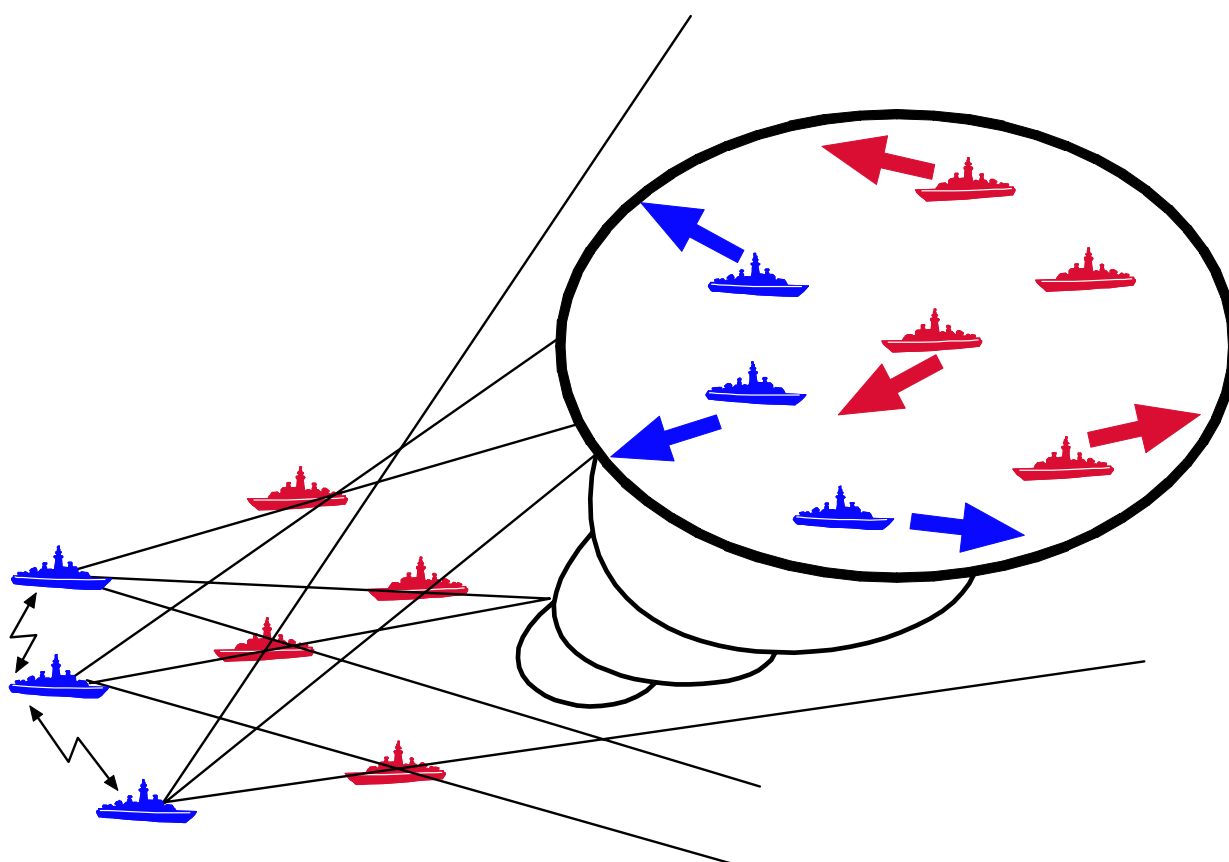


Pontus Hörling, Karsten Jöred, Fredrik Lantz, Anna Lindahl,  
Roberto Roldan-Prado, Johan Schubert

## Beslutsstöd på fartyg: Informationsfusion och radarsignalspaning



FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT

Avdelningen för Ledningssystemteknik

P.O. Box 1165

SE-581 11 LINKÖPING

FOA-R--00-01529-706,505,503--SE

Maj 2000

ISSN 1104-9154

Pontus Hörling, Karsten Jöred, Fredrik Lantz, Anna Lindahl,  
Roberto Roldan-Prado, Johan Schubert

## **Beslutsstöd på fartyg: Informationsfusion och radarsignalspaning**

<b>Dokumentets utgivare</b> Försvarets forskningsanstalt Avdelningen för Ledningssystemteknik P.O. Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING	<b>Dokumentbeteckning, ISRN</b> FOA-R--00-01529-706,505,503--SE	
	<b>Dokumentets datum</b> Maj 2000	<b>Uppdragsnummer</b> E7685
	<b>Projektamn (ev förkortat)</b> Beslutsstöd i farkoster	
<b>Upphovsman(män)</b> Pontus Hörling Karsten Jöred Fredrik Lantz Anna Lindahl Roberto Roldan-Prado Johan Schubert	<b>Uppdragsgivare</b> FMV	
	<b>Projektansvarig</b> Pontus Hörling	
	<b>Fackansvarig</b> Pontus Hörling, Dag N H Malmström	
<b>Dokumentets titel</b> Beslutsstöd på fartyg: Informationsfusion och radarsignalspaning		
<b>Sammanfattning</b> <p>En studie har bedrivits inom området beslutsstöd i farkoster, med inriktning mot datafusion med beslutsstöd för radarsignalspaning på flottans enheter. En demonstrator har byggts upp i MatLab för att visa på möjligheterna att erhålla en omvärldsbild vid nyttjandet av endast passiv radarsignalspaningsutrustning (rrSIS). Sensorrapporter simuleras utifrån ett i förväg specificerat scenario med rörliga emitterar. Rapporterna kommuniceras inbördes mellan egna spanande enheter för associering och krysspejling. Två olika målföljningsmetoder har implementerats. Förslag till hotvärdering, företagsplanering, samt – i någon mån - färdvägsplanering diskuteras. Åtskilliga idéer för vidareutveckling av demonstratorn och spaningsmetodiken har uppstått under arbetets gång, och är en del i denna avrapportering.</p>		
<b>Nyckelord</b> radarsignalspaning, passiv sensor, SIS, datafusion, informationsfusion, målföljning, krysspejling, hotvärdering, företagsplanering		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1104-9154	<b>ISBN</b>	
	<b>Omfång</b> 51s.	

**Distributör (om annan än ovan)**

<b>Issuing organization</b> Defence Research Establishment Division of Command and Control Warfare Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING SWEDEN	<b>Document ref. No., ISRN</b> FOA-R--00-01529-706,505,503--SE	
	<b>Date of issue</b> May 2000	<b>Project No.</b> E7685
	<b>Project name (abbrev. if necessary)</b> Decision support in ships	
<b>Author(s)</b> Pontus Hörling Karsten Jöred Fredrik Lantz Anna Lindahl Roberto Roldan-Prado Johan Schubert	<b>Initiator or sponsoring organization</b> FMV (Defence Materiel Administration)	
	<b>Project manager</b> Pontus Hörling	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Pontus Hörling, Dag N H Malmström	
<b>Document title</b> Desicion support on ships: Information fusion and radar signal intelligence		
<b>Abstract</b> <p>A study has been performed in the area of decision support for vessels, focusing on data fusion with decision support for radar signal intelligence information from naval units. A demonstrator has been designed in MatLab to visualize possibilities to obtain a situation picture when using passive radar signal intelligence only. Sensor reports are simulated in a predefined scenario with mobile emitters. The reports are communicated between own units for data association and triangulation. Two different methods of target tracking have been implemented. Ideas on threat assessment, mission- and – to some extent – route planning are discussed. Several suggestions on how to continue the development of the demonstrator, and the reconnaissance methods are discussed, these being important parts of this report.</p>		
<b>Keywords</b> radar signal intelligence, passive sensor, data fusion, information fusion, target tracking, threat assessment, mission planning		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1104-9154	<b>ISBN</b>	
	<b>Pages</b> 51p.	

**Distributor (if not issuing organization)**



1	Inledning .....	7
1.1	Och tack till.....	8
2	Kontakter med andra avdelningar/forskningsgrupper.....	8
3	Förutsättningar och avgränsningar, förslag på fortsatta studier .....	8
4	Scenario.....	9
5	Beskrivning av demonstratorn .....	9
5.1	Val av utvecklingsmiljö .....	9
5.2	Scenariogenerator.....	10
5.3	Reaktionsgenerator.....	10
5.4	Kommunikationssimulator .....	11
5.5	Målföljning (avsnitt 7).....	11
5.6	Hotvärdering och visualisering (avsnitt 10 och 11) .....	12
5.7	Företagsgruppering (avsnitt 12) .....	12
5.8	Ruttplanering (avsnitt 13).....	12
6	Demonstratorn.....	12
7	Kryssföljningsmetoder .....	14
7.1	Målföljning med målpolygoner.....	14
7.2	Målföljning med Kalmanfilter.....	16
8	Synpunkter på pejlinformationsutbytet.....	23
9	Synpunkter på rådatakvalitet.....	24
10	Hotvärdering och lägesuppfattning.....	24
10.1	Definitioner.....	25
10.2	Hotvärdering.....	26
10.3	Taktiska åtgärder .....	28
10.4	Scenario-relaterade data .....	28
10.5	Förslag till hotalgoritm.....	31
10.6	Passiv detektionskvalitet .....	36
10.7	Kommentar .....	37
11	Presentation av en hotsituation .....	38
11.1	Bakgrund.....	38
11.2	Presentationsidéns ändamål.....	38
11.3	Presentationsidéns viktigaste kännetecken.....	38
11.4	Ett exempel.....	39
12	Företagsgruppering .....	41
12.1	Indata.....	41
12.2	Omgivning.....	42
12.3	Gruppering .....	43
12.4	Diskussion .....	44
12.5	Idéer för framtiden .....	46
13	Ruttplanering.....	46
13.1	Två problem .....	46

13.2	A*-sökning.....	46
13.3	Vald implementation .....	47
13.4	Förbättringar.....	48
14	Sammanfattning.....	49
15	Referenser.....	50

# 1 Inledning

Denna rapport är ett av resultaten från ett 10-månadersprojekt från FMV rörande studie av marina beslutsstödssystem. Projektets intensiva fas var februari - november 1999. Rapporten har tämligen fristående avsnitt av varierande omfång, bl. a. är avsnittet om hotvärdering ganska detaljerat. Projektet dominerades perioden januari-april av möten med personal på FMV:FartygE, MKO, FMV:Sensor, MarinC samt FRA. Från att ha inletts med en fokusering mot uppdragsplanering, hotvärdering och ruttplanering för fartygsflottiljer, ändrades inriktningen på kundens inrådan mot samutnyttjande av radarsignalspaningsresurser inom sådana, och vilken lägesbild som då kan erhållas.

Ny rrSIS (radarsignalspanings) - utrustning är under inköp till ubåtar, robotbåtar, kustkorvetter, och framtidens korvetter av Visbyklassen. Med detta inköp sker för flera fartyg en avsevärd uppgradering av utrustningen, varför ett studium av den typ som nu genomförts ansågs viktig. Studien fortsatte med uppbyggande av en demonstrator, kallad "SIS". Denna har till största delen byggts upp i MatLabmiljö under Unix (Solaris), och på ett modulärt sätt så den skall vara lätt att komplettera med nya egenskaper. Studien är huvudsakligen upplagd som en förstudie avsedd att följas upp av en mer detaljerad studie. De idéer och insikter som erhållits under projektets gång betraktats som en del av projektresultatet att nyttja för detaljstudier inom separata områden senare. Därför innehåller rapporten klara markeringar av vad som hunnit studeras närmare, vad som beaktats men ännu inte hunnit studerats, samt förslag på viktiga områden för framtida arbete.

Projekt "TAKSIS" - Taktisk Signalspaningsbataljon - vid FRA studerades närmare eftersom idéerna kring informationsinsamlingen där påminner en del om vad som skulle kunna implementeras på flottans fartyg. Viktiga skillnader finnes dock: TAKSIS har signalspaning som sin huvuduppgift. För TAKSIS är upptäcktsavståndet större, de interna kommunikationstiderna för pejlinformation kortare, samt tidsåtgången för förflyttning av egna enheter större. För den marina SISEn i denna studie har möjlighet till intercept runt hela horisonten antagits (omniantenn). Metodiken för målföljning som tillämpas vid TAKSIS har i viss utsträckning nyttjats i denna studie. Metoder som idag används för informationsöverföring och kryssbildning inom flottans förband har ej studerats närmare eftersom denna studie avser att studera tänkbar metodik 8-10 år eller än längre fram i tiden. Vi har ej antagit att kommunikationsSIS finns tillgängligt på fartygen.

Projektets deltagare (samtliga på FOA, Institutionen för Data- och Informationsfusion) med resp. ansvarsområden:

Pontus Hörling (projektledare): Formgivning samt uppbyggnad av demonstratorn. Ansvar för områden beskrivna i avsnitt 5.2, 5.3, 5.4, 7.1 nedan.

- Fredrik Lantz: Ansvar för avsnitt 7.2 motsvarande i demonstratorn.
- Karsten Jöred: 10 -..-
- Roberto Roldan-Prado: 11
- Johan Schubert: 12 -..-
- Anna Lindahl: 13 -..-

## 1.1 Och tack till...

Under projektet har vi bl. a. haft kontakter med följande personer vi skulle vilja tacka för givande diskussioner: Hans Bergdal, Börje Andersson (FOA telekrigsystem), Peter Johansson (FOA telekrigvärdering), Dag N H Malmström, Gunnar Lundström (MarinC), Håkan Beillon (MKO), Anders Grundin, Helena Sundius (FMV:Sensor), Lars Holmgren, Eva Eliasson (FMV:Fartyg), Mikael Johnsson, Peter Isaksson m.fl. (PTK Visby), Olle Ericsson, Svante Karlsson (FRA), besättningen på HMS Göteborg, samt åtskilliga andra.

## 2 Kontakter med andra avdelningar/forskningsgrupper

På grund av projektets korta tidshorisont har vi inte hunnit med något djupare studium av utländska forskningsresultat inom området. Aktiviteter pågår bl.a. på kanadensiska DREV, och engelska DERA som berör beslutsstöd på fartyg. Inom ramen för ett framtida fortsättningsprojekt skulle samarbete ev. kunna inledas. I Singapore pågår utveckling av en datafusions "testbed", och ett samarbete med dem planeras från FOA:s sida. Det är emellertid okänt hur många beröringspunkter detta har med Inom Sverige har Celsius verksamhet inom området, och en närmare ensning mellan ett fortsatt arbete på FOA och existerande system på Kv Visby (SIS-system samt lednings-systemet CETRIS) kunde då vara önskvärd.

Inom FOA finns idag beröringspunkter främst med ett för år 2000 nytt projekt avseende markbaserad sammanställning av radarvarnarinformation från flygplan<sup>1</sup>.

## 3 Förutsättningar och avgränsningar, förslag på fortsatta studier

Studien har gjorts fritt utgående från ett tänkt marint system som skulle kunna vara operativt om 5-10 år. Utgångspunkten är att ett antal mer eller mindre identiska rrSIS-utrustningar finnes, en på varje fartyg i en större operation. Antennhöjd skiljer. Flera fördelar erhålles med att använda så lika system som möjligt: Eftersom elektroniken mellan antenn och signalprocessor är likadan är sannolikheten störst att signaler från samma emitter uppfattas likadant, under förutsättning att den inte distorderats (refraktion, flervägsutbredning, ...). Användande av likadana systembibliotek ombord (som då blir möjligt) ökar sannolikheten att de egna enheterna automatiskt klassar emitttern som samma emitter (eller klass av emitttrar) vilket är nödvändigt för en korrekt association vid krysspejling i ett scenario med många emitttrar. Vidare antas att kommunikationsutrustningen ombord kan nyttjas effektivt, så ombordvarande system (SISens egen arbetsstation eller CETRIS/SYSIM/SESUB ...) själv tar beslut om automatisk sändning över radio av uppdatering av SISbärningar, så detta inte behöver ombesörjas, endast övervakas, av personal. Bivillkor som beordrad radiotystnad, riktad och/eller skurvis sändning, våglängdsval (i fallet fixfrekvens), avstånd till mottagare, samt ev. länkning (routing) fartyg-fartyg eller via landstationer måste då beaktas. Vi har ännu så länge ej studerat andra sensorer än rrSIS.

---

1. FM Studie UND99410SF "Teknik för visualisering och bearbetning av inhämtad rådata".

Datafusion och målassociation av information från andra passiva sensorer (hydrofoner), borde studeras. Fusion av rrSIS och hydrofonekon skulle kunna ge en tydligare och mer enhetlig omvärldsbild av såväl ytfartyg som över havsytan lågsniffande flyg. Man kan också tänka sig att den tänkta lägesbilden som byggts upp med passiv information används till att “trigga” aktiva sensorer när situationen blivit alltför osäker eller när ett känt hot kan tänkas ha slunkit innanför en hotzon, men ej längre emitterar med sin radar. rrSIS ger ju ingen information alls om inga radarer i omgivningen är aktiva. Snabba “genvägar” i en SIS-utrustnings analysalgoritm som leder till en form av radarvarnarfunktion kan finnas, såsom att ge larm då man är konstant belyst av en radar vilket kan föranleda en att tro att man är eller inom kort blir utsatt för robotangrepp.

Idag existerande metoder för att fusionera information som erhålles från spaningsflyg, staber i land m.fl. källor, med passiv målinformation från rrSIS har ej studerats, men är viktiga. Dessa måste vidareutvecklas för att klara av den informationshantering som här beskrives, och som demonstratorn avser visa. Vi har ej studerat sensornära egenskaper såsom sändarseparering, ej heller metodik och algoritmer för matchning av emittersignaturer mot systembibliotek (emitterbibliotek och plattform/vapen bibliotek). En detaljerad studie av matchningsmetoder av signaturinformation mot bibliotek, och uppskattningar av osäkerheten i denna process skulle vara av stort värde för att erhålla bättre kunskap om osäkerhetkällors inverkan på emitterklassificeringen. Osäkerheten i denna, i sin tur, påverkar prestandan i associationen av emitterar som snappas upp av flera SISar. De fördelar som skulle vinnas i associationsprocessen mellan egna SISbärande plattformar genom att kommunicera signaturinformationen med sin osäkerhet, eller “kovarians”, skulle vara avsevärd i de fall övrig information (främst bäringsinformation) inte räcker till för säker emitterkorrelering.

## 4 Scenario

Ett testscenario i mellersta och norra Östersjön har specificerats av FMV:Sensor som kravspecifikation för vad den beställda rrSIS utrustningen på en svensk ubåt skall klara av[1]. Detta har använts som standardscenario i vår studie, men går lätt att modifiera. Det beskriver plattformstyp, emittertyp, rutter med hastighet och brytpunkter för ett antal främmande objekt. Scenariet specificerar också detaljerat enskilda emittersignaturer, eftersom det är dessa som rrSISsystemet skall klara av att separera enligt kravspecifikationen. I vårt studium har som sagt inte sändarseparering studerats, utan den “generiska” rrSIS vi studerat som snappar upp en emitter kan automatiskt identifiera denna emitter 100% korrekt med en fördröjning på 2 sekunder från emissionsstart. Uppsnappningen (interceptet) sker med 100% säkerhet ut till ett visst avstånd på 1.5 ggr radarhorisonten för varje övermålningstillfälle, därefter linjärt sjunkande till 0% vid dubbla avståndet. I studien antas att vi har tillgång till en ubåt som vågar sig in djupare i fientligt område, och som även kan delta i signalspaningen, med kortare antenn.

## 5 Beskrivning av demonstratorn

### 5.1 Val av utvecklingsmiljö

Vid diskussioner i början av projektet beslutades att nyttja MatLab för implementation av demonstratorn. C++ skulle göra den snabbare och än mer utvecklingsbar, men kräva mer tid för pro-

grammering och formgivning. Lisp framfördes också som ett alternativ, en del AI-tillämpningar som nyttjas i demonstratorn finnes implementerade i detta språk, men skulle ge för stora gränssnittssvårigheter vid sammanlänkandet av programmodulerna. Verktuget FbSim som utvecklats sedan ett antal år av FOA, FMV samt av fristående konsulter (Sjöland & Thyselius) studerades även som simuleringsomgivning, men även här ansåg vi att det skulle bli svårigheter att hinna med en implementation av de idéer vi hade. Ett par simuleringsmiljöer som ev. skulle vara lämpliga för dynamiskt föränderliga scenarion skulle kunna vara FbSim, samt FLAMES, som bägge används inom försvarsmakten. Nyttjande av dessa kräver dock kodning i Ada95, C, eller C++. En vidareutveckling och utvidgning av demonstratorn kan dock kräva en övergång till något av dessa språk, eftersom den redan är av den storleken att fortsatt implementation i MatLab riskerar ge alltför långsam exekvering.

## 5.2 Scenariogenerator

Ett scenario beskriver plattformsklass (robotbåt, jaktplan, ...) och identitet, startpunkt, hastighet, samt brytpunkter i rörelseschemat. Ombordvarande emittertyper, samt deras sändningsscheman (aktiv/inaktiv) mellan vissa brytpunkter eller tidpunkter beskrivs även. En plattform kan ha flera emitterar som aktiveras vid olika tidpunkter. För egna fartyg beskrivs samma sak, samt (istället för emitterar) ombordvarande rSISars status ("lyssnar"/avstängd). Än så länge är scenarioutvecklingen för ett visst valt scenario fix och kan inte ändras. En utvecklingsidé vore att låta egna fartyg reagera dynamiskt på den situation och hotuppfattning de får från SISarna, och vidta åtgärder vad gäller ruttval utifrån detta. Vapeninsatser simuleras ej, endast rörelser och emitter / SIS aktiviteter. Scenariot samplas med en viss valbar frekvens, och visas på skärmen en viss valbar faktor långsammare/snabbare än den "verkliga" tidsutvecklingen.

## 5.3 Reaktionsgenerator

Utifrån scenarioutvecklingen "reagerar" egna aktiva SISar på de aktiva radarerna. Om avståndet är mindre än 1.5 ggr radarsikthorisonten sker intercept för varje scenariosampling med 100% säkerhet, därefter sjunker det linjärt till 0% vid dubbla avståndet (valbart, men här valt ad hoc). Radarsökmoder som ger olika typer av övermålningscheman eller sidlobstruktur är ännu ej implementerade, när en radar är aktiv i scenariot belyser den en SIS konstant oberoende av bäring, vi s.a.s. "snappar upp alla sidolober". Intermittenta övermålningar skulle i och för sig kunna anges i scenariogeneratoren som sekundsnabba skurar av radaraktivitet från en plattform, vilket skulle ge samma effekt som övermålningar. En radar "lyser" f.n. alltid runttäckande då den är aktiv i scenariot. Dessutom är inga effekter av "hinder" som hindrar radarvågorna implementerade (öar, land), utbredningen är helt isotrop.

SISen registrerar ett intercept, samt identifierar emittertypen unikt, samt bäringen med ett visst valbart normalfördelat fel.

Varje SIS har en egen "emitterfil" som kontinuerligt uppdateras. Filen innehåller de emitterar den registrerar vid varje scenariosampling. Dessa definieras som aktiva emitterar. Då en emitter ej hörs vid en sampling definieras den som existerande, men för närvarande passiv. Emitterar som varit tysta längre raderas ur filen. Varje emittertyp kan associeras till en plattformstyp, som i sin tur kan ges ett hotvärde. Detta är ännu så länge mycket enkelt implementerat i demonstratorn; Vissa emit-

tertyper sitter endast på en klass av plattformar, som alla har ett typiskt hotvärde. En mer detaljerad simulering skulle kräva implementering av metoder för sökning i systembibliotek, varur förslag för emittertyp och plattformstyp med konfidensnivåer erhålles.

## 5.4 Kommunikationssimulator

Hittills i beskrivningen ovan har bara varje eget fartyg registrerat de uppsnappningsbara emitteraktiviteterna i omgivningen. Kommunikationssimulatoren lämnar in interceptrapporterna för gemensam processning till ett tänkt ledningsfartyg. Detta innebär att varje interceptrapport som flyter in är minst så gammal som man kan tänka sig att emitteridentifieringen plus överföringen tar. Ledningsfartygets egna mätningar är minst så gamla som det tar att identifiera en emitter (default 2 s). Kryssspejling görs nu på det tänkta ledningsfartyget<sup>1</sup> som alla rapporter skickas till, och målföljning startar.

## 5.5 Målföljning (avsnitt 7)

För att hålla en lägesbild aktuell måste en effektiv målföljning utföras av de mål vars närvaro man detekterat. Möjlighet att förutsäga (prediktera) måls lägen en viss tid efter senaste interceptet måste finnas. Målen måste förses med identiteter och gränser på manöverförmåga vilket i många fall kan härledas från resp. emittertyper, som kan avslöja typ av plattform. Emittrarna är inte alltid aktiva, varför manöverdetektion m.m. kan vara svårt. Manövrer kan ofta detekteras först efter att de skett. Det hela leder till att målföljningen måste vara ganska konservativ i den meningen att osäkerhetsområdena inom vilka en emitterande plattform kan finnas kommer att vara ganska stora, för att inte riskera att de tappas av målföljningen. Målföljningen är strikt passiv, baserad på kryssspejling mellan flera SISbärande fartyg.

Med målföljning med *en* passiv sensor på *en* enskild plattform avses följning av en emitters bäring (och elevation, intressant för flygemittrar, har ej studeras närmare här). Avstånden måste beräknas genom kryssspejling med information från annan plattform, om egenrörelser inte är tillräckliga, vilket oftast inte är fallet då egna plattformar utgörs av fartyg. Målen är ofta snabbörliga (flyg). En viss filtrering av bäringsinformationen skulle kunna ske ombord (Kalmanfilter i bäringsled), för att nyttja informationen från ett flertal övermålningar av uppsnappad emitter. En bättre bäringsinformation skulle då kunna erhållas. Om den filtrerade informationen skall sändas vidare för central kryssfitering och följning, eller om endast rådata skall sändas kan diskuteras, men rimligast vore att sköta en stor del av den rena bäringsfiltreringen direkt ombord, för att sedan sända vidare resultatet. Den risk för rundgång av information detta skulle kunna innebära i ett distribuerat datafusionssystem (som ej studerats ännu i detta projekt) är då viktig att utreda.

Vi har utgått från ett "tätt" scenario med många ingående emittrar, och rörelsemönster med allt från långsamma trålare till snabba jaktplan, som emitterar under vissa tidsavsnitt, eller kontinuerligt[1]. Två olika följemetoder har implementerats: Målpolygoner (se avsnitt 7.1) och Kalmanfiltrering (se avsnitt 7.2).

---

1. För en diskussion om en distribuerad lösning vad gäller utbyte av pejlinformation, se avsnitt 8.

## 5.6 Hotvärdering och visualisering (avsnitt 10 och 11)

Utifrån det läge som byggts upp m.h.a. den bearbetade och fusionerade SISinformationen utförs en hotvärdering av den lägesbild man har, samt av den predikterade lägesbilden en viss tid framåt. En metod att visualisera hotsituationen för en stridspilot i s.k. BVR (Beyond Visual Range) strid har modifierats för det marina fallet, och diskuteras i rapporten (se avsnitt 11).

## 5.7 Företagsgruppering (avsnitt 12)

Man önskar gruppera de egna ingående enheterna på ett sätt som är fördelaktigt utifrån det ovan uppskattade hotet, samt utifrån möjligheten att kunna pejla effektivt. Här skulle en implementation av utprovad taktik behövas; grupperingen vid spaningsuppdrag bör fokuseras på att passivt lyssna och optimera möjligheterna för egna sensorer, vid attackuppdrag kanske att nå en viss ur vapeninsatssynpunkt optimal utgångsgruppering vid en viss tidpunkt i framtiden o.s.v. Indata till denna beräkningsmodul är de data som resulterar ur hotvärderingen.

## 5.8 Ruttplanering (avsnitt 13)

Ett verktyg för att generera en färdväg mellan angivna brytpunkter i en vektorkarta över kusten har utvecklats. Den tar hänsyn till geografi såväl som hot, och skall kunna anropas av de funktioner ovan som föreslår en viss företagsgruppering.

# 6 Demonstratorn

Matlab-demonstratorn "SIS" består av ett grafiskt användargränssnitt (GUI), se Fig 1, samt rutiner i MatLab som implementerar ovan beskrivna metoder. Den är uppbyggd kring en karta av vektortyp (polygontåg) centralt i fönstret, kartor kan laddas in direkt från sekundärminnet. Koordinater är enligt RT90. En knappsats med "pushbuttons" nere till höger används för att aktivera in/utmatningsmenyer som visas uppe till höger. De funktioner som dessa knappar ger tillgänglighet till är tänkta att kunna finnas i en verklig situation. Här återfinns följande funktioner (i fet stil anges etiketterna vid/på knapparna):

- **Maps:** Funktioner för inladdning (**Load**) av en vektorkarta, samt zoomning (**Rescale**) ut och in i denna.
- **Intercepts:** Inställning av uppskattat RMS mätfel hos SISarna (**Errors**), samt inställning av hanteringen av "active emitter files", d.v.s. varje fartygs databas över aktiva emitterar (**Emitter-files**): Efter hur lång tid en tystnad emitter skall strykas ur filen, samt hur ofta filen skall "rensas" från sådana emitterspår.
- **Crossings: Polygons:** In/urkoppling av polygonföljning (default aktiverat), inställning av hur lång tid en icke uppdaterad polygon skall fortsätta att visas på GUI:et, polygonsektorvidd i RMS mätfel, samt antal punkter i den cirkelsektor ett polygonhorn expanderar ut i (jmf. Huygens' princip).

- **Param filters: Sensitivity:** Val att visa/ej visa (är default) cirklar runt SISarna över yttersta gräns för 100% detektionssannolikhet, resp. innersta gräns för 0% detektionssannolikhet. Cirk-larna gäller då för den antennmashöjd som anges.
- **Tracking: Setup:** Inställning av parametrar för Kalmanfilterföljning. Koppla på/av (default av) central Kalmanföljning. Inställning för att följa / ej följa land/sjö/luft baserade emitterar finns i panelen. Kovariansellipser bör alltid visas. RMS sigma för dessa ellipser kan också stäl-las in.
- **Threats: Pathfinder:** Denna del av demonstratorn är endast delvis implementerad; den skall plotta ut närmaste vägen mellan två punkter, med bivillkoret att ev. passera genom ytterligare (valbara) punkter däremellan. **Deployment:** Starta en algoritm för att hitta den optimala grup-peringen som är nåbar inom en viss valbar tid, med bivillkor att optimera egen position vad gäller pejlmöjligheter, och hotundvikande. Algoritmen är i sitt nuvarande utförande alltför långsam för att användas taktiskt, men kan utvecklas.

I menyn ovan kartan finns tre extra funktioner som styr själva simuleringen:

- **QUIT:** Avbryter simuleringen, raderar fönstret, och går tillbaks till MatLab-prompten.
- **Scenario:** Hantering av scenario: **Load:** Ladda in ett scenario från scenariodirectoryt (ASCII-fil). **Show:** Visa scenarioutvecklingen, "facit", på skärmen, d.v.s. de förprogrammerade rut-terna för de emitterbärande plattformarna. **Save:** Lagra ett binärformat av ett scenario, går snabbare att läsa in. **Resample:** Sampla om ett scenario med en annan samplingstid. (**New:** Rita ett nytt scenario på skärmen, Ännu ej implementerat).

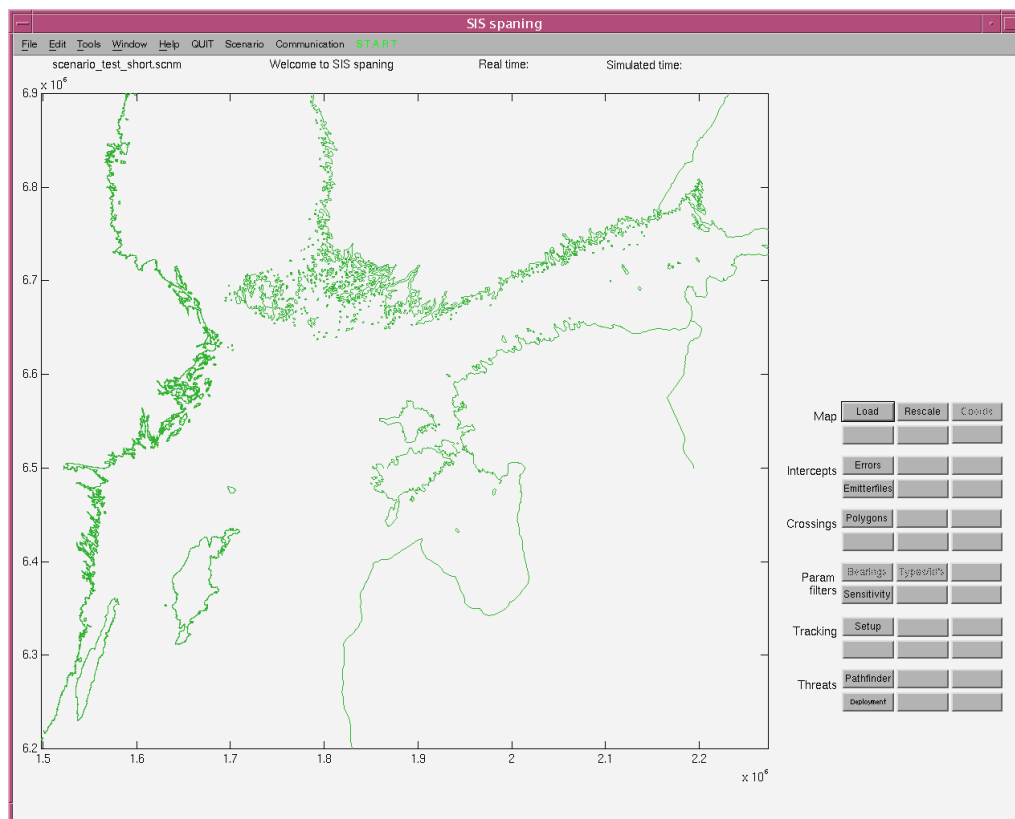


Fig 1. Det grafiska gränssnittet (GUI:et) till demonstratorn.

I det följande beskrives mer detaljerat de enskilda delarna som här nämnts.

## 7 Kryssföljningsmetoder

### 7.1 Målföljning med målpolygoner

Idén är följande[2]: Då första bäringen registreras av en SIS mot en emitter kan man på kartan rita ut en sektor<sup>1</sup> inom vilken emittent med mycket stor säkerhet befinner sig, bara man väljer sektorns vidd som flera gånger det statistiska bäringssfelet från SISen. Därefter kan man dra två avskärningslinjer vinkelrätt denna sektor, en så nära eget fartyg att emittent ej rimligen befinner sig hitom den linjen (kan väljas 50 m från fartyget), samt p.s.s. en linje på så stort avstånd att emittent inte rimligen kan ligga så långt bort (kan väljas 100 mil från fartyget). Då har man en mycket utdragen fyrhörning (i stort sett en cirkelsektor) inom vilken emittent ligger. Eftersom, i “värsta” fall, målet kan ligga precis på kanten av denna fyrhörning, eller inneslutningspolygon, samt röra sig vinkelrätt utåt från den med sin maximala hastighet (varierar kraftigt med plattformstyp) måste man expandera polygonens sidor utåt med den maximala hastighet målet kan tänkas ha. Dess hörn expanderar i form av cirkelbågar (jmf. Huygens’ princip för vågutbredning). Detta expanderande område anses således innehålla målet oberoende av dess rörelseschema efter sista interceptet.

När en rapport kommer in från en annan rrSIS, gör man på samma sätt, bildar fyrhörningen, samt expanderar den motsvarande mätvärdets ålder (man kan tänka sig att det tar en stund att erhålla en SISbäring från en annan rrSIS över radio eller liknande). Därefter tar man snittet mellan dem, d.v.s. den yta som innesluts av bägge polygonerna. Detta utgör krysspejlingen. Denna resulterande utskurna polygon får sedan expandera p.s.s. Om processen upprepas för varje mätning som kommer in skall målet alltid kunna antas befinna sig inom polygonen, se Fig 2 för en visualisering av metoden, och Fig 3 för ett fall metoden nyttjas för ett simulerat scenario.

Denna form av mållokalisering innebär att man drar skarpa gränser höger-vänster inom vilka målet antas ligga med 100% säkerhet, vilket är en svaghet vad gäller risken att tappa målet, men en styrka rent konceptuellt, eftersom man kan visa ett avgränsat område inom vilket emittent befinner sig. Metoden är dock mycket konservativ och ger stora polygoner p.g.a. kravet på nära 100% mål-inneslutningssäkerhet. Den genomsnittliga åldern på den information som kommer in till sammanställningsfartyget slår dessutom direkt igenom i form av en polygon som är större (d.v.s. positionsosäkerheten ökar). Åldern påverkas ju av tid för emitteridentifiering samt tid för kommunikation (med ev. routing).

Polygonmetoden ger en positionsuppskattning. Att öka på med en prediktionspolygon om framtida läge (via en uppskattning av hastigheten) kan göras på två sätt (ej implementerat i demonstratorn): Ett tämligen enkelt i 2 dimensioner, samt ett som analogt med nuvarande situation med snitt mellan tvådimensionella polygoner (för X och Y), använder skärningar mellan fyrdimensionella polyedrar, eller polytoper (för X, Y, X', Y')[2].

---

1. Beräkningarna av positioner från bäringsskärningar utförs i RT90-koordinater, eftersom dessa anses bäringssrika. Scenariot kan annars anges antingen i RT90 eller WGS84 Lat/Long koordinater.

Ett annat angreppssätt, punktmassefiltret[3], vore värt att prova. Att istället för skarpa gränser höger-vänster låta sektorn inom vilken interceptet erhöles markeras av en normalfördelning som breder ut sig från bäringen som erhålles från SISEn, samt med en standardavvikelse i grader som motsvarar den verkliga för den uppsnappade signalen, och inte som nu en konstant sannolikhetsfördelning mellan skarpa kanter. Istället för distinkta koordinater för polygonens hörn diskretiserar man XY-planet, och låter sannolikheten för att fartyget befinner sig i en rasterpunkt motsvaras av ett värde mellan 0 och 1 i denna punkt (summan över rastret sätts till 1). Snitten av polygoner ersättes i princip av rasterpunktvis multiplikation av existerande sannolikhetsfördelning med den som erhålles i en sektor vid mätning, samt följt av normering.

Associationsproblemet vid närvaron av flera icke identifierade emitter kan även få sin lösning, eftersom de spökskärningspunkter som annars uppstår med tiden skulle dö ut i sannolikhetsfördelningen över rastret. Informationsåldringen kunde ersättas av någon form av diffusion av sannolikhetsfördelningen i rastret. Denna typ av målföljemetod skulle dock bli mycket mera beräkningskrävande, i synnerhet med ökande rasterupplösning. Visualiseringen för en operatör skulle även bli något mer diffus, något som i och för sig stämmer bättre med verkligheten, och inte inger falsk säkerhet.

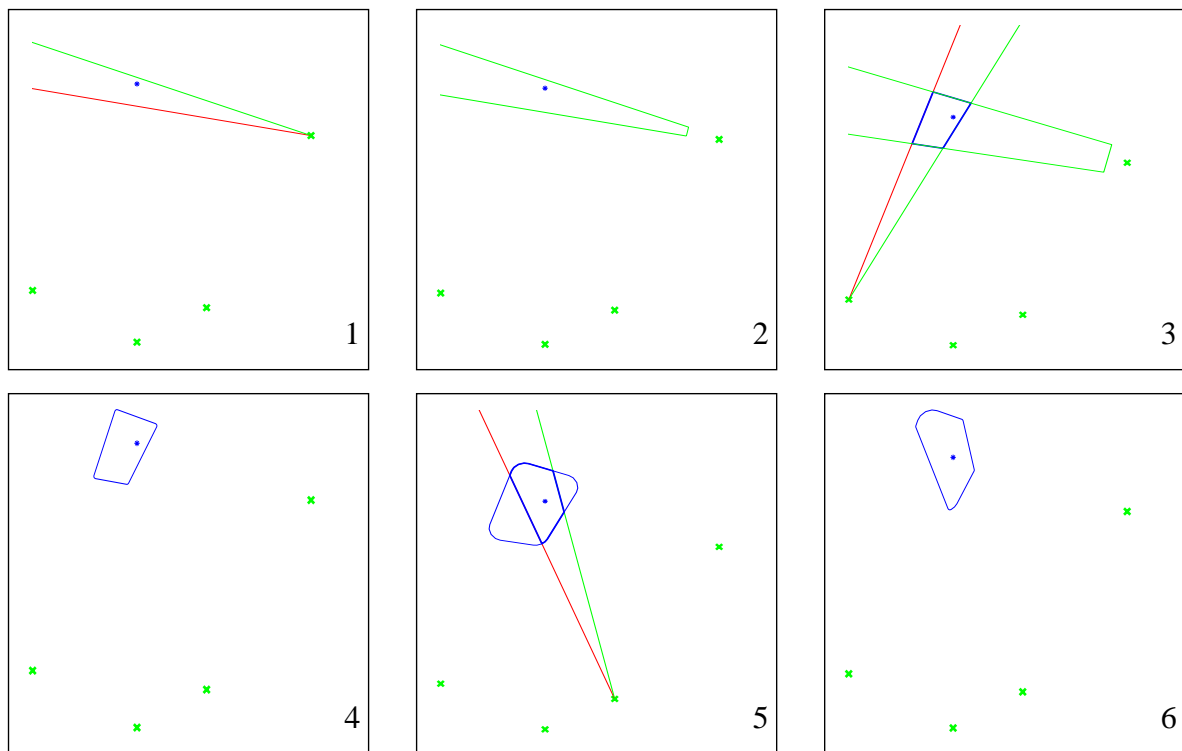
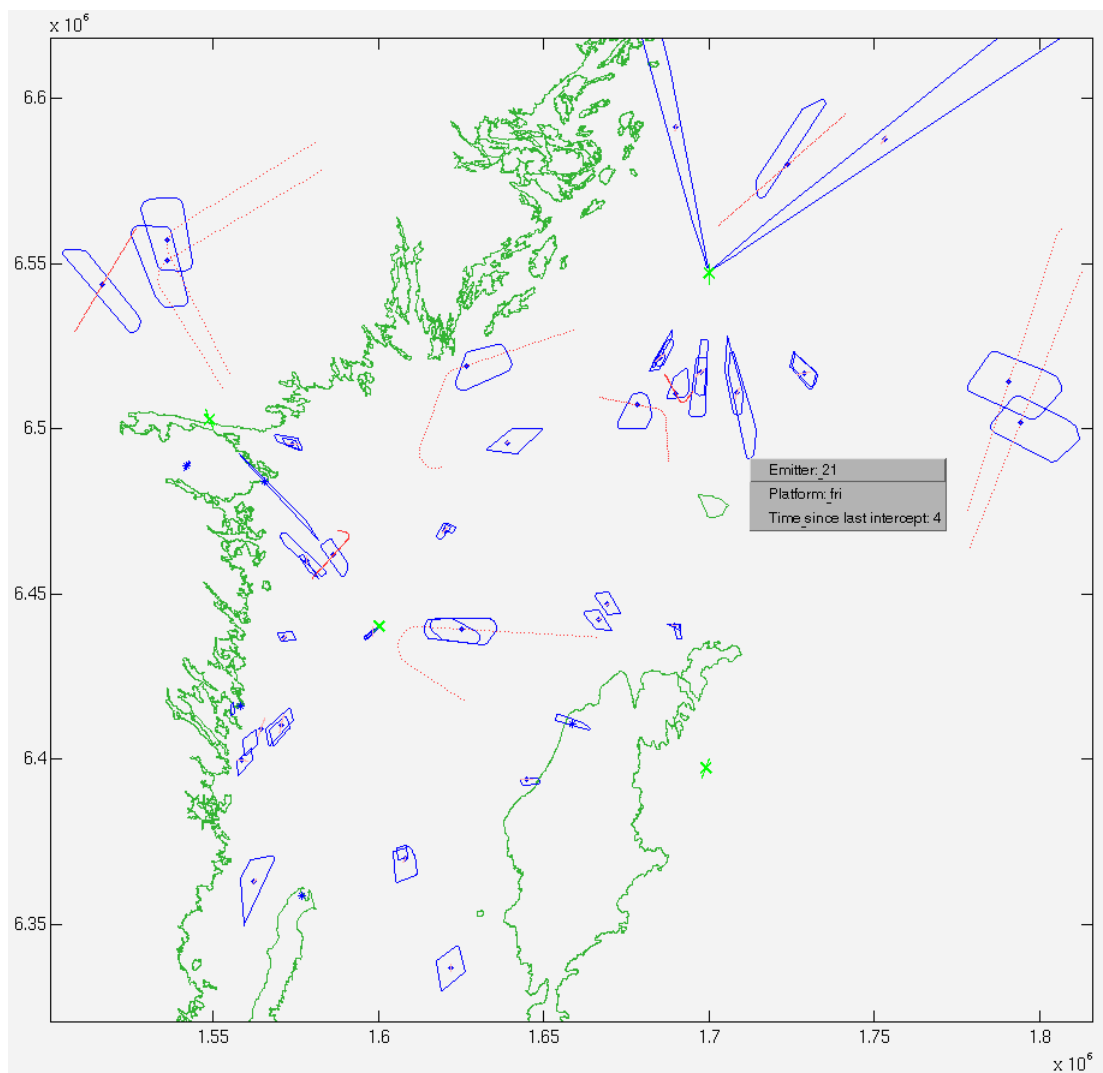


Fig 2. Beskrivning av polygonföljningsprocessen med 4 egna SIS:ar (gröna kryss), och ett mål (blå asterisk). Röd resp. grön bäring markerar vänster resp. höger "extremläge" för osäkerheten, mätningen ligger mitt emellan dessa. I (1) detekteras en emitter för första gången, och en konservativ osäkerhetssektor plottas. Grön sektor betyder "endast ett intercept erhållet". Allteftersom inget nytt intercept erhålles, expanderar sektorn p.g.a. den med tiden ökande osäkerheten (2). Ytterligare en tid senare (3) erhålles ett nytt intercept från ett annat fartyg, som skär av osäkerhetssektorn till en (blå) polygon (4). Denna polygon expanderar också med tiden (5), när inget nytt intercept erhålles, allt efter principen att målet" i värsta fall" kan befinna sig var som helst på kanten av polygonen, och ha en hastighetsvektor vinkelrätt ut från denna med den maximala fart plattformen som bär denna emitter kan ha. Vid nästa intercept (också 5) skärs denna polygon i sin tur av, som resulterar i en ny polygon (6) o.s.v.



**Fig 3. Exempel på ett krysspejlat scenario utklippt ur kartfönstret i demonstratorns GUI. Koordinater är enligt RT90. Blå punkter representerar målens verkliga lägen ("facit"). Röda interpunkterade linjer beskriver målens rörelsescheman, fastlagda i scenariobeskrivningen. De polygoner som omsluter målen representerar de områden inom vilka pejlingen markerar att de befinner sig. Fyra egna pejlar (markerade med gröna kryss) distribuerade i området har givit informationen. Vektorkartan är endast överlagrad; ingen hänsyn tas här till kustkonturens försvårande inverkan på pejlmöjligheterna. Vi "hör" här ytemittlar lika väl rakt över Gotland, exempelvis, som över fritt hav. Vid klick på musens högerknapp på en polygonsida visas en liten meny (de tre raderna med grå bakgrund ovan) med information om polygoninnehållet: Emittertyp, plattformstyp samt tid sedan senaste intercept m.m. Ev. kan man bli tvungen att bryta scenarioutvecklingen genom tryck på "HALT" i menyn högst upp för att få upp den lilla menyn snabbare om man vill undersöka flera polygoners innehåll.**

## 7.2 Målföljning med Kalmanfilter

### 7.2.1 Bakgrund

Den vanligaste metoden i moderna målföljningssystem baserar sig på det s.k. Kalmanfiltret, som utgår från en statistisk modellering av sensorerna och av den fysikaliska verkligheten. För varje

enskilt mål finns en tillhörande, skattad tillståndsvektor med olika rörelsevariabler (position och hastighet kan ingå) och en kovariansmatris, som beskriver osäkerheten i tillståndsvektorns skattning. Filtret fungerar i två steg där det första är en tidsuppdatering/prediktion där man, utgående från den tidigare skattningen, projicerar sin tillståndsvektor och dess kovarians framåt i tiden baserat på sin fysikaliska modell samt den tidigare skattningen. Den andra är en mätuppdatering, där prediktionen vägs samman (fusioneras) med den senaste mätningen för att få en skattning baserad på alla mätningar fram till aktuell tid. Kalmanfiltret ger en sammanvägning av predikterad skattning och ny mätning så att det kvadratiska medelfelet i skattningen av tillståndsvektorn minimeras.

Följning med SIS skiljer sig från de vanligaste följningsapplikationerna (som radarmålföljning) eftersom avståndsinformation i stort sett saknas[4]. Detta ställer speciella krav på att kommunikationen inom den egna gruppen är relativt frekvent, bl.a. i initieringsfasen, då den första skattningen av tillståndsvektor och dess kovarians ska göras. De vanligaste jämförbara följningssituationerna uppkommer vid IRST-följning (oftast i flygfallet[5]) och följning med hydrofoner (i marinfallet[6]). Följning med SIS har viss likhet med, i synnerhet det senare, av de nyss nämnda fallen genom den emittertypsinformation som (efter matchning i databaser) kan erhållas. Förutom klassificering / hotvärdering underlättar denna kraftigt dataassociationen. I alla fall är det nödvändigt att minst två egna kan höra en emitter och kommunicera dessa mätningar sinsemellan för att en följning ska kunna upprätthållas. Naturligtvis skiljer sig förutsättningarna kraftigt för följning av snabba, flygande objekt, där kraven på snabb kommunikation är höga, och andra, där mer sparsamt informationsutbyte kan vara tillräckligt.

## **7.2.2 Funktionssätt**

### **7.2.2.1 Automatisk initiering**

Då avståndsinformation saknas i rrSISdata (såvida inte signalamplitud kan användas för att ge en grov uppskattning) kan man inte själv skaffa sig en rimlig positionsuppfattning. Vid initiering av filtret bör man därför i detta fall vänta på att två egna har uppfattat en emitter och kan bilda ett positionskryss. Här kan tvetydigheter uppstå, s.k. spöken, och det kan vara helt omöjligt att avgöra vilka kryss som hör till de riktiga objekten. För rrSIS-fallet uppkommer detta fall bara då man inte kan skilja på två emittrar m.h.a. identitetsinformationen. I de fall tvetydigheter förekommer kan en tredje pejlare vara mycket värdefull för att avgöra vilka kryss som är de riktiga. Detta kräver andra algoritmer för att avgöra vilka kryss som hör ihop, eftersom de oundvikliga felen i vinkel gör att tre pejllinjer aldrig kommer att skära varandra exakt.

### **7.2.2.2 Automatisk dataassociation**

Ett viktigt steg i filtreringsprocessen utgörs av dataassociationen, som är den process där man avgör vilka mål mätningarna kommer ifrån, eller analogt vilka skattningar som hör till samma mål. Ett mycket vanligt sätt att avgöra associationer är att välja att associera de objekt som i en viss tidpunkt, viktat med osäkerheten i de positionsskattningar som finns (som beskrivs av kovariansen), är tillräckligt nära varandra. Även andra, mer sofistikerade, metoder finns där man använder sig av flera, samtida associationshypoteser som man vid en senare tidpunkt, när man har mer information, kan ta ställning till. Väl etablerade metoder för detta finns i målföljningslitteratu-

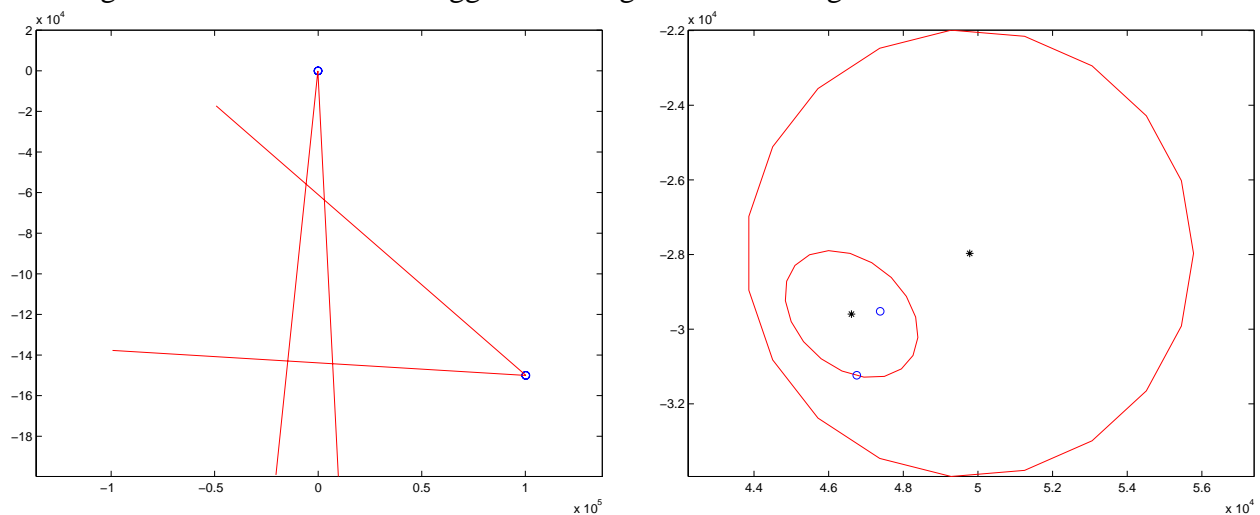
ren[7]. Eftersom man ibland kan ha flera emittrar på ett mål kan situationer uppkomma där man har flera spår som egentligen tillhör ett mål. Dessa måste då i sin tur associeras med varandra.

### 7.2.2.3 Initierings- och associationsstöd för operatör

Spårinitiering och association kan oftast utföras av en operatör, men en beslutsstödsfunktion för detta kan hjälpa operatören vid tvetydiga situationer, t.ex. om samma emittertyp förekommer på flera mål, eller utföra funktionen automatiskt om en operatör inte är tillgänglig, eller av olika skäl inte kan utföra sin uppgift. Dessa funktioner skulle t.ex. kunna ge förslag på lämpliga associationer, bedöma rimligheten i operatörens associationer och vid initiering ge förslag på vilka kryss som är de troligaste, se Fig 4. Inom målföljningsområdet finns som tidigare nämnts etablerade metoder för hur detta ska göras. I SIS-fallet finns kompletterande information att använda sig av i SISens databaser, där möjliga och omöjliga associationer kan bedömas (finns normalt en eller flera specifika emittertyper på en viss fartygsklass exempelvis.).

### 7.2.2.4 Gemensam lägesbild

Spårassociationen kan också komma till användning när det gäller att skapa en gemensam lägesbild från olika sensorers enskilda lägesbilder, t.ex. från radar och rrSIS. De just nämnda metoderna kräver dock att båda använder Kalmanfiltret. Naturligtvis kan man även associera rrSISmätningarna direkt med radarspårerna eller tvärtom om man så önskar. Alla möjligheter bör dock finnas. Att använda radar till att stötta rrSIS-följningen vid initiering (för att direkt få ett avstånd) eller vid valda tillfällen under färd ökar givetvis kvaliteten på följningen kraftigt. För positionsinformation som inkommer (t.ex. via ledningssystemet) utan någon medföljande kovarians (dvs osäkerhetsuppskattning) kan givetvis mer eller mindre bra uppskattningar göras om tidpunkt för observation samt sensortyp är känd. Dessa uppskattningar bör dock hanteras med stor försiktighet och inte omedelbart läggas in i den gemensamma lägesbilden.



**Fig 4. (vänster) Exempel på dataassociationsproblemet: Två pejlare snappar upp två signaler var. Krysspejlingen ger fyra möjliga mållägen. Det är dessutom inte säkert att bägge pejlarna hör samma mål.**

**Fig 5. (höger) Första estimatet för ett kryss har stor kovarians (cirkeln) med sitt estimat i centrum. Den lilla runda ringen snett till vänster nedanför estimatet är verkligt läge. Efter ett antal ytterligare mätningar har kovariansen minskat till en liten ellips, samtidigt som målets verkliga läge rört sig uppåt höger (den andra lilla cirkeln). Kovariansellipserna avser här  $2\sigma$ : 95% sannolikhet att ellipsen innesluter målet.**

### 7.2.2.5 Informationskvalitet

Skattningens kovarians beskriver, som tidigare nämnts, osäkerheten i olika dimensioner hos den skattade tillståndsvektorn. Denna kan alltså användas som ett mått på skattningens kvalitet. Eftersom matrisen är ett abstrakt, flerdimensionellt begrepp lämpar den sig dock inte för direkt tolkning av en operatör, utan man kan t.ex. använda sig av matrisens determinant för att få ett enda entydigt mått. Ju större determinant desto större är positions- och hastighetsosäkerheten och desto sämre är skattningens kvalitet. Ett annat mått på skattningens kvalitet som också kan användas för att presentera osäkerheten grafiskt för en operatör är en kovariansellips, som representerar en nivåkurva på normalfördelningen med centrum i den aktuella skattningen. Vilken nivå som väljs kan operatören styra beroende på om han vill ha 90%, 95% eller någon annan säkerhet på att målet ligger inom ellipsens area, se Fig 5. Här kan man också se om osäkerheten i olika riktningar skiljer sig åt.

### 7.2.2.6 Prediktioner

Genom Kalmanfiltrets prediktionsfunktion kan man beräkna förväntade framtida positioner och osäkerheterna i dessa skattningar. Med något kvalitetsmått kan man då beräkna den framtida positionsskattningens kvalitet och avgöra om man behöver använda en kompletterande sensor eller om man behöver stöd från någon pejlande kollega. Eller, mer allmänt, beräkna den förväntade kommunikationshastighet som behövs för att nå den kvalitet som aktuellt uppdrag kräver.

## 7.2.3 Implementation

### 7.2.3.1 Översikt

I demonstratorn finns en del av ovanstående funktioner implementerade. En målföljningsalgoritm har implementerats med automatisk initiering av nya mål och med automatisk dataassociation. Association av spår orsakade av olika emitterar på samma mål sköts också automatiskt. Presentation av målföljningskvalitet sker med kovariansellipser och automatisk bedömning av spårkvalitet samt medföljande borttagning ur spårdata av SISspår med för låg kvalitet finns.

### 7.2.3.2 Funktionsbeskrivning

De viktigaste datastrukturer som Kalmanmålföljningen hanterar är rrSISdata (i fortsättningen kallad mätningar), målspar, två listor med målspar och en lista med emitterassociationer, d.v.s. en lista där man lagrar de olika emittertyper som tillhör ett visst målspar. En emittertyp är ett tal som representerar en emitter med en viss karakteristik. En mätning antas bestå av bäring till målet, emittertyp, tidpunkt då mätningen gjordes, position i x- och y-koordinater av det fartyg som gjorde mätningen samt ett identifieringstal som talar om vilket av de egna fartygen som gjorde mätningen. Varje målspar har positions- (x och y, ej z) och hastighetskoordinater, samt ett spårnummer och en tid då denna skattning gäller. De emittertyper som hör till varje spår finns som sagt i en separat lista.

De två målsparlistorna representerar två olika klasser av spår med olika nivåer av "förtroende" för de spår som ingår, där den ena klassen består av spår som betraktas som säkra (konfirmerade) och den andra klassen av spår som betraktas som mer osäkra (okonfirmerade). Detta betyder i

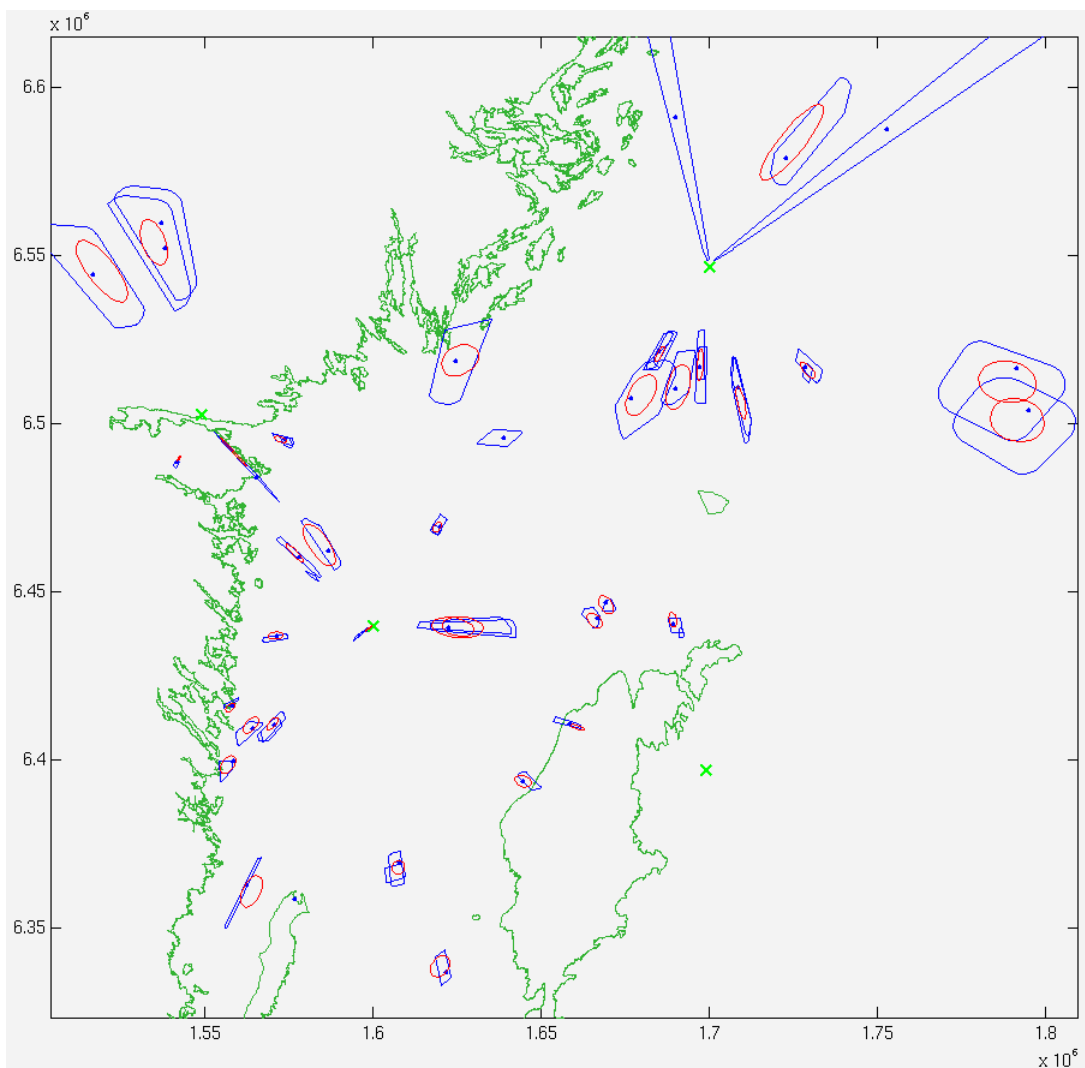
praktiken bl.a. att alla nya kryss som bildas via krysspejlingsprocessen hamnar i den okonfirmerade klassen och att endast de spår från denna klass som bedöms ha tillräckligt god kvalitet hamnar i den konfirmerade klassen. I den okonfirmerade klassen har varje spår endast en möjlig tilldelad emitter medan man i den andra kan ha flera emittertyper tilldelad varje spår. Anledningen till denna uppdelning är flera, men i första hand att osäkerheten i ett nytt spår är förhållandevis stor och att detta kan ge upphov till problem då man vill avgöra om två spår (spårassociation), från olika emitterar, egentligen tillhör samma mål (man kan ju som sagt ha flera emitterar på ett mål). Om två liknande typer av mål är relativt nära varandra ökar risken att tilldela två olika emitterar som inte hör ihop till ett och samma mål och man kan t.ex. underskatta antalet objekt. Här har en operatör en naturlig roll där han kan gå in och manuellt associera spår som han anser tillhör samma mål. Det är bättre att låta operatören lägga till nya associationer än att ta bort redan gjorda eftersom man vid association av två spår även vill fusionera dessa skattningar och det inte efter fusion finns något sätt att veta vilken information som kom från vilket spår. Även problemet med spöken, som tidigare nämnts, blir något lättare att hantera eftersom spökmålens beteende (rörelsemönster) kan vara mindre trovärdigt än de riktiga målen och man kan då sortera ut dessa innan man lägger in dem i listan av konfirmerade spår. T.ex. kan de ha för hög/låg hastighet för att vara den typ av objekt som en motsvarande emitter tillhör.

Målföljningsprocessen tar emot de mätningar som nyligen inkommit till systemet och sorterar dessa med avseende på emittertyp och fartyg som gjort mätningen. Först testas möjliga associationer mot den konfirmerade klassen eftersom alla dessa spår antas vara av god noggrannhet och man givetvis inte vill initiera nya spår i onödan. De nya mätningar med samma emittertyp som redan finns associerat med något av de konfirmerade målsparerna associeras tills vidare med de motsvarande spårerna. Dessa målspar tidsuppdateras till den tidpunkt där mätningen gjordes för association med kinetiska parametrar. Här kan man betona att association med avseende på emittertyp sker innan association med kinetiska parametrar. Detta sker för att spara tid då vi antar att emittertypsklassificeringen är tillförlitlig och att detta då drar ner antalet associationsmöjligheter i den mer tidskrävande kinetiska associationen. De mätningar som, i statistisk mening med hänsyn taget till bäringosäkerheten, är närmast något av de möjliga målen används för att uppdatera målläget (s.k. närmsta-granne association). De som inte nu associeras till något mål, tillsammans med de med en emittertyp utan något motsvarande spår går vidare för association med spårerna i den okonfirmerade klassen. Nästan samma procedur upprepas för denna klass, med den enda skillnaden att man här uppdaterar alla spår som är inom ett visst större avstånd från mätningen (beroende på osäkerheten i bäring hos skattningen), så att man med mycket hög sannolikhet inte missar att uppdatera det korrekta målet. Om några spökmål finns i listan så finns ju dessa på ungefär samma bäring som det riktiga målet (om mätningen gjorts från samma fartyg igen).

Alla kvarvarande mätningar från detta steg används tillsammans med alla kvarvarande, oanvända mätningar från tidigare iterationer som inte anses vara för gamla, för att initiera nya målspar med hjälp av krysspejling. Vilken kovarians som målspar initieras till beror av en del olika faktorer varav typen av objekt (flyg, fartyg) är det mest signifikanta (p.g.a. ett flygplans mycket högre hastighet och fördröjningen i tiden för att kommunicera mätningar mellan fartygen kan man inte ha lika god positionsnoggrannhet som för ett fartyg etc.). Alla spår bör initieras till att ha noll i hastighetskomponenterna, eftersom man inte på ett enskilt kryss kan veta vilken riktning ett mål rör sig i. Anledningen till att de mätningar som är för gamla inte används är givetvis att de kryss de ger upphov till inte är tillförlitliga p.g.a. av målet kan ha flyttat sig alltför långt sedan mätningen

gjordes. Vad som anses vara för gamla mätningar är en empirisk fråga och är olika för olika objekttyper.

Nästa steg innebär att tidsuppdatera alla mål fram till nuvarande tidpunkt för presentation för operatör och för kvalitetsbedömning av spåren. Denna tidsuppdatering lagras inte i respektive lista utan används bara i dessa syften, så att den skattning som ligger i listorna fortfarande har senaste uppdateringstid som gällande tid. Anledningen är att man vill kunna hantera mätningar från andra, egna fartyg som kommer in senare till processen än de som det egna fartyget gör (p.g.a. kommunikationsfördröjningar). Eftersom tidsuppdateringen inte bara gäller tillståndsvektorn utan även kovariansmatrisen (d.v.s. osäkerheten) kan man använda denna till att få en aktuell uppfattning av kvaliteten på skattningen. De spår som, i någon av klasserna, anses vara av för låg kvalitet stryks och de spår i den okonfirmerade klassen som anses tillräckligt bra kommer att läggas in i den konfirmerade. Vad som anses vara tillräckligt bra eller dåligt är en empirisk fråga och kan t.ex. bero på hur många spår man har utrymme att lagra eller hur stor beräkningskraft man anser sig kunna avvara för att uppdatera, associera, osv mot tveksamma mål. Det är vid detta tillfälle som spårassociation och spårfusion sker och man alltså avgör vilka spår från olika (eller samma) emitterar man anser komma från samma mål. Det är, som sagt, endast för de spår som ska läggas in i den konfirmerade klassen som man tillåter att man associerar flera olika typer av emitterar till ett enskilt spår. En bild över scenariot med Kalmanfiltrerade estimat syns i Fig 6.



**Fig 6.** En bild av scenariot från Fig 3, nu även med Kalmanfilterestimater (röda kovariansellipser). Man kan välja att enbart visa målpolygoner eller Kalmanestimater, här visas bägge överlagrade för jämförelse. Scenariot markerat med röda interpunkterade linjer i Fig 3 har här ej visats.

### 7.2.3.3 Framtida arbete

I en framtida vision finns en integrerad lägesbild från alla sensorer med operatörsoberoende initiering, association, följning och presentation av informationskvalitet för beslutsfattare, tillsammans med en funktion för prediktion av det framtida informationsbehovet för att uppnå den kvalitet som uppdraget kräver. För att detta ska kunna realiseras finns en mängd olika frågor som måste besvaras och funktioner som måste studeras och utvärderas. Bland dessa kan nämnas:

- kommunikationshastighetens inverkan på följningens kvalitet, dvs besvara frågor kring hur ofta och hur snabbt mätningar måste distribueras för att följning ska kunna upprätthållas
- undersöka prestandaförändringar om den kommunicerade informationens innehåll förändras

- förbättringar av initiering och dataassociation, bl.a bör flerhypotesalternativ i initieringsprocessen undersökas för att kunna hantera spöken (falska kryss)
- förbättring av följningen av snabba, kraftigt manövrerande mål (flyg)
- inverkan av andra sensorer och framtagandet av gemensam lägesbild
- val av koordinatsystem för följningen.

## 8 Synpunkter på pejlinformationsutbytet

Metoden som implementeras i demonstratorn går ut på att samtliga fartyg sänder in sina emitteruppdateringar till ett ledningsfartyg, som sköter sammanställningen. Sammanställd lägesbild skulle sedan kunna sändas tillbaka med jämna mellanrum, eller vid behov. Detta exempel på centraliserad datafusion har sannolikt fler nackdelar än fördelar i ett verkligt läge, men det är enklast att studera i en förstudie, eftersom det är fritt från vissa mer komplicerade problem som kan uppstå i distribuerade nätverk där alla kommunicerar med alla, såsom:

- Informationsrundgång: Tror jag att den information jag får utifrån är “ny”, eller är den i högre eller mindre grad blandad med den (gamla) information jag själv sände ut långt tidigare? Man måste ha en lämplig metod för att märka informationen i ett sådant distribuerat system med ursprungskällan (s.k pedigree), eller använda någon annan form av hänsynstagande till att man har mindre ny information än man tror (såsom kovariansintersektion[8][9]). Om detta inte görs på rätt sätt i ett stort scenario, kan målföljningen kontinuerligt försämrats, och situationsbilden stämma sämre och sämre med verkligheten.
- Routing: I ett scenario med fler än tre egna fartyg med aktiva SISar måste emitteruppdateringarna kunna sändas fritt från ett fartyg till ett annat. Man måste veta att det går att sända direkt, eller att länka via andra fartyg. För att uppnå detta måste det finnas en obruten (m.a.p. räckvidd) kedja av mottagare, sändare fram till mottagaren. Standard routingalgoritmer borde kunna användas, märkbart i vårt fall är att sändare, mottagare *samt* länkar rör på sig, så en överspännande information om ungefär var de andra befinner sig är nödvändig för en sändare och länkare. Möjligheten att länka via land för att öka hastigheten och minska upptäcktsrisken kan bli användbar.
- Framväxande av olika lägesbilder: Eftersom alla fartyg vid distribuerat informationsutbyte sällan kommer att ha tillgång till samma information (eller så skiljer tidssekvensen i vilken informationen mottagits sig åt), så kommer olika omvärldsbilder att växa upp hos varje fartyg. En studie i hur skillnaden i omvärldsbilder påverkas av kommunikationsproblematiken vore intressant.

När väl ett distribuerat nätverk är i funktion och är “stabil” mot ovan nämnda problem torde det vara robustare än ett centraliserat. De metoder som används idag med utbyte av SISbärningar påminner närmast om ett enkelt distribuerat fall, dock finns många manuella grepp och flera beslutsvägar för att uppnå tillräcklig hastighet i informationsutbytet.

Taktiska överväganden kommer naturligtvis in vid kommunikationen, eftersom man själv kan bli inpejlad av motståndarens kommunikationsspaning. Man kan också bli utstörd. Genom att använda riktad sändning minskar risken för upptäckt. När man väl sänder gör man naturligtvis

detta krypterat. Riktning och positionsinformationen om SISbärningar eller eget läge, som skall sändas över bör distorderas genom i förväg överenskommen koordinattranslation + rotation, för att ytterligare försvåra för motståndaren att härleda våra enheters lägen om de lyckas dechiffrera en uppsnappad sändning. Sändningen kan ju även innehålla information om ett annat eget fartygs läge än det som sänder, i fallet länkning. Om en egen ubåt ingår i en operation vill den sällan röja sig med radiosändning, eller ens sticka upp sin SISantenn. Dock kan man tänka sig att den erhåller SISpejlat målläge (ev. endast en bäring) från annat/andra fartyg via kort/långvåg, samt nyttjar sin SISantenn för en sista pejling, följt av ev. torpedinsats. En ubåts smygegenskaper bör ge den möjlighet att komma tillräckligt nära ett mål för att avlossa torped endast på bärings + identitetsinformation, men avståndsinformationen kan nyttjas i tvetydiga fall.

## 9 Synpunkter på rådatakvalitet

Mikrovågorna från en sändande radar kan brytas på olika sätt på sin väg genom atmosfären. Radarhorisonten förlängs automatiskt över havet p.g.a. diverse fysikaliska effekter kring övergången luft / salt(brack)vatten, jonosfäreffekter, detta förutom "vågledareffekten" av avtagande brytningsindex med höjden. Förhållandena varierar med vädret, och man kan få kraftiga dagliga fluktuationer i upptäcktsavstånd av en sändande radar. Värden på upptäcktsavståndet kan ligga mellan ca 1.25 och 10 ggr vanlig visuell horisont[10]. Brytningar av mikrovågorna kan även ske i bäringsled vid havsytan pga åskväder, väderfronter m.m. Man kan få flervägsutbredning av samma skäl, och genom reflektioner i ev. intilliggande skärgård. Ökat upptäcktsavstånd är ju en fördel, man kan upptäcka radarer på längre håll, men samtidigt blir interceptamplituden av mindre värde, eftersom den inte kan nyttjas till att skatta avståndet. Värre är det med brytningar av mikrovågorna i bäringsledd, de leder till felaktiga positioner, "spöken", vid krysspejling. De största bäringsfelen är oftast knutna till förkortat upptäcktsavstånd. Viss korrektion kanske skulle kunna ske om man hade tillgång till väderdata i ett raster över aktuellt område, vilket man ju inte har. Väderdata kan komma från centralt kommando, samt kompletteras med lokala mätningar ombord. Dessa kan ge indikationer på att man har "dåliga" förhållanden, så man kan vara på sin vakt mot spökkryss. Det faktum att större bäringsfel är aktuella kan ses genom att kryssen får orimliga lägen, eller då 3 eller fler egna SISar pejlar mot ett samassocierat mål, och krysset av pejllinjerna långt ifrån skär en gemensam punkt. Det sista fallet kräver korrekt association; att kryssbildningen sker med data från garanterat samma emitter. En separat liten studie skulle kunna genomföras för att undersöka dessa effekters försämrande inverkan på lägesbilden.

När omvärldsbilden vuxit fram, och tillräckligt god kvalitet på målföljning och positionsprediktion etablerats, vågar man sig på en högre nivå i datafusionen:

## 10 Hotvärdering och lägesuppfattning

Det taktiska uppträdandet hos en marin försvarsstyrka i kustnära vatten beror på ett flertal kontinuerligt rullande processer: scenario, situationsmedvetenhet, hotvärdering, taktiska åtgärder.

Alla fyra påverkar varandra, men hotvärderingen bygger på en bedömning av situationen, och de taktiska åtgärder som vidtages beror i första hand på scenariot och hotet. Vi ska här försöka definiera innebörden av dessa termer.

## **10.1 Definitioner**

### **10.1.1 Scenario**

Omgivningen (här delar av Östersjön etc. längs den svenska kusten) och alla enheter inom detta område tillsammans med rörelser, beväpningar, egenskaper, etc.

### **10.1.2 Lägesuppfattning (Situation Awareness, SA)**

Resultatet av en sammanställning av situationsbilden. Processen att skaffa sig information om den rådande taktiska situationen och prediktera framtiden med avseende på egna och fiendliga styrkor, med användande av alla tillgängliga medel för spaning, datainsamling, övervakning och kunskap om eventuella regelverk (doktriner). Övervakning kan utnyttja en blandning av tekniska och mänskliga resurser för att uppnå sitt mål, och processen att fusionera information från olika källor är en viktig del av denna aktivitet.

### **10.1.3 Lägesbilden**

Den mer eller mindre korrekta eller fullständiga bild av det sanna scenariot. De enheter (egna och främmande/fiendliga) i omgivningen som är kända eller anade för ögonblicket. Denna lägesbild, en antagen eller en prediktion av den, utgör indata till hotberäkningen.

### **10.1.4 Övervakning.**

Denna utförs med aktiva eller passiva metoder. De aktiva metoderna inkluderar radar-, laser- och (aktiva) sonarmätningar, som alla avger strålning eller signaler som kan upptäckas av fienden och sålunda leda till att egna enheter röjer sig. Den moderna trenden är att använda sådana aktiva metoder så lite som möjligt, för Visbys del är det självklart eftersom fartyget formges som en smygfarkost i alla avseenden.

### **10.1.5 Signalspaningssystem (SIS)**

Utrustning för övervakning av det radiofrekventa området, förstärkt med en databas av emittersignaturer, utgör en viktig passiv källa till information. Modern radiopejlutrustning kan, i samarbete med liknande apparatur hos andra enheter, ge inte bara en position, utan även slå fast typ av plattform, och ibland t.o.m. identifiera en viss namngiven farkost.

### **10.1.6 Informationsfusion**

Alla data som insamlas, sammanställs till en översiktlig och begriplig lägesbild, gärna försedd med uppskattningar av osäkerheter. Fusioneringsprocessen skapar förhoppningsvis kunskap som går utöver den som följer av en enkel addering av enstaka fakta.

### 10.1.7 Lägesuppfattningsnivå

I analogi till hotvärderingen som diskuteras nedan, kan vi tala om en lägesuppfattningsnivå ("level of awareness"). Denna skulle kunna kvantifieras för att tillåta numerisk jämförelse mellan olika situationer. Emellertid behöver vi också ett mått på förmågan eller möjligheten att nå en (hög) grad av lägesuppfattning; ett mått på övervaknings- och spaningskvalitet eller kvaliteten på den precision som är möjlig att nå. En klok disposition av egna enheter kan förstås avsevärt påverka möjligheten att upptäcka fiendliga styrkor. Man bör sålunda skilja mellan den nuvarande nivån på faktisk lägesuppfattning, och förmågan att nå en god lägesuppfattning i en given konfiguration av egna och fiendliga enheter. Högre poäng skulle innebära en mer precis kunskap om läget, respektive en större möjlighet att upptäcka fiendliga enheter och aktiviteter.

## 10.2 Hotvärdering

Processen att rangordna eller kvantifiera hotet såsom det uppfattas i den nuvarande, i en predikterad eller i en antagen situation eller lägesbild. Detta innebär en metod att beräkna eller bedöma det (skenbara) hotet mot egna enheter eller mot en viss position i geografien, givet kännedom om fördelning och typer av fiendliga enheter i området (lägesbilden av det sanna scenariot).

### 10.2.1 Hotberäkning

En kvantifiering av aktuellt hot härlett ur lägesbilden. Detta innebär att beräkningen av hotet endast tar hänsyn till kända eller antagna hot. Den tar inte hänsyn till okända om än möjliga hot.

### 10.2.2 Hotets ursprung

Hot härrör från fiendliga enheter och vapenplattformar. En enhet karakteriseras av typ och tillstånd.

**Typ** kan inkludera:

- typ av farkost
- sensor-utrustning (radar, ECM etc),
- beväpning
- vapenräckvidder
- eldledningskapacitet
- eldhastighet
- maximal hastighet
- maximal girhastighet

**Tillstånd** kan inkludera alla sorters varierande (dynamiska) data såsom:

- radiotystnad / radar aktiv
- ammunitionsmängd
- nuvarande operativ räckvidd
- position
- kurs
- fart

Vi kan tala om hotet **mot**:

- en punkt i geografien, eller ett helt område
- egen farkost eller egna enheter

### 10.2.3 Flyghot

Hotet från flyg är av en annan karaktär än det från sjöbaserade vapenplattformar. Fientligt flyg kan nå nästan varje punkt på kort tid (hotet från krigsfartyg är mycket mer lokaliserat i tid och rum). Det allestädes närvarande flyghotet tilltar med avståndet från land. Flyghotet skulle kunna representeras som ett skalärfält som överlagras på andra hot.

### 10.2.4 Sjöbaserat hot

Denna typ av hot tilltar då avståndet till den hotande farkosten avtar. Hotet är förstås också mycket riktighetsberoende. Det avtar lokalt i närheten av öar, då dessa försvårar upptäckt med radar och andra sensorer och kan ge gott skydd och täckning i vissa riktningar. Den skyddande effekten av en ö kan beskrivas såsom beroende av riktningen till en representativ punkt på ön (t.ex. tyngdpunkten).

En viktig del av hotbedömningen är att ta hänsyn till **tid**. En mer avlägsen fientlig enhet med högre fartresurser kan förvandlas till ett akut hot tidigare än en mer närbelägen men långsammare farkost.

### 10.2.5 Osäkra positioner

Beroende på hur positionsdata erhållits (radar, pejling, åldrat mätvärde etc.) kan en osäker position anges med en cirkel, en ellips eller ett polygonområde. Kanske enklast kan det beskrivas med en cirkel med en radie stor nog att innehålla hela det osäkra området.

### 10.2.6 Hot från en osäker position

Att en hotande plattformens position bara är känd med viss osäkerhet påverkar inte i nämnvärd grad bedömningen av dess hot.

### 10.2.7 Kombinerade hot

Det kombinerade hotet ( $p$ ) från två enheter inom skotthåll och med hotvärdena  $p_1$  och  $p_2$  respektive, kan beräknas med någon sorts funktion, exempelvis så enkelt som  $p = \text{Max}(p_1, p_2)$  eller som summan  $p_1 + p_2$ .

### 10.2.8 Hotupplösningens finkornighet

För att reducera beräkningsvolymen kunde eventuellt ett slags täthetsfält eller raster införas (överlagrat på geografien), som beskriver den förväntade detaljnivå (kornighet) som erfordras för beräkning av hotvärden. Jämför med resonemanget avsnitt 12 om företagsgruppering.

### 10.2.9 Skuggzoner

Ett hot kan skymmas ("skuggas") av öar eller uddar. Hur kan en sådan skuggzon beräknas från positionen för en vapenplattform och en vektor- eller rasterbeskrivning av öar och landmassor?

### 10.2.10 Räckvidder

Tre sorters räckvidder kommer i fråga:

- sensorräckvidder
- vapenräckvidder
- operativa räckvidder

Dessa räckvidder kan uttryckas som avstånd eller alternativt som tider (flygtid för en projektil eller missil, operativ tid för farkost).

## 10.3 Taktiska åtgärder

Detta är processen att utnyttja och påverka (förändra) läget till sin egen fördel samtidigt som man tar hänsyn till hot och lägesbilden av scenariot.

Fördelarna med denna aktivitet inkluderar sådana aspekter som:

- förbättrad egen lägesuppfattning
- förbättrade möjligheter till spaning
- ökad egen slagkraft
- avtagande hot mot egna styrkor

Detta kommer inte att utvecklas närmare här.

## 10.4 Scenario-relaterade data.

### 10.4.1 Östersjöområdet

Östersjön öster om Bornholm tillsammans med Bottniska Viken

- Area 300 000 km<sup>2</sup> (1200 x 250 km)
- Total nord-sydlig utsträckning 1200 km
- Genomsnittlig bredd = 250 km

### 10.4.2 Operativt område

Typisk storlek på operationsområdet:  $300 \times 10 = 3000 \text{ km}^2$

### 10.4.3 Några typiska plattformsp parametrar

Typiska plattformsprestanda (från öppna källor).

Räckvidder:

- Radar: 100 km (upplösning vid max.räckvidd = 100 m)
- SIS: 200 km (mycket väderberoende), 1
- Sjömissil: 100 km
- Torped: 20 km
- Stor torped: 40 km
- Boforskanon: 5 km
- VHF-radio: 30 km
- Kortvågsradio: obegränsat (vid lämpliga förhållanden)

Hastigheter:

- Korvettfart: 40 knop (70 km/h)
- Torpedfart: 50 knop (80 km/h)

Täckning:

- Sjömissil: 10 x 5 km (missilens målsökararea)

Noggrannheter:

- DF: P bra pejlbas = 20 - 40 km)
- Sonar:  $\pm 2^\circ$

Optisk LOS<sup>1</sup>-räckvidd:  $3.3 * (\text{Sqrt}[h_1] + \text{Sqrt}[h_2])$  km; (höjder i m)

Radarräckvidd:  $4.2 * (\text{Sqrt}[h_1] + \text{Sqrt}[h_2])$

#### 10.4.4 Hotande måltyper

Hot beräknas för en obesatt punkt utifrån fientliga positioner, rörelser och beväpning. Hot kan beräknas för egna enheters positioner genom att man först beräknar punkthot och sedan modifierar detta beroende på egna positioner (skyddande enheter), rörelser och ev. röjande uppträdande.

#### 10.4.5 Hotaspekter

Hot från fiende innefattar en tvåstegsprocess: att bli upptäckt, och att bli attackerad. En svaghet i endera av dessa aspekter ökar risken.

#### 10.4.6 Total taktisk bedömning

Låt oss antaga att en rutin / algoritm finns tillgänglig som beräknar hotet mot en godtycklig position (punkt) givet den för ögonblicket kända situationen, (lägesbilden) men utan hänsyn till egna enheter. Ett problem är då att finna en kvantifiering av det totala hotet mot en av våra egna enheter.

---

1. LOS = Line of Sight, siktavstånd, horisont.

Antag att en grupp av egna enheter är given. Det totala hotet mot en sådan konfiguration borde bestämmas med hänsyn till den skyddande effekten sinsemellan av de ingående enheterna.

### 10.4.7 Optimering

Optimering av egen taktik kan i princip åstadkommas genom upprepade anrop till hotevalueringsrutiner.

### 10.4.8 Informationsflöde

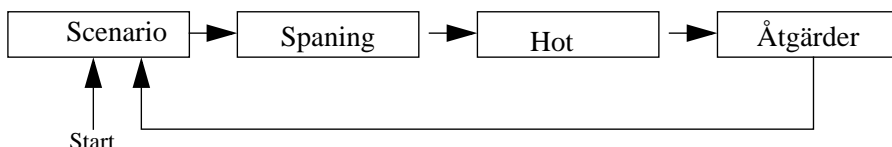


Fig 7. Informationsflöde i den taktiska processen.

God lägesuppfattning kan åtminstone i viss mån ses som motsatsen till hot från fienden, d.v.s. som ett hot *mot* fienden. Av överskuggande vikt för att bedöma den taktiska situationen är att vara i stånd att förutsäga utvecklingen av scenariot och bedöma motsvarande hot.

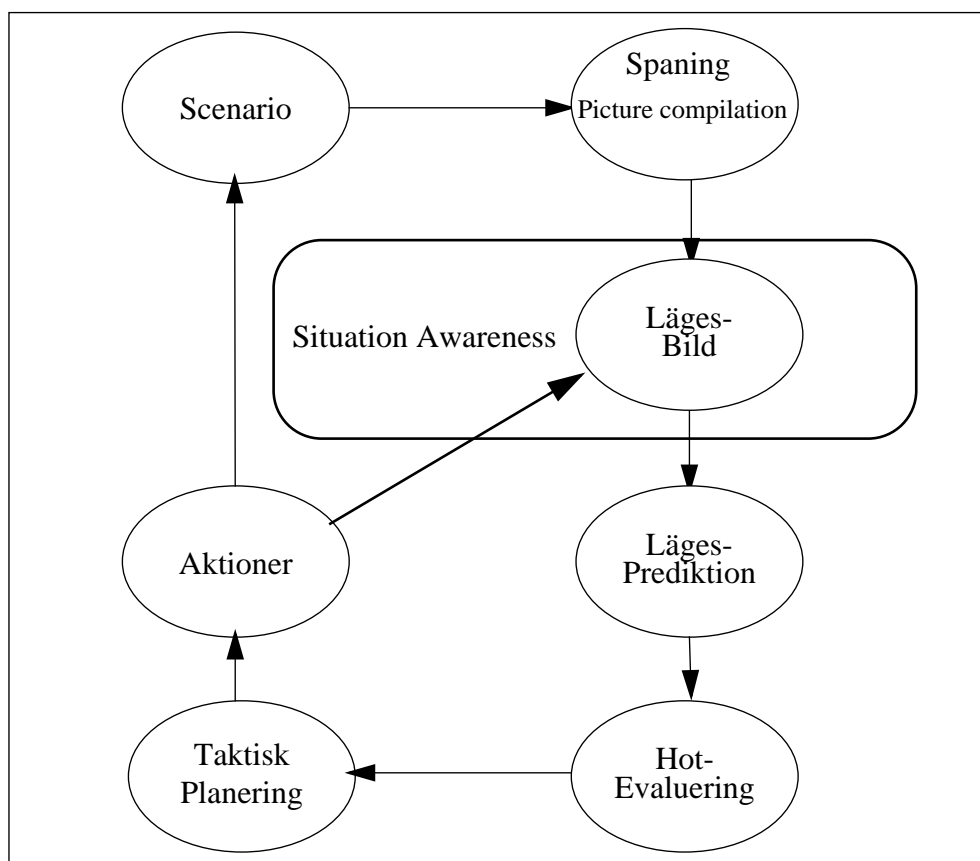


Fig 8. Dataflöde för hotberäkningar.

### 10.4.9 Prediktion.

Denna algoritm tar lägesbilden och predikterar en ny lägesbild för en viss tid framåt. Denna bild blir med tiden alltmer inexakt och osäker ju längre denna tidsskillnad är. Tidsskillnad = 0 ger den aktuella lägesbilden.

Alla positioner i lägesbilden har (bör ha) ett osäkerhetsestimater. Denna osäkerhet härrör antingen från en inexakt positionsmätning eller från en okänd farkoströrelse. Kvaliteten i en predikterad mätning försämras förstås snabbt med tiden om inga nya mätningar erhålles. En position i lägesbilden kan också vara en antagen position. Prediktionsprocessen kan vara halvautomatisk med möjlighet för en operatör att påverka processen. Operatören kan vilja pröva vissa troliga placeringar av enheter. Den algoritmiska delen kan bygga på enkel linjär prediktion, kanske utökad med Kalmanfilter-metoder.

### 10.4.10 Hotberäkning.

Huvudmålet är att skapa en beräkningsmodell för kvantifiering av hotet mot en geografisk punkt. Punkthotet kan sedan modifieras av närvaron av egna enheter. För att förenkla detta antas att hotet kan beräknas individuellt per enhet, utan hänsyn till placering av andra enheter. Denna förenkling rättfärdigas i någon mån av det faktum att kustkorvetter alltid avses operera i täta rotar (par), som ger varann ömsesidigt skydd, och ett sådant par kan anses som en enhet.

#### 10.4.10.1 Hotande vapenplattformar.

Positionen för en känd fiendlig enhet har alltid en mätosäkerhet. Osäkerheten ökar efter hand om inga nya uppdateringar av positionen anländer. En position med ett litet och rimligt skattat fel är av avgörande betydelse för inriktning av egna försvarsvapen (kanoner och missiler) mot fienden. Ett estimat av hotet **från** en fiende är däremot inte särskilt känsligt för ett fel i kännedomen om dennas position.

Hotet från ett fiendligt fartyg är en funktion av:

- avstånd
- vapenräckvidd
- närmande-hastighet (faktisk eller möjlig)

Hotet kan modifieras av:

- närbelägna öar
- närbelägna landmassor

## 10.5 Förslag till hotalgoritm

Antag följande scenario:

Två fientliga enheter befinner sig i positionerna A and B. Vi önskar uppskatta det hot de utövar mot en punkt P. Punkten P kan råka ligga i närheten av en ö eller nära kustlinjen. Positionerna A,B,... betraktas som kända men med ett visst fel. Låt oss säga att positionerna är givna med ett cirkulärt fel av typen: Positionen ligger med 90% säkerhet inom en cirkel med radien r, centrerad på positionen (x,y); ju större radie r, ju större är osäkerheten. xy-koordinaterna är givna i system RT90 (rikets triangelnät; x = nord, y = öst).

Den grundläggande idén är denna: Hotet beräknas som en produkt av ett bashot modifierat av ytterligare faktorer.

### 10.5.1 Enkelt hot

Antag att P hotas enbart av enhet A. Bashotet från A beror på den enhetens beväpning, eldledningskapacitet och fartresurser. Hotvärdet kunde vara rent numeriskt eller vara flerdimensionellt. Riktningen från P till den hotande enheten A är också av stor betydelse. Hotet kunde således tänkas beskrivet av en vektor, vars längd representerar hot-nivån, och vars riktning är lika med riktningen hos vektorn  $P \rightarrow A$  (eller  $A \rightarrow P$ ). Vi tänker här endast behandla den enklaste möjligheten, dvs att hotet beskrivs med ett enkelt numeriskt värde. Riktningen till ett enkelt hot kommer då att implicit ges av gradientvektorn, dvs. riktningen för brantaste stigning.

Det enkla bashotet modifieras av flera inverkanse faktorer:

- närmar sig A / avlägsnar sig A?
- närmandehastigheten (radiell hastighet)
- är A inom avstånd kort nog för att nå P? (skjutavstånd /missilräckvidd)
- skuggas P av en ö längs riktningen mot den hotande enheten?
- är P nära nog till land eller en ö för att få visst skydd mot upptäckt

Närmande betyder här att avståndet minskar - inte att farkosten A håller kurs mot P.

Hotet minskar om farkosten avlägsnar sig och ökar om den närmar sig.

Antag att det hotande målet har kanoner med räckvidd  $r_1$ , och missiler med räckvidd  $r_2$ ,

där  $r_1 < r_2$ . Den avståndsberoende delen av hotet är då en avtagande funktion av avståndet r, med diskontinuitet (steg) i  $r_1$  och  $r_2$  som avspeglar att P där kommer inom skotthåll.

#### a) Bashot

Farkoster delas in i ett litet antal grundläggande hotklasser och tilldelas hotnivåer som är heltal: 1, 2, 3... Detta tar hänsyn till: möjlig fart, beväpning och vapenräckvidd(er), och ett högre hot skall motsvara ett högre numeriskt värde. Tanken är inte att dessa numeriska värden skall svara mot något faktiskt eller subjektivt statistiskt mått på träffsannolikheter el.dyl. ('kill probabilities'), men däremot göra det möjligt att rangordna hoten och göra dem jämförbara.

Nedan föreslås formler för att beräkna hot-värden eller hot-nivåer.

#### b) Hotmodifiering beroende på avstånd

Den modifierande faktorn är  $f(r, r_1, r_2, r_3, \dots)$ , där:

- $r$  = distans
- $r_1$  = kortaste vapenräckvidd, t.ex. kanon
- $r_2$  = nästa räckviddsvärde, tex. en sjömissils operationsradie
- $r_3$  = nästa räckviddsvärde, tex. SIS eller radarräckvidd

Även om ett fartyg ligger utom sin egen beväpnings räckvidd, representerar det ett visst hot, och detta hot ökar om fartyget närmar sig.

Exempel på distans-beroende hot-faktor med 3 argument:

Antag  $0 < r_1 < r_2$ :

- $f(r, r_1, r_2) = 2$  if  $r < r_1$
- $f(r, r_1, r_2) = 1 + e^{-(r-r_1)}$  if  $r_1 < r < r_2$
- $f(r, r_1, r_2) = e^{-(r-r_2)}$  if  $r_2 < r$

Alternativa formler (kvadratisk avtagande):

- $f(r, r_1, r_2) = 2$  if  $r < r_1$
- $f(r, r_1, r_2) = 1 + 1/[1+(r-r_1)^2]$  if  $r_1 < r < r_2$
- $f(r, r_1, r_2) = 1 / [1+(r-r_2)^2]$  if  $r > r_2$

### c) Modifiering av hotet p.g.a. radialhastighet

- $g(v_r) = \exp\{-a \cdot v_r\}$ ,

där:

'a' är en skalningskonstant;

' $v_r$ ' = radialhastighet (förändringshastigheten för avståndet PA);

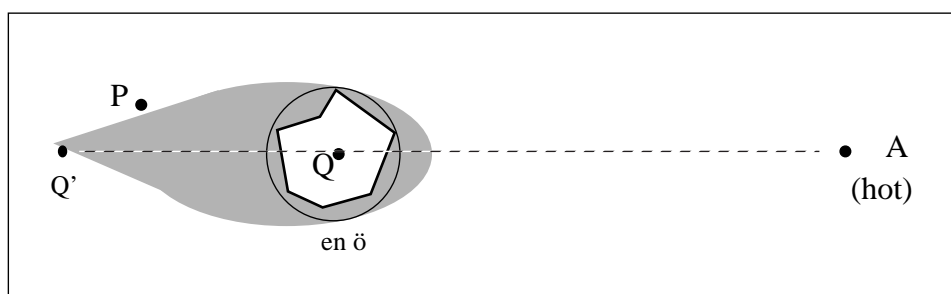
och  $v_r < 0$  betyder att den hotande farkostens avstånd minskar.

### d) Närhet till öar och skuggeffekt

För att kunna ta hänsyn till öar på ett överkomligt sätt, representeras de i databasen förenklat, tex. med en eller ett par cirklar med givna centra och radier eller av ellipser.

En punkt ligger nära en sådan ö om dess avstånd till något sådant centrum är obetydligt större än motsvarande tillhörande radie. Närhet till en ö i allmänhet, eller i synnerhet om P skymms av en ö, sett från hotaren A, resulterar i att skuggfaktorn  $S(\cdot)$  blir  $< 1$ . Denna faktor appliceras på hotvärdet i P, så som det skulle beräknats utan ö.

Antag att den närmaste ön till P representeras med punkten Q och en radie R, och att den hotande enheten befinner sig i A.



Det område som ger skydd åt P från A kan beskrivas som ett droppformat område av den typ som ses i bilden.

Detta kan uttryckas matematiskt på följande sätt:

Låt  $L_{AQ}$  vara den räta linjen genom A och Q.

Välj en punkt  $Q'$  på förlängningen av AQ mot Q och på ett visst avstånd från Q, beroende på avståndet AQ och egenskaper för radarvågors utbredning.

Låt  $r_1$  och  $r_2$  vara avstånden PQ and  $PQ'$  respektive.

Punkten P ligger inuti det skuggade området om, för lämpligt valda värden på konstanterna a, b, c, följande olikhet gäller:

$$a \cdot r_1 + b \cdot r_2 \leq c$$

Mindre ambitiös metod:

- Punkten P anses som skyddad av närhet till ön om  $\|P-Q\| < R + \text{eps}$ ; där eps är en proximitets-konstant
- Punkten P är skuggad av ön sett från A om både  $L_{PA}(Q) < R$ , och inreprodukten  $\overline{PQ} * \overline{PA} > 0$ .

Om dessa villkor är uppfyllda, sätts hotfaktorn  $S(\cdot)$  till  $S(P, A) = s < 1$ ;

Flera hotande enheter: Beräkningen görs med avseende på var och ett av hoten individuellt.

**Notera:** En separat rutin som ger en lista på aktuella öar kommer att förbättra effektiviteten på beräkningarna. En sådan rutin skulle bara behöva anropas en gång för alla hotande enheter. Ett argument till den rutinen kunde vara ett värde som definierar vad som menas med nära till land (**proximity tolerance**).

### e) Närhet till kust

Antag att kustlinjepolygonen är tillgänglig som ett vektor-tåg. Låt positionen för P vara  $(x, y)$  och ett typiskt kustlinjesegment vara  $(x_i, y_i) \rightarrow (x_{i+1}, y_{i+1})$ . ( $x =$  nord- och  $y =$  öst-koordinaten i system RT90). Önskas: Att finna ett mått ( $d$ ) på närheten till kusten.

(NB: I ett operativt system kommer detta problem att lösas av ett professionellt GIS, geografiskt informationssystem.)

Metod 1. (enklast)

Använd  $d = y - y_0$  som ett mått på avstånd till land (kust), där  $y_0$  är en approximativ öst-koordinat för Östersjökusten.

Metod 2. Approximativ metod

Finns ett index  $i$  för vilket  $x_i < x < x_{i+1}$  och  $d = \min(y - y_{i+1}, y - y_i)$

Metod 3.

Beräkna distansen till de linjesegment som ligger inom "rimligt" nord-syd-avstånd från P. Detta minimum ger  $d$ .

Som ett allmänt mått på skydd av att befinna sig nära land kan ett uttryck som detta användas:

- $L(P) = b * \exp(-d)$ ; där  $0 < b < 1$ , och  $d$  definieras som ovan.

Vid land är  $d=0$  vilket ger  $L(P) = b$ , som är den skyddsfaktor som gäller "i hamn".

### 10.5.2 Positionssäkerhet

Om positionen för en hotande enhet A är dåligt känd, så påverkar detta inte i någon högre grad värderingen av hotet mot P. Lägg emellertid märke till att situationen är asymmetrisk i så måtto att en osäker kunskap om A försvagar vår förmåga att försvara oss mot (hota) A.

### 10.5.3 Multipla kombinerade hot

Diskussion.

Kombinera hotvärdena  $T_a$ ,  $T_b$  från A och B separat med någon funktion, tex.  $T_a + T_b$ , eller  $\max(T_a, T_b)$ . För att få ett mått på hotets riktningssberoende kunde man beräkna vektorsumman av de individuella hoten och sedan finna absolutvärdet av denna summa.

Om P är omgiven av hotare, kommer det kombinerade hotet att vara högt, men absolutvärdet av vektorsumman litet. Alternativt kunde man använda vinkelintervallet som innefattar riktningarna till alla de hotande enheterna som ett mått på hotets direktionalitet eller riktningsspridning. Om P är omringad kan vinkelspridningen vara nära 360. Men vi kommer inte att här vidare utveckla denna idé.

## 10.5.4 Subrutinanrop för totalt hot.

Threat (x, y, dt);

där:

- (x, y) = position mot vilken det totala hotet skall beräknas
- dt = tidsskillnad ( 0) från aktuell tid (nu)

Resultat:

- Den predikterade hotnivån i punkten (x, y) vid tidsskillnaden dt från räknat från tid nu, med hänsyn tagen till alla kända fientliga enheter.

## 10.6 Passiv detektionskvalitet

### 10.6.1 Detektionskvalitet i en punkt

Önskas: Ett mått på övervakningsnivå eller kvalitet via pejltrustningar (SIS) som arbetar i par.

Vokabulär: Pejlkvalitet (Detection quality level).

- Givet positionerna  $P_1, P_2$  för ett par av pejlare, och en punkt Q, returnera ett mått på kvaliteten vid en triangulering av punkten förutsatt att Q ligger **inom räckvidden** för utrustningen:  $D(P_1, P_2, Q)$

Förslag:

Pejl-kvaliteten i punkten Q från bäringar i punktparet  $P_1$  and  $P_2$  tas som inverterade värdet av determinanten i den differentialformel som relaterar felen i bäringarna till motsvarande fel i beräknade (x,y)-positioner.

Resultatet är detta uttryck för pejl-kvalitet:

$$D(P_1, P_2, Q) = \frac{\sin \Delta}{r_1 \cdot r_2}$$

är  $r_1, r_2$  är avstånden från  $P_1$  och  $P_2$  respektive till Q, och  $\Delta$  är skillnaden i bäring (= synvinkeln för  $P_1$ - $P_2$  sett från Q).

Värdet  $D(\dots)$  bör vid användning skalas med en multiplikativ faktor.

### 10.6.2 Pejling-kvalitet för ett cirkulärt eller polygonformat område

Använd punkt-kvalitetsrutinen ovan för att finna detektionsnivån i alla hörnen eller i några valda punkter på lämpligt avstånd från centrum. Använd medelvärdet som ett mått på kvaliteten för hela området.

### 10.6.3 Pejling mot flera mål

För beräkningen av total detektionskvalitet behövs ett viktat mått. Målet för pejlingen kan var både fientliga enheter och specificerade **polygon**-formade områden som skall övervakas.

Den föreslagna algoritmen:

Om  $D_i = D_i(P_1, P_2)$  står för detektionskvaliteten gentemot objekt nr 'i', från trianguleringspositionerna  $P_1$  och  $P_2$ , då skall den totala kvaliteten för positionspar

$P_1$  och  $P_2$  mot alla objekten  $i= 1,2,\dots,n$  vara  $= D/(1+D)$ , där  $D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$

Subrutin-anrop för pejlingskvalitet:

Dquality (x1, y1, x2, y2, dt);

där:

- $(x_1, y_1)$  = position för första pejlaren
- $(x_2, y_2)$  = position för andra pejlaren
- dt = tidsskillnad från aktuell tid (nu)

Resultat:

Värdet skall utgöra ett betyg på totala detektions-potentialen från ett par av samarbetande pejlare som befinner sig i positionerna  $(x_1, y_1)$  och  $(x_2, y_2)$ , när dessa utnyttjas mot alla kända fientliga enheter i lägesbilden.

## 10.7 Kommentar

För att utröna om ovanstående idéer kan ges praktisk tillämplighet, måste till att börja med simuleringar vidtagas i demonstratorn.

Ingående moduler måste avvägas mot varann, och hänsyn tagas till beräkningskapacitet hos datorsystemet.

Sist men inte minst måste kopplingen till verkligheten undersökas och frågan huruvida hot överhuvudtaget kan kvantifieras som skalära siffervärden ges ett ingående studium.

## 11 Presentation av en hotsituation

### 11.1 Bakgrund

Många olika typer av hotsystem med olika prestanda beträffande räckvidd, följning, m.m. gör det svårt för en betraktare av en presentationsutrutsning att i en duellsituation med knappt om tid få en bild över den totala hotsituationen. Svårt är också att kunna faställa hotsituationen *mot* varje enskilt fientligt objekt.

Ett naturligt sätt att presentera hotsituationen är att avbilda rummet med det egna objektet i origo i ett polärt koordinatsystem, där avståndet till övriga objekt markeras. Hoten i form av de agerande objektens roboträckvidder kan markeras med cirklar runt resp. objekt. En sådan presentation blir, åtminstone i mer komplicerade situationer med flera objekt, svår att snabbt värdera.

### 11.2 Presentationsidéns ändamål

Nedan beskrivs kortfattat en ny presentationsidé som syftar till att lösa nämnda problem så att betraktaren får en snabb överblick av den totala hotsituationen, och att man samtidigt skall kunna fastställa om man har hotöverläge eller hotunderläge. Detta oavsett vilket inblandat objekt hotet förnimmes ifrån.

### 11.3 Presentationsidéns viktigaste kännetecken

Presentationen kännetecknas av en gemensam hotcirkel (HC) för samtliga objekt, i förhållande till vilken alla hot presenteras, och att både hot (EgHs) mot eget objekt (Eg) från annat objekt (An) och hot (AnHs) mot An från Eg markeras med var sin symbol placerade i riktning från hotcirkelns centrum mot An. Se figur på nästa sida. Det sistnämnda gör det möjligt att överlagra hotsituationsbilden (hotsituationsplanet) på lägesbilden och samtidigt presentera de sanna lägena och de sanna hotsituationerna för de olika objekten.

Hotcirkeln markerar övergången mellan området innanför hotcirkeln där en hotsituation med stor sannolikhet kan inträffa och området utanför där det inte kan inträffa. Ett hots närhet till hotcirkeln säger ingenting om hur nära förestående ett hot är från att kunna verkställas. Det gör, däremot, hotets radiella dynamik tillsammans med dess läge i hotsituationsplanet.

Presentationen gör det möjligt att lätt presentera osäkerheten i bedömningen av hotet, vilket normalt är viktigt att kunna visa. Ett hot kan då visas som ett streck i radiell riktning där längden på strecket anger graden av osäkerhet. Då är sannolikheten att hotet kan verkställas proportionellt mot kvoten mellan längden av delen av strecket innanför hotcirkeln och hela längden på strecket om hotsituationen antas vara lika sannolik utmed hela strecket. I praktiken är det mycket som är osäkert. I ett militärt fall vet man t.ex. inte om motståndaren kommer att upptäcka den egna robotavfyrningen och vända och fly, eller kommer att fortsätta på aktuell kurs. Man har dessutom inte fullständig vetskap om räckvidden för motståndarens robotar, möjligen även en viss positionosäkerhet om räckvidden för ens egna robotar. Kunskap om motståndarens position och hastighet kan

också vara bristfällig. All denna osäkerhet kan, i princip, föras över på hotets radiella utsträckning i hotsituationsplanet.

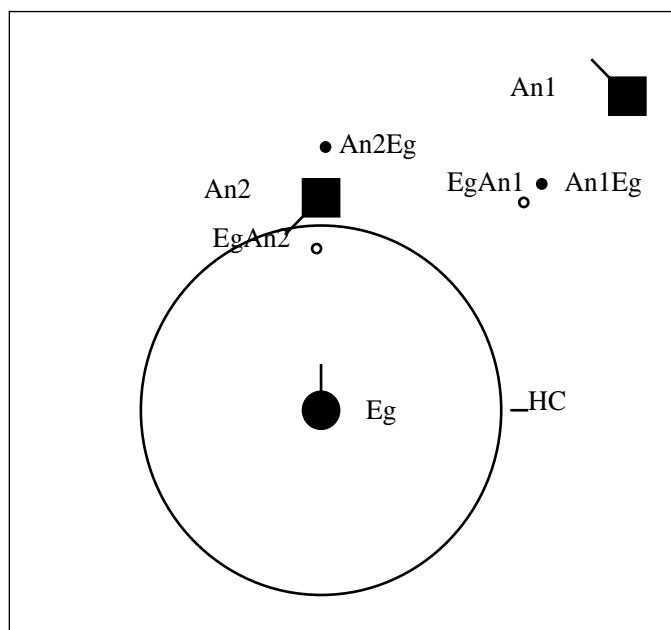
Presentationen gör det också möjligt att byta lägesplanets och /eller hotsituationsplanets skala samt att förflytta hotcirkelns centrum till en lämplig position i lägesplanet och samtidigt presentera de sanna lägena och hotsituationen för de olika objekten.

Hotsituationen, dvs hotets position i hotsituationsplanet, kan beräknas på åtminstone tre olika sätt som ger var sin presentationsform. Dessa är normerad-, avstånds- och tidspresentation.

De olika presentationssätten har olika fördelar och beroende på aktuell tillämpning kan det vara lämpligt att använda just ett visst presentationssätt. Lämpligen låter man presentationsutrustningen kunna kopplas om mellan olika presentationssätten.

## 11.4 Ett exempel

I det följande beskrivs iden utifrån en duellsituation mellan dels ett eget objekt och två andra objekt och dels två egna objekt och två andra objekt. Objekten kan vara fartyg, flygplan, osv.

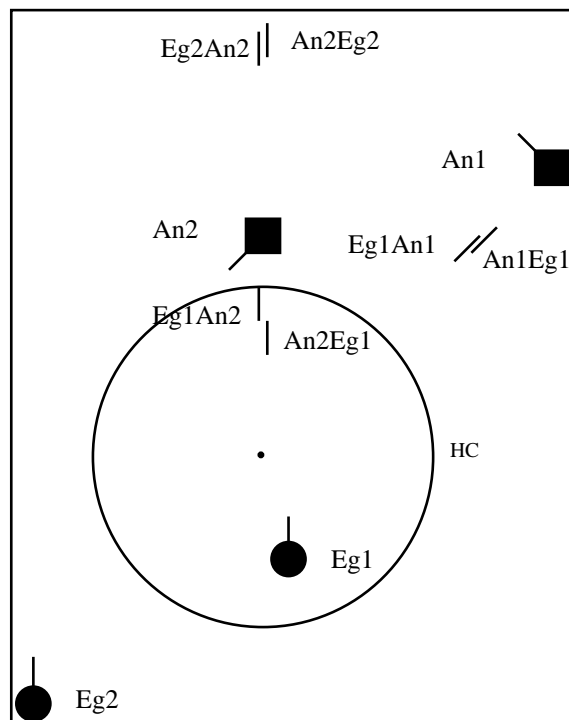


**Fig 9. Indikering i fallet ett eget objekt, och två främmande.**

I Fig 9 visas det aktuella läget för ett eget objekt, Eg, och två andra objekt, An1, An2, som presenteras av presentationsutrustningen på en bildskärm, exempelvis en taktisk indikator. Man visar också hotet i förhållande till den gemmensamma hotcirkeln. Hotet (EgAn1) mot eget objekt (Eg) från An1 är markerat med en ofylld ring radiellt från hotcirkelns centrum i riktning mot An1. Hotet (An1Eg) mot An1 från eget objekt (Eg) är också markerat, med en fylld ring, radiellt från hotcirkelns centrum mot An1. Cirkeln anger då att hotet blir akut när det skär innanför hotcirkeln.

I denna exempel utgör An2 ett akut hot mot Eg, som framgår av EgAn2 position inuti hotcirkeln. Figuren visar också att Eg är något i hotunderläge från An1 i den meningen att om deras hotsituation skulle närma sig hotcirkeln i samma ordning så skulle EgAn1 skära hotcirkeln först.

I det föregående har hot presenterats utifrån ett eget objekt, Eg, och ett eller flera andra objekt, An1, An2. Inget hindrar emellertid att man presenterar hoten från/mot *flera* egna objekt i samma presentationsbild. I Fig 10 visas hotsituationen för två egna objekt, Eg1 och Eg2, och två andra objekt, An1 och An2.



**Fig 10. Indikering i fallet två egna objekt, och två främmande. I figuren visas inte någon osäkerhet. Hotsituationen presenteras här som ett kort streck, lika för alla. Detta har den fördelen att de hot som hör ihop, dvs hotet från eget objekt mot annat objekt och det andra objektets hot mot eget objekt tydligare kan visas höra ihop och följaktligen är det lättare att uppskatta hur mycket hotöverläge eller underläge föreligger, än i ett fall med enbart punkter som tecken på hoten.**

Likaledes är det möjligt att låta användaren ange vilka hot som skall beräknas och presenteras bland ett antal tänkbara hot som ett annat objekt teoretiskt kan utgöra. Användaren kan välja att inte presentera vissa mycket osannolika hot fastän de är möjliga, för att göra den presenterade bilden lättare att överblicka. Sålunda kan användaren välja att inte presentera ett hot som är möjligt (i beaktande av objektets art), t.ex. hotet från en mycket långräckviddig robot, men osannolikt (i beaktande av detta höga pris, arten av objektets uppdrag m.m.)

I den mån en lägespresentationsbild skall överlagras, måste man bestämma vilket av de egna objekten, om något, som skall ligga i hotcirkelns centrum. Flera varianter kan tänkas. I Fig 10 visas två egna objekt där inget av dem är placerat i hotcirkelns centrum. Eg1 eller Eg2 kunde ha valts att ligga i centrum, eller så kunde centrum ligga i ett slags medelvärde mellan objekten. Spe-

ciellt i ett fall med en grupp egna objekt som har vapen med mycket större räckvidd än gruppens utbredning i rummet, kan det vara lämpligt att placera gruppen i centrum för hotcirkeln. Presentationsutrustningen kan lätt utformas så att en relativ förflyttning mellan de överlagrade bilderna kan göras.

Möjligheten att virtuellt förflytta en godtyckligt objekt gör det möjligt att prediktera hotsituationen så lång tid framåt som om en reell förflyttning hade genomförts.

Av det ovan sagda framgår att presentationen är lämplig att placeras på olika beslutnivå - från ombord en enskild plattform till på en ledningscentral. Dock har denna idé ännu ej implementerats i demonstratorn p.g.a. tidsbrist.

## 12 Företagsgruppering

I detta delproblem önskar vi finna en bästa gruppering för ett antal korvetter av typ Visby, och en ubåt. Grupperingen antas avse en specificerad tidpunkt upp till högst sex timmar framöver. Vi antar också att fartygens nuvarande positioner är givna och att en omvärldsutfattning baserad på SIS-information om scenariot över motståndarens fartygsrörelser redan existerar.

Att finna en bästa företagsgruppering innebär att något eller en kombination av några villkor skall optimeras i en viss mening. Detta något är en subjektiv värdering av vad som anses viktigt att uppnå.

I nuvarande modell väljer vi att optimera en kombination av två delar: en minimering av hotet mot egna enheter, samtidigt som vi vill maximera den omvärldsöversikt egna enheter kan erhålla i en föreslagen framtida gruppering med hjälp av egna SISar.

### 12.1 Indata

Vid beräkning av hot tar vi hänsyn till såväl hotet från motståndarens marina enheter ingående i vårt scenario samt antaget hot från flygstridskrafter. Vid beräkning av det marina hotet tar vi dels hänsyn till var motståndarens enheter kan befinna sig vid den framtida tidpunkten för vilken vi vill beräkna en företagsgruppering, samt över vilka geografiska områden dessa enheter då kan hota våra egna styrkor. Vid beräkning av flyghot gör vi en enkel approximation. Beroende på den långa tiden (fram till tidpunkten för vilken vi vill beräkna en företagsgruppering) i förhållande till flygplans gångtider, antar vi att hotet från motståndarens flygstridskrafter endast beror på östvästkoordinaten: desto längre österut<sup>1</sup> våra styrkor befinner sig, desto större hot från motståndarens flygstridskrafter.

Vid beräkning av omvärldsöversikt beräknas den översikt som uppnås från varje par av positioner. Här beräknas pejlbas, noggrannhet i positionsbestämning, samt för den händelse att avståndet del-

---

1. Här har vi betraktat scenariot utifrån ett angrepp och överskeppningsaktion över Östersjön österifrån. I annat fall får flyghotet värderas på annat sätt.

vis är för långt för SISarna så beräknas vilken andel av scenariot som kan ses från de båda positionerna. Metodiken för att beräkna hot och omvärldsöversikt beskrevs i avsnitt 10.

## 12.2 Omgivning

Beräkning av hot och omvärldsöversikt sker mot ett antal intressanta positioner där vi överväger att placera våra egna enheter (en enhet per position). Vi har för närvarande valt att begränsa antalet positioner under övervägande till 400 stycken. Detta av beräkningstekniska skäl.

I beräkningarna utnyttjar vi kartan över skärgården (kustlinje + öar) vilken är en vektorkarta innehållande slutna polygoner (öar), samt öppna polygoner (kustlinjen och öar i kanten av kartan).

Hur väljer man då 400 intressanta positioner? Vi har beaktat två villkor. För det första önskar man om möjligt att hålla egna fartyg nära kustlinjen eller nära en ö för att på detta sätt erhålla ett skydd för fartyget. Om detta ej är möjligt därför att pejlavstånd gentemot det angivna scenariot då blir för stort, kan det trots allt vara nödvändigt att gå ut på öppet vatten. Vi har därför valt att betrakta 200 positioner utefter vår kustlinje och våra öar, samt 200 positioner i en rektangel över intressant positioneringsområde. I det aktuella scenariot väljs positioner utefter kustlinjen från Sveriges sydspets till norr om Åland och utefter ett antal av de större öarna i Östersjön. Rent praktiskt väljs positionerna slumpvis genom att generera 200 slumpantal mellan 0 och kustlinjens plus öarnas totala längd. Vart och ett av dessa slumpantal motsvarar en punkt på kustlinjen eller på randen av en ö. Aktuell position fastställs därefter genom att förflytta positionen en viss sträcka ut i havet i normalens riktning till det aktuella segmentet i kustlinjens / öns polygontåg. De 200 positionerna i rektangeln är valda över området från Sverige till Baltikum och från Polen till norr om Åland, se Fig 11. Dessa punkter slumpas likformigt fördelat över området. Vid alla positionsbestämningar sker en kontroll av att positionen ligger i havet och ej på en ö eller på land.

Givet att vi nu har 400 intressanta positioner och en angiven tidpunkt högst 6 timmar in i framtiden, hur gör vi nu rent praktiskt för att finna en bästa företagsgruppering?

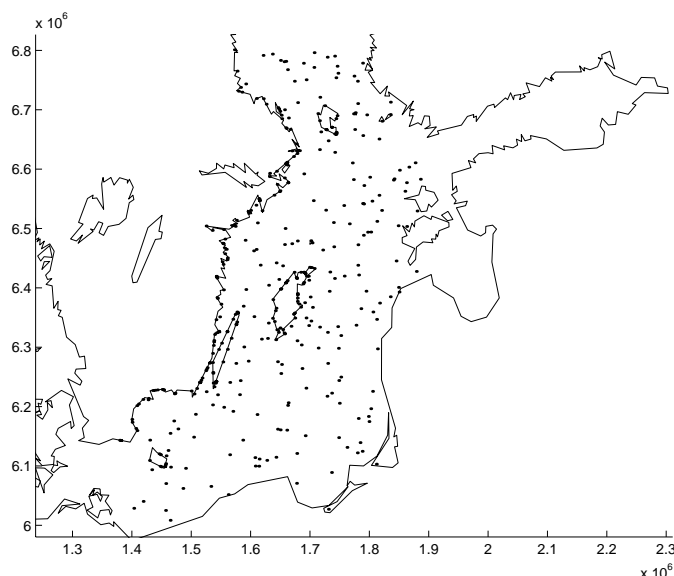


Fig 11. Ett exempel på utslumpning av punkter för företagsgruppering.

## 12.3 Gruppering

Vi önskar således finna en bästa gruppering för ett antal Kv Visby gentemot de ovan bestämda intressanta positioner och med hänsyn tagen till de nämnda bedömningarna av hot och omvärldsöversikt.

Vad vi egentligen skulle vilja göra är att snabbt klassificera varje fartyg som tillhörande en av alla dessa positioner på ett sådant sätt att bra pejlbaser uppnås som maximerar omvärldsöversikten och samtidigt minimerar hot mot egna enheter. Denna optimering är en avvägning som bygger på subjektiva värderingar av översikt kontra hot. Klassificering av denna typ gentemot en stor mängd positioner är ett beräkningskomplext problem. För att lösa det krävs att man utvecklar extremt snabba algoritmer. Vid FOA:s institution för data- och informationsfusion har vi erfarenhet av att lösa liknande problem med en extremt snabb egenutvecklad metod av neuronätstyp; Potts Spin Mean Field Theory [11]. Denna metod är dock inte omedelbart tillämplig här. Metoden kräver parvis indata (ett godhetsmått) mellan de data som ska klassificeras / klustras. I den aktuella problemställningen är problemet "bak- och framvänt:" Vi har indata för varje par av positioner, dvs hur bra pejlbas / omvärldsöversikt som kan uppnås om vi placerar ett fartyg i vardera av dessa positioner. Vi har dock inga data relaterad till par av fartyg som är oberoende av position. Att anpassa den snabba metod vi har tillgång till, även för denna nya problemställning är ett teoretiskt arbete som är för stort för att ha kunnat utföras inom ramen för detta tidsmässigt något begränsade projekt.

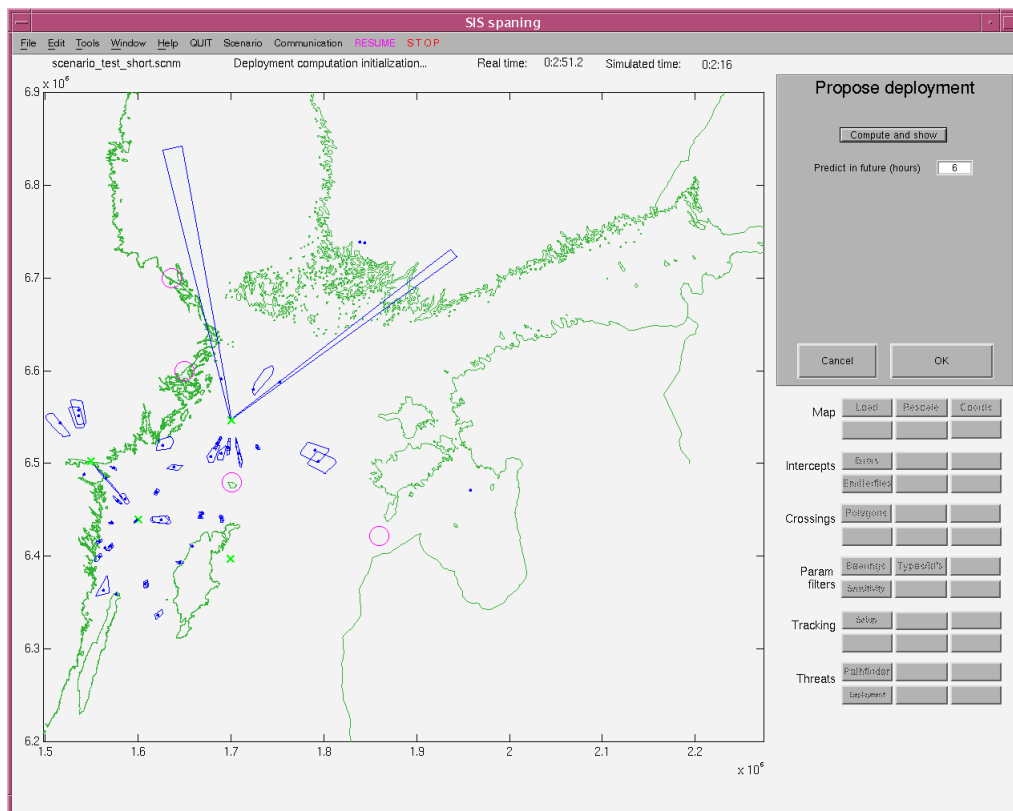
Alternativen som stod tillbuds inom ramen för detta projekt var två: Antingen använder vi en alternativ metod som klarar av ett färre antal positioner [12], säg något tiotal positioner på ett fåtal sekunder eller 400 positioner på flera minuter (enklare skolboksmetoder är här helt omöjliga). Om vi anser att det i denna tillämpning är omöjligt att vänta ett antal minuter, då löser vi det omvända problemet där vi klustrar (partitionerar) mängden av alla 400 positioner på fyra kluster (som här representerar de fyra fartygen). Detta resulterar i genomsnitt 100 positioner per fartyg och går att genomföra på ca 3 sekunder. Vi har valt detta alternativ. Utan att gå in på detaljer, den funktion som minimeras är följande uttryck:

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_a T_a S_{ia}^2 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \sum_a \sum_{b|b \neq a} D_{ab} S_{ia} S_{jb} \\ + \frac{\beta}{2} \sum_i \sum_a \sum_{b|b \neq a} S_{ia} S_{jb} + \frac{\alpha}{2} \sum_a \left( \sum_i S_{ia} - 1 \right)^2$$

där betyder  $S_{ia}$  att fartyg  $i$  befinner sig i position  $a$ ,  $T_a$  är hotet mot position  $a$  och  $D_{ab}$  är omvärldsöversikten (pejlbas) från positionerna  $a$  och  $b$ .

Vi kan därefter beräkna ett godhetstal för varje position, samt klassificera fartygen såsom tillhörande vissa positioner. Det är nu enkelt att inse att för varje fartyg är endast det antal positioner

som är lika med det totala antalet fartyg intressant. Vi väljer detta antal bästa positioner för varje fartyg. I vårt fall, med fyra fartyg väljer vi då de fyra bästa positionerna för vart och ett av fartygen. Övriga positioner kan vi nu lämna därhän, de kommer aldrig att väljas. Totalt har vi nu 16 positioner (här kan det eventuellt tänkas att en viss position väljs flera gånger för olika fartyg, varför det egentliga antalet med en låg sannolikhet kan vara mindre än 16. Detta utgör inget problem, men är något vi måste hålla reda på). Slutligen väljer vi den kombination av fyra positioner för de fyra fartygen som maximerar summan av positionernas godhetstal. Detta blir vår föreslagna förtagsgruppering, se Fig 12.



**Fig 12. Bilden visar en föreslagen framtida gruppering (de fyra cirklarna nära bildens mitt), sex timmar från “nu” av tre stycken Kv Visby och en ubåt (vid Gotska sandön) givet den visade aktuella lägesbilden. Vid beräkningen av föreslagen framtida gruppering har vi inte tagit hänsyn till samverkan med fasta SISar vid beräkningen av pejlbaser. Operationsområdet har ovan ansetts vara i princip hela Östersjön.**

## 12.4 Diskussion

Metoden beskriven ovan har ett antal begränsningar i indata: Vi har i omvärldsöversikten valt att behandla endast översikt med rrSIS. Vi har vid gruppering valt att behandla endast kvalitén på översikten från pejling från parvisa positioner: Om tre fartyg A, B, C pejar mot ett mål bedömer vi resultatet från A-B, A-C och B-C, men vi tar ej hänsyn till den eventuella fördelen att kombinera resultatet från alla tre A-B-C. Beräkning av översikt och hot innehåller ett antal approximationer:

Begränsningen till att endast omfatta SIS som källa till omvärldsöversikt är troligen en lämplig begränsning initialt, man skulle dock kunna komplettera den med data från exempelvis släphydrofon (TAS) om man vill uppnå högre realism. Då måste även sensorfusionsproblematiken mellan SIS och TAS redas ut. Möjligheten att ta hänsyn till egen radar om man bedömer att nyttjandet av den är nödvändig kan också studeras. Man får då utgå från att man blir röjd, vilket påverkar hotsituationen. Detta förändrar den funktion som ska minimeras och delar av den minimerande algoritmen. Huvuddragen i algoritmen förblir dock oförändrade. Ingen samverkan med fasta SISar på land har tagits hänsyn till i beräkningen av optimal gruppering.

Begränsningen till att enbart hantera parvisa positioner vid pejling är nödvändig pga beräkningskomplexitet. Även vissa andra förenklingar vid beräkning av kvalitén på pejlingen från olika pejlbasar har gjorts för att minska beräkningstiden. Trots flera approximationer vid beräkningen av omvärldsöversikt visade det stora antalet beräkningar av pejlbasernas pejlingskvalité (80200 beräkningar) bli mycket betungande. Dessa beräkningar tog hela 40 minuter att göra i demonstratorn. En alternativ implementering (i C/C++) tycks därmed oundviklig. Det har vi dock inte hunnit med att genomföra inom ramen för detta projekt.

Approximationer vid beräkning av hot och omvärldsöversikt är dels en fråga om bedömning och dels en fråga om tillgänglig tid för att utveckla sådana metoder. Om mer tid stått till förfogande kunde metoder med högre noggrannhet utvecklas. Vid bedömning av approximationerna är det dock mycket en fråga om bedömningar som kommer fram först då metoderna provas i verkliga exempel. Om flera olika egna fartyg (bortsett från ubåten) hade ingått i scenariot skulle det ha varit motiverat att förfina metoderna till att även ta hänsyn till fartygstyp vid beräkning av hot och omvärldsöversikt. Att väga samman hänsyn till hot med hänsyn till pejlqualité kan vara ett stort arbete vilket vi inte hunnit med att göra inom ramen för detta projekt. Troligen har nuvarande version av grupperingsalgoritmen tagit en för liten hänsyn till flyghotet i jämförelse med pejlingens kvalité. Fig 12 visar därför troligen en situation där flyghotet mot egna enheter bedömts som lågt till obefintligt (den mest östra positionen för en Kv Visby kan vara en indikation på detta). Möjlighet finns dock att på ett enkelt sätt, genom ett parameterintervall, ändra flyghotets inflytande på beräkningen av gruppering. Detta har dock inte gjorts.

Ubåtens position är inte begränsad på något sätt mer än till vilka positioner ubåten kan nå inom tillgänglig tid. En begränsning där exempelvis kustnära positioner är uteslutna för någon fartygstyp kan eventuellt vara naturligt.

Klustringsmetod / klassificeringsmetod: Det vore självklart intressant att utveckla en metod som gör en direkt klassificering av de egna enheterna gentemot intressanta positioner. Det är inte självklart vilken skillnad som skulle erhållas av de två metoderna. Ett möjligt problem i den nuvarande metoden skulle kunna ligga i att det slutliga valet av positioner (valet bland de 16 positionerna beskrivna ovan) genom att maximera summan av godhetstal ej är den optimala lösningen. En jämförelse av de två metoderna ger svaret.

Valet av intressanta positioner har skett ad hoc. Vi har ingen försvar för just det val vi gjort. Alternativa metoder att välja intressanta positioner kan eventuellt ha stor betydelse. Vilken betydelse ett ökat antal positioner kan ha har ännu ej provats.

## 12.5 Idéer för framtiden

Vi önskar utveckla en metod för direkt positionsbestämning av fartyg mot intressanta positioner, utan att behöva gå omvägen med att först klustra mängden av positioner gentemot fartygen. Detta bör höja kvalitén på föreslagen gruppering.

Vi vill komplettera omvärldsöversikten med andra sensorer utöver rrSIS, t.ex. TAS.

Vi vill undersöka nyttan av mindre approximativa metoder vid beräkning av hot och omvärldsöversikt, samt finna en beräkningstekniskt snabbare implementering av pejlbaseras pejlqualität. Vi önskar prova andra metoder att finna intressanta positioner och annat antal sådana positioner.

## 13 Ruttplanering

Ruttplaneraren får givet ett antal brytpunkter där fartyget ska befinna sig vid en viss tidpunkt. Brytpunkter fås från företagsplaneraren eller från operatören. Utifrån dessa brytpunkter, en karta över området och uppgifter om vilka hot som finns i området ska en rutt planeras mellan brytpunkterna. Denna rutt lämnas sedan ut som ett antal koordinater i RT90-systemet.

### 13.1 Två problem

Problemet med ruttoptimering består inte bara av att planera bästa vägen, där man måste ta hänsyn till eventuella hots läge, deras vapen- och sensorräckvidder, terräng och väder.

Förutom att ha en strategi för att planera vägen måste man representera och behandla data om terräng och hot på ett tids- och utrymmessparande vis. När man behandlar stora mängder data, i det här fallet hela Sveriges kustlinje representerad som polygoner, måste algoritmer för bestämning av skärningspunkter vara väl genomtänkta för att inte ta för lång tid. Problemet spänner på så vis över både artificiell intelligens och beräkningsgeometri.

### 13.2 A\*-sökning

För att planera vägen har vi använt oss av A\*-sökning. Detta är en grafsökningsmetod som använder sig av informerad sökning, dvs problemspecifik kunskap existerar.

I den här tillämpningen använder vi en graf för att på ett effektivt sätt kunna representera och söka i kartan. En graf definieras som en mängd element kallade *noder* och en mängd linjesegment kallade *bågar*. Kartdata representeras i grafen genom att låta noderna utgöras av hörn på polygonerna som motsvarar öar. Vilka noder som angränsar till varandra representeras som bågar mellan noderna. Att noderna är angränsande definieras som att den räta linjen mellan dem inte skär genom någon ö. Varje båge tilldelas ett värde utifrån en kostnadsfunktion. I detta fallet har vi valt att låta värdet motsvara avståndet mellan noderna.

Vid sökningen utgår man från startnoden och söker sig mot slutnoden genom att välja den av nodens barn som minimerar

$$f(n) = g(n) + h'(n)$$

där  $g(n)$  är den summerade kostnaden för att ta sig från startnoden till noden  $n$ , och  $h'(n)$  är den uppskattade kostnaden för att ta sig från noden  $n$  till slutnoden.

A\*-sökning går mycket kort ut på att man väljer det som verkar vara närmsta vägen, genom att välja den väg som har den minsta uppskattade kostnaden. Detta till skillnad från dynamisk programmering där man bestämmer kostnaden för samtliga vägar mellan start och mål, och sedan bestämmer den kortaste vägen genom att rekursivt söka sig från start till mål. Detta har den mycket stora nackdelen att både tids- och rumskomplexiteten blir exponentiell. I [13] görs en mer noggrann genomgång av A\*-sökning.

### 13.3 Vald implementation

Ruttplaneringsfunktionen anropas med de brytpunkter mellan vilka vägen ska planeras. När anrop sker hämtar funktionen kartan över området samt aktuella hots position och räckvidd. Utifrån detta bildas hotområden som läggs in i kartan. Därefter söker funktionen efter eventuella skärningspunkter mellan hot och öar. Om några sådana finns slås hotområdet och ön ihop till en ny, icke passerbar ö, i annat fall läggs hoten in p.s.s. som separata öar. Geometriska algoritmer har hämtats ur [14] och [15].

Därefter bildas en s.k. synbarhetsgraf, se Fig 13 Utifrån alla punkter som utgör hörn på öar och hotområden söker funktionen upp alla andra punkter som respektive punkt har en fri siktlinje till. Dessa punkter och linjer bildar den graf i vilken man söker efter kortaste vägen.

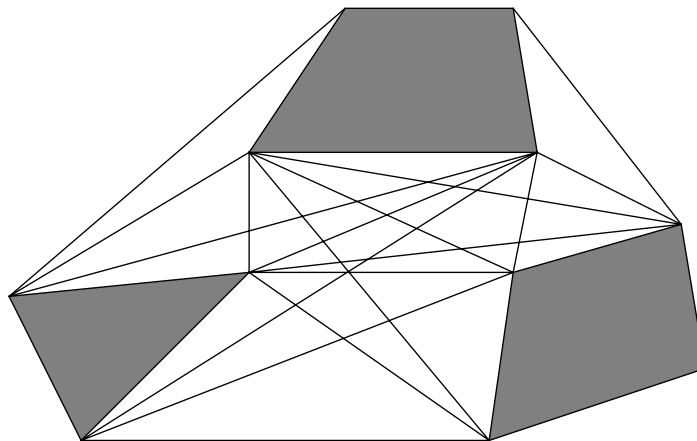


Fig 13. Synbarhetsgrafan mellan tre polygoner

I synbarhetsgrafan läggs även de valda brytpunkterna in. När synbarhetsgrafan är klar börjar man i första brytpunkten och utför A\*-sökning för att hitta bästa vägen till nästa brytpunkt. Detta upprepas tills man når sista brytpunkten.

A\*-sökning är en beprövad teknik inom artificiell intelligens för planering av rutter. Sökningen går snabbare än t.ex. dynamisk programmering. Sökningen efter skärningspunkter och andra geometriska beräkningar går också fort. Fördelen med att betrakta hotområdena som ickepasserbara områden precis som öar är att hoten kan hanteras på samma sätt som öar. Dessutom behöver man inte sätta ett värde på hur farligt det är att passera genom ett hotområde då det betraktas som ickepasserbart.

En stor nackdel är tidsåtgången för att bilda synbarhetsgraf. Algoritmen har  $O(n^3)$  tidsåtgång vilket blir problematiskt för stora kartor.

## 13.4 Förbättringar

### 13.4.1 Prediktion av hotens rörelser.

I nuvarande implementation ligger hoten stilla. Detta är naturligtvis ickeoptimalt eftersom hotens förflyttning kan göra en tidigare säker rutt mycket riskabel. Man vill kunna göra prediktioner av hur hoten kommer att röra sig, antingen en enkel modell som antar att hoten fortsätter i oförändrad riktning med maxfart. Eller så kan man skapa en regelbas som gör en intelligentare prediktion av hur hoten rör sig. Detta måste kompletteras med beräkningar av tidsåtgången för den egna förflyttningen.

### 13.4.2 Varierande storlek på hotområdena

I nuvarande implementationen betraktas det område kring hotet dit dess beväpning räcker som en ö som inte kan passeras. I en framtida ruttplanerare kan man tänka sig flera zoner kring ett hot, t.ex. en som omfattar hur långt hotets sensorer räcker och en som omfattar dess vapenräckvidd. Ruttplaneringen kan då finjusteras så att man kan välja om man vill försöka undvika upptäckt helt eller passera utom räckhåll för vapen.

### 13.4.3 Snabbare åtkomststruktur

Den naiva synbarhetsalgoritmen med  $O(n^3)$  tidsåtgång bör ersättas. Det finns två metoder för detta, dels har en algoritm för att finna sökgrafen för kortaste vägen i planet utvecklats som ett examensarbete på FOA [16], dels finns en metod med tidsåtgången  $O(n \cdot \log n)$  beskriven i [15].

Kort sammanfattat går det förstnämnda metoden ut på att man bildar en graf med betydligt mindre antal noder än totala antalet hörn i polygonerna. Alla bågar mellan noderna som utgörs av polygonhörn är delar av den kortaste vägen mellan andra polygonhörn. Detta innebär att inga onödiga bågar tas med vilket innebär att sökningen går fortare.

Den senare metoden utgår i stället från att man studerar en nod i taget och identifierar alla andra noder som är synbara ifrån den. Genom att söka cirkulärt runt denna nod och spara information från undersökningen av en nod till nästa går det betydligt snabbare att bilda en synbarhetsgraf.

Den förra metoden har fördelen att grafen blir mindre och därmed snabbare att söka i. Den andra algoritmen har fördelen att den skapar en graf betydligt snabbare. Eftersom synbarhetsgraf ska-

pas på nytt när varje gång man planerar en rutt och detta är betydligt mer tidskrävande än sökningen är så är den senare metoden att föredra.

Ännu en metodik som tidigare studerats på FOA, baserad på rumsligt resonerande, beskrivs i [17]. Denna har utvecklats i Lisp, och är snabb. Två varianter finns, där den ena är ca 40% snabbare, till priset av att den väg den finner är i snitt 2% längre än den absolut kortaste, som den andra (långsammare) metoden alltid finner. Den arbetar bl.a. genom att ur en vektorkarta identifiera alla nord- och sydspetsar på öar, uddar etc, dra horisontella linjer från dessa punkter åt bägge håll tills de träffar ett hinder (ö, fastland) för att finna fria områden att passera genom. En aktualisering av denna sökmetod kan fortfarande vara intressant.

#### **13.4.4 Begränsning av kartan**

Det är onödigt tidskrävande att alltid söka igenom hela kartan, speciellt om rutten som ska planeras sträcker sig över ett litet område. Därför skärs ett begränsat område ut ur kartan och sökning sker inom detta. Detta område måste vara så stort att lösningar inte elimineras av misstag, samtidigt som man vill hålla nere storleken på området för att begränsa tidsåtgången.

#### **13.4.5 Terrängdatabas för effektivare sökning**

För att verkligen spara tid och utrymme vid karthanteringen bör kartorna läggas in i en terrängdatabas i stället för att lagras och behandlas som filer. Med de GIS-verktyg som finns på marknaden idag kan man enkelt behandla kartdata samt lägga till och ta bort hot. På så vis kan kartdata enkelt ändras utan att man måste behandla hela kartan.

Ytterligare anledningar att använda sig av terrängdatabaser är att man slipper specialskrivna rutiner för att hämta, hantera och ändra data och det blir enkelt att utveckla nya applikationer. I [18] finns ett kapitel där geografiska databaser diskuteras mer ingående.

## **14 Sammanfattning**

Vi har i detta korta projekt (drivet under ett knappt år under 1999) sökt studera metoder för sammanställning av radarsignalspaningsinformation insamlad av flera från varandra väl separerade fartyg. Målet har varit att kunna visa hur denna information kan användas för att skapa en sammanställd bild över läget. Vi har till stor del studerat passiv målföljning med två olika metoder. Utöver det har ett grepp tagits att göra en situations- och hotanalys med åtföljande omgruppering utifrån den lägesbild som växer fram. Således har vi försökt täcka in datafusionsnivåerna 1 (multisensordatafusion), 2 (situationsuppfattning) samt 3 (hotuppfattning), samt i någon mån nivå 4 (återkoppling, resursoptimering). Idéerna har parallellt med studiearbetet omsatts i praktiken genom att bygga en demonstrator i MatLab som visar den lägesbild som kan erhållas genom att kommunicera pejlinformation och identitetsinformation om de uppsnappade emitterarna. Projektet har även haft en karaktär av förstudie eftersom vi velat definiera viktiga områden att studera vidare i ev. framtida projekt.

## 15 Referenser

- [1] Typscenariot utformat som kravspecifikation för SIS för inköpande till Ub Västergötland, FMV:Sensor, MarinC.
- [2] V.P. Broman, M.J Shensa. Bearings tracking of targets with unobservable states. I *Proc. Am. Contr. Conf.*, Vol 3, s. 1850-1854 (1986).
- [3] N. Bergman, L. Ljung, F. Gustafsson. Terrain navigation using Bayesian statistics. *IEEE Control Systems* 19(3) s. 33-40 (1999).
- [4] R. Baltes, G. van Keuk. Tracking multiple manoeuvring targets in a network of passive radars. I *Proc. IEEE Int. radar conf.* s. 304-309 (1995).
- [5] R.R. Allen, S.S. Blackman. Implementation of an angle-only tracking filter. I *Proc. SPIE Conf. on Signal and Data Processing of Small Targets*, April 1-5 (1991)
- [6] A. Holtsberg. A statistical analysis of bearings-only tracking. Doktorsavhandling, Inst. för matematisk statistik, Lunds tekniska högskola (1992).
- [7] Y. Bar-Shalom, T.E. Fortmann. *Tracking and Data Association*. Academic press (1988).
- [8] M. Karlsson, A. Malmberg, T. Jensen, L. Axelsson. Track fusion algorithm in decentralized tracking systems with feedback in a fighter aircraft application. I *Proc. 2nd Int. Conf. Information Fusion*, Vol 2, s. 733-740 (1999).
- [9] Se t.ex. <http://ait.nrl.navy.mil/people/uhlmann/OldCovInt.html> (april 2000).
- [10] Uppgift enl. Dag N H Malmström, MarinC
- [11] M. Bengtsson, J. Schubert. Dempster-Shafer Clustering using Potts Spin Mean Field Theory. Tillställd *Soft Computing*, Springer-Verlag, Berlin.
- [12] J. Schubert. Fast Dempster-Shafer Clustering Using a Neural Network Structure. I *Information, Uncertainty, and Fusion* (B. Bouchon-Meunier, R.R. Yager, och L.A. Zadeh, red.), Kluwer Academic Publishers (SECS 516), Boston, MA, s. 419–430 (1999).
- [13] T. Dean, J. Allen, Y. Aloimonos. *Artificial Intelligence: Theory and Practice*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, CA, USA (1995).
- [14] J. O'Rourke. *Computational Geometry in C*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1994).
- [15] M. DeBerg et al. *Computational Geometry. Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Tyskland (1997).
- [16] R. Elg. Sökgraf för kortaste vägen i planet. FOA Rapport C20891-2.7, Stockholm (1992).

- [17] P. D. Holmes, E. R. A. Jungert. Symbolic and geometric connectivity graph methods for route planning in digitized maps. *IEEE Trans.Patt. Anal. Machine Intell.* 14(5) s. 549 - 565 (1992).
- [18] A. Silberschatz, H. F. Korth, S. Sudarshan. *Database System Concepts*. McGraw-Hill International Editions (1997).