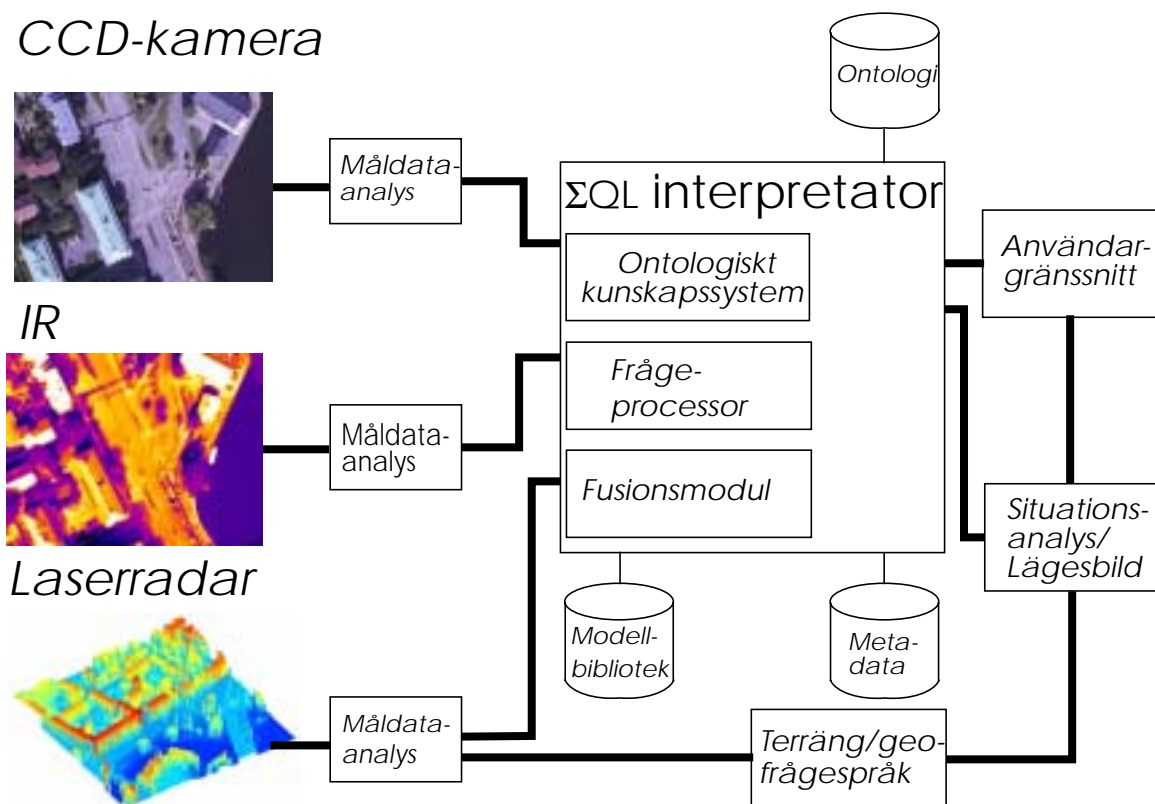


Erland Jungert, Christina Grönwall (red.)

## ΣQL

Ett beslutsstöd för måligenkänning i en multisensormiljö



Erland Jungert, Christina Grönwall (red.)

**ΣQL**

**Ett beslutsstöd för måligenkänning i en multisensormiljö**

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0692--SE	<b>Klassificering</b> Teknisk rapport
	<b>Forskningsområde</b> 4. Spaning och ledning	
	<b>Månad, år</b> December 2002	<b>Projektnummer</b> E7030
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 42 Spaningssensorer	
<b>Författare/redaktör</b> Erland Jungert                      Christina Grönwall Tobias Horney                      Karin Silvervarg Martin Folkesson                      Fredrik Lantz Jörgen Fransson                      Lena Klasén Jörgen Ahlberg                      Morgan Ullvklö	<b>Projektledare</b> Erland Jungert	
	<b>Godkänd av</b> Lennart Nyström	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Erland Jungert och Christina Grönwall	
<b>Rapportens titel</b> ΣQL - Ett beslutstöd för måligenkänning i en multisensormiljö		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>ΣQL är ett frågespråk för måligenkänning, som innefattar metoder för sensordatafusion i en miljö av multipla sensordatakällor. Detta frågespråk är avsett att användas som ett beslutstödshjälpmedel integrerat med ett ledningssystem. Aktuella sensorer kan vara placerade på olika plattformar och olika typer av sensorer kan användas. För närvarande hanteras tre olika typer av sensorer nämligen, laserradar, IR- och CCD-kamera.</p> <p>Frågespråket har utformats för att medge en enkel användarinteraktion, där användarna utformar frågor på ett sensoroberoende sätt. Detta medför att användaren kan koncentrera sig på sina arbetsuppgifter utan att ha någon djupare kunskap om sensorteknik eller tolkning av sensordata. Ett annat syfte med frågespråket är att ge stöd för situationsanalys och bidra till stöd för generering av aktuella lägesbilder. Beslutstödssystemet omfattar förutom frågespråket fyra delar för sensordataanalys, datafusionsprocess, terrängmodellering och situationsanalys. Dessa delar och statusläget för den demonstrator som byggs, beskrivs i denna rapport. Beslutstödssystemet byggs med en arkitektur som möjliggör skalbarhet, vilket är väsentligt i en nätverksbaserad miljö. För att hantera den varierande sensoruppsättningen används en arkitektur som dessutom är sensor- och sensordataoberoende. Systemet kommer att kunna användas i ett antal viktiga militära tillämpningar såsom underrättelsetjänst, spaning, övervakning samt andra tillämpningar där stöd för situationsanalys krävs.</p>		
<b>Nyckelord</b> frågespråk, beslutstöd, måligenkänning, multisensordatafusion, ontologi, digital terräng modell, laserradar, IR, CCD, diskriminativa metoder, generativa metoder, bildbehandling, särdragsextrahering		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
ISSN 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 31 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris: Enligt prislista</b>	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0692--SE	<b>Report type</b> Technical report
	<b>Research area code</b> 4. C4ISR	
	<b>Month year</b> December 2002	<b>Project no.</b> E7030
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 42 Surveillance sensors	
<b>Author/s (editor/s)</b> Erland Jungert                      Christina Grönwall Tobias Horney                         Karin Silvervarg Martin Folkesson                     Fredrik Lantz Jörgen Fransson                      Lena Klasén Jörgen Ahlberg                        Morgan Ulvklo	<b>Project manager</b> Erland Jungert	
	<b>Approved by</b> Lennart Nyström	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Erland Jungert and Christina Grönwall	
<b>Report title (In translation)</b> ΣQL - A decision support tool for target recognition in a multisensor environment		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>ΣQL is a query language for target recognition designed for an environment of multiple sensor data sources where sensor data fusion plays an important role. The main purpose of this query language is to use it as a decision support tool integrated into a command and control system. Currently, the attached sensors are laser-radar, IR-camera and CCD-camera. The sensors can be attached to various types of platforms. The query language is designed for simple user interaction where the queries are applied in a sensor in sensor data independent way. The consequence of this is that the end-users are allowed to apply their queries without any concern for sensor technology or how sensor data are analyzed, i.e. they just need to focus their attention on their primary work. A further purpose of the query language is to give support to situation analysis and contribute to the generation of a consistent operational picture (COP). The decision support system can be subdivided into five separate parts, i.e. the query language, and four modules for respectively sensor data analysis, multisensor data fusion, terrain modelling and situation analysis. These modules and the status of the demonstrator subject to implementation are described in this report. The decision support system is based on an architecture that allows scalability, which is an essential aspect for network-based environments. To properly handle varying sets of sensors the architecture is designed to be sensor and sensor data independent; this is controlled by an ontological knowledge-base. Finally, the system will be possible to used in intelligence, reconnaissance, surveillance and other applications where support for situation analysis is required.</p>		
<b>Keywords</b> Query language, decision support, target recognition, multisensor data fusion, ontology, digital terrain model, laser radar, IR, CCD, discriminative methods, generative methods, image processing, feature extraction		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 31 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

# Innehåll

1. Inledning	5
1.1 Försvarsnytta och vision	5
1.2 Mål och syfte	6
1.3 Definitioner	7
2. Beslutstöd	8
2.1 Sensordataoberoende	8
2.2 Frågespråk	9
2.3 Fusionsmetodik	11
2.4 Terrängmodellering	13
2.5 Situationsanalys	14
3. Sensordataanalys	15
3.1 Typer av analysmetoder	15
3.2 En diskriminativ ansats	16
3.3 Geometrisk särdragsextrahering ("fingerprinting")	17
3.4 En generativ Gabormetod	19
3.5 Modellbaserad särdragsextraction	22
4. Demonstrator	24
5. Sammanfattning och planer	24
Referenser	28
Bilaga 1: Projektpublikationer, jan, 2000- dec, 2002	30

## 1 Inledning

Generella beslutsstödshjälpmedel, anpassade till olika ledningssystemtillämpningar, kommer att bli en nödvändig del i det kommunikationsnätverk som ingår i det framtida svenska försvaret. Dessa beslutsstöd kommer i första hand att utgöras av komplexa programvaror som måste vara anpassade till en mängd olika tillämpningar. Det kommer att bli mycket kostsamt att utveckla beslutsstödshjälpmedel för var och en av dessa tillämpningar, i stället behövs generella beslutsstöd som kan anpassas till olika tillämpningar. Ett förslag till ett sådant generellt beslutsstödshjälpmedel diskuteras i denna rapport.

Detta beslutsstöd är avsett för den klass av tillämpningar där data från multipla sensorer utnyttjas. Sensorerna kan vara placerade på olika plattformar och olika typer av sensorer kan användas. I en sådan miljö krävs ett system som klarar heterogena sensordata och att antalet sensorplattformar och sensortyper varierar över tiden. Tekniker som sensordataoberoende och sensor-datafusion är centrala. Inom projektet ISM (informationssystem för måligenkänning) pågår utvecklingen av ett generellt beslutsstödssystem anpassat för det nätverksbaserade försvaret (NBF). ISM-projektet genomförs vid FOI med deltagare från avdelningarna för Ledningssystem och Sensorteknik. Föreliggande rapport är en lägesbeskrivning av arbetet inom ISM.

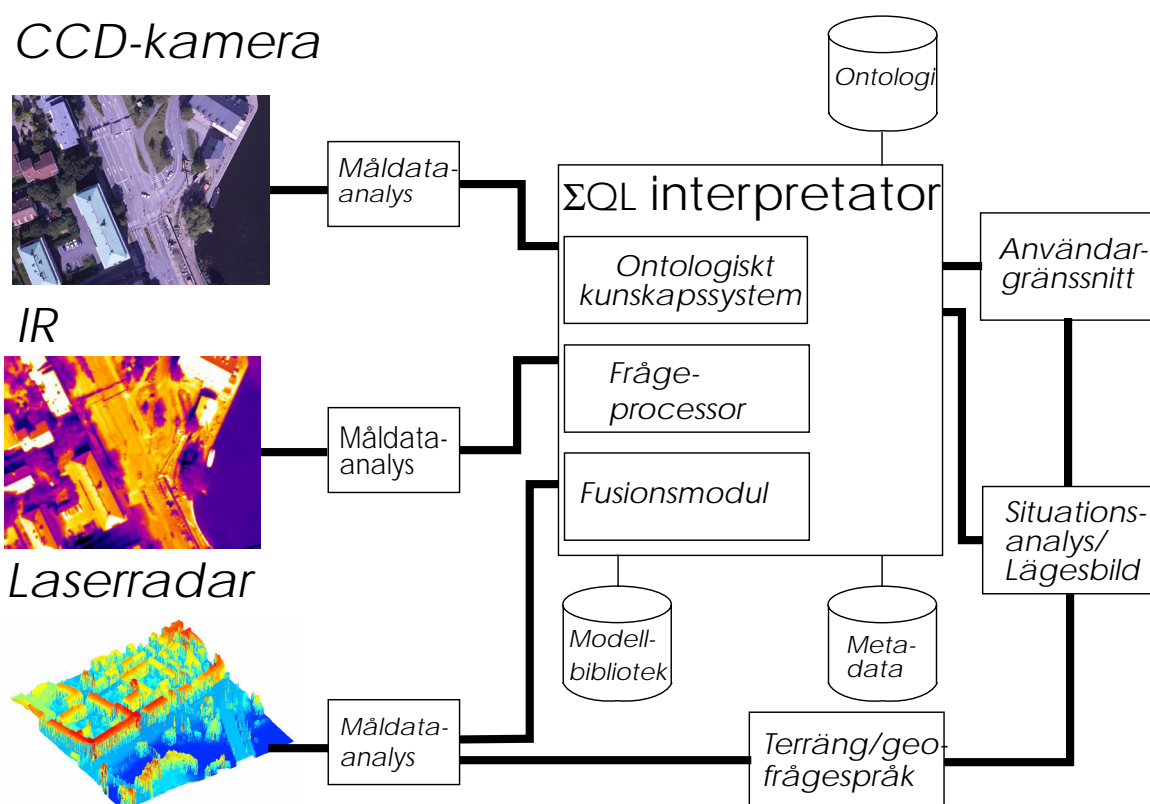
### 1.1 Försvarsnytta och vision

Beslutsstödssystemet som beskrivs i denna rapport utgörs väsentligen av ett frågespråk med förmåga att söka efter olika typer av mål, främst markmål, från multipla sensordatakällor. Till detta kommer arbete med att utveckla en högupplösande terrängmodell som kan utnyttjas för att hitta olika typer av terrängstrukturer bl a för bestämning av framkomlighet för olika typer av markfordon. Båda dessa faciliteter skall bidra till en *kvalitativ* förbättring av informationsinnehållet i den gemensamma lägesbilden.

Analys av data från sensorer utgör en väsentlig del av projektet, speciellt med inriktning mot måligenkänningsproblematiken. När multipla och heterogena sensorer används kan man mäta fler fenomen hos målet. För varje sensortyp behövs signal- och bildbehandlingsmetoder som bearbetar data på ett adekvat sätt. Det i sin tur innebär att sensordatafusionen blir bättre och säkrare, beräkningsbördan minskar, möjligheterna till realtidstillämpningar ökar (viktigt i det framtida NBF) och att sensorsystem (där signal- och bildbehandling ingår) kan tas fram som ger

försvarsmakten nya förmågor. Vidare bör dessa sensorsystem kopplas ihop med ledningssystemen och beslutsprocessen. Det beslutsstöd som beskrivs i denna rapport är ett exempel på hur denna sammankoppling kan göras.

Detta beslutsstödssystem byggs med en arkitektur som möjliggör skalbarhet, vilket är en väsentlig egenskap i en distribuerad nätverksmiljö. Detta medför att systemet i väsentliga avseenden kommer att kunna arbeta autonomt vilket också är av betydelse i en nätverksbaserad miljö. Beslutsstödssystemet kommer att kunna användas i ett antal viktiga militära tillämpningar såsom underrättelsetjänst, spaning och övervakning samt andra tillämpningar där stöd för situationsanalys krävs. Till detta kommer att det kan utgöra en del av ett planeringsverktyg.



Figur 1. En systemöversikt av informationsystemet och dess heterogena indata.

## 1.2 Mål och syfte

Syftet med projektet är att täcka hela kedjan för måligenkänning, från sensorerna till gränssnittet mot användaren. I kedjan ingår bl a sensornära egenskaps- och särdragsextraktion och associering av data. Ett koncept för informationssystem för måligenkänning, med tyngdpunkt på optroniska multisensorsystem, utvecklas och demonstreras, systemets struktur framgår av figur 1

och diskuteras vidare i avsnitt 2.2. Detta arbete omfattar utveckling av metoder för associering och fusionering av sensordata samt metoder för måligenkänning och situationsanalys med hänsyn till osäkerheter i inkommande information. Informationssystemet skall kunna integreras i ett ledningssystem och innehålla ett kraftfullt interaktionssystem, samt medge visualisering av olika delresultat i en syntetisk omvärlds- och situationsbeskrivning.

Huvudmålen inom projektet är att

- utveckla signalbehandlingsalgoritmer för egenskapsextraktion,
- demonstrera måligenkänning av markmål med ett flygburet sensorsystem,
- demonstrera måligenkänning genom utveckling av metoder för fusion av sensordata.
- utveckla ett informationssystem för måligenkänning, baserat på metoder för frågespråk och datafusion.

Tillämpningen för informationssystemet är måligenkänning av markmål från ett flygburet sensorsystem. Inledningsvis har en sensoruppsättning valts som består av laserradar (3-D och reflektansdata vid 1,06 m), digital elektrooptisk kamera (visuellt) och IR-kamera (8-9  $\mu\text{m}$ ). Även en annan typ av laserradarsensor, avståndsselektiv avbildning, används. Med den vill vi på sikt visa på möjligheten till måligenkänning från flera samverkande plattformar. Under projektets gång har flera mätkampanjer genomförts; den senaste och samtidigt den mest omfattande finns beskriven i [1]. De publikationer som producerats inom ISM återfinns i bilaga 1.

### 1.3 Definitioner

I måligenkänningen försöker man att skatta vad det okända föremålet, *målet*, kan vara för något - ett flyttblock, ett hus eller ett militärt fordon. För att avgöra detta jämför, dvs *matchas*, målet med olika *modeller* av t ex fordon. Modellerna innehåller à priorikunskap om fordonen, i detta fall beskrivs varje modell med sin 3D-form (*CAD-modell*), IR- och färgtexturer. När man matchar målet mot en viss modell, testar man *hypotesen* att målet kan vara ett *objekt* av samma typ som modellen. Eftersom matchningen inte kommer att vara perfekt, inte ens när man matchar rätt par, beräknas också ett *trolighetsvärde*. Internt representeras detta som ett normaliserat tal



i intervallet 0 till 1, där värden som ligger nära 1 har stor trovärdighet medan de som är nära 0 har låg trovärdighet. I igenkänningsprocessen skattar man också ett antal egenskaper hos målet, *attribut*, t ex hastighet, riktning och termiska signaturer. Dessa attribut kopplas till objekten. När igenkänningsprocessen är genomförd ingår måltyp och trolighetsvärde bland attributen.

## 2 Beslutsstöd

Traditionellt sett har beslutsstöd för alla typer av IT-baserade ledningssystem varit av central betydelse. Under senare tid, allt eftersom ledningssystemen har blivit mer komplexa och mer beroende av data från sensorer, har behoven av *generella* beslutsstödshjälpmedel blivit allt mer uppenbara. Bland de krav som ställs på sensorsystemen är att de skall bidra både till detektering och igenkänning av olika mål. I ISM behandlas primärt endast problemet måligenkänning. Inom ramen för projektet ingår att utveckla ett frågespråk som skall kunna integreras i ett ledningssystem. Anledning till att fokusera kring utveckling av ett frågespråk som grunden för beslutsstödet är att frågespråk tillåter en användare att ställa frågor på ett enkelt och kraftfullt sätt. Ett frågespråk har egenskaper som gör det möjligt att använda detsamma mot ett antal olika tillämpningar, dvs vi kan i detta sammanhang tala om frågespråket som en generell beslutsstödsansats. Av väsentlig betydelse i detta sammanhang är att frågespråk generellt sett skall vara baserade på enkla interaktionsmetoder. Det frågespråk som utvecklas inom ramen för ISM kallas  $\Sigma$ QL [2], [3] och kommer här att beskrivas ur olika synvinklar.

### 2.1 Sensordataberoende

Sensoroberoende och sensordataberoende är centrala begrepp i det frågespråk som ingår i ISM-projektet. Sensordataberoendet relaterar sig till databeroende som är en central del av alla databassystem, vilket tillåter modifiering av fysiska databaser utan att dess tillämpningsprogram påverkas. Introduktionen av denna egenskap var av central betydelse för utvecklingen inom databasteorin. Av betydelse i detta sammanhang är att databeroendet medger att stora datakvantiteter från multipla sensordata källor ur ett användarperspektiv kan hanteras på ett enkelt sätt. Ett resultat av detta är att användarna kan koncentrera sig på sina primära arbetsuppgifter. Användarna behöver således inte vara experter på tolkning av sensordata eller ha kännedom om vilka sensorer som skall användas under vissa givna förutsättningar. Sensordataberoende har dessutom flera andra konsekvenser såsom att nya sensortyper kan introduceras respektive avlägsnas i sensornätverket utan att detta har några konsekvenser för användarna. Detta har också som konsekvens att frågor som repeteras frekvent över kortare eller längre tids-

perioder kan tillåta att sensortyperna kan variera över tiden utan att användaren behöver ha kännedom om detta. En konsekvens av psykologisk natur är dock att användarna måste lära sig lita på systemet och de resultat som returneras. Av detta skäl måste systemet generera någon form av trolighetsmått för att indikera osäkerheten i resultaten. Sensordataoberoendet finns beskrivet ytterligare i [4].

Den lösning av sensordataoberoende som har valts inom ramen för  $\Sigma$ QL bygger på användning av en kunskapsstruktur som vanligen kallas ontologi [5]. Kopplat till ontologin finns också ett kunskapsbaserat system som styrs av ett antal regler. Villkor som kan beaktas i detta sammanhang är ljusförhållande och olika värdetyper vilka är väsentliga element vid val av sensortyp och algoritmer för sensordataanalys. En konsekvens av introduktionen av ontologin, för att uppnå sensordataoberoende, är att när användaren ställer en fråga till systemet behöver han bara ange den objekttyp som efterfrågas, vilket geografiskt område som avses samt vilket tidsintervall som skall beaktas. För övrigt hanterar ontologin problemen med vilka sensorer och vilka igenkänningsalgoritmer som systemet internt skall använda. Sammanfattningsvis kan man säga att sensordataoberoendet kommer att förenkla användarens arbete med att hitta olika typer av mål.

## 2.2 Frågespråk

Frågespråket  $\Sigma$ QL kan betraktas som ett redskap för hantering av rumslig/temporal information för sensordatafusion, där sensorerna genererar rumslig information i en temporal, sekventiell ordning. Ett frågespråk av denna typ måste kunna hantera extremt stora datavolymer med hänsyn till att sensorerna under kort tid genererar stora datamängder. En annan aspekt av betydelse är att eftersom data kommer från flera olika sensorer måste sensordata kunna fusioneras på ett adekvat sätt. I ett frågespråk av  $\Sigma$ QLs typ måste fusionen vara baserad på en snabb och effektiv fusionsmetod; den metod som används i  $\Sigma$ QL beskrivs i avsnitt 2.3.

Frågespråkets grundläggande funktionalitet och användning som framgick av figur 1 kan beskrivas enligt följande. Med hjälp av de grundläggande begrepp som framgår nedan ställer användaren sin fråga som sedan analyseras av det ontologiska kunskapssystemet för bestämning av vilka sensordata som skall användas. Därpå byggs en internfrågestruktur som delas upp i a p vilka sensorer som kommer till användning. Data hämtas sedan från de aktuella sensorerna, analyseras och fusioneras, i förekommande fall, och resultatet levereras sedan till användaren.

Styrkan i  $\Sigma$ QL är dess enkelhet som baseras på en enkel operatortyp, kallad  $\sigma$ -operator. En fråga kan specificeras av en användare i termer av användarnära begrepp såsom *sökområde* (area of interest), *tidsintervall* och *sökobjekt* (lastbil, stridsvagn etc.) samt *egenskaper hos sökobjektet*, t ex hastighet. När användaren specificerat dessa begrepp i sin fråga översätts dessa internt till en sekvens av  $\sigma$ -operatorer. En fråga kan därför besvaras genom exekvering av den skapade  $\sigma$ -operatorsekvensen. I praktiken innebär detta att den multidimensionella sökrymd, som motsvaras av de data som genereras av de aktuella sensorerna, stegvis reduceras så att den reducerade sökrymden slutligen motsvaras av dimensionen hos resultatrymden, dvs resultatet av den aktuella frågan. Huvudsyftet med att internt representera en fråga som en sekvens av operatorer är att det blir möjligt att skapa en representation under det grafiska användargränssnittets representation som kan tolkas av systemet för att besvara olika typer av frågor. Denna ansats nödvändiggör skapandet av ett välanpassat användargränssnitt som är sensordataoberoende.

I vissa fall kommer det att bli nödvändigt att tillåta olika former av *frågeförfining*. Med detta menas att det skall vara möjligt att under frågans exekvering hitta olika genvägar som medger ett snabbare besvarande av frågan. I  $\Sigma$ QL är en sådan teknik under utveckling. Exempel på ett fall där frågeförfining är möjlig är då beslutsfattaren, repetitivt, behöver få samma fråga besvarad under en längre tidsperiod. En sådan fråga besvaras successivt under ett pågående förlopp och kan formuleras enligt följande:

*Finns det några mål i sökområdet under tiden 12.00 till 24.00,  
Besvara frågan var 15 min.*

Varje enskild fråga måste besvaras med hjälp av data från olika sensortyper och där stora kvantiteter sensordata måste bearbetas. Detta kan behöva göras i konkurrens med många andra frågor och av denna anledning är kraven på effektivitet stor.

En väsentlig del av frågeförfiningskonceptet är att skilja mellan detektering och måligenkänning. Om man genom detektering först kan bestämma ett ungefärligt läge för ett antal olika potentiella målkandidater blir det möjligt att minska det aktuella sökområde till att endast omfatta den närmaste omgivningen för dessa målkandidater. Därefter analyseras data endast i den närmaste omgivningen av dessa mål. Konsekvensen av detta är att söktiderna kan kortas ner. Det ontologiska kunskapssystemet som används för att bestämma de algoritmer som skall användas

för analys av sensordata i en fråga motiveras väsentligen av att man har behov av att förfina frågor baserade på ofullständig information eller otillräcklig kunskap om omvärlden. Av denna anledning är det nödvändigt att skapa förutsättningar för att ge användaren inte bara ett stöd för val av sensorer och algoritmer för sensordataanalys utan också stöd för vilka objekt som kan efterfrågas samt vilka egenskaper dessa objekt besitter. Detta stöd tillhandahålles av ontologin som logiskt beskriver dessa egenskaper.

Det är väl känt att inga sensorer kan samla in perfekta data, dvs sensordata är och kommer alltid att vara förknippade med olika former av *osäkerheter*. Detta problem kan hanteras på flera sätt, i  $\Sigma$ QL representeras osäkerheterna i data med vad som kallas trolighetsvärden, dvs värden som anger hur stor tilltro man kan ha i svaret på en fråga. Internt representeras detta som ett normaliserat tal i intervallet 0 till 1. Detta tolkas som att värden som ligger nära 1 har stor trovärdighet medan de som är nära 0 har låg trovärdighet. Ett exempel på detta kan vara att om man får låg trovärdighet för en stridsvagn, då föreligger risk för förväxling med t ex en traktor vilket kan få allvarliga konsekvenser om man tillåter beskjutning av det aktuella målet. Mot denna bakgrund blir det enkelt att inse motivet för användandet av dessa trolighetsmått. Emellertid är det för närvarande för tidigt att säga hur man skall presentera trolighetsvärdena för en slutanvändare; för detta kommer fortsatta studier att krävas.

### **2.3 Fusionsmetodik**

I ISM kan antalet och typerna av sensordatakällor och igenkänningsalgoritmer variera över tiden. För att kunna presentera ett enhetligt resultat som är så tillförlitligt som möjligt krävs fusion av resultaten från de olika igenkänningsalgoritmerna. Datafusion beskrivs allmänt i [6], [7] och nedan diskuteras den metod som används i ISM.

Vid fusion av information avseende markmål är det nödvändigt att i fusionsprocessen ta hänsyn till existerande objekttegenskaper och olika statusvärden såsom position, storlek, hastighet etc. Emellertid är det av betydelse att man inte enbart tar hänsyn till dessa attribut utan man i ett längre perspektiv också tar hänsyn till andra aspekter såsom bakgrundsinformation. I det senare fallet kommer dock att krävas en vidare utveckling av informationssystemet.

Ur fusionssynpunkt kan problemet beskrivas som att fusionera *deklarationer* bestående av en mängd attribut. Dessa attribut kan anta binära, diskreta och reella värden. Till exempel kan en

deklaration innehålla information om huruvida målet är skymt eller inte (binärt), och vilken typ målet verkar vara av (diskret). De reellvärda attributen är skattningar av t ex målets position och form, men också en tidsregistrering för vilken deklarationen gäller. Detta innebär inte bara att inferens utifrån de olika attributen behöver göras, utan också möjligen association mellan deklara-tioner från olika tidpunkter.

Deklarationer från olika typer av datakällor omfattar olika delmängder av den totala mängden attribut. Dessa delmängder kan vara mer eller mindre överlappande. Detta bestäms av fysiska begränsningar (statiska) och av omständigheter vid tiden för insamling av data (dynamiska). Till exempel kan formen på ett mål skattas i bilder både från en vanlig kamera (dvs för synligt ljus) och en IR-kamera. Ett vanligt foto kan dock knappast hjälpa oss att avgöra huruvida ett mekaniserat måls motor är igång eller ej. Detta avgörs istället med bilder från IR-kameran. Dessutom är bristen på sekundärt ljus, som råder på natten, ytterligare en begränsande faktor för en vanlig kamera.

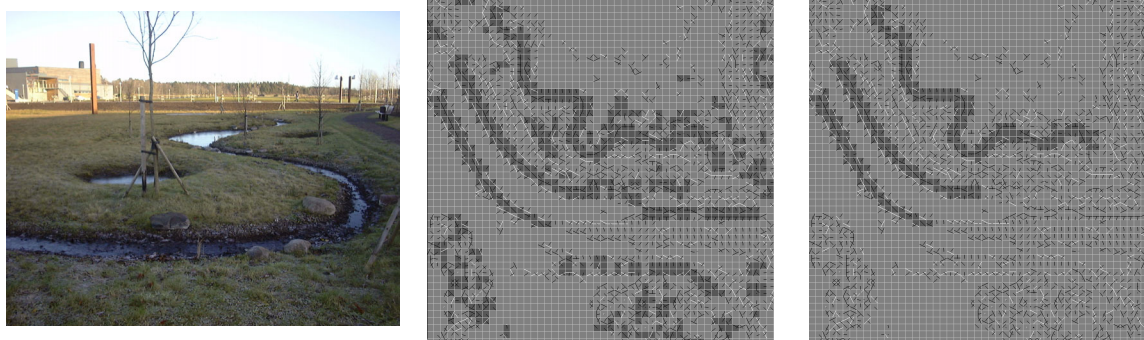
En komplikation i problemet är att en deklaration från en viss källa kan innehålla skattningar från andra källor. Detta beror på att algoritmer som jobbar mot olika typer av data visar in varandra för att öka farten i processen som helhet. Invisning kan också höja trolighetsvärdet för deklara-tionerna. I vissa situationer kan invisning vara nödvändigt, med tanke på dynamiken för de delmängder av attribut som en algoritm skattar.

Ett trolighetsmått är enligt beskrivning ovan knutet till varje deklaration. Hur detta mått tas fram är f n inte exakt fastställt. Det förväntas dock härröra från matchningen av måldata mot målbeskrivningar lagrade i ett modellbibliotek. Därför antas trolighetsmåtet, i den gällande fusionsmetodiken, vara intimt knutet till objekthypotesen.

Fusionsmetoden som f n är implementerad består av två steg. Först genomförs pluralitetsval för de attribut som antar binära och diskreta värden. Värdena för dessa attribut antas okorrelerade. För varje måltyp viktas röstningen med trolighetsvärdet. Det andra steget i metoden består i att välja ut en deklaration som är konsistent med resultatet från röstningen. Om flera deklara-tioner uppfyller detta, väljs den som har högst trolighetsvärde. Från denna deklaration tas alla förekommande reellvärda attribut. Dessa antas, i någon mening, vara fullständigt korrelerande med de attribut för vilka pluralitetsval genomfördes. Saknas några attribut för den valda deklaratio-

nen söks dessa i andra, med röstningsresultatet konsistenta, deklamationer. Kombinerat med resultatet från röstningen utgör de valda reellvärda attributen det fusionerade resultatet. Metoden kan sammanfattningsvis benämnas *exakt pluralitetsval kombinerat med en urvalsregel*, se [8]. Resonemanget bakom metoden är något omvänt, eftersom algoritmerna som jobbar mot data snarast utgår från de reellvärda, fysikaliska skattningarna. Därför är antagandet som görs att en korrekt (med avseende på pluralitetsvalet) och bra (högt trolighetsvärde) matchning härrör från korrekta och gynnsamma förutsättningar. Motsvarande framåt-resonemang är att felaktiga och/eller dåliga förutsättningar antas ge en felaktig och/eller dålig matchning.

Valet av metod grundas enligt ovan också på kravet av en snabb process. För detta ändamål antas t ex en sannolikhetsmodell vara för beräkningskrävande. Vidare fås med den enkla ansatsen som valts ett resultat med konsistenta värden, förutsatt att de ingående deklamationerna varit konsistenta från början. Detta gör resultatet användbart vid frågeförfining. Metoden degraderar dock endast på ett rudimentärt sätt. I det fall då ingen deklamation är konsistent med resultatet från pluralitetsvalet frångås detta resultat stegvis. Vidare tar metoden ingen egentlig hänsyn till associationsproblematiken, även om det faktum att röstningen genomförs med avseende på flera attribut kan innebära dataassociation i praktiken. Ett ordentlig angrepp på dataassociation-problemet återstår dock, grundat på attribut för tid, position, hastighet etc. En integrerad hantering av igenkänning och association tros vara både lämplig och nödvändig. .



Figur 2. Bilden till vänster visar en bäck som skall filteras fram. I bilden i mitten har i ett första steg ett antal kandidatobjekt filterats fram. Mittenbilden innehåller ett antal falska träffar som i den högra bilden har eliminerats. Förutom bäcken visas också två diken vid sidan av en cykelväg.

## 2.4 Terrängmodellering

Vid situationsanalys och vid generering av lägesbilder krävs inte bara information om aktuella mål och om egna enheter. Det är också angeläget att kunna presentera terränginformation i hög

upplösning. Till detta kommer att det också är nödvändigt att kunna bestämma olika former av terrängstrukturer såsom diken och andra terränghinder. Tillämpningar för det senare kan vara att ge stöd för framkomlighet, för bestämning av områden med t ex radarskugga etc. Inget av detta kan göras med existerande kartinformation, som endast finns tillgänglig i upplösningssnivåer som är otillräckliga. En sensor lämplig för att svara mot kraven på hög upplösning är laserradar som är den enda tillgängliga datakälla som kan generera data med högupplösning i tre dimensioner. Laserradardata kan dessutom användas för såväl detektion som måligenkänning.

Fördelen med den terrängmodell som utvecklats är att ursprungsdata kan reduceras på ett radikalt sätt och till en nivå motsvarande 10 till 20% av rådata vilket ur lagringssynpunkt kommer att ha en avgörande betydelse. Principen för metoden bygger på att man i ett första steg separerar markdata och övriga data som t ex svarar mot byggnader och träd. Det arbete som ligger till grund för detta finns beskrivet i [9] och [10]. Utgående från de markdata som blir tillgängliga med denna metod har sedan en högupplösande terrängmodell, se [10] och [11] med ett maxfel på  $< 0.5$  m och med ett medelfel på ca 0.2 m utvecklats. En datamodell med kompakt struktur har utvecklats med vars hjälp terrängmodellen kan visualiseras. Med hjälp av den beskrivna terrängmodellen har en filterbaserad matchningsteknik [12], [13] utvecklats för bestämning av olika terrängstrukturer. Denna teknik som beskriver terrängen med en symbolisk struktur är avsedd att användas i ett ev nytt frågespråk där syftet är att identifiera terrängstrukturer på ett användareffektivt sätt. Det skall vara möjligt för användarna att själv definiera terrängstrukturerna. En illustration av den grundläggande metodiken framgår av figur 2.

## **2.5 Situationsanalys**

Datorstöd för generering av en taktisk marklägesbild utgående från sensordata är ett centralt område när visionerna om det framtida nätverksbaserade försvaret ska förverkligas. En stor mängd data från sensorer ska på kort tid kunna omsättas till en lägesbild för att möjliggöra snabba beslut om insatser. Denna uppgift har en helt annan komplexitet för markfallet jämfört med luft- och sjöfallet, beroende på terrängens maskerande effekt, ett större antal objekt samt ett mer komplext uppträdande hos dessa.

Arbetet med situationsanalys inom ISM är i ett inledande skede. En övergripande analys av problemets karaktär och förslag på problemlösningsmetod och ramverk har formulerats i [14]. Utveckling av en försöksprototyp har påbörjats. Ett grundläggande antagande i detta arbete är att

det inom överskådlig tid kommer att förbli ofullständig och fragmenterad information som erhålls från sensorerna, där kontinuerlig målföljning av enskilda fordon eller grupper av fordon har en begränsad utsträckning i tid och rum. För att hantera de osäkerheter som detta medför i associationer mellan olika observationer behövs antaganden om målobjektens organisation och uppträdande. Eftersom sådana antaganden ofta är osäkra och beroende av ett sammanhang behövs ett samarbete mellan människa och dator, där datorn står för den beräkningsintensiva sökningen efter rimliga lösningar medan människan utnyttjar sin erfarenhet, intuition och vidare referensramar för bedömning av föreslagna lösningar och de grunder varpå dessa vilar.

### **3 Sensordataanalys**

I ISM analyseras samregistrerade data från laserradar, IR och CCD-sensor. Nedan beskrivs de bildbehandlingsmetoder som används, eller kommer att användas, för att analysera sensordata. Alla metoderna utvecklas för att vara stabila mot variationer hos målen. I all igenkänning är hanteringen av invarianser av största vikt. Man vill känna igen ett mål oberoende av dess orientering, position och antalet mätpunkter. Dessutom är det väsentligt att metoderna även kan hantera smärre avvikelser mellan modellernas ideala utseende och de fysiskt realiserade bilderna, t ex vad gäller belysningsvariation och termiskt tillstånd hos fordon. I ISM finns ett modellbibliotek (en databas), där flera modeller finns beskrivna som 3D-strukturer (CAD-modeller) med tillhörande visuella och IR-texturer. Det innebär att alla analysmetoder använder samma modellbibliotek vid matchningen.

#### **3.1 Typer av analysmetoder**

När man har detekterat ett okänt mål, i en bild, representeras målet av ett antal mätpunkter (pixlar i 2D-bilder). Om man skulle göra igenkänning på detta "punktmoln" blir i regel beräkningarna mycket tidskrävande och analysmetoderna mycket känsliga för variationer hos målet, t ex att eldröret har rört sig. I de analysmetoder som används i ISM försöker man på olika sätt effektivisera igenkänningsproblemet genom att beskriva det okända målet med ett antal egenskaper i stället för en stor mängd mätpunkter. När målet har blivit beskrivet med ett antal egenskaper jämför man det med kända modeller som lagrats i en modellbiblioteket. Målet klassificeras som tillhörande den/de objekttyp(er) som passar bäst och avvikelsen mellan målet och modellen anges med ett trolighetsmått.



Det finns två olika klasser av analysmetoder; *diskriminativa och generativa metoder*, som angriper problemet enligt olika principer. Diskriminativa metoder baseras på att objekt kan beskrivas som att de uppfyller ett antal egenskaper och i igenkänningsprocessen testas om det okända målet har dessa egenskaper eller ej (hjul, kanonrör etc). Diskriminativa metoder är i regel kraftfulla och snabba i igenkänningsförfarandet medan injusteringen (träningen) är data- och beräkningskrävande. Generativa metoder baseras på en a priori-modell som kan generera exempelbilder. Genom att mäta ett avstånd mellan målet och ett genererat objekt kan man utvärdera huruvida målet stämmer med modellen. Generativa metoder är kraftfulla och kan ge bra resultat, även på delvis dolda mål och/eller mål som varierar i form (t ex artikulationer som ett roterande torn eller kanonrör). Det är ofta arbets- och beräkningskrävande att genomföra träningsfasen och ofta är även igenkänningsförfarandet beräkningskrävande.

I ISM utvecklas fyra olika analysmetoder, varav en är diskriminativ och tre är generativa. Den diskriminativa metoden beskrivs först och sedan följer de generativa. Den första generativa metoden, geometrisk särdragsextrahering, kan betraktas som snabb eftersom den inte jobbar på en så detaljerad nivå som de två följande metoderna.

### **3.2 En diskriminativ ansats**

I denna ansats definieras modellen genom ett antal egenskaper, sk regler. Grundidén är att man har en uppsättning regler (*regelbaserade metoder* är också en vanlig benämning) som kan formuleras som ja/nej frågor. Regler för en stridsvagnsmodell skulle kunna vara som följer:

- En stridsvagn har ett kanonrör
- En stridsvagn har larvfötter.

Givet ett mål, ställer man frågan *Har målet kanonrör?*. Är svaret nej, vet man direkt att det inte är en stridsvagn, är svaret ja fortsätter man till nästa fråga. I praktiken kan givetvis inte sådana frågor ställas, eftersom de blir lika svåra att besvara som grundfrågan (*Är målet en stridsvagn?*). Typiskt har man därför försökt skapa regeluppsättningar som anknyter till enkla egenskaper hos målet. Ett illustrativt exempel på en sådan regeluppsättning för ansikten kan vara

- 1) Ett ansikte är ljust längst upp (pannan).

2) I mitten av ett ansikte finns två mörka fläckar bredvid varandra (ögonen).

3) I nederdelen av ett ansiktet finns ett mörkt objekt (munnen).

Fördelen med denna metod är att det går mycket snabbt att undersöka ett mål. De allra flesta *icke-objekt* faller förhoppningsvis redan på första frågan. Dessutom har vi kommit undan problemet med att skaffa och behandla stora mängder träningsdata.

På senare tid har algoritmer utvecklats som automatiskt skapar regeluppsättningar för klassificering [15]. Regeluppsättningarna kan baseras på enkla bildegenskaper, såsom ljusstyrka i vissa delar av bilden eller kanter/linjer, och det går därför att klassificera mål med samma effektivitet. Dock återkommer kravet på stora mängder träningsdata, nu med ännu större tyngd än de gemensamma ansatserna. Dessutom är det än mer beräkningskrävande att behandla träningsdata. Vidare är skapandet av regeluppsättningen också mycket beräkningskrävande.



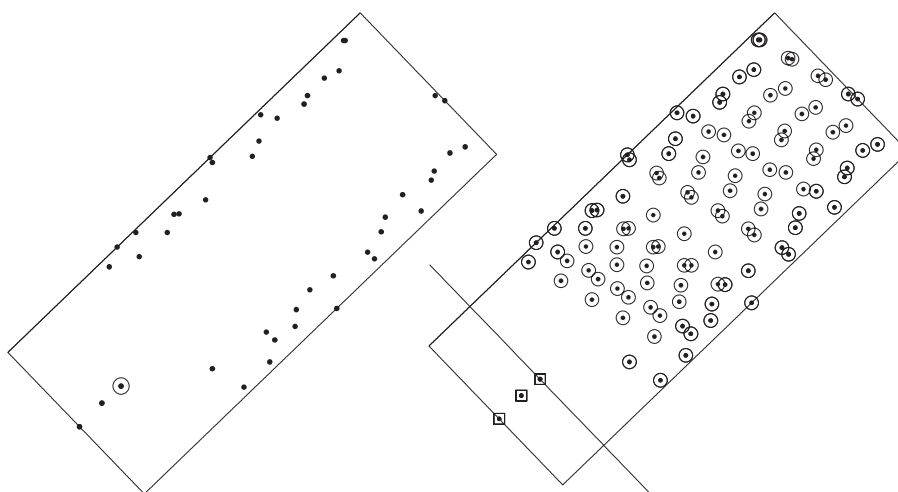
Figur 3. Tre vyer av en stridsvagn; överst till höger: bakifrån; nederst till vänster: sidovy; nederst till höger: toppvy; Överst till vänster: bild från CCD-kameran och övriga från laserradarn.

### 3.3 Geometrisk särdragsextrahering

I denna metod extraheras olika geometriska särdrag ur 3D-data från laserradarn. När målet är detekterat studeras detta först i ett ovanifrån-perspektiv. För mätpunkterna på målet beräknas

det konvexa höljet och en rektangel anpassas så att den med minsta möjliga area omsluter det konvexa höljet. Från rektangeln kan man få en uppskattning av målets längd, bredd och orientering i markplanet (*azimuth*). Metoden beskrivs vidare i [16]. Från denna rektangel får man, från orienteringskattningen, en uppfattning om målets huvudaxlar, se figur 3. Samma förfarande som gjordes i ovanifrån-perspektivet kan då utföras längs huvudaxlarna, med den skillnaden att även mätpunkterna från marken närmast målet måste tas med för att man ska få en korrekt höjdprofil. På detta sätt kan man också få en skattning av målets maxhöjd.

Om man skattar rektanglar för de två höjdprofilerna, huvudaxelns sida (långsida) och sekundäraxeln (bakifrån-/framifrånperspektiv), kan man även få indikation på om målet består av flera delar. Till exempel en stridvagn kan sägas bestå av en huvudkropp, ett torn och ett eldrör. Man beräknar vilka mätpunkter på målet som ligger för långt ifrån en sida på rektangeln för att målet ska kunna beskrivas av en rektangel. Dessa indikerar var målet kan delas i mindre delar. För dessa delar upprepas sedan beräkningarna och man erhåller en 3D-beskrivning av målets delar och deras inbördes förhållande.

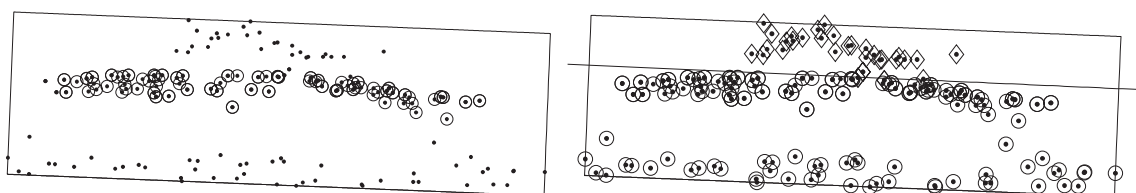


Figur 4. Vänster: toppvy, minimala omslutande rektangeln och en trolig delningspunkt är markerad; höger: uppdelningen i toppvy. Den stora delen bearbetas vidare i sidovyn.

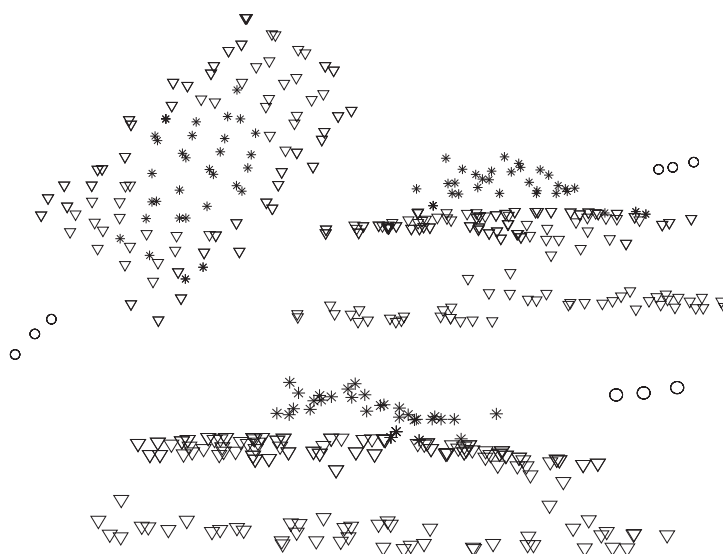
I figur 4 visas uppdelningen i toppvy. Den omslutande rektangeln beräknas baserat på yttre mätpunkter på målet. Med yttre mätpunkter menas den första och sista mätpunkten i varje svep över målet. För alla de yttre mätpunkterna beräknas det kvadratiska avståndet till den närmaste kantlinjen i rektangeln. De punkter som ligger för långt ifrån en kantlinje betraktas som möjliga delningspunkter. För varje delningspunkt separeras alla mätpunkter i två delar och rektangelberäkningen görs om för varje del. Hittas inga möjliga delningspunkter i de olika delarna över-

går man till att titta på sidovyn (längs huvudaxeln), se figur 5. I figur 6 visas målet ur alla vyer, med de olika delarna markerade. För detta exempel, en stridsvagn, kunde målet delas i tre delar; huvudkropp, torn och eldrör.

Syftet med denna metod är att göra en grov skattning av målet för att kunna avgöra dess klass (stridsvagn, lastbil etc.). Det är en stor fördel i matchningsförfarandet, då man kan begränsa antalet modeller som det okända målet ska matchas mot. En förfinad igenkänning kan sedan göras med någon av metoderna nedan. Förutom detta stöd för förfinade skattningar matchas även dessa data mot 3D-modellerna.



Figur 5. Vänster: sidovy, minimala omslutande rektangeln och troliga delningspunkter är markerade. Den översta delningspunkten testas först. Höger: Uppdelningen i sidovyn.

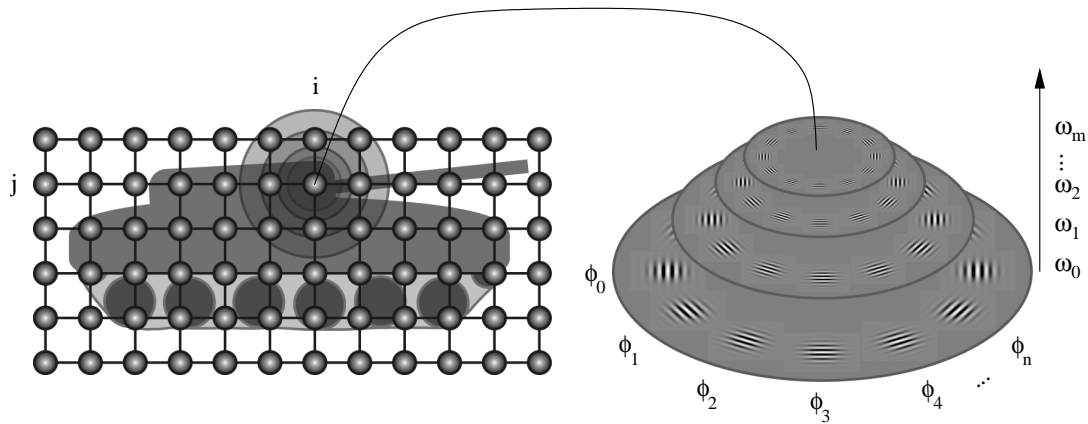


Figur 6. Målets olika delar, i toppvy (övre vänster), bakifrånvy (över höger) och sidovy (nedre). Mät punkter på huvudkroppen markeras med trianglar, tornet med stjärnor och eldröret med cirklar.

### 3.4 En generativ gabormetod

Den andra bildbehandlingsmetoden utgår från en generativ ansats för igenkänning av utbredda mål via glesa filterprober. Denna metod används främst på IR-data. För att kunna känna igen markfordon från skilda orienteringar mot varierande bakgrunder krävs ett avancerat ramverk av signalbehandling. Den här beskrivna metoden baseras på skilda arbeten inom bildanalys, t ex

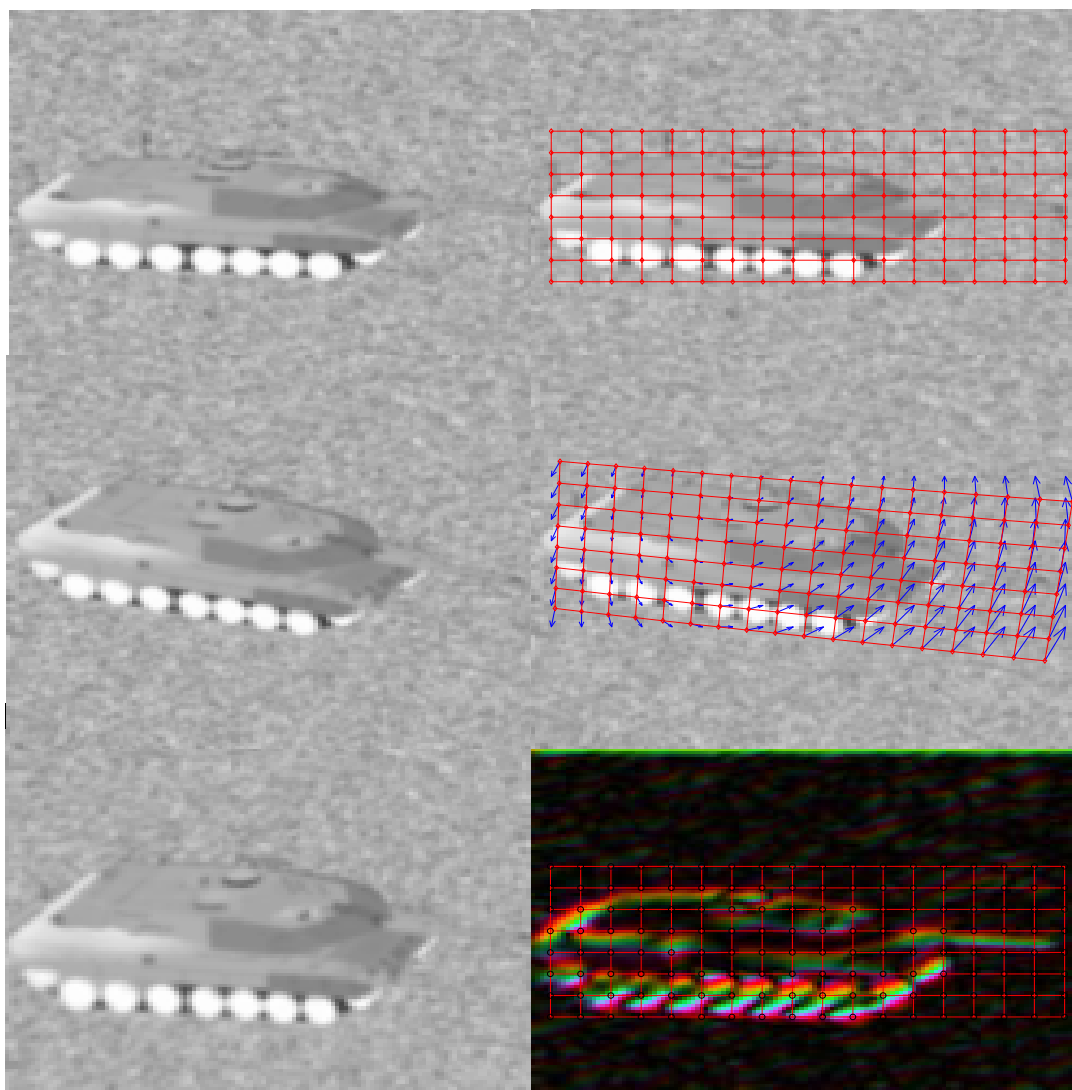
från områden som estimering av tredimensionell struktur via rörlig optisk sensor, rörelsekompenisering (plan-/parallax-uppdelning av rörelsefält) samt objektigenkänning via glesa gridrepresentationer [17], [18].



Figur 7. Representationsform av utbredda objekt i form av en gles topologisk graf med lokala filtersvar i noderna (*gaborprober*).

Den lägsta representationsformen i metoden är lokala relevanta omgivningar i bilden som representeras via en uppsättning filtersvar. Dessa filtersvar beskriver kanter och linjer i olika orienteringar och storlek (spatiell frekvens). Vissa områden har större anhopningar av sådana filtersvar, t ex längs målets kanter och vid inre strukturer. I sådana anhopningar med mycket lokal energi placeras en gaborprob, se figur 7, som alltså innehåller filtersvar som representerar målets lokala struktur. Sammanställt utgör dessa noder en gles topologisk representation som beskriver lokala kanters och linjers relation till varandra över målet. En fördel med denna representationsform är att Gaborfiltrens utsagor är oberoende av globala intensitetsförändringar av bilden, t ex en global termisk ökning. Detta illustreras i figur 8 botten höger, intensiteten beskriver lokal tendens till kant/linje i filtrets huvudorientering ( $-45^0$ ). Den glesa representationen medför att endast gaborprobens värde i noderna används i beräkningen av transformationen. Dessutom medger filterbasen möjligheter till lokal justeringar mellan objekthypotesernas position och den faktiska bilden via ett iterativt ramverk. Varje mål i modellbiblioteket överförs till ett antal fristående representationer i form av glesa gaborprober som enbart är kapabla att känna igen målet från ett begränsat spann vad gäller de fria parametrarna för skalning, rotation, och translation. Vissa modeller med enkel geometri behöver färre vyrepresentationer. I dagsläget är denna partitionering samma för alla ingående modeller. Om ingen kompletterande information

finns om avstånd och rimliga vinklar måste ett objekts samtliga hypoteser utprovas. I arbetets förlängning kan detta komma att ske i ett hierarkiskt ramverk.



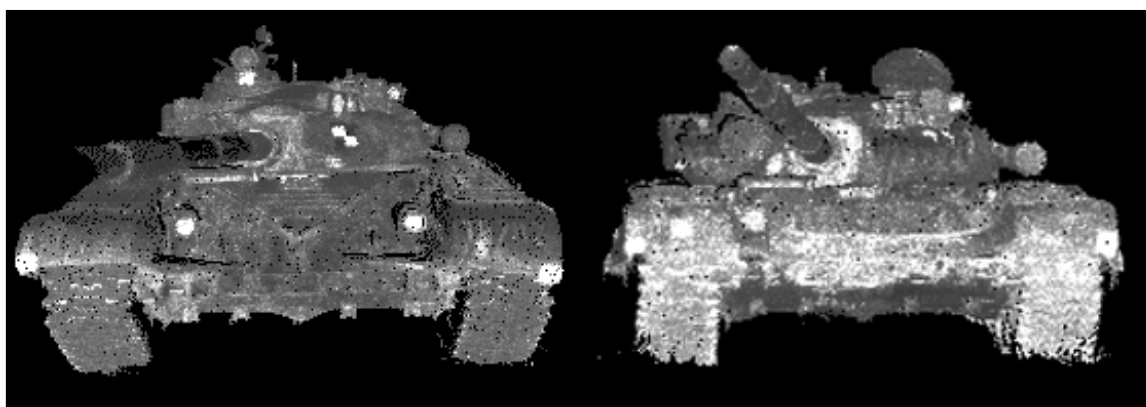
Figur 8. Topologisk matchning mellan mål och modell. Överst till vänster: referensbild,  $I_r$ , från modellbiblioteket; Överst till höger: referensbild med överlagrade nodpositioner för gaborproberna; mitten till vänster: aktuell bild  $I_a$  som skall granskas; mitten till höger: aktuell bild,  $I_a$ , med överlagrad affin transformation som minimerar globala translationer, rotationer och skjuvningar mellan  $I_a$  och  $I_r$ ; nederst till vänster: aktuell bild efter justering via den affina transformationen. Botten höger: Filterresponsen från gaborproben, känslig för kanter i  $-45^\circ$ .

Den avbildande funktionen från den tredimensionella världen till bildplanet är en olinjär avbildning som medför att direkta metoder sällan kan användas. I den här presenterade metoden utnyttjas ett IEKF-filter (*Iterated Extended Kalman Filter*) för estimering av de totalt sju parametrar (skalning, rotation och translation i 3D) som behövs för att jämföra en målhypotes till aktuell bild. I denna justering utnyttjas de lokala gaborfiltrens utsagor som *likhetsmått* vilket ger möjlighet att attrahera varandra med dragkrafter. IEKF-filtrets funktion är att översätta

dessa dragkrafter till förändringar i parameterrummet. Metoden kan via den iterativa justeringsprocessen göras tolerant mot delvis dolda mål. Ett antal alternativa likhetsmått har utprovats. Såväl spatiell närhet, dvs låg summa av dragningskrafter, som likhet i filtersvar är av vikt.

### 3.5 Modellbaserad särdragsextraktion

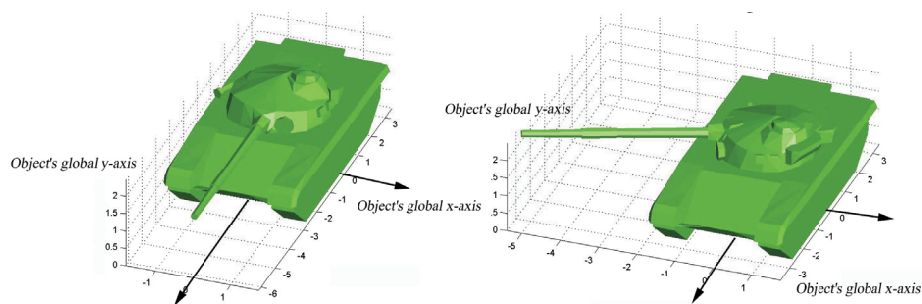
Det är många problemställningar som behöver lösas för att automatisk kunna detektera, följa och identifiera komplexa mål, som t ex stridsvagnar, med hjälp av bildanalys. Denna metod angriper problemet med automatisk rekonstruktion av komplexa mål, för att rekonstruera ett måls särdrag, som dess storlek, position, riktning, geometriska form och manövrar. I verkliga fall är de flesta militära mål svåra att modellera. Variationer i bildplanet härrör från artikulationer av målens ingående delar och deformationer av dess ytstruktur. I detta avsnitt presenteras en begränsad mängd av de specifika problemställningar som beaktas inom projektet och som utgör en del av det arbete som ingår i en avhandling om analys av komplexa objekt från bildsekvenser, se [19]. I metoden omformuleras stelkroppsbeskrivningen av ett mål för att tillåta artikulation och deformation, t ex att kanonröret på stridsvagnen rör sig eller att en lucka är öppen som illustrerat i Figur 9 och 10.



Figur 9. Skillnader mellan geometrisk form hos två T72or. Bilderna är från en laserradar.

Metoden utgör en plattform för att hantera komplexa objekt generellt, där det är möjligt att separera global objekt rörelse från rörelse pga artikulation och ändringar av objektets form. Denna modellbaserade ansats för hantering av komplexa formförändringar och rörelser hos ett objekt baseras på arbete gjort i Bildkodningsgruppen vid Linköping Universitet av Forchheimer, Li et al. och finns beskriven i kapitel 7 i [19]. Precis som för metoder för estimering av ansiktsrörelser, förenklas problemet om objektet beskrivs dels med globala rörelser och dels med lokala rörelser av de olika kroppsdelarna. *Global rörelse* definieras som objektets storskaliga rörelser, t

ex framdrivning, medan *lokal rörelse* utgörs av småskaliga förändringar och består av simultana artikulationer och deformationer av varje objekt-del. Med denna ansats kan man för varje tidsinstans på ett kompakt sätt beskriva objektets rörelser som en linjärkombination av global rörelse och rörelser av *kroppsdelen* och därigenom kan bildsekvenser hanteras.



Figur 10. En syntetiskt genererad sekvens av en T72 där tornet roterats och eldröret eleverats.

Det behövs modeller som beskriver lokal och global rörelse. För ändamålet används en 3D-modell av t ex en stridsvagn samt en uppsättning *object units* som definierar hur 3D-modellen rör sig. Dessa två rörelsemodeller kombineras till en generell modell av rörelsen. Den generella modellen bygger på att den globala rörelsen estimeras först. En ansats för estimering av de globala respektive lokala rörelseparametrarna har formulerats. Den bygger på principen att när man har estimerat den globala rörelsen kan man kompensera målet för global rörelse och därefter kan man också estimeras den lokala rörelsen.

Klassiska ansatser för rekonstruktion av objekts rörelser är särdragsextraherande tekniker och metoder baserade på optiska flöden (*optical flow*). Analys genom syntes (ABS)(*analysis-by-synthesis*), en metod som baseras på optiska flöden kan användas för att rekonstruera små, begränsade objektrörelser. Nackdelen är att ABS är känslig för brus och belysningsvariationer i bilden, men om tidsintervallet mellan två följande bilder är litet kan belysningsvariationerna hanteras. Särdragsextraherande metoder, som t ex Extended Kalmanfilter (EKF), kan hantera stora objektrörelser och är mindre känslig för belysningsvariationer. Komplexa objektrörelser hanteras simultant genom att kombinera EKF och ABS, vilket är grunden för denna metod. Dessa två strategier rekonstruerar således antingen små lokala rörelser eller globala rörelser. EKF används för estimering av stora rörelser hos objektet, globala förflyttningar och artikulationer medan ABS estimerar de små rörelserna hos objektets delar. Metoderna kombineras i ett två-



loopssystem och genom denna ansats kan man rekonstruera målets globala och lokala rörelser, simultant.

## **4 Demonstrator**

Inom ramen för det projekt som beskrivits här pågår utveckling av en demonstrator av informationssystemet i avsikt att demonstrera de egenskaper som diskuterats i denna rapport. För närvarande är det möjligt att mot frågespråket ställa och besvara enklare frågor avseende stillastående ej skydda mål. Detekteringsfasen sker med simulerade SAR-data. Det användargränssnitt som finns tillgängligt är ännu så länge ganska primitivt. För övrigt gäller att prototypen kan besvara frågor där data har registrerats från mer än en sensorplattform. Den nuvarande prototypen, som i huvudsak är plattformsoberoende, är implementerad för att kunna fungera i ett lokalt distribuerat nätverk. Den planering som gäller inför 2003 kännetecknas av att fusionsmetodik kommer att förbättras och effektiviseras. Det samma gäller också den matchningsmetodik, för klassificering av registrerade mål, som är under utveckling. Sammantaget kommer detta medge att frågebearbetningen i systemet kommer att kunna förfinas och effektiviseras och som följd härav kommer det också att bli möjligt att ställa mer komplexa frågor.

## **5. Sammanfattning och planer**

I föreliggande rapport beskrivs ett generellt beslutsstödshjälpmedel, som är avsett för tillämpningar där man utnyttjar data från multipla sensorer. Inom projektet ISM pågår utvecklingen av ett sådant generellt beslutsstödssystem som är anpassat för NBF. Beslutsstödssystemet har förmåga att söka efter olika typer av målobjekt, främst markmål, från multipla sensordatakällor. Till detta kommer en högupplösande terrängmodell som kan utnyttjas för bestämning av framkomlighet för olika typer av markfordon. Båda dessa faciliteter bidrar till en *kvalitativ* förbättring av informationsinnehållet i den gemensamma lägesbilden.

Sensorerna kan vara placerade på olika plattformar och olika typer av sensorer kan användas. I en sådan miljö krävs ett system som klarar heterogena sensordata och att antalet sensorplattformar och sensortyper varierar över tiden. För att hantera den varierande sensoruppsättningen används en arkitektur som är sensor- och sensordataoberoende.

Beslutsstödssystemet kan grovt delas in i fem delar; ett frågespråk, sensordataanalys, en datafusionsprocess, terrängmodellering och situationsanalys. Frågespråket utgör kärnan i systemet och bearbetar användarens fråga till ett antal operatorer, s k  $\sigma$ -operatorer. Med dessa operatorer ges sedan kommandon till olika delar av systemet som tillsammans tar fram resultatet och frågespråket presenterar svaret för användaren. En central funktion i frågespråket är ontologin som med hjälp av metadatabasen, håller reda på vilka sensordata som finns över olika terrängavsnitt, vilket väder etc det var vid insamlingstidpunkten samt vilka igenkänningsalgoritmer som är lämpliga. Ontologin hanterar kommunikationen med måligenkänningsalgoritmerna, datafusionsprocessen och tillgängliga databaser.

Eftersom flera olika sensorer används i systemet, används också flera olika analysmetoder vid måligenkänningen. Alla metoderna utvecklas för att vara stabila mot variationer hos målen. Man behöver kunna känna igen ett mål oberoende av dess orientering, position och antalet mätpunkter. Dessutom är det väsentligt att metoderna även kan hantera smärre avvikelser mellan modellernas ideala utseende och de inmätta målen, t ex vad gäller artikulation och termiskt tillstånd hos fordonen. I systemet används endast ett homogent modellbibliotek vilket innebär att alla igenkänningsalgoritmer använder samma modeller vid matchningen.

Vid fusion av information avseende markmål är det nödvändigt att fusionen tar hänsyn till existerande objektgenskaper och olika egenskapsvärden såsom position, storlek och hastighet. I ett längre perspektiv kommer fusionsprocessen också ta hänsyn till andra aspekter såsom bakgrundsinformation. Den fusionsansats som för närvarande studeras bygger på en metod som använder majoritetsval för bestämning av objekttyperna. Anledningen till valet av denna metodik utgår från behoven av snabbhet och enkelhet då frågorna skall besvaras.

I ett beslutsstödssystem krävs också högupplöst, aktuell terränginformation. Det är nödvändigt att kunna bestämma olika former av terrängstrukturer, t ex diken, för att ge stöd för framkomlighet och att kunna bestämma områden med radarskugga etc. Fördelen med den terrängmodell som utvecklats här är att ursprungsdata reducerats med mellan 80 till 90%, vilket är attraktivt ur lag-ringssynpunkt.

Arbetet med situationsanalys inom ISM är i ett inledande skede och utvecklingen av en försöksprototyp har påbörjats. Ett grundläggande antagande i detta arbete är att det inom överskådlig

tid kommer att vara ofullständig och fragmenterad information som erhålls från sensorerna. För att hantera de osäkerheter som detta medför i associationer mellan olika observationer behövs antaganden om målobjektens organisation och uppträdande. Eftersom sådana antaganden ofta är osäkra och beroende av ett sammanhang behövs ett samarbete mellan människa och dator, där datorn står för den beräkningsintensiva sökningen efter rimliga lösningar medan människan utnyttjar sin erfarenhet och intuition.

Detta beslutsstödssystem byggs med en arkitektur som möjliggör skalbarhet, vilket är en väsentlig egenskap i en distribuerad nätverksmiljö. Detta medför att systemet i väsentliga avseenden kommer att kunna arbeta autonomt, vilket är av betydelse i en nätverksbaserad miljö. Beslutsstödssystemet kommer att kunna användas i ett antal viktiga militära tillämpningar såsom underrättelsetjänst, spaning och övervakning samt andra tillämpningar där stöd för situationsanalys krävs. Till detta kommer att det kan utgöra en del av ett planeringsverktyg.

Inom ISM utvecklas en enkel prototyp i avsikt att demonstrera de egenskaper som diskuterats i denna rapport. Under detta och föregående år har arkitekturen byggts upp och hela systemet fungerar nu, men endast för enkla frågor avseende stillastående ej skymda mål. Demonstratorn kan hantera flera sensorplattformar och arbetar distribuerat. Under kommande verksamhetsåret (2003) kommer igenkännings- och datafusionsmetoderna samt användargränssnittet i demonstratorn att förbättras. Vidare kommer frågeförfining och trolighetsmått att införas, vilket innebär att mer komplexa frågor kan ställas. Dessa två tekniker har inte rapporterats förut och är alltså ny forskning. Det finns många osäkra faktorer när dessa hittills okända områden utforskas, men en första ansats kommer att ingå i den demonstrator som visas i slutet av 2003.

I ett längre perspektiv planeras integrering av sensorer från ytterligare plattformar, såsom SAR och marksensornät. Ett mycket väsentligt problem som måste få sin lösning är hur dynamiska förlopp skall hanteras. Detta problem kräver inte enbart en fortsatt utveckling av frågesystemet utan nödvändiggör också bättre och snabbare metoder för insamling av data i åtminstone nära realtid där olika aktiviteter hos markmålen kan registreras. Vidare är det också av betydelse att frågesystemet anpassas till NBF vilket kan ske genom utveckling av en modern systemarkitektur anpassad till ett sådant nätverk. Systemarkitekturen bör lämpligen vara baserad på en metodik bestående av multipla, intelligenta agenter [20]. En sådan arkitektur tillåter autonom kommunikation inom ett skalbart nätverk, dvs arkitekturen kan självständigt anpassa sig till en

föränderlig miljö som kännetecknas av att noder i nätet både tillkommer och faller ifrån. Dessutom, för att få en säkert nätverk, måste IT-säkerhetsaspekter infogas i systemarkitekturen.

De resultat som fusionsprocessen genererar bör analyseras vidare, tillsammans med terränginformation och genom rimlighetskontroller, innan de kan utgöra indata för en situationsanalys. Dessutom måste informationen från beslutsstödsystemet presenteras på ett sådant sätt att användaren får förtroende för den. Presentation och visualisering av komplex information är här viktiga forskningsområden.

## Referenser

- [1] Christina Grönwall, *Mätningar med flygburet multisensorsystem - Mät rapport från fordon-splatserna i Kvarn och Tullbron*, aug 2002, FOI-D--0060--SE.
- [2] S.-K. Chang, G. Costagliola, E. Jungert, *Spatial/Temporal Query Processing for Information Fusion Applications*, Advances in Visual Information Systems, R. Laurini (Ed.), Lecture Notes in Computer Science 1929, Springer Verlag, Berlin, 2000, pp 127-139.
- [3] S.-K. Chang, G. Costagliola, E. Jungert, *Multisensor Information Fusion by Query Refinement*, Recent advances in Visual information systems, S.-K. Chang, Z. Chen, S.-Y. Lee (Eds.), Lecture Notes in Computer Science 2314, Springer Verlag, Berlin, 2002, pp 1-11.
- [4] E. Jungert, K. Silvervarg, T. Horney, *Ontology driven sensor independence in a query supported C<sub>2</sub>-system*, Proceedings of the NATO workshop on Massive Military Data Fusion and Visualization: Users Talk with Developers, Halden, Norway, September 10-13, 2002.
- [5] T. Horney, *Design of an ontological knowledge structure for a query language for multiple data sources*, Master thesis, FOI-R--0498--SE, Linköping, Sweden, 2002.
- [6] E. Waltz and J. Llinas, *Multisensor data fusion*, Arctect House, Boston, 1990.
- [7] D. L. Hall, J. Llinas (Eds.), *Handbook of Multisensor Data Fusion*, CRC Press, London, 2001
- [8] Parhami, B: *Voting algorithms*, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 43, No. 4, December 1994.
- [9] M. Elmqvist, *Ground Surface Estimation from Airborne Laser Scanning Data Using Active Shape Models*, Proceedings of the ISPRS Commission III symposium of Photogrammetric Computer Vision, Graz, Austria, September 9-13, 2002, pp A114-A118.
- [10] M. Elmqvist, E. Jungert, F. Lantz, Å. Persson, U. Söderman, *Terrain Modelling and Analysis Using Laser Scanner Data*, Proceedings of the Workshop on Land Surface Mapping and Characterization Using Laser Altimetry, Annapolis, Maryland, October 22-24 (2001), pp 219-226.
- [11] F. Lantz, E. Jungert, *Dual aspects of a Multi-Resolution Grid-Based Terrain Data Model with Supplementary Irregular Data Points*, Proceedings of the 3rd International Conference on Information Fusion, Paris, France, July 10-13, (2000).
- [12] E. Jungert, F. Lantz, M. Sjövall, *Determination of Terrain Features in a Terrain Data Model Using Symbolic Filters*, Proceeding of the 8th international conference on Distributed Multimedia Systems, San Fransisco, CA, September 26-28, 2002, pp 664-667.

- [13] M. Sjövall, *Object and feature recognition in a Digital Terrain Model*, Master thesis, University of Linköping, Sweden, LITH-IDA-Ex-02/16, 2002.
- [14] J. Fransson, E. Jungert, *Towards a Query Assisted Tool for Situation Assessment*, Proceedings of the fifth International Conference on Information Fusion, Annapolis, USA, July 8-11, 2002.
- [15] P. Viola, M. Jones, *Robust Real-time Object Detection*, Proc. of the 2nd Int. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision - Modeling, Learning, Computing, and Sampling (at ICCV) Vancouver, Canada, July 2001.
- [16] C. Carlsson, *Vehicle Size and Orientation Estimation using Geometric Fitting*, 2000, Thesis no. 840, LiU-TEK-LIC-2000:36, Dept. of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden.
- [17] M. Lades, J. Vorbrüggen, J. Buhmann, J. Lange, C. von der Malsburg and W. Konen, *Distortion invariant object recognition in the Dynamic Link Architecture*, IEEE Trans. on Computers, 42(3):300-310, March 1993.
- [18] X. Wu and B. Bhanu, *Gabor representation for 3-D object recognition*, IEEE Trans. on Image Processing, 6(1):47-64, 1997
- [19] L. Klasén, *Image Sequence Analysis of Complex Objects - Law Enforcement and Defence Applications*, Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 762, 2002.
- [20] M. Woolridge, *Intelligent Systems - A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, G. Weiss (Ed.), The MIT Press, Cambridge, Mass., 2000, pp 27-78.

**Bilaga 1: Projektpublikationer, jan, 2000- dec, 2002****Tidskriftsartiklar/kapitel i bok**

S.-K. Chang, E. Jungert, *Query Languages for Multimedia Search*, Principles of Visual Information Retrieval, M. S. Lew (ed.), Advances in Pattern Recognition, Springer Verlag, Berlin, 2001, pp 199-217.

M. Harris, G. N. Pearson, K. D. Ridley, C. J. Karlsson, F. Å. Olsson, D. Letalick, *Single-particle laser doppler anemometry at 1.55 micrometers*, Applied optics, Vol 40, No 6, Feb 2001, p 969-973, also as FOI-S--0028--SE.

**Konferensartiklar**

E. Jungert, F. Lantz, M. Sjövall, *Determination of Terrain Features in a Terrain Data Model Using Symbolic Filters*, Proceeding of the 8th international conference on Distributed Multimedia Systems, San Francisco, CA, September 26-28, 2002, pp. 664-667.

E. Jungert, K. Silvervarg, T. Horney, *Ontology driven sensor independence in a query supported C2-system*, proceedings of the NATO workshop on Massive Military Data Fusion and Visualization: Users Talk with Developers", Halden, Norway, September 10-13, 2002.

J. Fransson, E. Jungert, *Towards a Query Assisted Tool for Situation Assessment*, Proceedings of the fifth International Conference on Information Fusion, Annapolis, Maryland, July 8-11, 2002.

S.-K. Chang, G. Costagliola, E. Jungert, *Multisensor Information Fusion by Query Refinement*, Recent advances in Visual information systems, S.-K. Chang, Z. Chen, S.-Y. Lee (Eds.), Lecture Notes in Computer Science 2314, Springer Verlag, Berlin, 2002, pp 1-11.

C. Grönwall, F. Gustafsson, *A Cramer-Rao lower bound expression for a scanning laser radar system*, Reglermötet 2002, 29-30 maj, p. 126-129, Linköping University, Linköping

S.-K. Chang, G. Costagliola, E. Jungert, *Multi-Sensor Information Fusion by Query Refinement*, Proceedings of the 5th International Conference on Visual Information Systems (VISUAL 2002), Hsin Chu, Taiwan, March 11-13, 2002

D. Letalick, Tomas Carlsson, *Coherent laser radar at 1.55 mfor vibrometry*, "Optik i Sverige" Summaries of contributions to the conference of the Swedish Optical Society, held in Stockholm, 8 November 2001, Ulf Olin and Klaus Biederman, eds, FOI-S--0147--SE.

M. Elmqvist, E. Jungert, F. Lantz, Å. Persson, U.Söderman, *Terrain Modelling and Analysis using Laser Scanner Data*, Publ. in: The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information science, Vol 34, part3/w4, commission 3. pp. 219-226, Proc. ISPRS conference on land surface mapping and characterization using laser altimetry. Annapolis, MD, Oct. 22-24, 2001.

E. Jungert, F. Lantz, *Symbolic tile categories for spatial reasoning on objects represented in multiple-resolution*, The second international workshop on multimedia databases and image communication, MDIC, 2001, Amalfi, Sept. 17-18, 2001, Publ. in: Lecture notes in computer science 2184, Springer verlag, Berlin, pp. 140-151, also as FOI-S--0171--SE.

D. Letalick, C. Carlsson, C. Karlsson, *A speckle model for laser vibrometry*, Proceedings of 11th Coherent Laser Radar Conference, Malvern, UK, 1-6 July, 2001, pp 44-47, FOI-S--0116--SE.

M. Harris, K. D. Ridley, F. Å. Olsson, *Decorrelation with laser wavelength of intensity fluctuations after passage through a thermal plume*, Proceedings of 11th Coherent Laser Radar Conference, Malvern, UK, 1-6 July, 2001, pp. 57-59, FOI-S--0118--SE.

G. N. Pearson, J. Eacock, F. Olsson, *A 1.5 m coherent pulsed Doppler lidar using fibre-optics components*, Proceedings of 11th Coherent Laser Radar Conference, Malvern, UK, 1-6 July, 2001, pp. 144-146, FOI-S--0119--SE.

O. Steinvall, T. Carlsson, *Laser radar modelling of hard targets*, Publ in: 11 th Proceedings of Coherent laser radar conference, pp. 28-31, Malvern, July 1-6, 2001, also as FOI-S--0120--SE.

O. Steinvall, T. Carlsson, *Three-dimensional laser radar modelling*, Pull. in: SPIE Aerosense, Laser radar technology and applications, vol. 4377, pp. 23-34, Proc, Orlando, FL, April 16-20, 2001, also as FOI-S--0154--SE.

C. Carlsson and M. Millnert, *Vehicle Size and Orientation Estimation using Geometric Fitting*, Part of SPIE Conference on Automatic Target Recognition XI (SPIE AeroSense), Orlando, FL; USA, April 2001, SPIE Vol. 4379, No. 4379-64, pp. 412-423.

S. K. Chang, G. Costagliola and E. Jungert, *Spatial/Temporal Query Processing for Information Fusion Applications*, Proceedings of the 4th International Conference on Visual Information Systems (Visual'2000), Lyon, France, November 2000, Lecture Notes in Computer Sciences 1929, R. Laurini (Ed.), Springer, Berlin, pp 127-139.

E. Jungert, *A Data Fusion Concept for a Query Language for Multiple Data Sources*, Proceedings of the 3rd International Conference on Information Fusion (FUSION 2000), Paris, France, July 10-13, 2000.

F. Lantz and E. Jungert, 2000, *Dual Aspects of a Mult-Resolution Grid-Based Terrain Data Model with Supplementary Irregular Data Points*, Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Information fusion, Paris, July 10-13.

### **Examensarbeten, avhandlingar**

L. Klasén, *Image Sequence analysis of Complex Objects – Law Enforcement and Defence Applications*, Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 762, 2002, Dept. of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden (doktorsavhandling).

M. Sjövall, *Object and Feature Recognition in a Digital Terrain Model*, Master Report, University of Linköping, LiTH-IDA-Ex-02/16, och maj 2002, FOI, vetenskaplig rapport, FOI-R--0499--SE.

T. Horney, *Design of an ontological knowledge structure for a query language for multiple data sources*, Master Report, University of Linköping, LiTH-IDA-Ex-02/22 och maj 2002, FOI, vetenskaplig rapport, FOI-R--0498--SE.



C. Carlsson, *Vehicle Size and Orientation Estimation using Geometric Fitting*, 2000, Thesis no. 840, LiU-TEK-LIC-2000:36, Dept. of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden, (licentiatavhandling).

J. Svensson, *Matching vehicles from laser radar images in the target recognition process*, Master Report, University of Linköping, LiTH-IDA-Ex-00/XX och FOA 2000, Vetenskaplig rapport, FOA-R--00-01606-408—SE.

### **FOI-rapporter**

T. Carlsson, O. Steinvall, D. Letalick, *Signature simulation and signal analysis for 3-D laser radar*, 2001, FOI-R--0163—SE, Scientific report.

E. Jungert, D. Letalick, *Informationssystem för måligenkänning -- analys av behov och problemställningar*, Linköping, FOA 2000, FOA-R--00-01607-408—SE, Verksamhetsrapport.

H. Olsson, *2-D automatic image analysis and image enhancement for gated viewing imagery*, Linköping, FOA 2000, FOA-R--00-01554-408—SE, Vetenskaplig rapport.

H. Olsson, *An implemented 2-D local feature extraction framework*, Linköping, FOA 2000, FOA-R--00-01553-408—SE, Metodrapport.

O. Steinvall, *Waveform simulation for 3-D sensing laser radar*, Linköping, FOA, May 2000, FOA-R--00-01530-612, 408--SE, Vetenskaplig rapport.