

FOI-R--0946--SE

September 2003

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Jan Gustavsson, Nils-Uno Jonsson, Nils Karlsson, Mathias Wilow

Studie av målinformationsutbyte mellan samverkande robotar i nätverk

Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--0946--SE

September 2003

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Jan Gustavsson, Nils-Uno Jonsson, Nils Karlsson, Mathias Wilow

Studie av målinformationsutbyte mellan samverkande robotar i nätverk

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0946--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år september 2003	Projektnummer E3013
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
Författare/redaktör Jan Gustavsson Nils-Uno Jonsson Nils Karlsson Mathias Wilow	Projektledare Mathias Wilow	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Studie av målinformationsutbyte mellan samverkande robotar i nätverk		
Sammanfattning (högst 200 ord) För att studera hur robotar kan utnyttja ett utbyte av målinformation har en simuleringsmodell tagits fram. I modellen fusioneras målsökarinformationen från de ingående målsökarna till en gemensam bild av målområdet. I arbetet har man koncentrerat sig på målsökarna och fusion av målsökardata. Med modellen kan sjöscenarier studeras. Målsökarna kan vara av olika typer t.ex. aktiv radar, passiv radar eller IR. Målen utgörs av fartyg med olika typer av motmedelssystem. Resultat av simuleringarna visar på ökade möjligheter till en noggrann målinmätning men framförallt på en väsentligt ökad förmåga att särskilja störning.		
Nyckelord Radar, målsökare, datafusion, störningsundertryckning, distribuerat multisensorsystem		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: s. 18	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0946--SE	Report type Methodology report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare	
	Month year September 2003	Project no. E3013
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Jan Gustavsson Nils-Uno Jonsson Nils Karlsson Mathias Wilow	Project manager Mathias Wilow	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) A study of target information exchange between collaborating missiles in a network		
Abstract (not more than 200 words) <p>In a study of how missiles can take advantage of exchange of target information, a simulation model has been developed. In the model the sensor information from a number of missile sensors is fused together to get a common picture of the target scene. This work is focussed on the seekers and on the fusion of sensor data. With the model sea scenarios can be studied. Different types of seekers can be used, i.e. active radar, passive radar and IR. The targets are ships equipped with EW countermeasures, i.e. radar warners and chaff. Results from simulations show possibilities to improve the overall precision of the missile sensors when their sensor information is fused together, but above all, it shows possibilities for the missiles to better withstand the effects of countermeasures.</p>		
Keywords missile, radar, sensor fusion, countermeasures, multi sensor system		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages p. 18	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

INNEHÅLL	4
INLEDNING	5
ÖVERSIKT	6
ROBOTMÅLSÖKARE	7
Modellens målsökare	7
Detektionsfel	10
Söksvep och koordinatfel	10
FUSION AV UPPMÄTTA POSITIONER	12
RESULTAT	15
SLUTSATSER OCH KOMMENTARER	17
REFERENSER	18

Inledning

Inom ramen för projektet Värdering Telekrig i radarmålsökare har ett arbete gjorts, vars syfte varit att undersöka möjligheterna att genom distribution av sensorinformation mellan ett flertal geografiskt åtskilda robotmålsökare uppnå ökad störtålighet samt ge säkrare mållägesinformation.

Många av dagens och framtidens vapenplattformar har tekniskt avancerade och effektiva försvarssystem, som även en modern sjömålsrobot kan komma att få svårigheter att ta sig genom. Om en anfallande robot däremot hade tillgång till information från ett flertal sensorer, som dessutom är geografiskt åtskiljda, så torde möjligheterna öka att skapa ett överläge genom ökad störtålighet och säkrare mållägesinformation.

Behovet av att i framtiden bygga in någon typ av datalänk i sjömålsrobotar lyftes bl.a. fram vid en sjömålsrobot-konferens i slutet av 2001 [1]. I en artikel om konferensen står bla: "There was a growing demand for anti-ship missiles to incorporate some form of data link capability, a trend highlighted by many other speakers at the conference". Även SAAB har planer på att inom några år förse Rb15 med kommunikationsmöjligheter.

Arbetets huvudverksamhet har varit att ta fram en simuleringsmodell där olika scenarier kan testas. Då både tid och resurser varit starkt begränsade så har vi valt att studera ett specifikt scenario, bestående av ett flertal sjömålsrobotar som flyger an mot ett eller flera fartyg. Tyngdpunkten för arbetet har varit att titta på duellen mellan robotarnas målsökarsensorer och fartygen, inklusive deras försvarssystem, och på vilket sätt distribuerad sensorinformation mellan robotarna kan utnyttjas för att uppnå ökad störtålighet och förbättrad målinmätning. Ingen ansträngning har således lagts på robotdynamik, styrlagar, manövreringsförmåga etc., utan robotarna och fartygen ska i modellen endast ses som bärare av sensorer respektive motmedel. Detaljeringsgraden i beskrivningen av sensorer och motmedel har också begränsningar. Val av parametrar som beskriver systemen är dock valda så att systemen uppvisar prestanda och funktionalitet som i grunden stämmer med vad som kan förväntas av verkliga system.

Styrningen och det taktiska utnyttjandet av samverkande robotar berörs inte i denna studie. Arbeten inom dessa områden finns att läsa om bl.a. i [2].

Översikt

Simuleringsprogrammet är uppbyggt i högnivåspråket Matlab.

I huvudfunktionen skapas ett fritt antal fartyg med försvarssystem samt ett fritt antal robotar med tillhörande robotdelar.

Varje robot byggs upp av en autopilot samt en sensor.

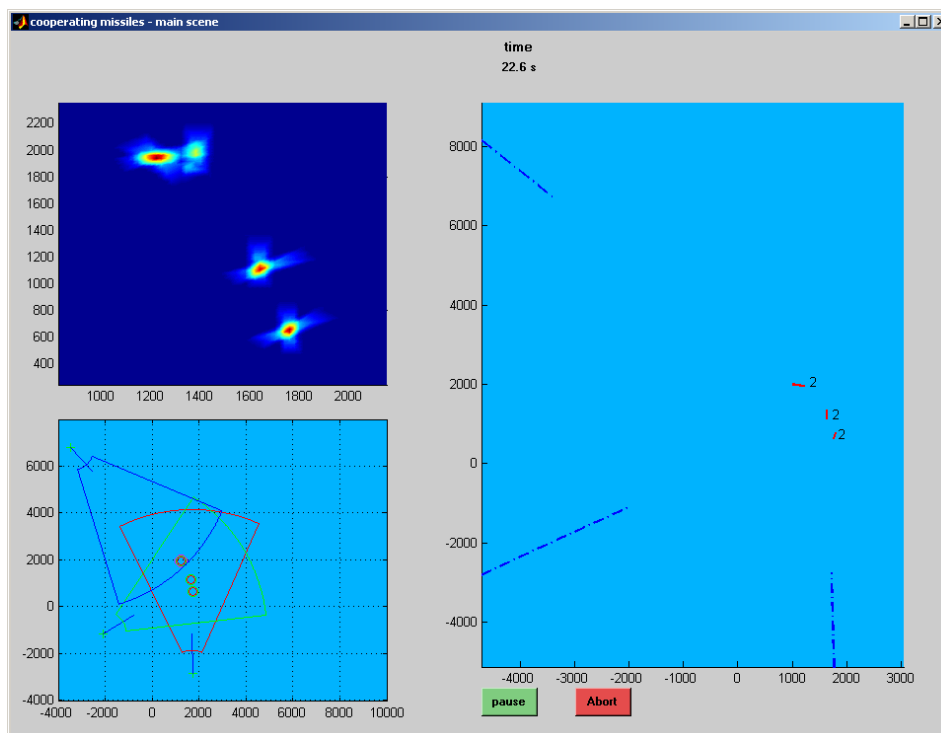
Varje fartyg kan innehålla ett valfritt antal försvarssystem. Vi har i det här arbetet valt att begränsa oss till att implementera övervakningsradar, radarvarnare, radarremсор och crosseye-liknande störning.

Fartygen rör sig under simuleringen med konstant fart längs rakbanor. Då en robot kommer så nära ett fartyg att den är inom upptäcktsavståndet för någon av fartygets sensorer så aktiveras fartygets försvarssystem. Detta sker med en viss fördröjning, som är beroende av vilket försvarssystem som först detekterat hotet.

Robotarna rör sig med konstant hastighet på konstant höjd. Varje robot mäter med sin sensor in målet/målen och får vinkel, vinkelosäkerhet, avstånd och avståndssäkerhet. Avstånd är endast relevant för robotar som har en aktiv radarmålsökare. I annat fall sätts avståndssäkerheten till ∞ . Robotarna antas veta sin egen position. Detta realiseras t.ex. med tröghetsnavigering (TN) och GPS.

Varje robot överför till övriga robotar sin egen position samt vinkel, vinkelosäkerhet, avstånd och avståndssäkerhet till inmätta mål. Detta innebär att varje robot har tillgång till målinformation inte enbart från sin egen sensor utan från ett antal sensorer vilka är geografiskt åtskilda. Den här informationen fusioneras sedan av robotens logik med så kallad "Fuzzy Logic". Denna metod beskrivs i kapitlet om fusion nedan.

Simuleringsprogrammets användargränssnitt visas i figur 1. Till höger visas en översiktsbild, där fartyg, robotar och eventuella aktiva motmedelssystem visas. Nere till vänster ses målsökarnas sökområden samt de mål som detekterats av dessa. Uppe till vänster ses resultatet av datafusionen av målsökarinformationen.



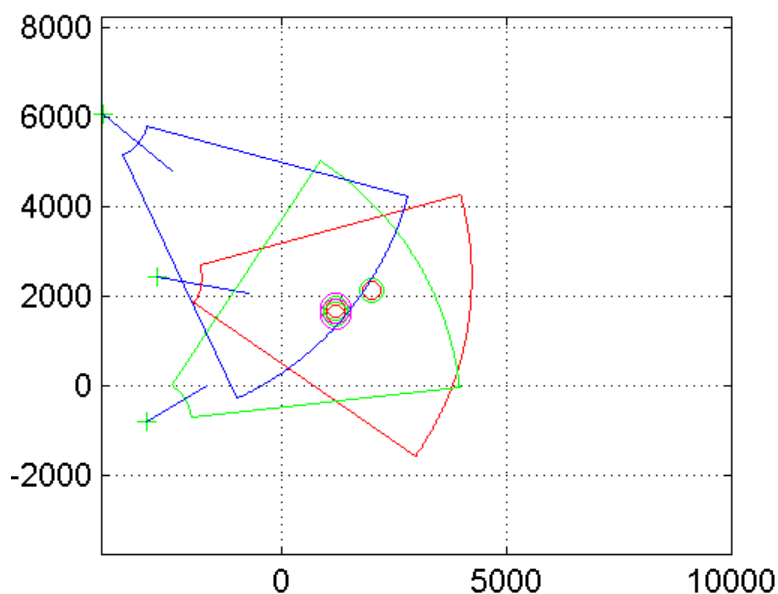
Figur 1 Användargränssnitt för simuleringsprogrammet.

Robotmålsökare

Modellens målsökare

Tre olika typer av målsökare kan hanteras av modellen, aktiv radar, passiv radar (signalsökare eller dylik) och optronisk, som kan vara IR eller synligt ljus.

Varje målsökare har ett sök område som i figur 2 är markerat med olivfärgade ramar. Dessa sök områdens utsträckning bestäms av målsökarens prestanda, och är i de flesta fallen symmetriska runt dess egen kurs. I avstånd begränsas sökningen av max- och min- avstånd. Symmetri runt robotens kurs är inte nödvändig, utan höger och vänster gräns kan definieras fritt. Speciellt för passiva sökformer som t.ex. IR eller synligt ljus är att dessa endast har vinkelbegränsning. Sikt begränsning och liknande fenomen för optroniska målsökare hanteras genom att även dessa har ett maxavstånd för sök området.



Figur 2 Figuren visar robotarnas positioner som gröna kors och deras kurser med blå streck. Målsökarnas söksområde markeras med olikfärgade ramar och målen med cirklar. För varje robot skapas en cirkel för varje detekterat mål, vilket innebär att antalet cirklar kan vara, och oftast är, fler än antalet mål.

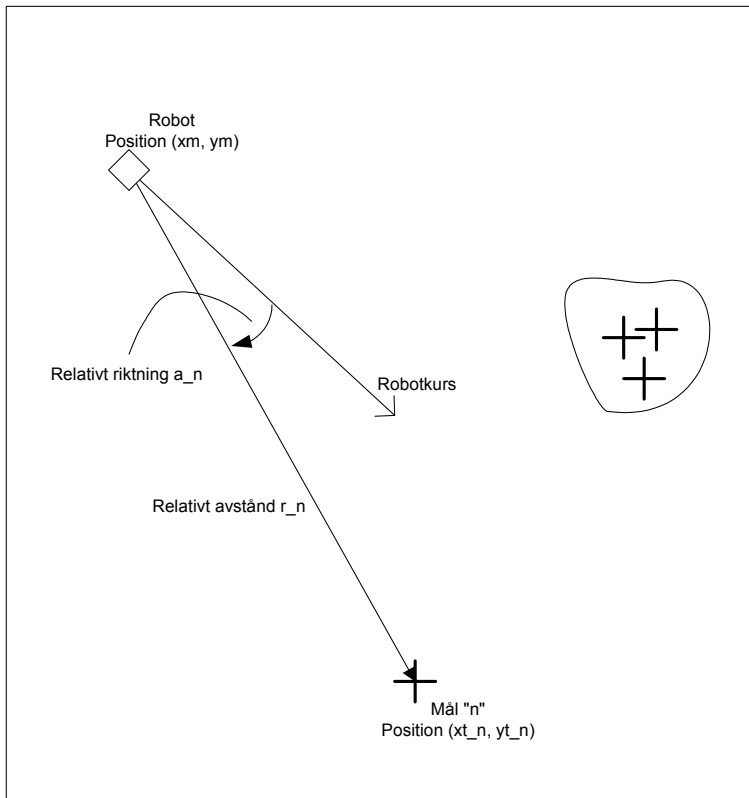
Inom det markerade söksområdet utför respektive robot ett söksvep för att detektera eventuella mål. I simuleringen görs detta genom att skillnaden mellan robotpositioner och målpositioner beräknas. Dessa ger i sin tur det absoluta avståndet mellan respektive robot och samtliga mål i simuleringen. Sedan beräknas vinkeln mellan robot och samtliga mål. Dessa vinklar räknas om till vinkelvärden relativt robotens kurs enligt relationerna

$$r_n = \sqrt{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2} \quad (1)$$

och

$$a_n = \text{angle}((x_n - x_m), (y_n - y_m)) - \text{robotkurs} \quad (2)$$

Formlernas parametrar definieras enligt figur 3. Beräkningarna utförs i MATLAB varför den fördefinierade funktionen "angle" kan användas för att beräkna vinklar till målen.



Figur 3 Här visas geometri för en robot och fyra mål. De tre mål som är inringade kan inte lösas upp av målsökaren.

Även de optroniska målsökarna behöver relativavstånden för att avgöra om målet kan detekteras p.g.a. siktbegränsningar.

För att efterlikna måldetektionen testas sedan om målen ligger inom det angivna sökområdet för respektive robot. För de mål som en robot har detekterat beräknas nu om några mål är placerade så att roboten inte kan lösa upp dessa i avstånd och vinkel (t.ex. de inringade målen i figur 3). Om mål ligger separerade ges de en klassning som enkla mål. Om de inte kan separeras kommer de att få en klassning som ges av bl.a. geometri, målarea.

Utöver klassningen enkelt mål och mål som ligger nära något annat mål finns också klassningar som beror på målets typ respektive målsökarens arbetssätt.

Från målsökarmodulen levereras följande parametrar för varje robot :

- robotens position och kurs
- de detekterade målens riktning och avstånd i förhållande till roboten
- osäkerheten i avstånd och riktning till målen
- målens klassning

För optroniska målsökare, respektive brusstörsändare finns naturligtvis inget uppmätt målavstånd, varför dessa mål ges avståndvärden som är odefinierade.

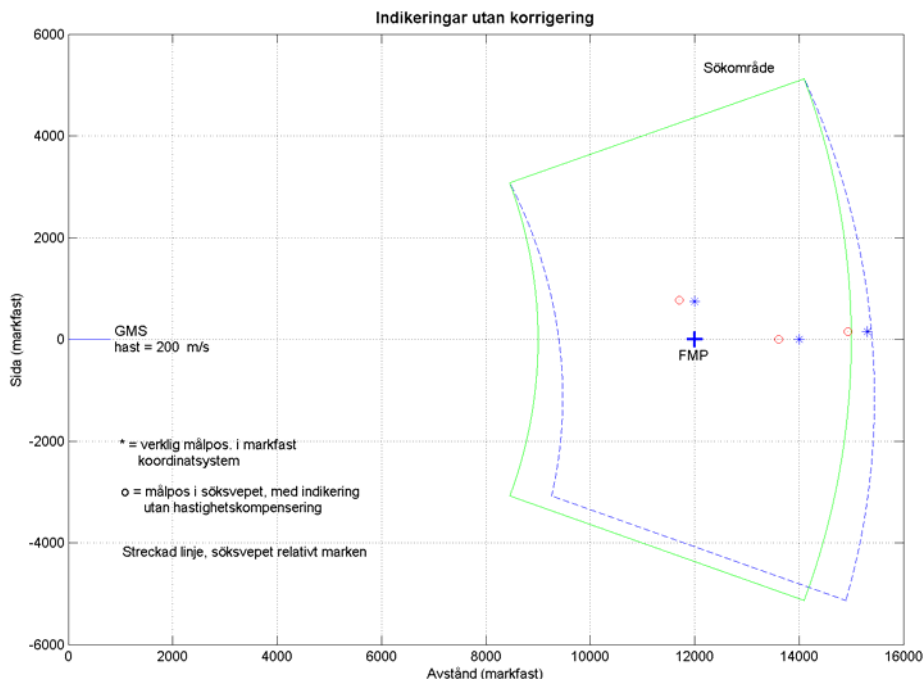
Detektionsfel

I en målsökare är de fel som kommer från målindikeringen av typen $\pm \Delta r$ för avståndet och $\pm \Delta \theta$ för vinkel. Dessa fel påverkas t.ex. av målsökarens upplösning i avstånd och vinkel samt av respektive måls signalbrusförhållande. För en radarmålsökare ges upplösningen i avstånd framförallt av dess pulslängd och av en eventuell modulation. I vinkelled är upplösningen delar av lobbrednen om detektionen baseras på signalnivå och antennrörelse, medan den för en detektion med monopolsteknik kan göras betydligt exaktare.

För mål som ligger nära varandra i avstånd och vinkel ökar dessa fel beroende på målens relativa geometrier och deras målareor.

Söksvep och koordinatfel

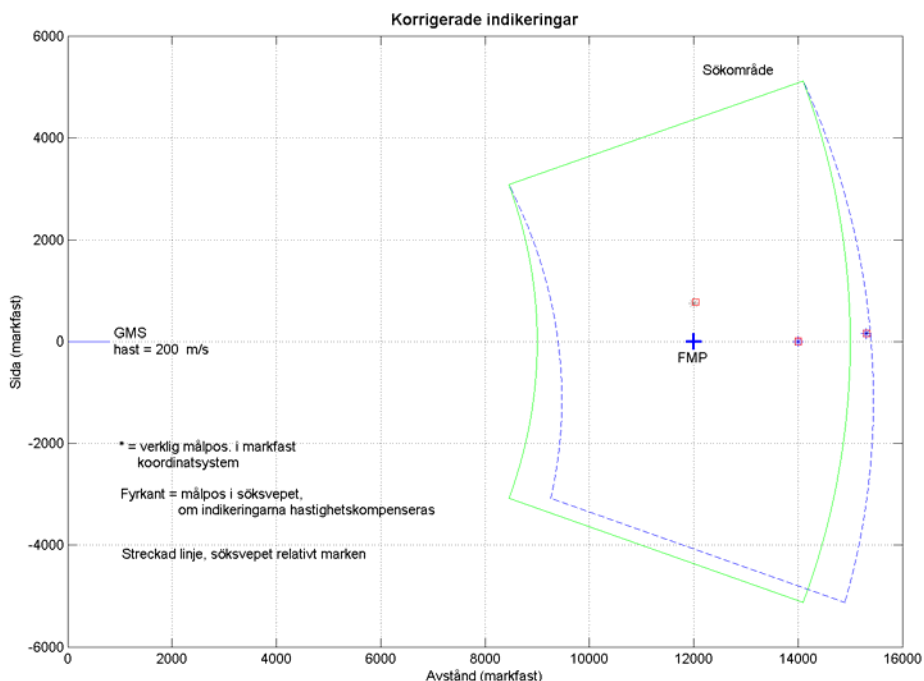
Då roboten rör sig under de mätningar den utför medför detta fel i angivelsen av målposition. I de fall då en robot har ett långsamt söksvep är robotens förflyttning under tiden för ett söksvep ej försumbar. Det inmätta avståndet till en målindikering kommer att vara felaktigt vid utbyte av målläge med övriga robotar. Detta illustreras i figur 4.



Figur 4 Fel på grund av långsamt söksvep

Grön markering i figuren visar det önskade söksområdet och den streckade blå linjen visar det verkliga områdets geometri, visat i ett markfast koordinatsystem med origo i robotens position vid söksvepets start. För att leverera koordinater som kan relateras till ett markfast koordinatsystem måste detta fel korrigeras. Den enklaste metoden är att endast ta hänsyn till robotens rörelse som en linjär translation och räkna baklänges till koordinater i ett markfast koordinatsystem. Detta korrigerar endast målavståndet varför målvinkeln inte

kommer att vara korrekt. Storleken av detta fel beror på hur stora avståndskorrekktionerna är. För att göra en korrektion i avståndsled krävs endast målandikeringarnas tidpunkter relativt tiden för sökstart och en känd robotkurs och hastighet, som hanteras som konstanta under söksvepet. Positionerna är då korrigerade enligt figur 5.



Figur 5 Korrigerade målpositioner under söksvep.

Om roboten har ett bättre navigeringssystem som kan leverera sin aktuella position och riktning i ett markfast koordinatsystem kan alla målandikeringar ges en markfast position direkt genom att räkna om målavstånd, robotriktning och antennvinkel till markfasta koordinater.

Om söksvepet sker på relativt stor flyghöjd bör även den egna höjden hanteras vid beräkning av de markfasta koordinaterna för respektive mål.

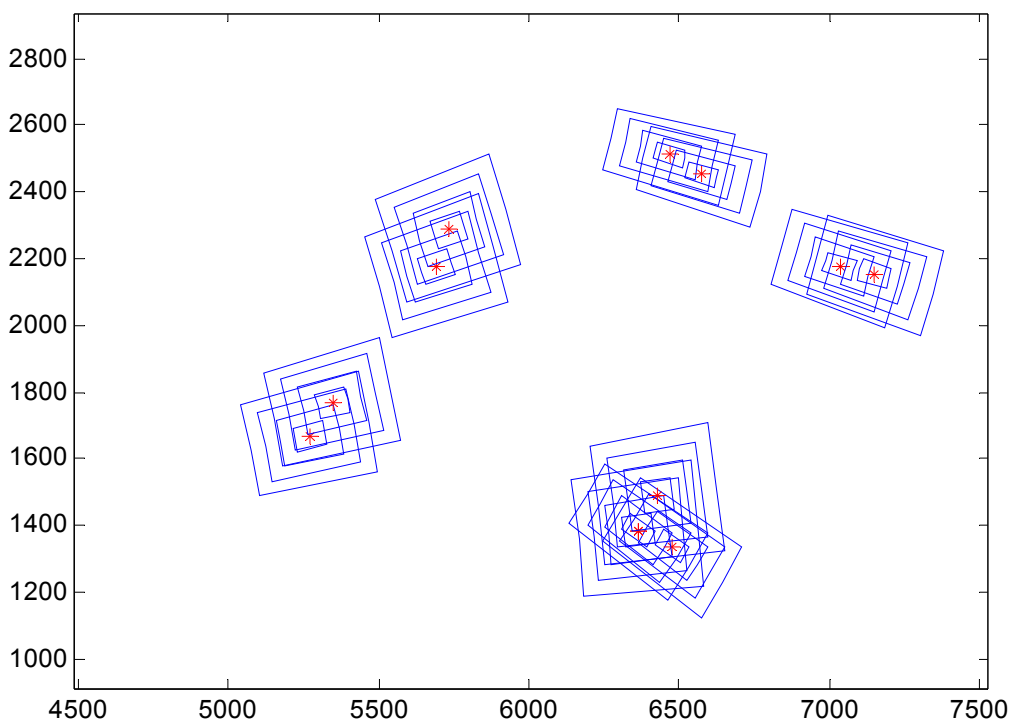
I nuvarande version av simuleringsprogrammet antas att respektive robot har ett bra navigeringssystem, t.ex. TN och GPS, som tillåter målsökaren att korrigera för inverkan av både flyghöjden och den egna rörelsen, varför de indikerade riktningar och avstånd som levereras är korrekta i förhållande till robotens egen position och kurs när data distribueras till övriga robotar. Genom detta förfarande kan alla robotar sedan fusionera gemensamma data i ett koordinatsystem som t.ex. är markfast.

I eventuella framtida versioner av simuleringsprogrammet kan det vara önskvärt att studera inverkan av de koordinatfel som beskrivs ovan.

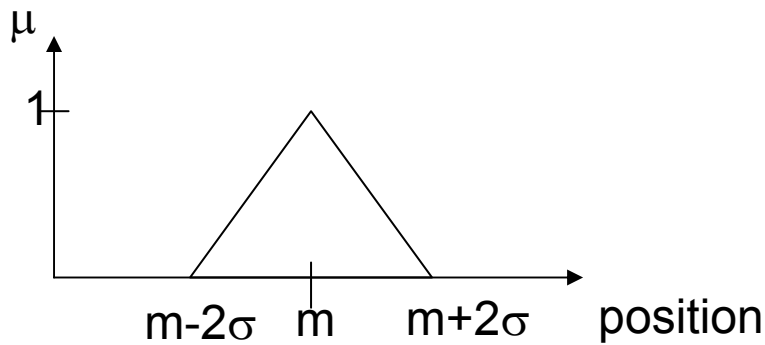
Fusion av uppmätta positioner

Varje robot har en målsökare med möjlighet att upptäcka och följa ett flertal mål. Målsökaren bestämmer riktningen till målet. Denna riktning är behäftad med en osäkerhet som härrör från målsökarens prestanda. För det fall då målsökaren är av typen ”aktiv radar” bestämmer målsökaren även avståndet till målet. Även avståndet är behäftad med en osäkerhet. Varje enskild robots målsökare mäter in riktning och avstånd till målen i ett eget robotfast koordinatsystem. Då målsökaren levererar information om avstånd och riktning till mål så skapas ett begränsat område kring målpunkterna, liknande det område som täcks av robotens sökområde, se figur 6. I de fall det saknas avståndsinformation, t.ex. för IR och passiv radar, avgränsas målområdet med en triangel vars öppningsvinkel motsvaras av osäkerheten i vinkelbestämningen till målet. Längden på triangelns vinkelben bestäms av sensorns räckvidd.

För att kunna fusionera uppmätta positionsdata från en målsökare med data från en annan målsökare transformeras positionerna från de olika robotfasta koordinatsystemen till ett gemensamt koordinatsystem. För att detta ska kunna göras måste robotarnas position och riktning vara kända. I denna första version av simuleringsprogrammet anses dessa storheter kända och ej behäftade med fel. I ett verkligt fall tillkommer ytterligare fel i målens position då dessa transformeras till det gemensamma koordinatsystemet. Detta medför inga principiella skillnader, dock blir osäkerhetsområdet omkring de uppmätta positionerna större, men kan i övrigt behandlas på samma sätt.

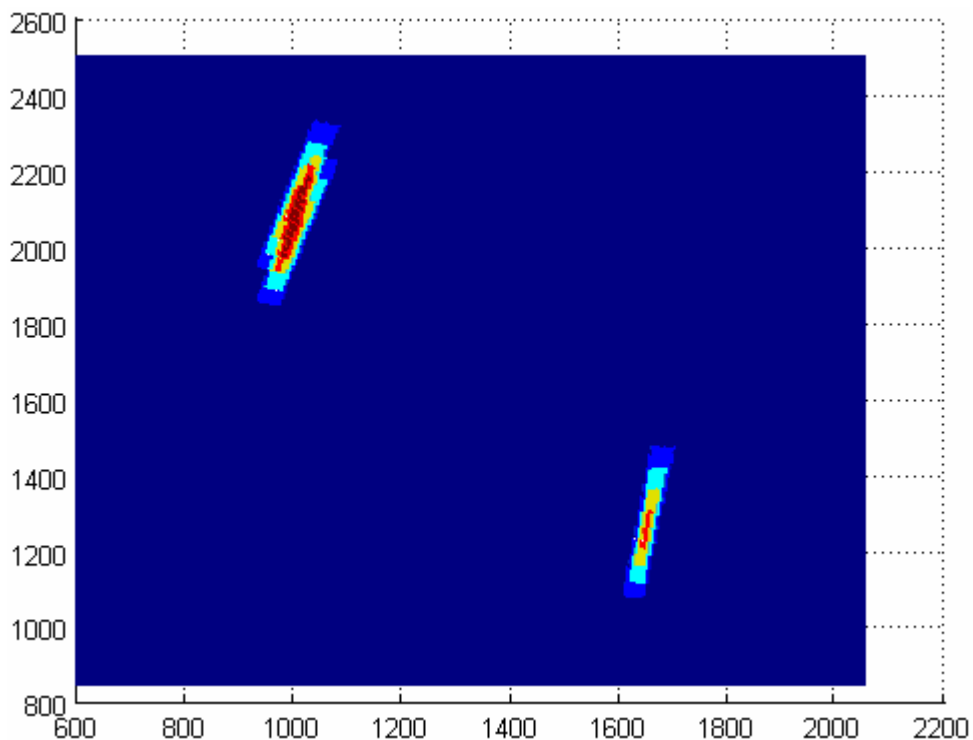


Figur 6 Här ses målens positioner som röda stjärnor. Osäkerhetsområdenas gränser är markerade med blått.



Figur 7 Fuzzy measure runt positionen m.

Målens positioner och osäkerheter anges med hjälp av s.k. "fuzzy measures" [3-6], se triangeln i figur 7. Den uppfattade positionen anges med m och ett osäkerhetsområde som t.ex. kan vara $\pm 2\sigma$. Triangeln täcker det osäkerhetsområde där målet befinner sig. Man säger att målet befinner sig på en viss position med ett "possibility measure" lika med μ . Utbredning av målets position både i avstånd och vinkelled ger en tredimensionell bild med "fuzzy measures" utbredda i två dimensioner och den tredje dimensionen anger "possibility measures", μ , i z-riktningen. Målpositionernas beskrivning kan liknas vid pyramider. För att förenkla programmeringen är pyramiderna i simuleringsmodellen av trappstegstyp. I figur 8 ses målpositioner representerade med pyramidformade "fuzzy measures".



Figur 8 Målpositioner uppmätta med en sensor av typen aktiv radar där målens positioner är representerade med "fuzzy measures".

Då värdena ligger i ett gemensamt koordinatsystem kan de fusioneras enligt formel 3 [5, 6]. Vid fusionering av de olika sensorernas information används de s.k. "possibility measures", μ , för varje position i målområdet. Dessa "possibility measures", μ , fusioneras enligt

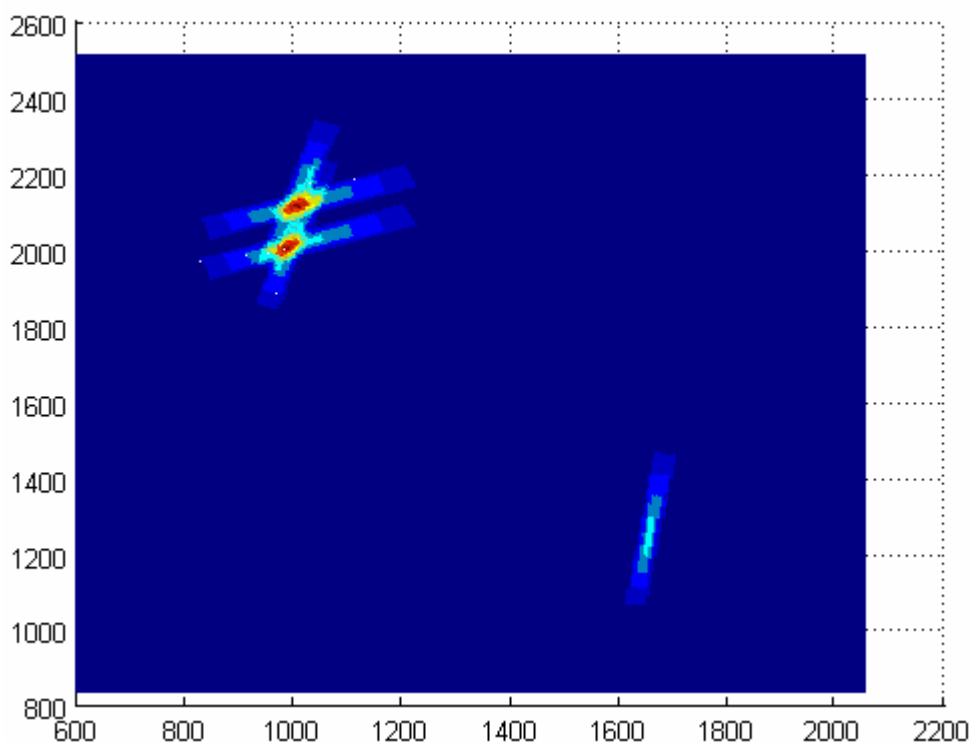
formel 3 [5, 6], till ett gemensamt värde för varje position i målområdet. Antalet ingående sensorer är N stycken. K betecknar en konstant som kan väljas mellan 1 och oändligheten, vilken i denna simulering har satts till 2. Det finns ett μ -värde för varje position och sensor.

Efter fusionering erhålles en bild över målområdet med den fusionerade informationen från samtliga sensorer, se figur 9.

$$f(\mu_1, \dots, \mu_N) = \left(\frac{1}{K^N - 1} \right) \cdot \left(\frac{-1 + K^N G_{\mu_1, \dots, \mu_N}}{1 + G_{\mu_1, \dots, \mu_N}} \right) \quad (3)$$

där G bestäms av

$$G_{\mu_1, \dots, \mu_N} = \prod_{i=1}^N \frac{1 + (K-1)\mu_i}{K - (K-1)\mu_i} \quad 1 < K < \infty \quad (4)$$



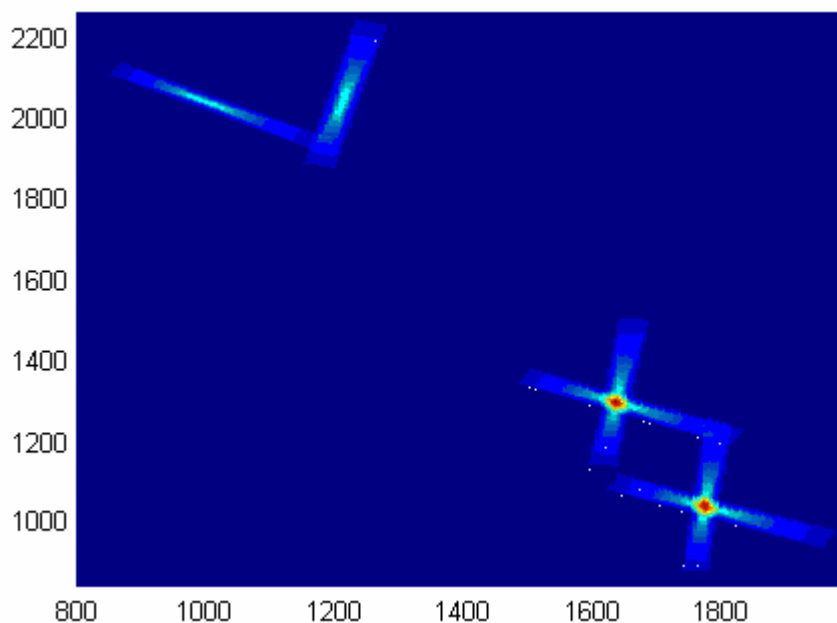
Figur 9 Bild av den fusionerade målinformationen från två aktiva radarmålsökare. Som indata till fusionen används bl.a. de fuzzy measures som visas i figur 6. Den andra målsökaren ser målen från en annan vy och därmed kan man upplösa remsorna som det ena målet sänt ut. Målet nere till höger är ännu utanför räckvidden för denna målsökare.

Resultat

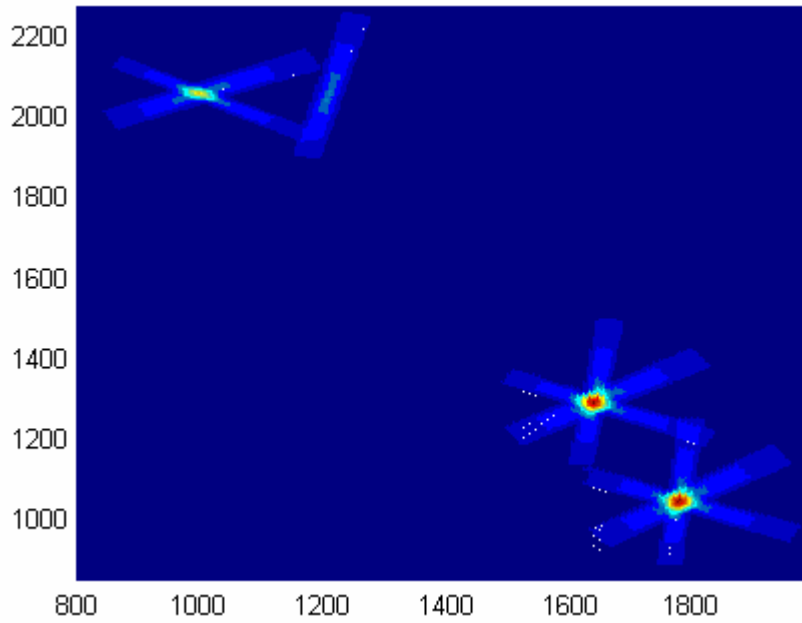
För att se hur de fusionerade målsökarbilderna hanterar ett mål som använder olika typer av störning har simuleringsprogrammet körts mot två fall: det ena är ett mål som använder remsor och det andra fallet ett mål använder crosseye-teknik.

I figur 8 ser man två mål med en målsökare. Målet uppe till vänster i figuren har skjutit remsor. Målet har blivit större i figuren men man kan inte urskilja att det egentligen är två mål. I nästa ögonblick ser en annan målsökare dessa mål från en annan riktning. Målsökarna har identiska prestanda, men i och med den andra målsökarens betraktelsevinkel till målen kan man nu tydligt upplösa två olika mål i den fusionerade bilden över målområdet, figur 9.

Vid crosseye-störning av en målsökare förvanskas målreturen så att vinkelinformationen i målsökaren blir felaktig. Då målet belyses med två målsökare enligt figur 10 sammanfaller inte målsökarnas positionsangivelse för detta mål utan det detekteras som två mål. Först då målen belyses med en tredje målsökare sammanfaller positionsangivelsen från två målsökare för detta mål, figur 11 och störningen är nu tydligt separerad.



Figur 10 Här ses tre stycken mål av två målsökare. Ett av målen använder crosseystörning mot en målsökare vilket medför att målindikeringarna inte överlappar för detta mål.



Figur 11 Här ses samma scenario som i figur 9. Nu har målområdet belysts av en tredje målsökare som är ostörd. Nu kan man tydligt se vilken målandikation som är felaktig.

Slutsatser och kommentarer

Resultatet av det arbete som genomförts tyder på att man genom användning av målinformation från ett flertal geografiskt åtskilda sensorer kan öka möjligheterna att mäta in och beräkna korrekt målposition för mål som utnyttjar motmedel.

Fusion av målinformation från olika vyer gör att störning mot enskilda målsökare kan detekteras. Man kan även mäta in målen med bättre upplösning än de enskilda ingående målsökarnas upplösning. Det finns inga begränsningar avseende typ av målsökare i denna typ av distribuerat multisensorsystem.

För att kunna dra några mer precisa slutsatser krävs en betydligt större arbetsinsats än vad som varit möjligt i detta arbete. Vidare krävs att ett stort antal simuleringar görs samt att resultaten av dessa värderas ingående.

Några förbättringar och utökningar av modellen som vore önskvärda är :

- Detektion med hänsyn till målarea- och signal brus-tröskel.
- Hur en gemensam målposition fås med hjälp av målarea m.m. när mål ligger nära varandra och interfererar.
- Hur brus påverkar avstånds- och vinkelnoggrannheten för detektionerna.
- Representation av mål från aktiv repeterstörresändare. Störaren kommer att ge upphov till ett flertal nya målpositioner som inte finns i den ursprungliga mållistan i simuleringen.

Ett koncept som är intressant att studera är hur robotar kan förbättra sitt störskydd mot crosseye-störning. Då effektiviteten av denna form av störteknik är beroende på den relativa geometrin mellan störare och målsökare (flervägsutbredning m.m.) så kommer ett antal av robotarna i en formation kunna vara ostörda och på så sätt kan en fusion av sensorinformationen ge en sann målposition även om ett fåtal av robotarna mäter in en felaktig riktning till målet.

Referenser

- [1] T. Hooton, "Anti-ship missile designers look to the future", Jane's Missiles and Rockets, December 01, 2002
- [2] P. Alvå, F. Andersson, D. Wallström, "Studie av samverkande robotsystem, Insats mot landstigen mekaniserad bataljon", FOA-R--00-01799-314--SE, December 2000
- [3] H. Odeberg, "Distance measures for fuzzy sensor opinions", Measurement Science and Technology, Vol. 4, No. 8, 1993, pp 808-815.
- [4] H. Odeberg, "Fusing sensorinformation using fuzzy measures", Robotica, Vol. 12, 1994, pp 465-472.
- [5] B. Carlson, "Fuzzy measures for sensor data fusion in industrial recycling", Measurement Science and Technology, Vol. 9, 1998, pp 907-912.
- [6] B. Carlson, J -O. Järrhed, Peter Wide, "A Fusion toolbox for sensor data fusion in industrial recycling", Proc. IEEE-IMTC/99, Venice, Italy, May 24-26, 1999, pp 1348-1389.