skydd (FOA 2).***

Avddir Ulla Bergsten: Metodutveckling för DEZZY analysmetoder. Systemspecifikation.

Avddir Pelle Edmark: Kartläggning av användarkrav och scenarier för ubåtsjakt. Försörjning med geografiska data.

Avddir Per Nilsson: Metodutveckling och programmering av DEZZY bassystem. Systemspecifikation.

Fo Johan Schubert: Metodutveckling och programmering av DEZZY analysmetoder. Systemspecifikation.

Fo Magnus Stjernberg: Försörjning med geografiska data. Algoritmer för beräkning av kortaste färdväg.

Foch Per Svensson: Metodutveckling för DEZZY databas. Algoritmer för beräkning av kortaste färdväg. Systemspecifikation.

***Institutionen för Informationssystem.
Huvudavdelning för Informationsteknologi (FOA 3).***

Fo Åsa Bråmås: Utveckling och programmering av Rapportgeneratören.

Fo Jörgen Fransson: Utveckling och programmering av Rapportgeneratören. Algoritmer för beräkning av kortaste färdväg.

Avddir Tomas Lindgren: Utveckling och programmering av Rapportgeneratören. Försörjning med geografiska data.

Foch Torleiv Orhaug: Projektplanering. Projektledare 1986-01-01 - 1987-05-31.

Fo Eva Toller: Medverkan i utveckling av Rapportgeneratören. Metodutveckling och programmering av SUBROSA.

Lab Anders Wellving: Kartläggning av användarkrav. Metodutveckling för SUBROSA. Projektledare 1987-06-01 - 1989-06-30.

***Institutionen för Människa - Informationssystem.
Huvudavdelning för Mänsklig Prestation och Funktion (FOA 5).***

Avddir Carl-Eric Hedin: Utveckling och programmering av GRAL.

Foch Hans Marmolin: Metodutveckling för GRAL.

***Institutionen för Påfrestning - Prestation.
Huvudavdelning för Mänsklig Prestation och Funktion (FOA 5).***

Fo Göran Stensson: Kartläggning av användarkrav och scenarier.

Innehållsförteckning

1. Inledning. (Av Anders Wellving)	6
2. Dezzy - ett demonstrationssystem för analys av ubåtsunderrättelser. (Av Ulla Bergsten, Johan Schubert och Per Svensson)	8
3. Analys genom interaktiv hypotesgenerering - SUBROSA. (Av Eva Toller)	10
4. Simulering av ubåtsjakt - generering av underrättelser. (Av Jörgen Fransson)	12
5. Lägespresentation med hjälp av elektroniska kartor och sjökort. (Av Carl-Eric Hedin och Hans Marmolin)	14
6. Geografiska data för kart- och sjökortspresentation. Erfarenheter. (Av Tomas Lindgren och Magnus Stjernberg)	15
7. Geometrisk analys - beräkning av kortaste väg. (Av Jörgen Fransson och Per Svensson)	17
8. Referenser.	21
Appendix. Bilder.	23

1. Inledning.

1.1 Målsättning.

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 projektiden.

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.

Det system som visades kallades "demonstrationssystemet" dels för att markera att det inte är ett operativt system eller ens en prototyp till ett sådant, och dels därför att systemet syftade till att demonstrera funktioner som borde vara användbara i ett operativt system. Exempel på sådana funktioner är:

- databassökningar
- generering av hypoteser
- lägespresentation
- geometrisk analys.

Demonstrationerna väckte stort intresse hos inbjudna deltagare och besökare vid MILINF'89. Det resulterade i att ett tiotal nya potentiella samarbetspartner erhöles. Diskussioner om förutsättningar för sådant samarbete fördes under hösten 1989.

1.2 Arbetsgrupper.

Delprojektets viktigaste resultat kan beskrivas utgående från indelningen i arbetsgrupper inom den cirka 15 personer starka delprojektgruppen.

1. Användaraspekter på ett informationssystem: En kartläggning har gjorts av potentiella användares önskemål, operationsmiljön för systemet, olika typer av incidenter, etc. Resultatet sammanfattas i en FOA-rapport [Stensson & Wellving 1990].

2. Evidensteori för analys av underrättelser: En metod för sammanvägning av information från flera olika underrättelser har utarbetats. Resultatet presenteras på en färgskärm. Ett bidrag till MILINF-konferensen har skrivits om metoden och en FOA-rapport är utgiven [Bergsten et al. 1989].

3. Metod för interaktiv korrelering av underrättelser: Syftet med denna metod är att ge operatören datorstöd för en i huvudsak manuell analys av tillgänglig information. Systemet beskrivs i FOA-rapporter, [Toller 1988], [Wellving 1988], och ett MILINF-bidrag [Toller 1989].

4. Avancerad lägespresentation: Delprojektet har utarbetat principer för redovisning av olika informationstyper eller objekt i samband med ubåtsjakt på ett elektroniskt sjökort. En FOA-rapport är under utgivande [Hedin 1990].

5. System för generering av underrättelserapporter vid olika typer av scenarier: Den så kallade "rapportgeneratorm" är ett datorsystem som simulerar en ubåtsjaktoperation och som resultat ger en serie underrättelserapporter. Dessa används i analysystemen för att testa deras användbarhet i olika typer av incidenter [Bråmås & Fransson 1989].

6. Funktioner för beräkning av kortaste väg mellan två platser i en skärgårdsmiljö: Sådana funktioner är nödvändiga att inkludera i automatiska system för analys av underrättelser [Holmes & Jungert 1988a].

7. Övrig verksamhet inom projektet har varit kunskapsuppbyggnad i form av litteraturstudier och studieresor samt idégenerering. Ett par FOA-rapporter och två konferensbidrag är av denna typ [Wellving 1987], [Wellving 1988] och [Wellving 1989c].

Sammanfattningsvis så har delprojektet gjort en ambitiös och noggrann belysning av metoder för att stödja ubåtsjakten med datorstödda informationssystem. Delprojektet har dock inte hunnit testa de föreslagna metoderna i realistiska scenarier i önskad omfattning och inte heller utvecklat några operativa system för omedelbart bruk. Denna rapport sammanfattar de viktigaste erfarenheter som kan förmedlas i en öppen rapport. För ytterligare information hänvisas till övriga rapporter utgivna av delprojektet.

1.3 Demonstrationssystemet

Demonstrationssystemets huvudkomponenter är analysdatorn och presentationsdatorn. För dessa delsystem har program utvecklats med vars hjälp man kan lagra, bearbeta och presentera både underrättelser och bakgrundsinformation. Presentationsdatorn används enbart för olika aspekter av lägespresentation, medan analysdatorn används för såväl bearbetning som viss presentation på kartbakgrund.

Den tredje komponenten i systemet är rapportgeneratorm, som används för att skapa realistiska underrättelserapporter för vidare analys. Denna komponent används i samband med utprovning och utvärdering av analysfunktionerna.

Rapportgeneratorm

Analysdatorn Presentationsdatorn

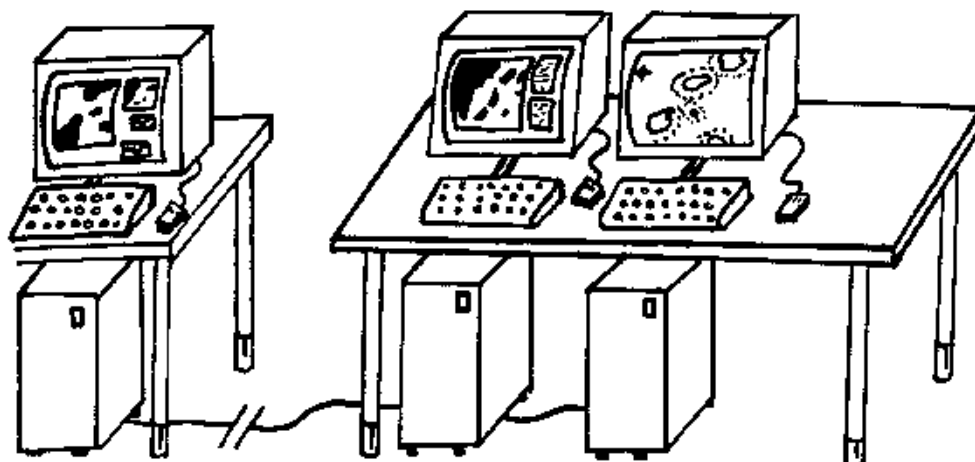


Fig. 1. Skiss över demonstrationssystemet.

Analyssystemet har utvecklats i två versioner av olika forskningsgrupper inom delprojektet. De två versionerna, som kallas Dezyzy respektive Subrosa, beskrivs närmare nedan. I ett eventuellt operativt system kan de två versionerna integreras. Programsystemet i presentationsdatorn kallas Gral och rapportgeneratorns program Ubssim.

Datorstöd innebär inte att datorer tar över allt arbete. Datorn bör istället utföra de uppgifter som människan är mindre bra på, dvs att komma ihåg detaljerad information, att göra sannolikhetsberäkningar, att separera objektiva data från förutfattade meningar etc. En rimlig hypotes är att datorstödda system är överlägsna manuell analys vid incidenter som pågår lång tid och omfattar ett stort antal rapporter med stor osäkerhet.

För att system ska få en lämplig avvägning mellan funktioner som utförs av datorer respektive operatörer är det nödvändigt att de blivande användarna av systemet deltar i eller åtminstone följer utvecklingsarbetet. På så sätt erhålles en "bottom-up" filosofi i projektet som ökar utsikterna för att resultatet ska bli användbart. Detta ökar motivationen hos användaren i testfasen och förhindrar att de föreslagna hjälpmedlen döms ut förhastat. Användarnas krav och önskemål har kartlagts genom ett relativt stort antal intervjuer och studiebesök. Vid utformningen av människa-datorinteraktionen har strävan varit att utnyttja moderna arbetsstationer och metoder inom området människa-dator-interaktion.

2. Dezyzy - ett demonstrationssystem för analys av ubåtsunderrättelser.

2.1 Målsättning.

Dezyzy är i första hand ett system för situationsanalys, dvs ett system som med utgångspunkt från lagrade data om egen militärgeografi och egna ubåtsskyddsresurser kan ge stöd för bedömning av det aktuella hotet genom att underlätta kvantitativ analys av inkommande underrättelser.

I hotbedömningen ingår att så långt möjligt besvara frågor om antal hotenheter, enheternas typ, lägen, hastigheter och operativa uppgifter. Dessa bedömningar måste givetvis ske på en grund av mer eller mindre osäkra data. Därför är förmåga att hantera, presentera och dra slutsatser av osäkra data av avgörande betydelse.

En viktig del av denna förmåga är att kunna beräkna undre och övre gränser för en utsagas trovärdighet, givet att de fakta som är underlag för slutsatsen har känd tillförlitlighet.

Likaså är förmåga att göra känslighetsanalyser av stor betydelse, dvs att kunna beräkna i hur hög grad förändringar i en utvald delmängd av indata till en slutsats påverkar slutsatsens trovärdighet.

En fullständig situationsanalys torde vara mycket svår att åstadkomma. Huvuduppgiften för Dezyzy har därför begränsats till att försöka lösa följande delproblem:

- uppskatta antalet hotenheter, dvs beräkna trolighetsgrad för de olika möjliga antalen;
- uppskatta dessa enheters lägen, dvs beräkna de områden där enheterna kan befinna sig, samt indela dessa områden i delområden med avseende på trolighetsgrad (evidenskartor);
- uppskatta hotenheterernas färdvägar, dvs beräkna trolighetsgrad för de olika enheterernas möjliga färdvägar fram till nuläget.

Eftersom situationsanalysen i denna tillämpning i hög grad måste baseras på analys av historiska underrättelsedata, snarare än på kunskap om militära doktriner eller militärtekniska fakta, är systemet försett med flexibla delsystem för lagring, analys och presentation av sådana data.

Dezzy's kärna är ett nyutvecklat system för formulering, värdering och presentation av hypoteser, grundade på osäkra observationsdata. Principerna för hantering av och slutsatsdragning ur osäkra data följer evidensteorin (Dempster-Shafer), som enligt vår uppfattning lämpar sig bättre för denna form av osäkra data än alternativa metoder.

2.2 Exempel på problem som kan behandlas med Dezzy.

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 ubåtstyp, hastighet och/eller färdriktning etc. Dessutom är varje rapport försedd med klassificering av vilken tilltro man satt till rapporten.

Sammanjämkning av rapporter: Systemet försöker urskilja ett mönster i en given rapportmängd. Systemet kan t ex konstruera hypoteser om antal ubåtar samt om vilka rapporter som härrör från respektive ubåt. Man kan här också ställa upp hypoteser om vilka rapporter som kan betraktas som falska. Ovanstående baserar sig på rapporternas trovärdighet, deras tidsmässiga och geografiska avstånd, förekomst eller avsaknad av sensorsignaler, framkomlighet (öar, olika djup) etc. Hypoteserna är avsedda att användas tillsammans med operatörens egen kunskap om taktiska regler o d.

Uppställande av hypoteser rörande lokalisering och uppgift för misstänkt ubåt: En misstänkt ubåt kan lokaliseras på flera sätt. Man kan beräkna troligaste uppehållsområden för en eller flera ubåtar baserade på en given rapportmängd, djupdata, sensoregenskaper m m. Man kan vidare beräkna troligaste färdväg genom rapportmängden för en eller flera ubåtar, samt göra en enkel prediktion av fortsatt färdväg.

Interaktiv prövning av hypoteser uppställda av användaren mot en mängd rapporter från en incident: Antag att man förfogar över en mängd rapporter från samma incident. Mot denna vill man kontrollera ett antal hypotesers samklang med den givna rapportmängden. Man kan vilja ändra antaganden, t ex om ubåtstyp eller genom att betrakta vissa rapporter som falska. Hur påverkar detta den förklaring som systemet ger?

Efteranalys av incidenter: Efter det att ubåten har avlägsnat sig eller anträffats kartläggs inom vilka områden den kan ha (eller troligen har) befunnit sig. Man kan plotta alla incidenter genom åren, eller en utvald mängd sådana, oberoende av tidpunkt men med exakt läge, för att få en bild av eventuella stråk och om vilka delar av svenskt vatten som utforskats. Man kan också göra statistiska sammanställningar av observationers fördelning samt presentera dem i en kartbild eller som diagram av olika slag. Resultatet kan lagras i en incidentdatabas som sedan skall kunna användas för att analysera främmande ubåtars beteende och dra slutsatser om deras egenskaper, syften och taktik samt om vilken kännedom de kunnat skaffa sig om svenska vatten.

2.3 Översikt över demonstrationssystemet.

Ett antal analysfunktioner kan direkt utföras av Dezzy's analysmodul. Dessa beskrivs nedan.

Kortaste färdväg:

Systemet beräknar sträckning och längd för kortaste färdvägen mellan två punkter i vattnet, med hänsyn tagen till hinder i form av öar och grunda vatten.

Möjliga samband:

För varje rapport kan avgöras vilka andra rapporter som kan härröra från samma mål (med avseende på tid, lokalisering, ubåtstyp etc).

Antal ubåtar:

Systemet beräknar troligheten för olika antal ubåtar givet en viss rapportmängd. Man kan också få fram det minsta antal ubåtar som kan ha givit upphov till en viss rapportmängd.

Evidensområden:

Systemet beräknar med hur stor trolighet det inom ett rektangulärt område, som användaren markerar på kartan, under ett av användaren givet tidsintervall förekommit minst en ubåt. Detta värde baserar sig endast på rapporterna och kan t ex användas för att avgöra när en incident startar, dvs när rapportflödet ej längre kan förklaras av att samtliga rapporter är falska.

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 den 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 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.

3. Analys genom interaktiv hypotesgenerering - SUBROSA.

Beslutsstödssystemet Subrosa är ett hjälpmedel för hantering och utvärdering av rapporter i samband med ubåtsincidenter. Systemet ska kunna användas till

- att grafiskt (på kartbild) och i text presentera incidentrapporter om främmande undervattensverksamhet,
- att stödja tolkning av dessa rapporter, och att underlätta att hitta eventuella samband mellan dem,
- att generera hypoteser om troliga färdvägar (hur många ubåtar som opererar i ett område, var de befinner sig, och vilka vägar de har färdats).

De rapporter, som använts som testdata, har framställs med ett annat program, UBSSIM, som simulerar ubåtars rörelser och egna sensorer. Utifrån sensorernas indikationer ges en mängd rapporter som utdata. (Se avsnitt 4, Simulering av ubåtsjakt - generering av underrättelser).

3.1 *Presentation av rapporter.*

Incidentrapporterna kan presenteras i text (tidpunkt för incidenten, vilken sensor som gav upphov till rapporten m m). Man kan se på en rapport i taget, eller på alla rapporter från en incident samtidigt (i det senare fallet visas bara de viktigaste värdena). Rapporterna kan också presenteras på kartbild; då visas det geografiska läge, där en sensor har givit utslag eller där en observation har gjorts.

3.2 *Stöd för tolkning av rapporter.*

Operatören kan själv lägga in sin egen bedömning av rapporterna (denna bedömning används senare i funktionen för generering av hypoteser om troliga färdvägar). Operatören anger ett antal värden som han vill knyta till rapporten. Exempel på sådana värden är trolighet (den tilltro man sätter till rapporten, ett tal mellan 1 och 6), farkosttyp, kurs. Det går också att lägga in s k kopplingar mellan rapporter, om man bedömer att de bör härröra från samma farkost. Som hjälpmedel för att koppla ihop rapporter finns bl a en metod för uträkning av den kortast möjliga färdvägen mellan två geografiska lägen. Det går också att räkna ut vilken fart som krävs för att en farkost ska kunna ta sig från ett ställe till ett annat på en viss tid (med hänsyn till den kortaste vägen).

3.3 *Generering av hypoteser om troliga färdvägar.*

Med utgångspunkt från de olika rapporterna kan Subrosa generera hypoteser om troliga färdvägar för ett antal farkoster. Funktionen bygger till största delen på operatörens egen subjektiva bedömning av rapporterna. Om operatören t ex har angett en koppling mellan två rapporter, behandlar systemet detta som ett starkt vägande skäl för att dessa rapporter ska anses härröra från samma farkost. Andra sådana bedömningar funktionen tar hänsyn till är t ex likhet i angiven typ av ubåt.

Metoden liknar den som är normal vid manuell analys. Fördelen med att göra den datorstödd är att analysen kan göras om flera gånger och effekten av olika antaganden prövas. Dels kan operatören ändra på tolkningen av rapporterna, och kopplingarna mellan dem, dels kan han med hjälp av parametrar skapa olika förutsättningar för genereringen av färdvägar. Systemet gör inte någon bedömning av hur sannolika de olika färdvägarna är (jmf. avsnitt 2, "Dezzy - ett demonstrationssystem för analys av ubåtsunderrättelser").

3.4 *Fortsatt arbete.*

En del forskning med anknytning till Subrosa kommer att genomföras under det närmaste året. De fyra aktiviteter som hittills är planerade är:

Testning av analysfunktioner:

Subrosa kommer att testas mot ett antal scenarier genererade m h a UBSSIM. Det som ska testas är följande:

- (i) Systemets allmänna förmåga att generera rimliga hypoteser. Testning av olika varianter av hypotesgenereringsalgoritmer.
- (ii) I vilken mån operatörsinteraktion påverkar resultaten (i positiv och negativ riktning).
- (iii) Vilka faktorer som är relevanta i hypotesgenereringen, och om man kan/bör tillföra annan kunskap än den som nu finns. Eventuellt mer omfattande känslighetsanalyser.

Ombyggnad av Subrosa till ett generellt kunskapsbaserat system:

Subrosa kan, om systemet görs mera generellt, komma att leva vidare några år, och eventuellt även utnyttjas för andra tillämpningar än analys av ubåtsjakt. För närvarande skulle införandet av en ny applikation kräva ganska mycket arbete. Det är därför motiverat att införa en kunskapsbasstruktur, där man inte är bunden av den aktuella tillämpningen.

Studie av adaptiv simulering eller "learning":

I testerna av Subrosa (se ovan) ska bl a undersökas vilka faktorer som är relevanta i hypotesgenereringen, och om man kan/bör tillföra annan kunskap än den som nu finns. I samband med detta är det intressant att undersöka om systemet självt kan lära sig detta ("learning from experience") och efter hand automatiskt införa eller föreslå ändringar. Som exempel kan nämnas realistiska marschfarter, vanliga felbedömningar från operatören, taktiska mönster.

Implementering av förklaringsmekanismer:

För närvarande finns det vissa hjälpmedel för att förklara hur systemet har resonerat när det genererat hypoteser om antalet ubåtar mm. En mer generell och användarvänlig förklaringsmodell (av den typ som används i expertsystem) kommer att implementeras. I modellen kommer att ingå andra medier för förklaring än enbart text (t ex grafisk presentation).

4. Simulering av ubåtsjakt - generering av underrättelser.

UBSSIM är ett simuleringsprogram som har till uppgift att generera fingerade rapporter om främmande undervattensverksamhet av den typ som kommer in till en ledningscentral under en incident.

Inom delprojektet stod det från början klart att man på något sätt måste få tillgång till underrättelserapporter för användning vid utveckling och testning av analysmetoder och lägespresentation. Användning av skarpa underrättelserapporter förkastades av tre skäl. För det första så skulle sekretesstämpeln på dessa rapporter ställa till stora problem rent praktiskt. För det andra så saknas ett fullständigt och säkert facit till dessa rapporter, dvs kunskap om vilken undervattensverksamhet som har givit upphov till rapporterna. Slutligen saknas data om de egna styrkornas positioner. Den väg som valdes var istället att utveckla ett simuleringsprogram.

4.1 Simuleringsprogrammet UBSSIM.

Programmet är implementerat i programmeringsspråket LISP på en arbetsstation av typ Texas Instruments Explorer.

Det som simuleras är i korthet följande: Ett antal enheter (fartyg, landförband, egna och främmande ubåtar etc) rör sig inom ett visst geografiskt område. Enheterna är utrustade med olika typer av sensorer (aktiv- och passiv hydrofon, radar, magnetslinga etc.) som har förmåga att upptäcka, lokalisera eller klassificera en ubåt. Från sensorsystemen (operatörer inräknade) kan indikationsmeddelanden komma. Dessa kan innehålla t.ex. position, tid och bedömning för indikationen samt ytterligare sensorspecifik information. Information från sensorsystemen sammanställs och bedöms inom respektive enhet, där beslut fattas om och när en indikation ska rapporteras. Det kommer även rapporter som grundar sig på iakttagelser som civilpersoner gjort. Rapporterna som skickas utgör utdata från simuleringen.

För att rapportflödet ska vara så realistiskt som möjligt genereras även falska rapporter, härstammande från såväl sensorer som allmänhet. Den genuina osäkerhet som ofta råder beträffande de egna sensorernas upptäcktsförmåga återspeglas av att beräkningen av sensorsignaler till en viss del är stokastisk. Allmänhetens iakttagelser simuleras genom en

statistisk modell som även den ger utrymme för en betydande osäkerhet.

Indata till simuleringen utgörs av ett scenario bestående av alla ingående enheter med färdvägar, sensorer och rapportörer, geografi samt vissa styrparametrar för simuleringen. Scenariot kan skapas interaktivt via menyer eller direkt på fil med ordbehandlare. Färdvägarna läggs in med en speciell färdvägseditor där man arbetar med musklickningar i kartan och menyer.

Under simuleringens gång kan man följa enheternas lägen i kartfönster i olika skalor på skärmen. Användaren har full kontroll över kartfönstren och kan panorera eller zooma under simuleringens gång. Viktiga statusvariabler hos enheter och sensorer kan man avläsa i speciella fönster. När en rapport skickas kommer den i klartext i ett fönster på skärmen, samtidigt som positionen för indikationen/iakttagelsen markeras i kartfönstren.

Under simuleringens gång kan man när som helst göra tillfälliga avbrott för att ändra olika parametervärden. För att få ett realistiskt beteende hos enheterna kan man under avbrotten ändra deras färdvägar, aktivera sensorer, osv.

En mer utförlig beskrivning av användningen av UBSSIM återfinns i [Bråmås & Fransson 1989].

4.2 *Simuleringstekniska aspekter.*

Ett grundläggande beslut vid konstruktion av en simulering är val av tidsförloppsmekanism. Valet står mellan tidsstyrning och händelsestyrning eller en kombination av dessa. Både tidsstyrning och händelsestyrning bedömdes i vårt fall ha allvarliga nackdelar. För tidsstyrning ligger problemet i tidsdynamiken. Långa perioder är mycket händelsefattiga medan det ibland händer viktiga saker under kort tid, t.ex. att en ubåt exponerar någon del ovanför vattenytan. Man har då att välja mellan ett litet tidssteg som ger en ineffektiv simulering, eller ett stort tidssteg som medför att vissa händelser kan missas. Ren händelsestyrning är svårt i detta fall eftersom vissa händelser, t.ex. en sensorindikation, är svåra att prediktera.

För att lösa detta problem valdes en kombination av tids- och händelsestyrning. I varje tidssteg beräknades vilka händelser som inträffar just då, t.ex. vilka sensorer som får indikationer. I beräkningarna antas att de relativa positionerna hos alla enheter är desamma under hela tidssteget. För att inte missa tillstånd som uppträder under kort tid, t.ex. en ubåt som periskopspanar, behandlades vissa fenomen som händelser.

Ett problem vid utvecklingen av sensormodeller var hur upptäcktssannolikheter skulle hanteras. Ett i militära källor vanligt förekommande sätt att beskriva en sensors möjligheter att upptäcka ett mål är att ange ett sannolikhetsvärde för upptäckt. Förutom att definitionen av vad sannolikhetsvärdet står för ofta är vag, så var problemet att sannolikhetsvärdet inte relaterar till tiden på något sätt (ex. vilken är sannolikheten att målet upptäcks inom x sekunder?). Att relatera sannolikheter till tiden var nödvändigt eftersom simuleringen i huvudsak var tidsstyrd. Det sätt som sannolikheter i UBSSIM representeras är den förväntade tiden till dess den aktuella händelsen inträffar. Tillsammans med en statistisk funktion definierar denna tid en statistisk fördelningsfunktion över tiden till händelsen.

4.3 *Erfarenheter.*

Utvecklingen av UBSSIM startade innan planerna för den övriga projektverksamheten var klart fastlagda. Eftersom kraven på realism och detaljnoggrannhet i en sådan här simulering helt beror på vad den ska användas till (i vårt fall hur analysmetoderna fungerar) var det långt ifrån uppenbart hur simuleringen skulle konstrueras. Ett vanligt tankefel i sådana här sammanhang är att man kan bedöma realismen hos en simulering utan att noggrant känna till dess syfte. En mycket

viktig faktor vid utvecklingen av UBSSIM har därför varit flexibilitet. För att uppnå detta valdes en objektorienterad struktur. Med denna erhöles en modulär programkod som avbildar verkligheten på ett naturligt sätt och som därför har varit lätt att modifiera och anpassa.

En svårighet i den här typen av simulering är hur de militära enheternas uppträdande ska simuleras. I UBSSIM sköts detta manuellt, antingen genom i förväg definierat beteende eller dynamiskt under simuleringens gång. Den största realismen erbjuder naturligtvis ett spel med minst två sidor. Att genomföra sådana spel var ett av huvudmålen med UBSSIM. Inte desto mindre kräver genomförandet av dessa spel en hel del arbete, trots datoriseringen, och deltagarna bör dessutom vara väl insatta i ämnet. Det man skulle önska är en förmåga hos programmet att kunna ta över kontrollen över enheter. En sådan kapacitet skulle vara mycket värdefull genom att antalet genomförda spel skulle kunna öka dramatiskt samtidigt som objektiviteten förmodligen blir större. Forskning kring och utveckling av metoder för automatisk eller halvautomatisk styrning av enheter i denna typ av simuleringar skulle därför vara av stort intresse.

4.4 Resultat.

Med hjälp av UBSSIM har projektet haft tillgång till fingerade men för syftet tillräckligt realistiska underrättelserapporter, samtidigt som facit varit tillgängligt.

5. Lägespresentation med hjälp av elektroniska kartor och sjökort.

Elektronisk lägespresentation möjliggör en enhetlig, korrekt och aktuell lägesuppfattning. Den är därför ett mycket betydelsefullt hjälpmedel vid ubåtsjakt liksom vid andra former av militär ledning. Vid ubåtsjakt måste information från många olika källor snabbt kunna integreras till en relevant lägesbild som underlag för beslut om vapen- och sensorinsatser. Lägespresentationen i demonstrationssystemet sker med hjälp av ett generellt system för elektronisk presentation av lägeskartor benämnt Gral. Lägespresentationen kan styras såväl manuellt vid presentationsskärmen som programstyrt från analysystemet.

Indata till lägespresentationssystemet utgöres av geografiska kartdatabaser, rapporter och analysresultat. De geografiska databaserna förser systemet med grundläggande fakta av betydelse för värdering av läget som t ex kartdata, sjökortsdata och data om militära anläggningar, skyddsområden och fasta sensorer. Rapporter från simuleringssystemet gör det möjligt att presentera en aktuell lägesbild med aktuella händelser som egna företag, observerade mål, inrapporterade ubåtsaktiviteter och andra underrättelser av betydelse för ubåtsjakt. Genom att på denna lägesbild överlagra resultat av gjorda beräkningar kan dessa tolkas i termer av det aktuella läget.

Utdata från systemet består av en lägeskarta med bakgrundsinformation, målinformation och analysresultat. Bakgrundsinformation utgöres av landområden och öar med städer, vägar, hamnar och militära anläggningar, samt av insjöar och havsområden med skyddsområden, fasta undervattensspärrar, fasta övervattens- och undervattenssensorer, djupkurvor och fyrar.

Målinformationen består av inrapporterade egna och fientliga luftmål, övervattensmål och undervattensmål, och av misstänkta händelser inrapporterade från t ex sjöbevakningscentraler (rapporter). Analysresultaten kan t ex bestå av troliga färdvägar i en aktuell situation, av kortaste vägen för en ubåt mellan två punkter, av sammankopplingar mellan rapporter som kan härröra från samma ubåt etc.

Ett av grundproblemen vid elektronisk lägespresentation är att kunna presentera en stor mängd information utan att lägesbilden blir oöverskådlig. För att lösa detta problem är

lägespresentationssystemet utformat så att användaren lätt kan anpassa informationsmängden till behovet i en aktuell situation. Exempel på åtgärder som vidtagits för att möjliggöra en sådan anpassning är att användaren själv kan välja ut den typ av information som skall visas, att användaren kan variera detaljeringsgraden i den visade informationen, att användaren via lägesbilden kan få tillgång till texter med detaljinformation om rapporter, sensorer, mål etc. Detaljeringsgraden i informationen kan också styras av yttre villkor som kartskala, externa meddelanden, uppdateringstider etc.

Användargränssytan har utformats som ett modernt gränssnitt med menyer, ikoner och pekdon. Användaren pekar t ex i kartan för att välja centrum för kartan, på ett objekt för att få textinformation om objektet.

Som exempel på funktioner kan nämnas:

- byte av kartutsnitt (skala, centrum) på något av följande sätt: Peka på centrum i kartan, välj skala via meny, flytta utsnittet i någon riktning (N, NV, ...), centrera kartan på ett objekt (t ex rapport, båt, ö m m), välj fördefinierade utsnitt som namngivits;
- visa rapportinnehåll;
- visa sammanställning av rapporter;
- markera tidsordningen mellan rapporter;
- visa rapporttätthet inom ett geografisk område;
- visa endast rapporter inom ett visst tidsintervall (t ex rapporter från 1989);
- ändra informationsinnehåll i symboler för alla rapporter eller en enskild rapport;
- visa textinformation i anslutning till symboler (t ex objektnamn, tid m m).

6. Geografiska data för kart- och sjökortspresentation. Erfarenheter.

6.1 Kartmaterial - geografisk utsträckning.

De digitala kartdata som används inom projektet täcker ett kustområde som sträcker sig från Ålands hav i norr till Valdemarsvik i söder. Området har en längd av ca. 230 km. i nord-sydlig riktning, och har bedömts som tillräckligt stort för att analysfunktioner ska kunna testas på realistiska scenarion. Ett problem är att djupdata längs den svenska kusten i dagens läge inte finns tillgängliga i digital form i någon större utsträckning. Då sådana data dessutom är tids- och kostnadskrävande att generera från befintligt sjökortsmaterial tvingades vi göra avkall på de ursprungliga ideerna om en detaljerad djupkarta över hela området.

Istället gjordes en kompromiss bestående i att digitala sjökortsdata med hög upplösning men endast täckande en mindre del av det ovannämnda området anskaffades från sjöfartsverket. Dessa sjökortsdata, bl a omfattande landkontur, öar samt tre- och tiometerskurvor, täcker i stora drag Stockholms södra skärgård ner till Nynäshamn. För den resterande delen av testområdet har data tagits från Lantmäteriverkets "Geografiska Sverigedata" och där saknas djupdata.

6.2 Olika representationer av digitala kartdata.

Digitala kartor kan lagras antingen i vektor- eller rasterform. I det förstnämnda fallet utgörs informationen av linjer bestående av koordinatsatta brytpunkter. I det senare fallet utgörs kartan av homogena celler (kvadrater) där varje cell har ett visst värde. Ett enkelt exempel på detta kan vara ett digitalt sjökort där alla rutor med värdet 0 är vatten och alla rutor med värdet 1 är land.

För vissa ändamål är vektorform fördelaktigast och i andra sammanhang är raster effektivare. Inom projektet uppkom snart behov av digitala sjökortsdata i båda formerna. Det ursprungliga

materialet bestående av vektorkartor från Sjöfartsverket och Lantmäteriverket konverterades därför också till rasterform. För detta ändamål användes dels det kommersiella programsystemet Arc/Info, dels egenutvecklad programvara. Vissa efterbearbetningar och anpassningar av vektorrepresentationen av djupdata har gjorts med Arc/Info.

6.3 Koordinatsystem.

Samtliga data från sjöfartsverket och lantmäteriverket är lagrade med koordinater i system RT 38 2.5 W, på allmänna kartor kallat "Rikets nät". Rapporters lägen presenteras däremot i det i marina sammanhang brukliga GEOREF-systemet. Konverteringsalgoritmer har utvecklats och finns implementerade i samtliga delsystem.

6.4 Beskrivning av bearbetningar av djupdata.

Från sjöfartsverket erhöles djupkurvor i form av separata slutna polygoner representerande konturlinjer för 4 djupnivåer (0,3,6,och 10 meter). 0 meters nivån innehöll endast landkonturer medan 3 meters nivån innehöll begränsningslinjer för polygoner där djupet varierade från 0 till 3 m. osv. För de algoritmer som utvecklats inom projektet krävdes däremot polygoner som begränsade ytor där det var grundare än 3 resp. 10 m. Problemet illustreras principiellt i fig 2.

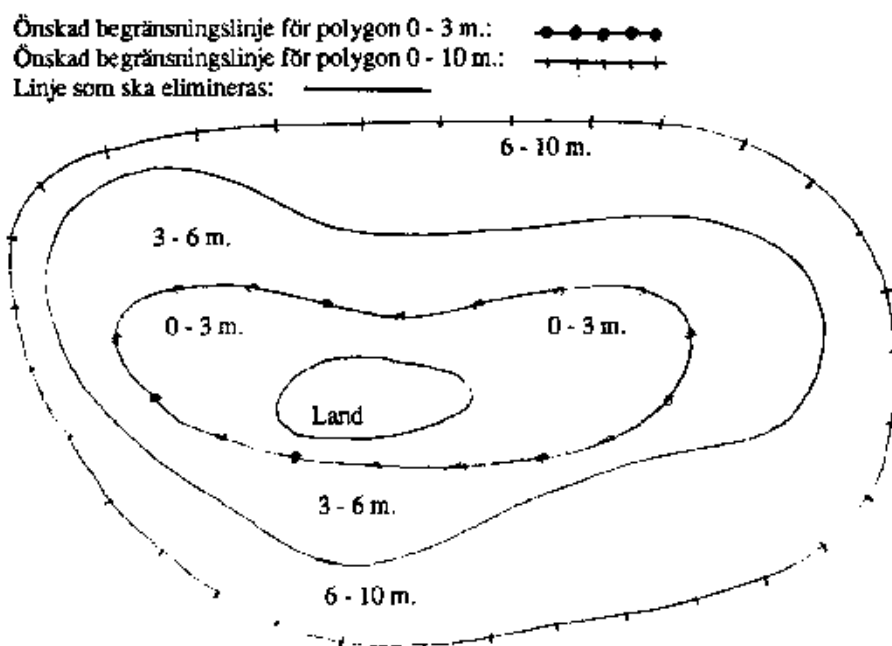


Fig. 2. Ursprunglig respektive önskad struktur på polygondata.

Följaktligen var det nödvändigt att på något sätt eliminera linjer som var gemensamma för polygoner i angränsande djupnivåer och sedan sätta samman de återstående linjestyckena till slutna polygoner. Detta kunde utföras med hjälp av det ovannämnda programsystemet Arc/Info.

Arc/Info som är ett generellt geografiskt informationssystem innehåller bl.a. funktioner för interaktiv grafisk editering, men det finns även möjlighet att utföra vissa operationer, t.ex. ovan nämnda linjeeliminering, automatiskt med hjälp av kommandon. Bearbetningen fick dock göras parvis för två djupnivåer i taget.

En försvårande faktor vid bearbetningen var de stora datamängderna. Djupdata över det område som beställts från Sjöfartsverket täckte en yta av 80 x 60 km. Denna yta var uppdelad i 12 kvadratiska delområden om 20 x 20 km. Vid bearbetning av data i Arc/Info bearbetades varje sådan delruta för sig. Detta innebar flera hanteringsmässiga fördelar. Dels minskade tiderna för bearbetning och resultatet av varje bearbetning kunde därmed kontrolleras snabbare. Vid vissa bearbetningar i Arc/Info skapas dessutom temporära filer som kan vara upp till 13 ggr. större än det utrymme som data upptar i Arc/Infos interna format.

Bland de data som levererats från lantmäteriverket förekom vissa icke slutna polygoner. Då linjestycken tillhörande samma polygon dessutom kunde ligga på helt olika ställen i indatafilen uppstod vissa problem vid sammanfogningen av polygonerna.

Följande synes därför vara viktigt att påpeka:

- (i) Det är viktigt att kartdata levereras så strukturerat som möjligt. Ett minimikrav härvid är t.ex. att slutna polygoner lagras antingen som en sammanhängande sluten polygon (vektortåg) eller som flera vektortåg lagrade sekventiellt i filen och med gemensamma start- och slutpunkter så att polygonen lätt kan sammanfogas.
- (ii) Med tanke på hur "tungarbetat" det är med stora datamängder behöver viss tid/eftertanke ägnas åt vilken upplösning (täthet) i indata man har behov av. Dock är det möjligt att i efterhand reducera punkttätheten med egna program.

6.5 Sammanfattning av erfarenheter.

Levererade data har till största delen varit av godtagbar kvalitet men vissa justeringar har vi ändå varit tvungna att göra. Möjlighet till interaktiv grafisk editering är en förutsättning för att kunna göra sådana justeringar, men arbetet är trots tillgång till goda verktyg tidsödande och föga stimulerande. Det är därför viktigt att det digitala kartmaterialet är av så god kvalitet som möjligt. Det är också viktigt att man som kund i förväg gör noggranna specifikationer, så att data kan levereras i en sådan form att dyrbara efterbearbetningar i största möjliga utsträckning undviks. Ett annat problem är konflikten mellan detaljeringsgrad och datamängd. Kartdata över stora områden med hög detaljeringsgrad tenderar att ge ohanterligt stora datamängder åtminstone så länge de lagras som vanliga textfiler. Detta gäller i första hand vektordata. Data lagrade i rasterform kan komprimeras effektivt om rastret till största delen består av stora homogena ytor.

7. Geometrisk analys - beräkning av kortaste väg.

7.1 Principer.

Ett centralt problem i situationsanalysen är uppskattning av farkostens eller farkosternas minsta gångtid mellan två punkter i tid och rum. En sådan uppskattning bör i princip ta hänsyn till alla faktorer som begränsar farkostens hastighet i varje punkt som ligger på en möjlig färdväg.

Eftersom upptäcktssannolikheten hos en akustisk sensor beror av målets hastighet och avstånd, har av farkosten kända eller förmodade sensorers placering betydelse för den lokala max-hastigheten. Andra faktorer är t ex vattendjup samt förekomst av grund och andra hinder.

För att lösa generella problem av denna typ kan man ställa upp en partiell differentialekvation och lösa den numeriskt. En annan möjlighet är att formulera problemet som ett variationsproblem. I båda fallen gäller att relativt komplicerade numeriska metoder måste konstrueras och implementeras som program.

Eftersom det i stor utsträckning är okänt hur målets max-hastighet påverkas av sensorförekomst och geografiska hinder, valde vi ett starkt förenklat betraktelsesätt: vi antar att alla områden med tillräckligt stort vattendjup tillåter samma högsta hastighet, medan alla områden med mindre djup är ofarbara. Under denna förutsättning blir problemet att beräkna minsta gångtiden mellan två punkter väsentligen liktydigt med att beräkna kortaste avståndet mellan punkterna då hänsyn tas till hinder i form av enkelt slutna, disjunkta polygoner, som representerar öar och grund, fig. 3.



Fig. 3. Kortaste vägen - enkelt slutna, disjunkta polygoner.

På senare år har många olika metoder för att lösa detta problem föreslagits [Hagwall 1990]. Inom FOA utvecklades två olika metoder medan delprojektet pågick. Den första metoden utvecklades av Erland Jungert och Peter Holmes, inspirerat av delprojektet men som en fristående aktivitet [Holmes & Jungert 1988b]. Följande översiktliga beskrivning av metoden är hämtad ur [Jungert & Holmes 1989].

7.2 Jungert och Holmes' metod.

Den fria ytan (motsvarande tillräckligt djupt vatten) delas in i ett antal mindre ytor, kallade plattor (eng. tiles). En platta begränsas på sin östra och västra sida av ett hinder eller av kartans kant, och i norr och söder av horisontella linjer som tangerar de hinder som i öst och väst begränsar plattan. Detta illustreras i fig. 4. Den punkt där den horisontella linjen tangerar hindret kallas delningspunkt. Tre plattor möts således i en delningspunkt.

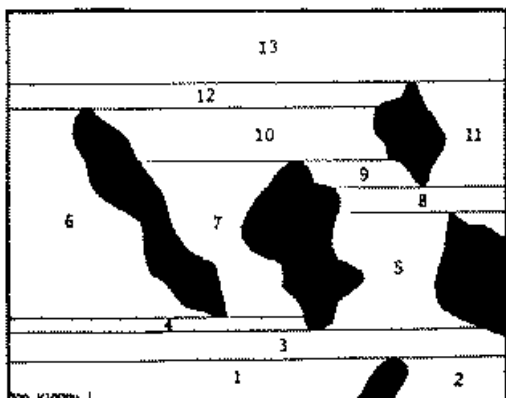


Fig. 4. Kartan indelad i plattor.

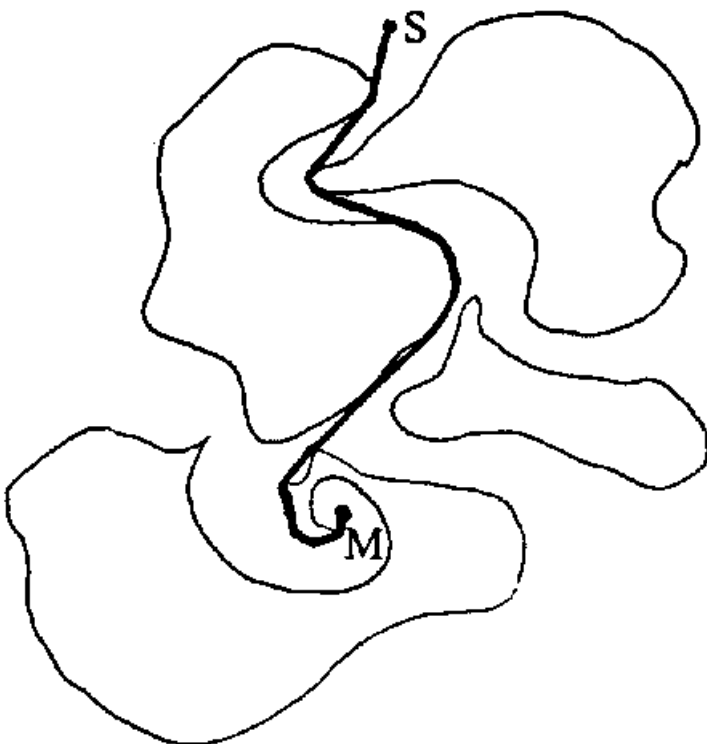


Fig. 6. Kortaste vägen - allmänna fallet.

7.4 Resultat.

I Dezzy har algoritmens effektivitet relativt stor betydelse, eftersom många kortaste vägar måste beräknas för varje användarinteraktion. Vi har funnit att vår implementering av Rohnert's metod är godtagbart snabb när den får operera på en datamängd som representerar ett trettiotal av de största öarna i Stockholms södra skärgård. Exekveringstiden växer i värsta fallet kvadratisk med antalet öar man tar med i beräkningarna, varför det är viktigt att hålla detta antal så lågt som möjligt. Effektiviteten hos vår implementering kan också förbättras på vissa punkter.

Rohnert's metod har som nämnts den allvarliga svagheten att den inte klarar av det allmänna problemet, utan bara ett specialfall. I ett driftssystem krävs att det allmänna problemet löses korrekt, vilket alltså torde kunna åstadkommas med en måttlig ytterligare utvecklingsinsats. Exekveringstiden kommer inte att öka väsentligt genom en sådan generalisering.

8. Referenser.

[Bergsten et al. 1989]

Bergsten, U., Schubert, J., Svensson, P., Beslutsstödssystemet DEZZY - en översikt, i: *Dokumentation 7 juni MILINF'89*, Enköping, Telub Teknik AB, Växjö (1989) 07B2:19-07B2:31, FOA Rapport B 20078, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm (1990).

[BråmÅ & Fransson 1989]

BråmÅ, Å., Fransson, J., UBSSIM - Ett system för simulering av ubåtsjakt, användarorienterad beskrivning, FOA Rapport D 30514, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1989).

[Hagwall 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, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm (1990) (under utarbetande).

[Hedin 1990]

Hedin, C.-E., Gral - Ett generellt programsystem för presentation av lägeskartor, Huvudavdelning 5, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1990) (under utgivning).

[Holmes & Jungert 1988a]

Holmes, P., Jungert, E., Shortest paths in a digitized map using a tile-based data structure, i: *Proceedings of the Third International Conference on Engineering Graphics and Descriptive Geometry*, Wien (1988) 238-245.

[Holmes & Jungert 1988b]

Holmes, P., Jungert, E., Heuristic traversal of a free space graph, i: *Proceedings of the SPIE Conference on Sensor Fusion: Spatial reasoning and scene interpretation*, Cambridge, Massachusetts (1988). FOA Rapport B 30158, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1989).

[Jungert & Holmes 1989]

Jungert, E., Holmes, P., Kunskapsbaserat planeringshjälpmedel för automatiska navigeringssystem, i: *Dokumentation 7 juni MILINF'89*, Enköping, Telub Teknik AB, Växjö (1989) 07C:13-07C:21.

[Nilsson 1980]

Nilsson, N. J., *Principles of Artificial Intelligence*, (Tioga Publishing Co., Palo Alto, California, 1980).

[Rohnert 1986]

Rohnert, H., Shortest paths in the plane with convex polyhedral obstacles, *Information Processing Letters* **23** (1986) 71-76.

[Stensson & Wellving 1990]

Stensson, G., Wellving, A., Informationssystem för ubåtsjakt. En undersökning av behov och användningsmiljö, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1990) (under utgivning).

[Stjernberg & Svensson 1990]

Stjernberg, M., Svensson, P., En algoritm för beräkning av relativt konvexa höljen till en mängd slutna polygoner, Huvudavdelning 2, Försvarets forskningsanstalt, Stockholm (1990) (under utarbetande).

[Toller 1988]

Toller, E., Användarhanledning till SUB, FOA Rapport D 30512, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1988).

[Toller 1989]

Toller, E., SUBROSA - ett system för underrättelseanalys vid ubåtsjakt, *Dokumentation 7 juni MILINF'89*, Enköping, Telub Teknik AB, Växjö (1989) 07B2:33-07B2:40.

[Toussaint 1985]

Toussaint, G. T., Shortest paths solves translation separability of polygons, Technical Report No. SOCS - 85.27, School of Computer Science, Mc Gill University, Montreal, Quebec (1985).

[Wellving 1987]

Wellving, A., Expertsystem, Ledningssystem, Geografiska informationssystem - En studieresa till USA i juni 1987, FOA Rapport C 30466, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1987).

[Wellving 1988]

Wellving, A., Beslutsstöd vid ubåtsjaktföretag - förslag till nya hjälpmedel, FOA Rapport CH 30211, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1988).

[Wellving 1989a]

Wellving, A., Ett system för analys av rapporter angående främmande undervattensverksamhet, FOA Rapport A 30041, Huvudavdelning 3, Försvarets forskningsanstalt, Linköping (1989).

[Wellving 1989b]

Wellving, A., Beslutsstöd för sjökrigsföretag - förslag till nya hjälpmedel, i: *Dokumentation 7 juni MILINF'89*, Enköping, Telub Teknik AB, Växjö (1989) 07B2:11-07B2:18.

[Wellving 1989c]

Wellving, A., Development of improved functions for decision support in submarine hunting, i: *Proceedings Marine Technology Society*, New Orleans, (1989).

Appendix. Bilder.

Bild 1 (*Dezzy*): Evidenskarta. Olika färgnyanser anger olika trolighetsgrad för att en misstänkt ubåt vid en viss tidpunkt uppehåller sig inom området ifråga. Röda prickar anger observationer, gula linjer utmärker sensorer (både observationer och sensorer är här fiktiva).

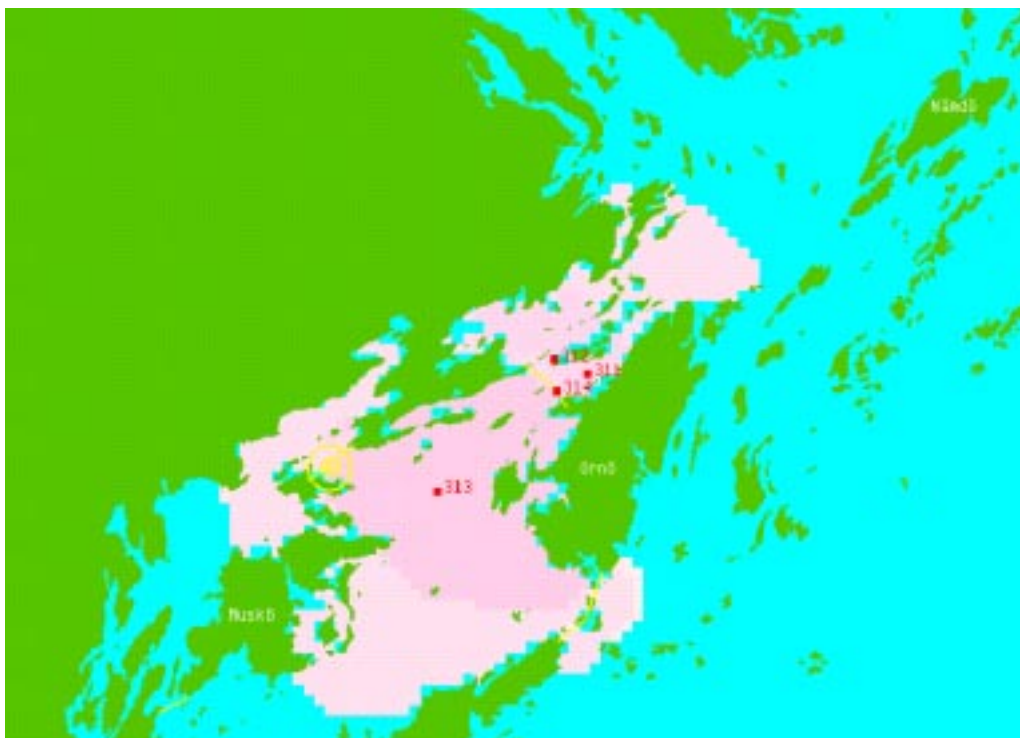


Bild 2 (*Dezzy*): Scenariot ovan en halv timme senare. Ett par nya rapporter har inkommit.

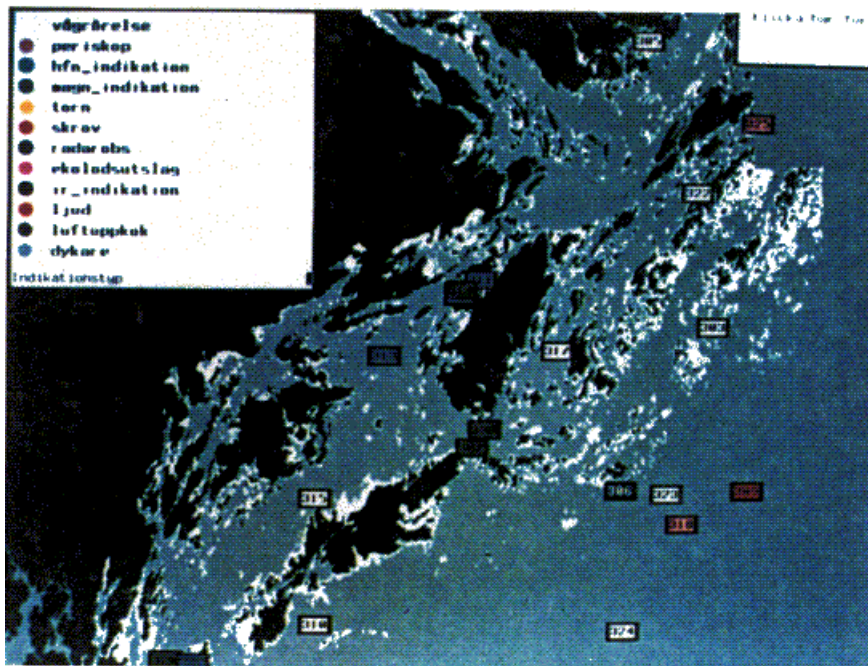


Bild 5 (Subrosa): Rapporter från en simulerad incident samt vilken typ av indikation respektive rapport härrör från.

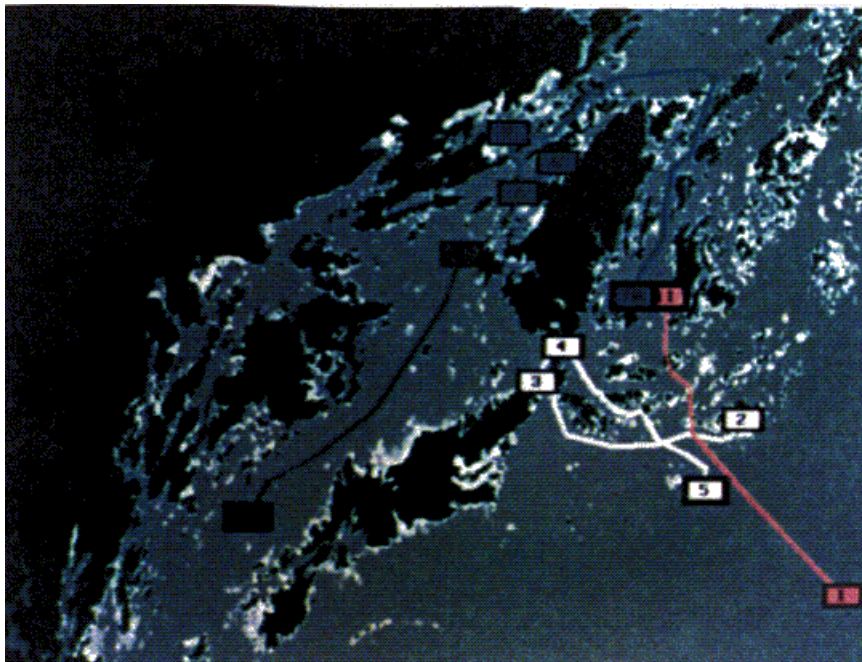


Bild 6 (Subrosa): Subrosa har genererat en hypotes om antalet ubåtar (= antalet färger) och rapporternas inbördes korrelation.