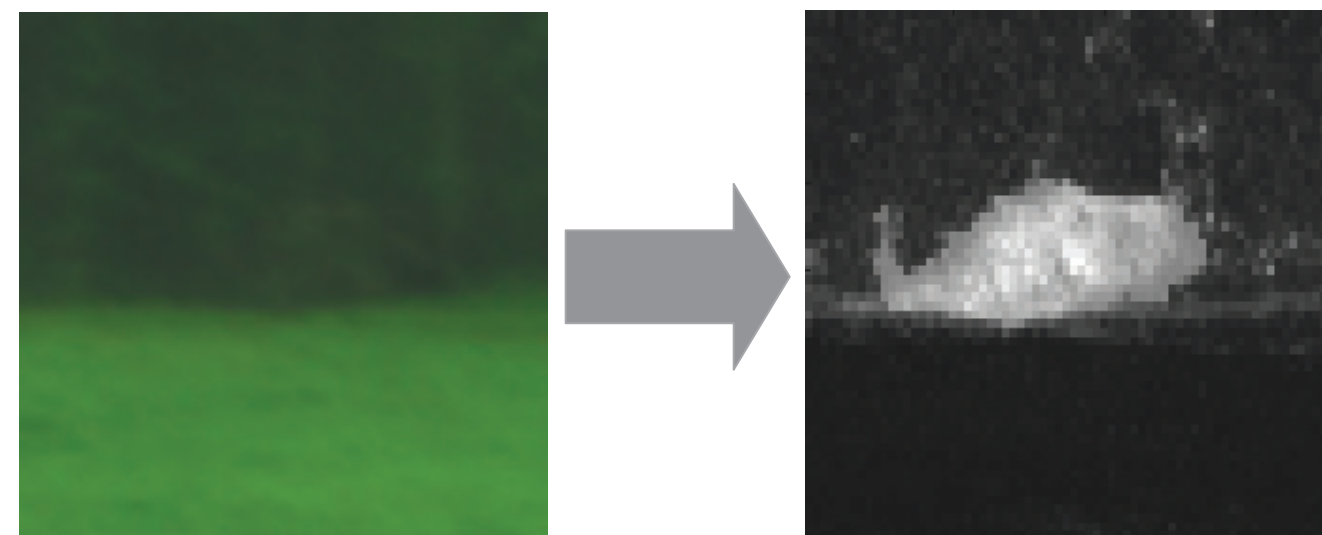


JÖRGEN AHLBERG, INGMAR RENHORN, THOMAS SVENSSON,
THOMAS WINZELL, GÖRAN CARLSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Multispektrala IR- & EO-sensorer 2005

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1815--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E3082
	Delområde 42 Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Jörgen Ahlberg Ingmar Renhorn Thomas Svensson Thomas Winzell Göran Carlsson	Projektledare Jörgen Ahlberg	
	Godkänd av Lena Klasén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Ingmar Renhorn	
Rapportens titel Multispektrala IR- & EO-sensorer 2005		
Sammanfattning Rapporten beskriver projektet "Multispektrala infraröda och elektrooptiska sensorer" som genomförts under 2005. IR och elektrooptik erbjuder avancerade tekniska lösningar för högupplöst lokalisering och identifiering inklusive spaning med nattkapacitet. Projektet har innefattat flera delområden: • Modellering och simulering av sensorer för att kunna validera analysmetoder på syntetiska data. • Signal/bildanalys i syfte att detektera, klassificera, identifiera och geolokalisera mål, företrädesvis på marken. Analysen appliceras på IR- och elektrooptiska sensorer i hela våglängdsområdet från synligt till det termiskt infraröda våglängdsområdet. • Sensorutveckling med det långsiktiga syftet att demonstrera högpresterande multi/hyperspektrala sensorsystem med adaptiv förmåga i hela spektralområdet från det synliga till det termiskt infraröda. • Datainsamling i form av mätningar och fältförsök. Projektets syfte har varit att täcka hela kedjan från sensorer och mätningar till anlays av bilder, inklusive modellering och simulering av kedjan för att i framtiden kunna simulera scenarion man inte vill eller har möjlighet att mäta.		
Nyckelord multispektral, infraröd, spaningssensorer, bildanalys, sensormodellering, sensorsimulering		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 33 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor technology Box 1165 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1815--SE	Report type User report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2005	Project no. E3082
	Subcategories 42 Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Jörgen Ahlberg Ingmar Renhorn Thomas Svensson Thomas Winzell Göran Carlsson	Project manager Jörgen Ahlberg	
	Approved by Lena Klasén	
	Sponsoring agency Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Ingmar Renhorn	
Report title (In translation) Multispectral IR and E/O Sensors 2005		
Abstract This report describes the project "Multispectral infrared and electro-optical sensors" that was executed during 2005. IR and electro-optics provide advanced technical solutions for localization and identification, including night-capacity reconnaissance. The project included several sub-areas: • Modelling and simulation of sensors to enable analysis methods on simulated data. • Signal/image analysis with the purpose of detecting, classifying, identify, and geo-localize targets, primary ground targets. The analysis is applied to IR and electro-optical sensors in the entire wavelength range from visible light to thermal longwave infrared. • Sensor development with the long-term purpose to demonstrate high-performance adaptive sensor systems in the entire spectral range from visible light to thermal infrared. • Data acquisition in the form of measurements and field trials. The aim of the project has been to cover the entire chain from sensors and measurement to image analysis, including modelling and simulation of the chain in order to be able to simulate scenarios that are not preferable or possible to measure.		
Keywords multispectral, infrared, reconnaissance sensors, image analysis, sensor modelling, sensor simulation		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 33 p.	
	Price acc. to pricelist	

1. Inledning

Projektet *Multispektrala infraröda och EO-sensorer* (FoT 8.1) bedrevs under perioden 1 januari till 31 december 2005 på uppdrag av Försvarsmakten. Denna rapport redovisar projektets resultat i en översiktlig form och sätter dem i sammanhang med tidigare och planerade arbeten. Referenser till mer detaljerade beskrivningar av specifika resultat ges i texten.

Rapport är upplagd som följer: Avsnitt 1 beskriver projektet och ger en bakgrund till multispektral avbildning och det internationella projekt inom vilken verksamheten bedrivs. De fältförsök som genomförts beskrivs och motiveras kortfattat. I avsnitt 2 beskrivs datainsamlingen i form av fältförsök som genomförts under 2003–2005 något mer detaljerat. Avsnitt 3 beskriver kortfattat den dataanalys (bildanalys) som skett och hänvisar till detaljerade redovisningar. Avsnitt 4 behandlar framtida sensorteknik, dels hur framtida sensorer kan utvecklas och dels en ansats till hur sensorkonfigurationer kan värderas. Avsnitt 5 beskriver modellering och simulering av sensorer, och avsnitt 6 innehåller våra slutsatser och en framåtblick.

1.1 Projektbeskrivning

Detektion, noggrann lokalisering, identifiering, målföljning och tillförlitlig verkansverifiering är nyckelområden för verksamheten. IR och elektrooptik erbjuder avancerade tekniska lösningar för högupplöst lokalisering och identifiering inklusive spaning med nattkapacitet. 2005 års projekt har drivits inom fyra delområden:

- Modellering och simulering.
- Bildanalys.
- Sensorutveckling.
- Datainsamling.

Modellering och simulering av klotter, bakgrund och signaturanpassade mål, validerade mot experimentella resultat, ger effektiva verktyg för analys av sensoroptimering med avseende på olika typer av scenarier. Dessutom behövs motsvarande modellering och simulering av de sensorer som används (eller vars prestanda skall värderas). Sensorsimulering behandlas i avsnitt 4 samt i [18].

Bildanalysen syftar till att detektera, klassificera, identifiera och geolokalisera mål, företrädesvis på marken. Bildanalysen appliceras på elektrooptiska sensorer i hela våglängdsområdet från synligt till det termiskt infraröda. Bildanalys behandlas i avsnitt Fig. 18 samt i [6][7][12].

Sensorutvecklingen syftar till att, på längre sikt, kunna demonstrera högpresterande multi/hyperspektrala sensorsystem med adaptiv förmåga i hela spektralområdet från det synliga till det termiskt infraröda. För att kunna konstruera enkla och effektiva system krävs omfattande hyperspektral signaturinformation av taktiskt intressanta mål- och bakgrunder. I närtid studeras sensorsystem baserade på interferometrisk teknik (se avsnitt 5.1) med avsikten att erhålla hyperspektral upplösning i det termiska våglängdsområdet, och då speciellt det mellanvågsinfraröda, samt metoder för att värdera våglängdskonfigurationer (se avsnitt 5.2).

Datainsamling i form av fältförsök och mätningar är en stödverksamhet till övriga delområden. Mätdata insamlade under realistiska scenarier krävs för att validera modellering och simulering och för att utprova detektions- och klassifikationsmetoder. De tillgängliga sensorerna beskrivs i avsnitt 2.1 och genomförda fältförsök i avsnitt 2.2).

Mål

Mål för verksamheten är att kunna värdera de fördelar som spektral avbildningsteknik ger med avseende på detektion, igenkänning och identifiering med utnyttjande av elektrooptiska sensorer i olika militära tillämpningar. Detta skall ske genom att analysera och validera de bidrag som spektral information ger till förståelsen av det optroniska landskapet från det synliga till det termiskt infraröda våglängdsområdet. Utifrån genomförda fältförsök på Kvarnområdet i samverkan med WEAG CEPA THALES JP8.10 skall experimentella erfarenheter av detektion av dolda mål, upptäckt av kamouflage, diskriminering av skenmål och särskiljande av civila och militära mål erhållas. I de fall där stora fördelar med spektral teknik kan påvisas skall tekniska rekommendationer och förbättrade system föreslås.

Samarbete inom WEAG

Projektet är en del av WEAG CEPA8-projektet *Hipod*, som efterträtt det treåriga projektet *Spectral Imaging Techniques*. Deltagande länder är Frankrike (projektledare), Italien, Norge, England, Tyskland, Nederländerna och Sverige. Hipod var tänkt att starta i januari 2005, men på grund av politiska krumbukter från Frankrike i samband med överförandet av CEPA-projekten till EDA kunde projektet inte starta förrän i september. Arbetet har dock fortgått i de olika länderna i stort sett enligt ursprunglig plan, men kommer inte att sammanställas förrän 2006.

Internationellt samarbete är oerhört viktigt för verksamheten. Inget av de deltagande länderna har möjlighet att studera problemställningen i alla dess delar, utan arbetsfördelning är nödvändig.

1.2 Spektral avbildning och dess tillämpningar

Spektral avbildning har många potentiella tillämpningsområden inte minst sådana av militärt intresse. Vissa av dessa tillämpningar har även dubbel användning, både militär och civil. Några av de potentiella militära tillämpningsområdena ges i bilagan.

Hyperspektral signalbehandlingsteknik kan utnyttjas för detektion och klassning av olika typer av objekt. Den höga dimensionaliteten gör att det är svårt för en operatör att direkt utnyttja all tillgänglig information. Signalbehandling syftar till att dels förstärka fenomen av intresse för att göra data mer tillgängligt för en operatör eller beslutsfattare (se t.ex. omslagsbilden), dels att utveckla autonoma algoritmer för automatisk detektion och klassning. Robustheten i de spektrala signaturerna gör att det nu är genomförbart att utveckla sådana algoritmer. Anomalidetektorer letar efter avvikelser i bakgrunden under antagandet att dessa avvikelser är sällsynta (därför namnet *anomali*). Anomalidetektorn kan uppskatta hur vanligt ett fenomen är men kan inte dra slutsatser om klass. För detta krävs förhandsinformation om aktuella måls spektralegenskaper.

Omfattande analyser har genomförts för att värdera olika typer av sensorsystem. Parametrisering som är fördelaktig för karaktärisering av sensorer med avseende på detektionssannolikhet givet en falsklarmfrekvens har visat sig mindre användbara för värdering av exempelvis optimala val av spektralband. För denna typ av problemställning har i stället en informationsteoretisk ansats

utvecklats som har visat sig framgångsrik. Utifrån denna ansats kan informationsmängden i en scen beräknas som funktion av val av spektralband samt spektral och spatial upplösning.

1.3 Datainsamling

Under 2003 genomförde FOI i samverkan med sex andra WEAG-länder omfattande fältförsök i Kvarn för att kunna undersöka potentiella fördelar med spektral avbildningsteknik. Fokus låg på följande uppgifter:

- Detektion av markmål med tyngdpunkt på mål i bakgrundsklotter eller i skydd,
- Motverkan av kamouflage,
- Skenmålsdiskriminering,
- Diskriminering mellan militära och civila objekt.

Avsikten med försöken var att skaffa fram experimentellt underlag för värdering av multispektrala och hyperspektrala sensorsystem. Omfattande lokala signaturmätningar samt uppmätning av lokala miljöparametrar genomfördes dessutom. Välkaraktäriserade referenstavlor och strålningskällor utnyttjades för kalibrering av aktuella sensorsystem, markbaserade och flygburna. Resultaten från noggranna mätningar av mål och bakgrund utgjorde även underlag för validering av modellering och simulering.

Försöken beskrivs närmare i avsnitt 2.2 och i detalj i [15].

Under 2004 och 2005 har kompletterande mätningar genomförts i regi av projektet Semark (Sensorsystem för markläge, FoT 8.9). Mätningar planeras även i kommande projekt, i syfte att värdera sensorer och sensorkombinationer i olika taktiska scenarier.

2. Sensorer och fältförsök

2.1 Sensorer

De sensorer som använts i projektet och som finns tillgängliga på FOI beskrivs här.

MultimIR

MultimIR [9,16] är en multispektral IR-kamera med känslighet i spektralområdet 1,5–5,2 μm . Den levererades från AEG Infrarot-Module (AIM) hösten år 2001 och har genomgått flera modifieringar på FOI i Linköping, inte minst mjukvarumässigt. Den är baserad på en kyld MCT-detektor (78 K) och en stirrande fokalplansarray med 384×288 bildelement.

Temperaturupplösningen (NETD) är < 25 mK vid 300 K. IR-kameran är försedd med ett roterande filterhjul med fyra filter vilket möjliggör registrering i fyra band (fig. 2). Eftersom hjulet roterar med 25 Hz är tidsdifferensen endast 0,04 s och medför att $4 \times 25 = 100$ bilder/s registreras.

Transmissionskurvor för de fyra filtren visas i fig. 3. Två band registrerar huvudsakligen kortvågig reflekterad strålning (band 1 och 2) och två band huvudsakligen emitterad värmestrålning (band 3 och 4).

Emerald

Emerald-kameran [9] är en multibandkamera som är känslig i det termiska IR-området mellan 3,6–5,1 μm . Den levererades i maj år 2004 från Cedip Infrared Systems. Kameran är baserad på en kyld InSb-detektor (77 K) och en stirrande fokalplansarray med 640×512 detektorelement. Vid utläsning av hela arrayen är bildhastigheten 50 Hz. Temperaturupplösningen anges till 20 mK vid 298 K. Kameran är försedd med en filterhållare med plats för fyra filter (fig. 4). Byte av filterposition görs via en dator. För närvarande är tre filter monterade i filterhjulet – en position är således öppen. Transmissionskurvor för de tre filtren visas i fig. 5.

Emerald skiljer sig från MultimIR i flera avseenden:

- Emerald är en multibandkamera. Den medger registrering i flera band, men inte samtidigt. Operatören måste initiera filterbytet, vilket tar ca 10 s. Med MultimIR finns t.ex. möjligheten att presentera tre av banden i röd, grön eller blå färg som en RGB-bild – en fusionering som kan göras i realtid.
- Antalet pixlar är ca tre gånger större hos Emerald än hos MultimIR, vilket med samma spatiella upplösning medför att synfältet är nästan två gånger större, både vertikalt och horisontellt. Till Emerald finns även en 250 mm-optik tillgänglig.
- Arrayens homogenitet är avsevärt bättre hos MultimIR (mindre pixelbrus).
- Emerald lagrar, utöver bild-rådata, även kompletterande information om omgivningen som t.ex. integrationstid, temperatur och optik.

Till skillnad från MultimIR levererades Emerald i ett färdigt, kommersiellt skick, inte minst mjukvarumässigt.

Redlake

Kameran Redlake MS3100 (fig. 6) är en 3-chips multispektral digital högupplösande kamera med 1392×1040 pixels array (per sensor). Detektorstorlek är $4.65 \times 4.65 \mu\text{m}$ och detektoravståndet ca $5.5 \mu\text{m}$. Det inkommande ljuset reflekteras och transmittas i 3 prismor, behandlade med olika beläggningar och filter. Resultatet blir ljus i 3 olika riktningar i olika våglängdsområden. Dessa tre strålar träffar därefter varsin känslig CCD-sensor. Kameran är känslig för grönt, rött och NIR (närlIR). Filtrens transmissionskurvor visas i fig. 7. Bildfrekvensen är 7,5 bilder/s. Optiken till kameran är en zoom-optik, 28–105 mm. I kombination med varierbar integrationstid (varje kanal för sig) och manuell bländare på optiken kan exponeringen styras på ett noggrant sätt. De lagrade sekvenserna kan vara långa, flera minuter. Den begränsande faktorn är hårddiskarnas minnesutrymme. Mjukvaran är delvis utvecklad vid FOI.

Korrigerig av IR-data

För detektormaterial som används i IR-området (speciellt MCT) ger olikheter i pixlarnas responsivitet upphov till ett extra brusbidrag, pixelbrus. En NUC(nonuniformity correction)-metod för korrigerig av IR-data har utvecklats vid FOI och finns beskriven i tidigare FOI-rapport [9].



Fig. 2 MultimIR. Vänstra bilden visar kameran med 100 mm-optik monterad, högra bilden visar filterhjulet.

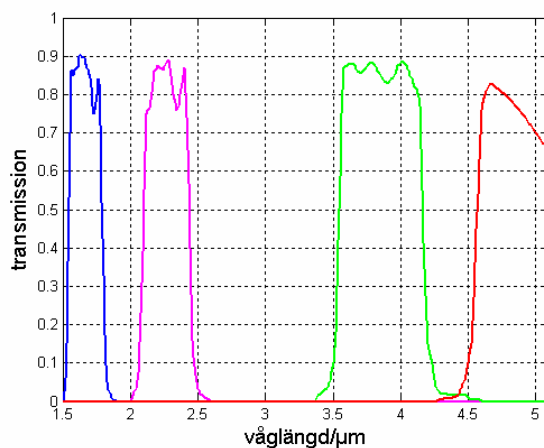


Fig. 3 Transmissionskurvor för MultimIR-kamerans fyra spektralband; band 1 $\approx 1,5\text{-}1,8 \mu\text{m}$, band 2 $\approx 2,1\text{-}2,45 \mu\text{m}$, band 3 $\approx 3,5\text{-}4,1 \mu\text{m}$, band 4 $\approx 4,55\text{-}5,1 \mu\text{m}$



Fig. 4 Emerald. Vänstra bilden visar kameran med 50 mm-optik monterad, högra bilden visar filterhållaren

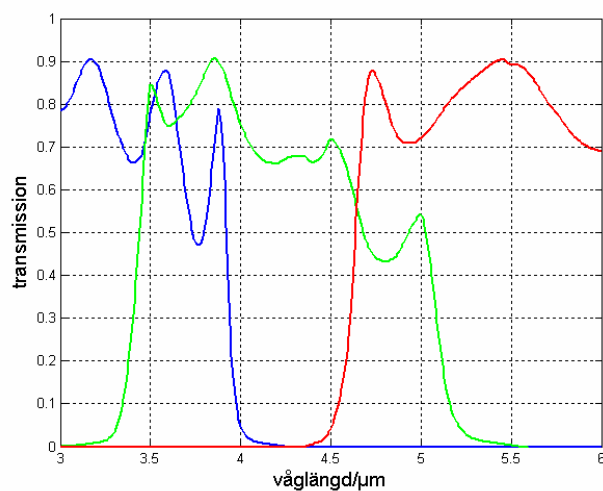


Fig. 5 Transmissionskurvor för Emeraldkamerans tre filter mellan 3 och 6 μm . Filter 1: $< 3.9 \mu\text{m}$ (lågpassfilter). Filter 2: $3.5 - 5.0 \mu\text{m}$ (bandpassfilter). Filter 3: $> 4.0 \mu\text{m}$ (högpassfilter). Kamerans känslighetsområde är ungefär $3.5 - 5.2 \mu\text{m}$.



Fig. 6 Redlake-kameran och dess konstruktion.

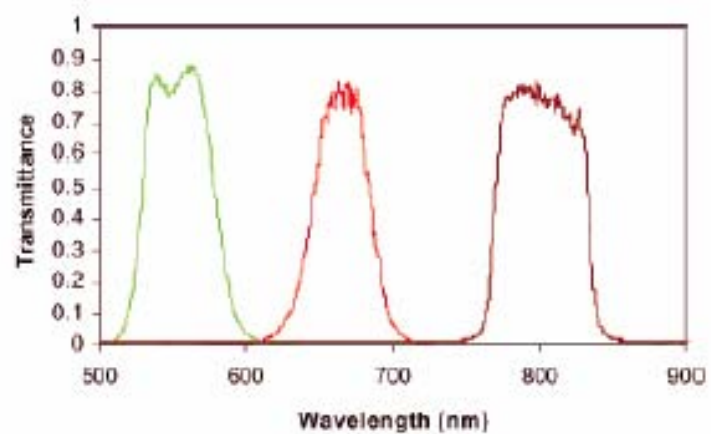


Fig. 7 Redlake-kamerans tre spektralband, vilka presenteras som en RGB-bild där R → NIR, G → R, B → G.

2.2 Mätningar och fältförsök

De fältförsök och mätkampanjer som genomförts och kommer att genomföras beskrivs här i ett längre perspektiv för att tydliggöra det långsiktiga syftet.

Fältförsöken 2003: WEAG

Scenariet studerades i två aspekter, nämligen mark-till-mark-aspekten och luft-till-mark-aspekten. Inledningsvis koncentrerades försöken till landsbygdsmiljö. Information om mål, skenmål, kamouflage och bakgrund samlades in tillsammans med data på referenspaneler och referenskällor. Signaturmätningar genomfördes med ett stort antal mätinstrument varierande från termometrar i direkt kontakt med aktuell yta till reflektometrar och hyperspektrala spektrometrar. Avsikten var att åstadkomma detaljerad information om de objekt och bakgrundelement som ingår i en scen med hjälp av radiometriskt kalibrerad instrumentering med slutmål att förbättra detektions- och klassificeringskapacitet. Dessa möjligheter begränsas av den tillgängliga informationen och mätningarna skall ge underlag för hur tillräcklig mängd information kan erhållas på ett kostnadseffektivt sätt.

Den största mängden hyperspektrala mätningar genomfördes i det visuella (0,4–0,8 μm) och nära infraröda (NIR, 0,8–1,1 μm) våglängdsområdet. Den reflekterade solstrålningen dominerar signalen för våglängder upp till och med kortvågsinfrarött (SWIR, 1–3 μm) – termisk egenstrålning börjar ta över först i mellanvågsbandet (MWIR, 3–5 μm). Både SWIR och MWIR är spektralområden med låga strålningseffekter vilket medför svårigheter att åstadkomma hög spektralupplösning med tillräckligt signalbrusförhållande. I det termiska långvågsområdet (LWIR, 8–12 μm) är det gott om fotoner och god spektralupplösning kan erhållas.

Deltagande sensorer

Ett stort antal sensorer användes under fältförsöken 2003, från monokromatiska sensorer till hyperspektrala sensorer med hundratals spektralband. Scener kunde därför registreras både i hög spatiell och hög spektral upplösning. Dessa registreringar utgör nu en viktig databas för studier av måldetektion och igenkänning. Den stora datamängden gör att prioriteringar måste göras och analysen rationaliseras. Fokus har under 2004 och del av 2005 varit på det visuella och nära infraröda området, men under 2005 har analys av långvågsinfraröda bilddata inletts.

Som nämndes ovan studerades scenariet i två aspekter, mark-till-mark och luft-till-mark:

- Flera sensorer var placerade på marken. Två hyperspektrala sensorer med likartade prestanda opererade i det visuella och nära infraröda våglängdsområdet (ASI och SOC 700). Övriga sensorer var av multispektral typ eller monokromatiska med delvis överlappande spektralområden. Ett flertal sensorer täckte spektralband i det termiska mellanvågsbandet. En översikt med illustration av spektralbandstäckning ges i fig. 8. I första hand har data från ASI- och MultimIR-sensorerna analyserats.
- Tre hyperspektrala sensorsystem deltog i de flygburna försöken. Två av dessa, ASI och MIVIS, täckte in det visuella och nära infraröda spektralområdet, dock med olika spektral och spatiell upplösning. Ingen sensor var tillgänglig för det infraröda mellanvågsbandet. Det långvågiga termiska spektralområdet täcktes av sensorerna MIVIS och AHI. I fig. 9 ges en översikt över de flygburna sensorernas spektrala täckning.

Även om antalet sensorer som deltog i fältförsöken är imponerande så måste även konstateras att viss kapacitet saknas i Europa. För det termiskt långvågiga infraröda spektralområdet (8–12 μm) hyrdes en sensor, AHI [1] in från Hawaii-universitetet. Instrumentet saknar emellertid den känslighet som är nödvändig för att erhålla acceptabelt signal/brusförhållande i det skandinaviska klimatområdet, vilket kännetecknas av låg instrålning. Inom det kortvågiga infraröda spektralområdet och mellanvågsbandet (1–3 resp. 3–5 μm) fanns ingen hyperspektral bildalstrande kapacitet tillgänglig. Utvecklandet av sådan kapacitet i Europa får därför anses vara nödvändig för att kunna studera möjligheten att utnyttja dessa områdens finspektrala egenskaper.

Fältförsök med Semark

Under 2004 och 2005 har nya fältförsök (i mindre skala än 2003) genomförts på Kvarn-området, de flesta i regi av projektet Semark [17]. Syftet har varit trefalt:

- Semark begränsar sig inte till optroniska sensorer, utan studerar hur man kombinerar olika sensortyper (radar, optronik, akustik, ...) på olika plattformar (i luften och på marken) för att ge en marklägesbild. Fältförsöken har alltså genomförts med ett stort antal sensorer.
- Trots det stora antalet sensorer som deltog i försöken 2003 saknades vissa spektralband. Till exempel deltog ingen flygburen MWIR-sensor.
- Försöken 2003 inkluderade endast statiska scenarier i naturlig miljö. Under 2004 och 2005 har mätningar gjorts med dynamiska scenarier och i blandad miljö (dvs, inkluderande bebyggelse).

Under 2004 genomfördes mätningar med sensorerna Emerald och MultiMIR. Mätningarna finns beskrivna i [9].

Fältförsök 2005

I juni 2005 gjordes registrering i Kvarn av stridsfordonen pbv401, Tgb11 och T72 med ett flertal sensorer. Med MultimIR och Emerald gjordes registrering på ca 100 m avstånd i två positioner, stillastående från sidan och i rörelse framifrån (figur 10 och 11). Med sensorn Emerald registrerades i filter 3 ($> 4,5 \mu\text{m}$). Detta spektralband är ganska lika registrering med Multimir i filter 4 (4,5–5,2 μm).

Semark-försöken 2005 genomfördes i månadskiftet november/december med syfte att få bilddata från annan årstid jämfört med tidigare försök. Inga data från försöken har därför analyserats ännu, utan här visas endast bildexempel.

Flygregistreringar gjordes under tre dagar, 24–25 november samt 1 december. Registreringarna i november präglades av att det var barmark och en lufttemperatur vid marken $> 0^\circ\text{C}$. Låga moln och dålig sikt (samt i viss mån isbildning på vingarna) framtvängde flygning på ganska låg höjd, cirka 400 m. Med MultimIR-kameran var då den avbildade sträckan på marken cirka 37 m och upplösningen per pixel ca 1 dm. För Redlake-kameran var avbildad sträcka ca 100 m och upplösning per pixel cirka 7 cm. Den dåliga sikten och låga instrålningen framtvängde också en längre integrationstid hos Redlake-kameran. Registreringen den 1 december präglades av kallt väder och bra sikt, vilket möjliggjorde registrering från 1000 m flyghöjd. Vid detta tillfälle var det snötäckt mark och en lufttemperatur $< 0^\circ\text{C}$. Väderförhållandet framgår av fig. 13. Med MultimIR-kameran var den avbildade sträckan på marken cirka 92 m och upplösningen per pixel

cirka 2,5 dm. För Redlake-kameran var avbildad sträcka cirka 225 m och upplösning per pixel cirka 2 dm.

Planets flygriktning över Kvarn-området visas i fig. 14. Exempel på flygregistrering från den 25 november visas i fig. 15 och fig. 16. Exempel på flygregistrering från den 1 december visas i fig. 17 och fig. 18. På grund av Redlake-kamerans låga uppdateringshastighet (7,5 Hz) präglas bilder från flygregistreringar av en viss suddighet, vilket är särskilt märkbart vid längre integrationstider. Notera att bilderna är beskurna, det är alltså bara en del av synfältet som visas.

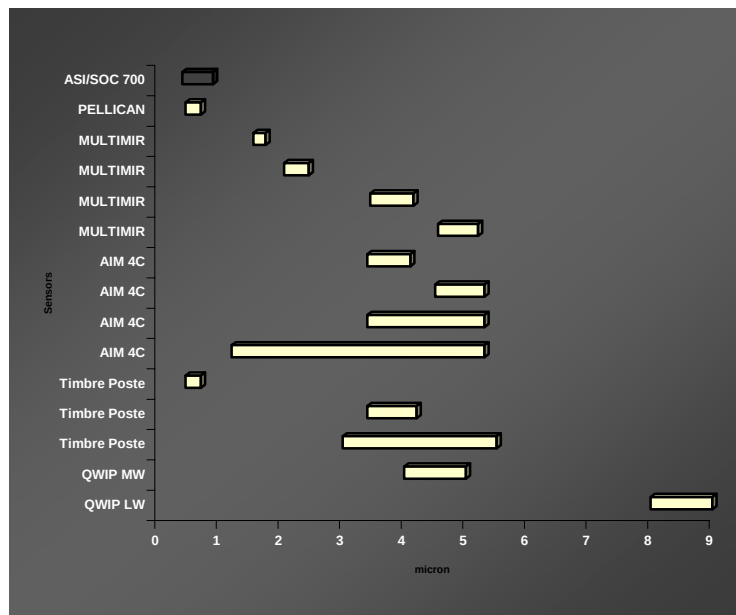


Fig. 8 Spektral täckning för de markbaserade sensorsystemen.

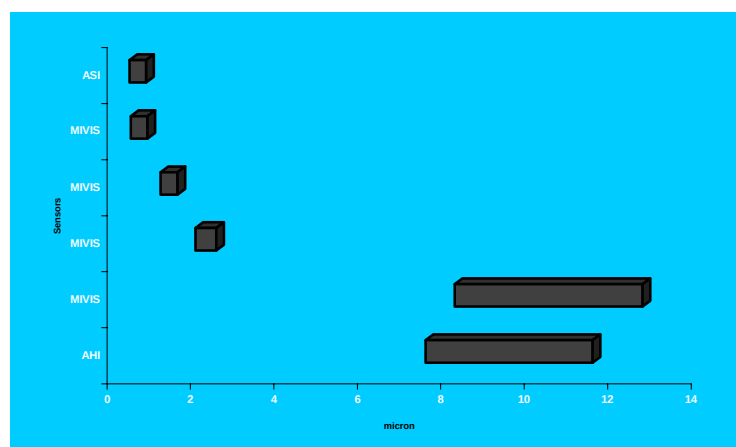


Fig. 9 Spektral täckning för de flygburna sensorsystemen.

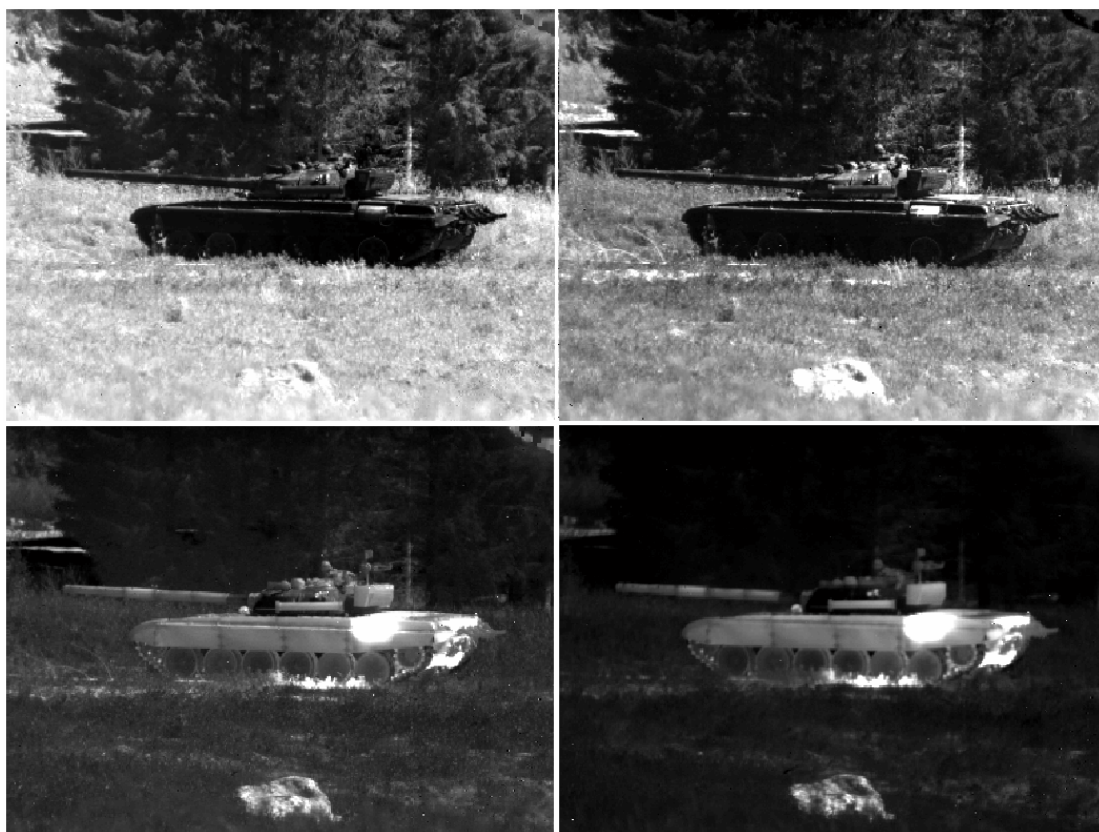


Fig. 10 Registrering med MultimIR av T72 stillastående på cirka 100 m avstånd; optik: 100 mm. Övre vänster: 1,5–1,8 μm (filter 1), övre höger: 2,1–2,45 μm (filter 2), nedre vänster: 3,5–4,15 μm (filter 3), nedre höger: 4,5–5,2 μm (filter 4). (2005-06-09, kl.11.52)

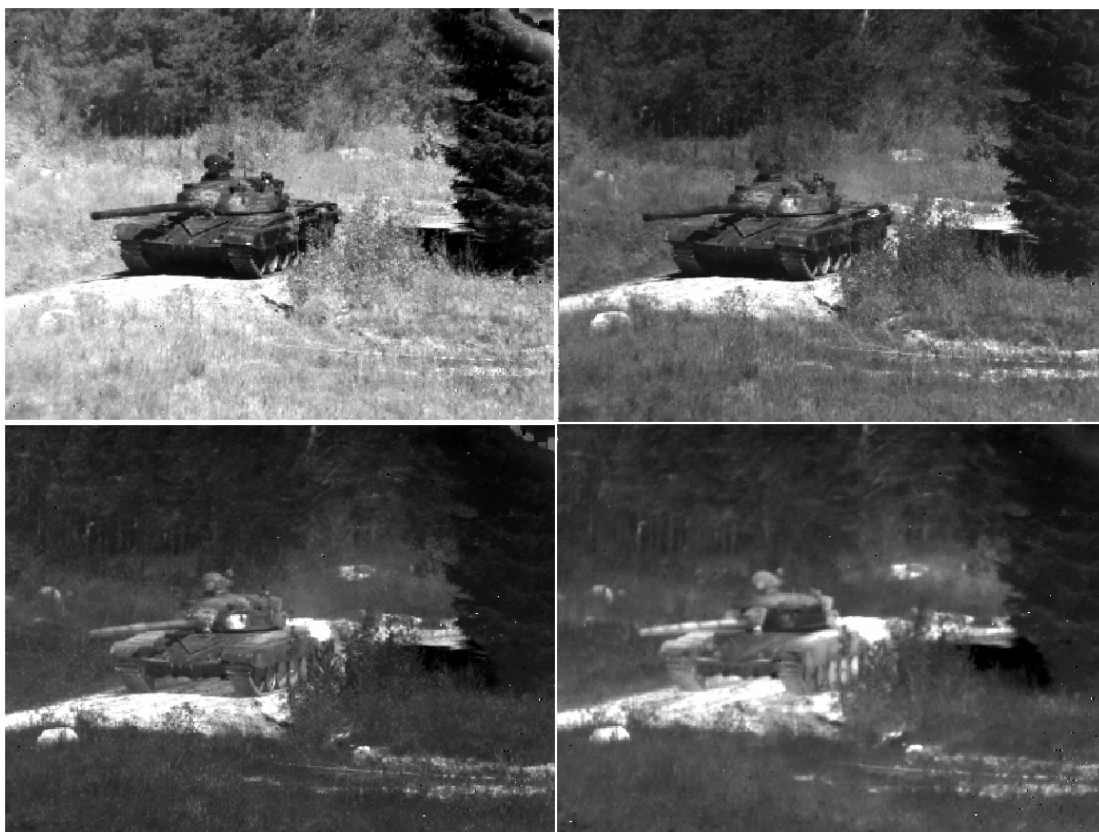


Fig. 11 T72 i rörelse på ca 100 m avstånd, i övrigt se figurtext ovan. (2005-06-09, kl.13.57)



Fig. 12 Övre bilden: Monteringen av sensorerna MultimIR och Redlake i infästningslådan (till höger) samt tillhörande datorutrustning i planet Cessna 172. Nedre bilden: Detaljbild på placeringen av datorutrustningen i planet.



Fig. 13 Örebro 2005-12-01, kl.10.23. Avresa mot Kvarn. Notera det snötäckta vinterlandskapet och de snötäckta hustaken den kalla morgon. Motsvarande förhållanden rådde i Kvarn.



Fig. 14 Kvarnområdet och flygriktningen med Cessna 172 (röd linje).

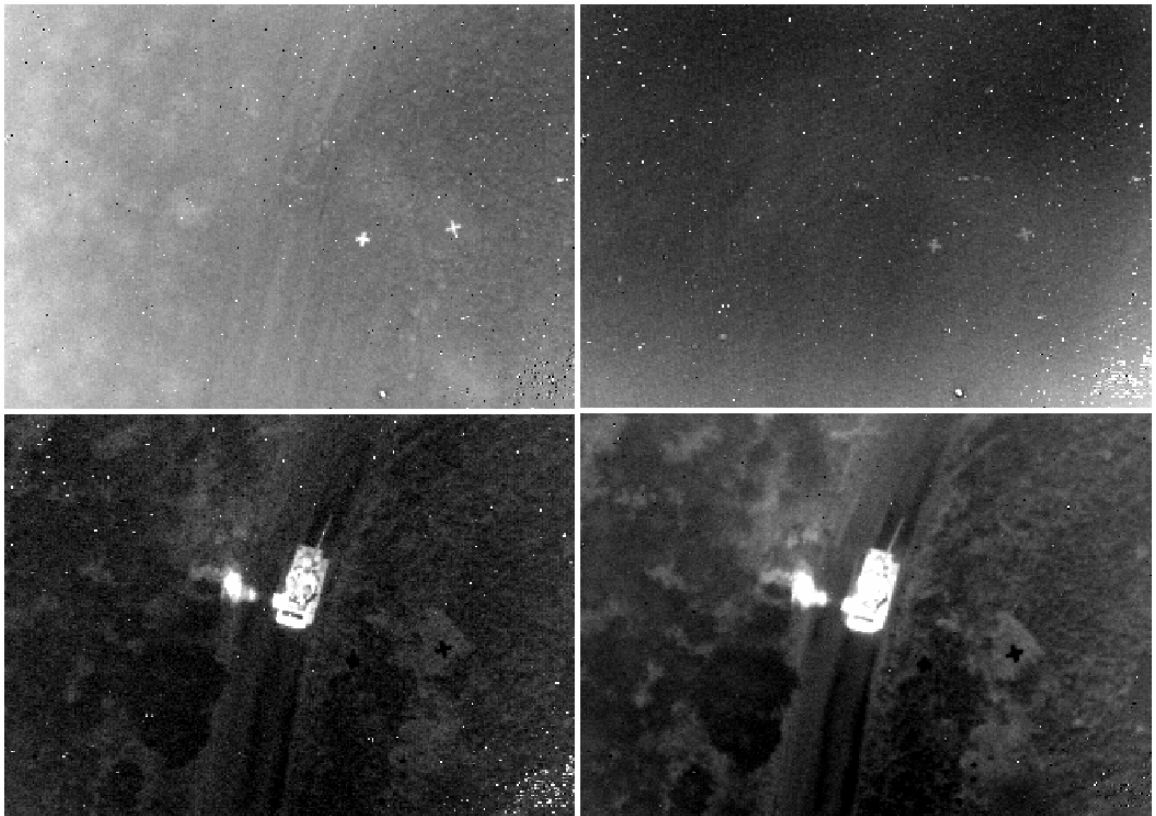


Fig. 15 Registrering av stridsvagn T72 med Multimir från ca 400 m flyghöjd; optik: 100 mm. Övre vänster: 1,5–1,8 μm (filter 1), övre höger: 2,1–2,45 μm (filter 2), nedre vänster: 3,5–4,15 μm (filter 3), nedre höger: 4,5–5,2 μm (filter 4). Notera att kontrastförstärkningen i filter 3 och 4 har gjorts med avseende på hela bilden och har medfört att stridsvagnskroppen blivit mättad i bilden, vilket är särskilt märkbart i filter 4. (2005-11-25, kl.10.41)

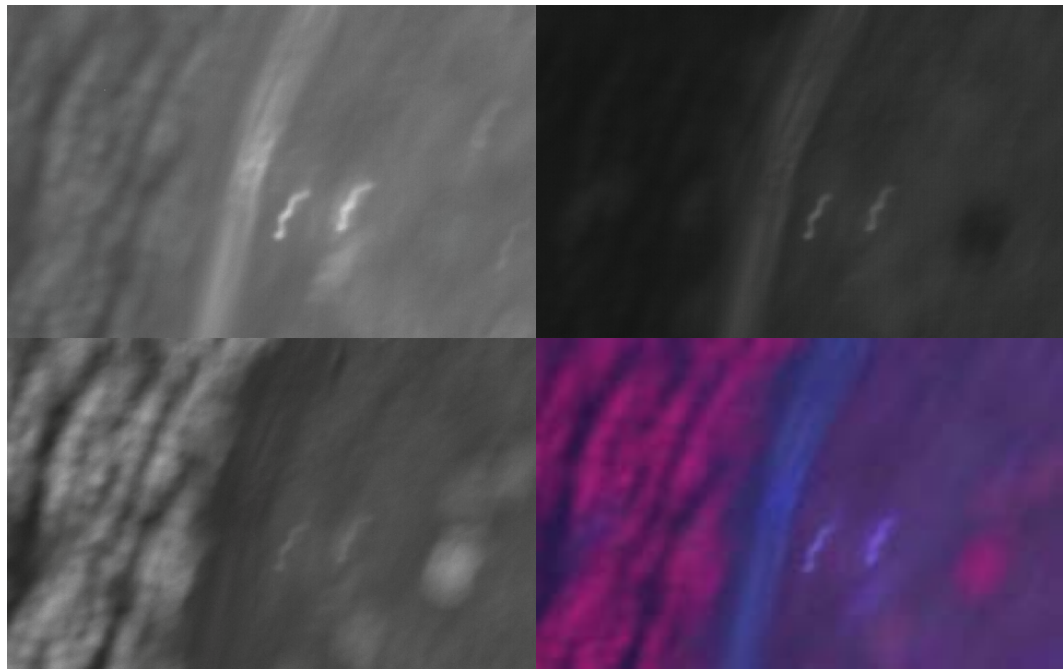


Fig. 16 Registrering av stridsvagn T72 med Redlake från ca 400 m flyghöjd; zoomoptik: ca 30 mm. Övre vänster: G, övre höger: R, nedre vänster: NIR, nedre höger: RGB-bild där R → NIR, G → R, B → G. (2005-11-25, kl.10.41)

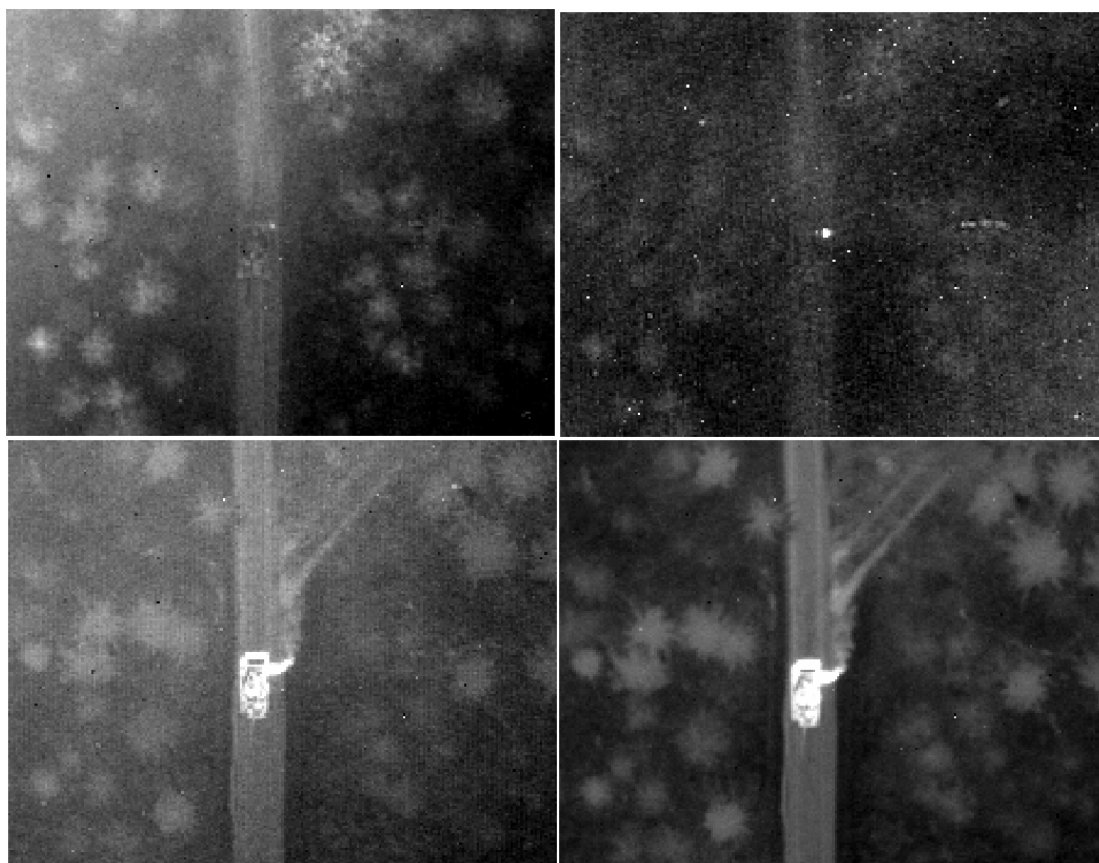


Fig. 17 Registrering av stridsvagn T72 med Multimir från 1000 m flyghöjd; optik: 100 mm. Övre vänster: 1,5–1,8 μm (filter 1), övre höger: 2,1–2,45 μm (filter 2), nedre vänster: 3,5–4,15 μm (filter 3), nedre höger: 4,5–5,2 μm (filter 4). (2005-12-01, kl.11.08)

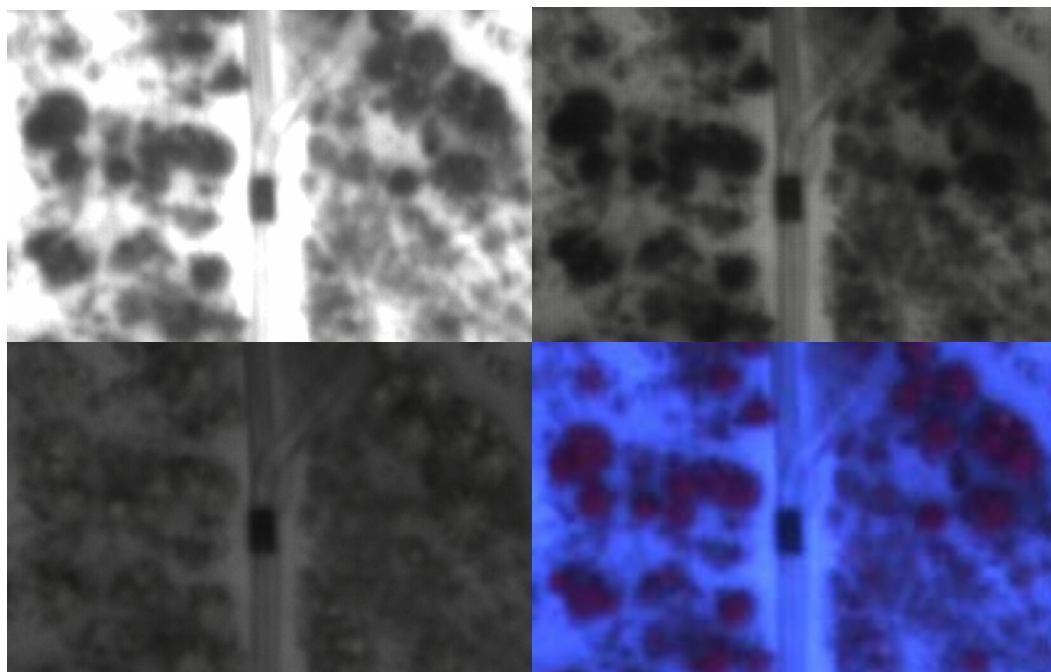


Fig. 18 Registrering av stridsvagn T72 med Redlake från 1000 m flyghöjd; zoomoptik: ca 30 mm. Övre vänster: G, övre höger: R, nedre vänster: NIR, nedre höger: RGB-bild där R $\rightarrow$ NIR, G $\rightarrow$ R, B $\rightarrow$ G. (2005-12-01, kl.11.08).

3. Bildanalys

Många olika typer av transformer, beroende på avsikten, kan appliceras på bilddata. Transformerna kan appliceras på den spatiella eller den spektrala informationen, eller en kombination av dessa två. Avsikten är oftast att projicera data in i ett egenskapsrum som är mer användbart för exempelvis detektion och klassificering. Ingen ny information skapas vid dessa projektioner utan endast en omdistribuering av informationen till en mer användbar form.

Anomalidetektion är ett viktigt verktyg för att detektera material med spektrala egenskaper som avviker från bakgrunden och som har en liten sannolikhet att förekomma normalt. En anomalidetektor kan potentiellt arbeta i relativ tid men separerar inte olika typer av mål från varandra. Efterbehandling kan dock ge information om exempelvis klustring av anomaliegenskaper, och därmed tillåta separering i olika klasser av anomalier. Olika detektionsmetoder finns beskrivna i [7]. Resultat för militära mål beskrivs i [3][4]. Anomalidetektion och klustring demonstreras i [6].

Klassificering innebär att data transformeras till en informationsbeskrivning av målets typ. Klassificeringsprocessen är beroende av tidigare information om exempelvis egenskaper hos bakgrund och olika typer av mål. En svårighet att kunna kvantifiera när informationen är otillräcklig och ett mål därför inte kan klassificeras. Modellering och simulering syftar bland annat till att kunna fånga upp sådana avvikelser i uppmätt signal som beror på varierande väder och belysnings-förhållanden samt variationer i atmosfärstransmissionen. Validering av dessa transformer mot kända objekt i scenen kan öka tilliten också för motsvarande transformering av okända objekts egenskaper. Klassificeringsprocessen kan slutligen utnyttjas för studium av hur klassificeringsförmågan beror av dessa fysikaliska modellers egenskaper.

Detektions- och klassificeringsförmågan är av stor vikt vid värdering av ett systems prestanda. Denna förmåga beror på graden av falsklarm som kan tolereras. Ett system kan exempelvis tillåtas att initialt uppvisa en hög falsklarmfrekvens under förutsättning att denna frekvens kan nedbringas i antingen efterföljande signalbehandling eller i kombination med andra sensorer som uppvisar andra egenskaper. Ett system med hög detektionssannolikhet vid hög falsklarmfrekvens kan exempelvis utnyttjas för invisning av mer avancerad efterprocessning eller invisning av andra högupplösande sensorer som saknar täckningskapacitet.

3.1 Förmågor och resultat

Visuellt och nära infrarött

Inledningsvis har fokus varit på metoder för anomalidetektion i det visuella och nära infraröda området (VNIR). Fördelen med VNIR-domänen är att sensorerna blir förhållandevis enkla och billiga.

Mycket goda resultat har uppnåtts för detektion av människotillverkade föremål i en naturlig bakgrund, även då de människotillverkade föremålen varit signaturanpassade eller delvis skylda. Exakta detektionsresultat redovisas inte i öppna dokument, utan finns i [3][4]. Ett visuellt exempel ges i fig. 19.

Även klassificering mellan olika typer av material (olika måltyper, mål/bakgrund, mål/skenmål) har studerats och redovisas i [3][12]. Exempel på klassificering mellan vegetation och civila kamouflagenät ges i fig. 20. Den använda metoden redovisas i [12].

Noteras bör att resultaten är begränsade till goda väderförhållanden, dagsljus och naturlig miljö (landsbygd, vegetation).

Den naturliga miljön är antagligen en förutsättning för anomalidetektion av den typ som hittills studerats. I en stadsmiljö avviker givetvis inte människotillverkade föremål från bakgrunden, och bakgrunden är mycket mer komplex, vilket försvårar klassificering.

Termiskt infrarött

För nattpapitet krävs att man går över i det termiskt infraröda (eller använder blyktbelysning), vilket kräver mer komplicerade sensorer. Som noteras i avsnitt 0 saknas hyperspektrala sensorer för långvågsmfrarött (LWIR) i Europa. Studier av detektion och klassificering i hyperspektral LWIR har inlett, vilket redovisas i [6].

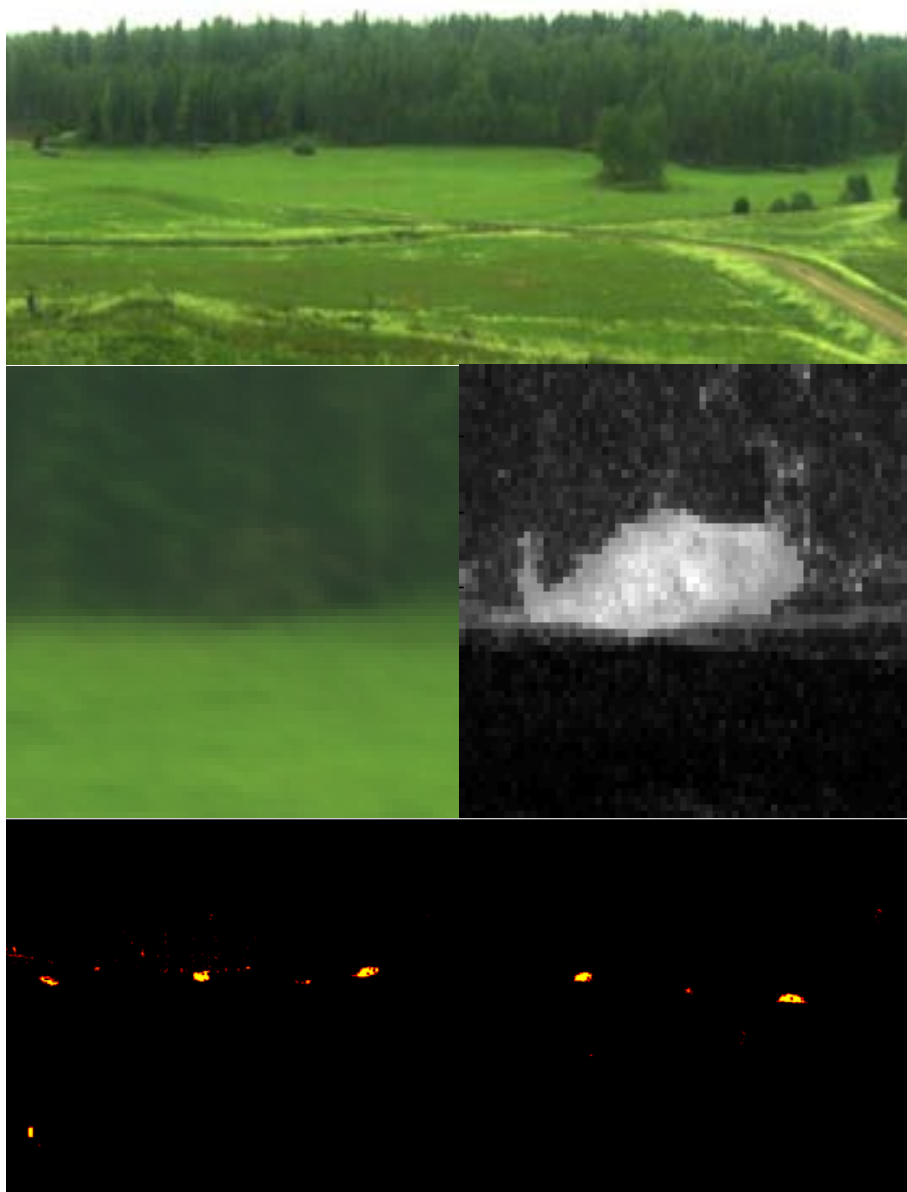


Fig. 19 Exempel på hyperspektral anomalidetektion. Den övre bilden har erhållits ur tre visuella spektralband. I mitten till vänster visas en inzoomning på ett kamouflagenät i skogsbrynet. I mitten till höger har varje pixel förstärkts enligt anomalieresultatet. Nederst visas slutligt anomalieresultat för hela bilden.

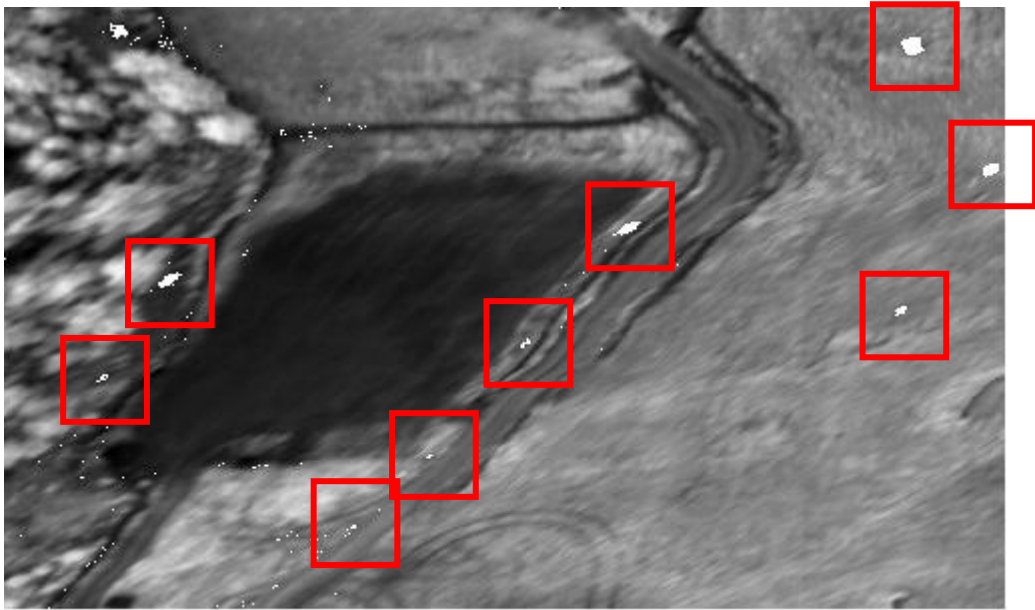


Fig. 20 Exempel på klassificering. En klassificerare är tränad att skilja på kamouflagenät och bakgrund. Bildpunkter som klassificerats som kamouflagenät har färgats vita. De riktiga kamouflagenäten (i olika storlekar) finns mitt i de röda rutorna. Notera objektet överst till vänster som inte är ett kamouflagenät. Den använda tekniken ger än så länge för många falsklarm.

4. Modellering och simulering

FOI har en rad mycket kompetenta simuleringsprogram för syntetisk scen- och målgenerering, t.ex Cameo-Sim [10], RadThermIR [2], och McCavity [11]. För mål i bakgrund används Cameo-Sim i princip uteslutande, medan RadTherm modellerar termiska processer noggrant (t.ex fordonstemperaturer) och McCavity simulerar flygplanssignatur inklusive jetflamma. I fig. 21 visas exempel på en simulering i det visuella våglängdsområdet med Cameo-Sim, ett stridfordon i ett skogsbyn. Notera att bilden är genererad utifrån grundläggande fysikaliska aspekter med tredimensionella objekt (inklusive träd) och att inga bildtexturer använts, endast matematiskt skapade texturer (gräs/jord-blandning för marken, grus/jord-blandning för vägen framför fordonet). Själva fordonet, Pbv 401, är skapat som en tredimensionell CAD-modell.

Tyvärr saknar alla de nämnda tre modelleringsprogramvarorna tillfredsställande kapacitet för sensormodellering, vilket innebär att i bästa fall modelleras den optiska strålningen fram till sensorns optik. I t.ex Cameo-Sim finns möjligheten att definiera synfält, upplösning samt spektral respons, i t.ex RadThermIR finns endast definition för synfält och upplösning. Såväl uppskattning av mål-bakgrundskontrast samt modellering av detektionsalgoritmer, relevanta våglängdsband, detektionsavstånd etc, kräver sensormodellering, dvs den degraderande inverkan en sensor har på den inkommande optiska strålningen. För att kunna modellera hur en specifik sensor uppfattar en scen har, som ett efterbehandlingssteg, en enkel sensormodell implementerats och finns att läsa om i [17]. Tanken är att sensormodellen skall kunna ta syntetiska data från t.ex Cameo-Sim och modulera dessa enligt en specifik sensor, både existerande och framtida koncept, och därmed komplettera modelleringskedjan. Sensormodellen skrivs i Matlab för att kunna användas så generellt som möjligt, dvs kunna vara applicerbar på data från alla de tre nämnda simuleringsprogrammen såväl som andra simulerings/modelleringsprogram.

Arbetet med sensormodellering är under uppbyggnad och hittills har ett antal viktiga sensorprocesser implementerats. Degradering via optik, rörelse samt detektorupplösning har implementerats som så kallade *Modular Transfer Functions* (MTF), och enkelt uttryckt kan ett sensorsystems MTF sägas beskriva hur mycket kontrasten påverkas av de i systemet ingående komponenterna såsom optik, detektor, utläsning etc. Vidare har även brus via det grundläggande fotonbruset implementerats, som är en direkt funktion av integrationstiden, dvs ju längre du mäter desto mindre brusar sensorn [17]. En annan viktig egenskap hos en sensor är dess dynamik, dvs hur många ställen en sensor kan sortera in sin indata i. Vanligtvis ligger dynamiken hos en sensor på 14 bitar eller mindre, medan dynamiken hos syntetiska modelleringsprogram såsom Cameo-Sim och RadThermIR har vanlig flyttalsupplösning, dvs 32 bitar. Därmed måste modellerad data även korrigeras ned till korrekt dynamik [17] för sensorsimuleringen.

I fig. 22 visas en MTF-funktion, där bidragen diffraction, aberration (en totaluppskattning av linsfel, t.ex på grund av tillverkningsfel), samt vibration (t.ex om sensorn befunnits på en flygande spaningsplattform) för ett enkelt system i termiskt infrarött.

Fig. 23 visar en syntetiskt genererad bild med Cameo-Sim i termisk IR, okorrigerad till vänster och degraderad med MTF-funktionen i fig. 22 till höger. Den simulerade sensorn befinner sig på cirka 1500 meters höjd och kan sägas vara en enkel modell av FOIs MultimIR med ett filter för att sortera ut ett termiskt spektralband. Notera fordonet som står placerat ganska så mitt i bilden i skogsbyn. Scenen (och fordonets) uppvärmning är beräknad direkt i Cameo-Sim via väderdata från ett fältförsök i juni 2003 med klart och soligt väder med temperaturer över 20 grader och svaga vindar.

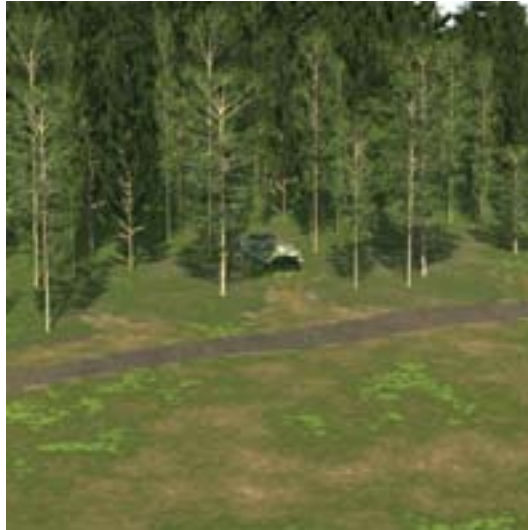


Fig. 21 Syntetisk bild genererad med Cameo-Sim.

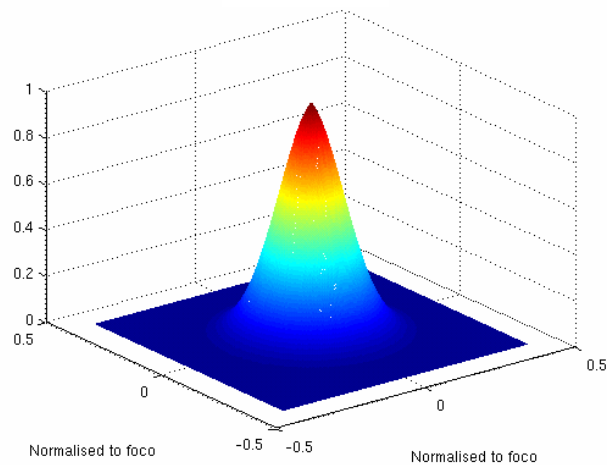


Fig. 22 MTF innehållande diffraktion, aberration samt vibration.

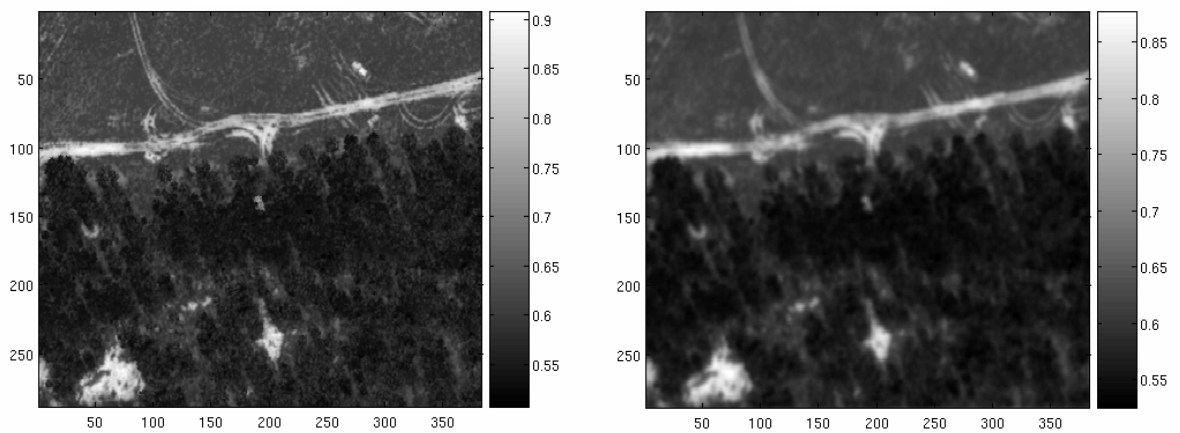


Fig. 23 Syntetiskt genererade bilder av ett flyg-till-mark scenario med direkt utdata (till vänster) och degraderad utdata (till höger) med MTF-funktionen i figuren ovan.

5. Framtida sensorteknik

5.1 Interferometrisk teknik

Hyperspektrala sensorer är i allmänhet baserade på dispersiv teknik (gitter, prismor). I det infraröda våglängdsområdet, speciellt i kortvågs- och mellanvågsområdet (1–5 μm) är strålningsnivåerna mycket låga och det är svårt att uppnå tillräckligt signal/brusförhållande. Genom att i stället utnyttja interferometrisk teknik kan en ökad förmåga erhållas. Det är detta förhållande som gör Fouriertransformspektrometern (FFT) kraftfull i dessa våglängdsintervall. FFT-spektrometern är baserad på rörliga delar. Om man kan åstadkomma ett interferensmönster över ett synfält där interferensen beror på en vägskillnad mellan fasfronterna som funktion av position i synfältet så skulle en sensorrörelse i en riktning kunna utnyttjas för att erhålla ett spektrum för varje pixel i bildplanet. Detta skulle kunna åstadkommas genom att kombinera en avbildande sensor med en Sagnac-interferometer, se fig. 24. Scenen registreras av den avbildande sensorn i exempelvis horisontalled i en spalt och med Sagnac-interferometern sker registrering i vertikalled. Spaltavbildande system av denna typ testas av NASA (MightySat). Sagnac-interferometern har fördelen av att ej ha några rörliga delar samt att den är väsentligt robustare än exempelvis Michelsoninterferometern.

Vår avsikt är att i en första fas utreda konceptet och realiserbarheten av denna sensor samt utarbeta ett förslag hur en sådan interferometer kan kombineras med befintlig avbildande teknik i de aktuella våglängdsbanden. En sådan sensor blir unik även i ett internationellt perspektiv.

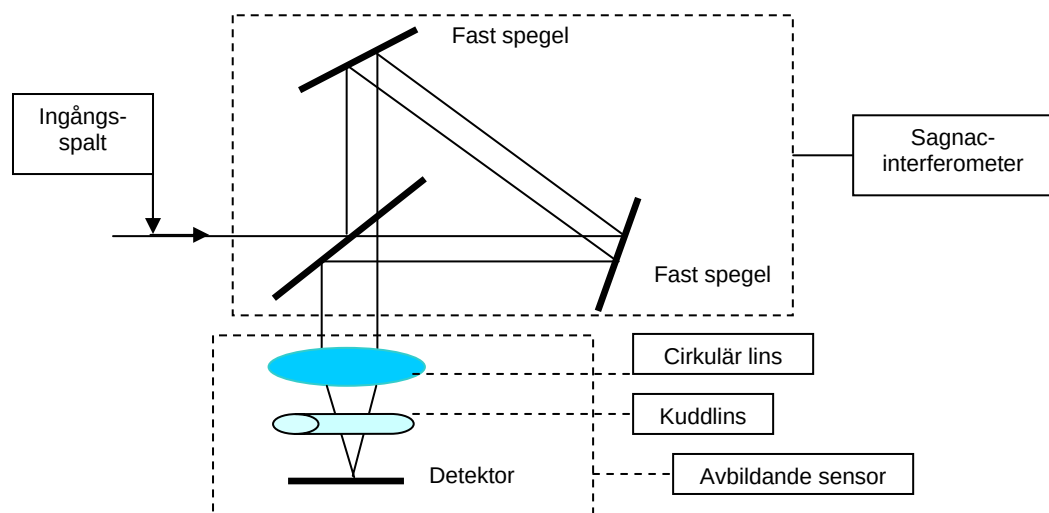


Fig. 24 Principskiss för MightySat. I den nya konstruktionen avlägsnas spalten och optiken modifieras.

Vidareutveckling

Full integrationsfördel skulle kunna erhållas om hela bilden registreras samtidigt och anpassad signalbehandling genomförs i samband med en kontrollerad sensorrörelse, exempelvis i samband med scenpanorering eller överflygning. Denna vidareutveckling av konceptet kan åstadkommas genom att utesluta spaltavbildningen och modifiera övrig optik. Genom att avlägsna cylinderlinsen kan en samtidig registrering av hela scenen erhållas, modulerad av interferometern. Det stationära interferensmönstret modulerar den momentana bilden.

Ett interferogram registreras då varje enskild bildpunkt förflyttas över bildplanet. Sagnac-interferometern kan i sin slutkonstruktion göras i ett monolitiskt stycke [14]. En sådan konstruktion blir immun mot vibrationer och termiska störningar.

Interferometriska system kräver noggrannhet i designfasen. Slutkonstruktionen kan dock vara relativt enkel i sin uppbyggnad. Artefakter uppstår dock lätt i frekvensplanet och en god förståelse av egenheterna hos denna typ av instrument krävs för att signalbehandlingen skall kunna genomföras på ett effektivt sätt. Interaktionen mellan interferometerns egenheter och optikens avbildningsfel kan vara intrikat. Den temporala delen i en Fouriertransform-spektrometer motsvaras för en spaltavbildande Sagnac-interferometer av en spatial del. Interferogrammet registreras samtidigt över hela fokalplansarrayen.

Den vidareutvecklade Sagnac-interferometern registrerar hela scenen samtidigt men scenen moduleras av en interfererande funktion (fig. 25). Ett objekt måste förflyttas från ena änden av bildplanet till den andra änden av bildplanet för att ett spektrum skall kunna framräknas. Detta medför att bildrörelsen måste mätas med hög precision och fel i beräknad position resulterar i spektrala artefakter. Sensorer som klarar att monitorera sensorrörelser med hög precision baserat på oscillerande kristaller finns nu kommersiellt tillgängliga till förhållandevis fördelaktiga

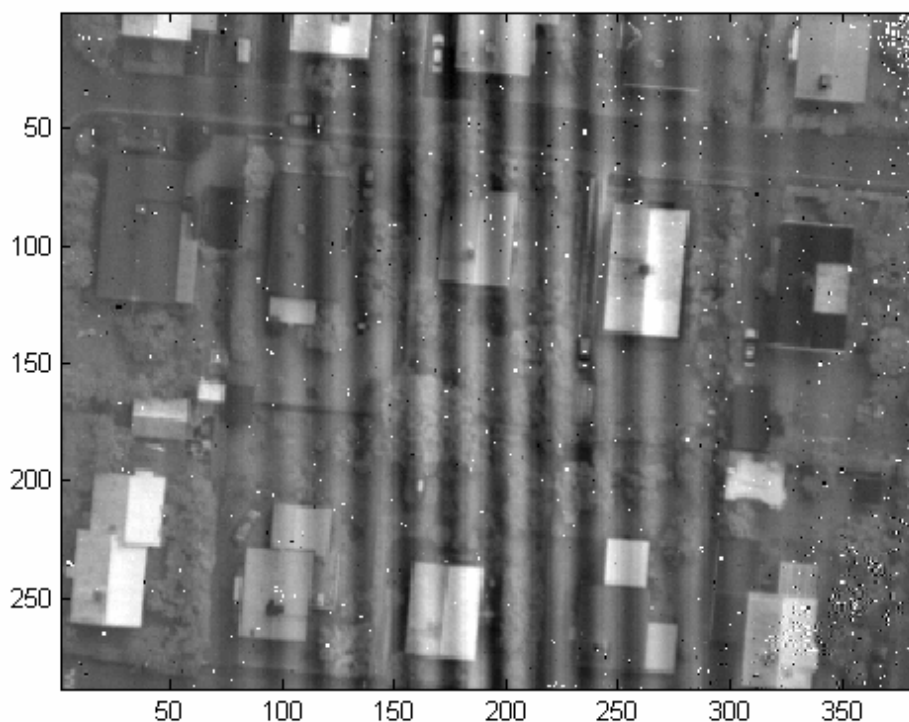


Fig. 25 Simulering av interferensmodulerad scen (MultimIR-bild).

priser. Samtidigt som kraven på kontroll av sensorinriktning ökar, minskar i motsvarande grad optikens komplexitet. Hårdvaran kan göras enklare och billigare samtidigt som en ökad börda lägges på signalbehandlingen. Eftersom datorkraft är relativt billigt så kan en sådan sensor göras relativt billig. Hjärtat i systemet är en stråldelare som måste vara av mycket hög kvalitet. I övrigt är kraven mycket måttliga och upplinjeringen av systemet kan göras robust. Eftersom den spektrala informationen inhämtas sekventiellt betyder detta att intensiteten inte får variera under den tid registreringen pågår. Detektorbrus och ojämnheter i responsivitet inverkar naturligtvis även på systemets spektrala upplösningsförmåga.

5.2 Bandselektion

Problemställning

Det har visat sig svårt att konstruera kriterier utifrån sensors operativa egenskaper för analys med avseende på teknisk parameteroptimering. Många försök har gjorts att studera exempelvis val av spektralband och val av spektral bandbredd utifrån detektionssannolikhet som funktion av falsklarmfrekvens. En alternativ ansats har därför studerats, baserad på informationsteori, där avsikten är att kvantifiera informationsinnehållet med avseende på en bestämd uppgift. Metoden som sådan kan utnyttjas för detektion, men avsikten är här en annan.

En ansats till lösning

När vi digitaliserar data från en hyperspektral sensor gör vi det i tre dimensioner; den radiometrisk, den spektrala och den spatiella. Utsignalen kan betraktas som en stokastisk variabel, vilket tillåter oss att estimerar variabelns *entropi*, dvs dess informationsinnehåll. Vi tänker oss att syftet med en sensor är att berätta huruvida en bildpunkt tillhör ett mål eller bakgrunden. Detta kan vi betrakta som en binär stokastisk variabel, och uppmätta spektrum är en funktion av den. Informationsinnehållet hos en binär variabel är maximalt en bit, och vi kan även beräkna sensors, eller sensorkonfigurationens, *informationskapacitet*. Informationskapaciteten anger hur mycket information som sensorn kan överföra, och ger en begränsning för sensors prestanda.

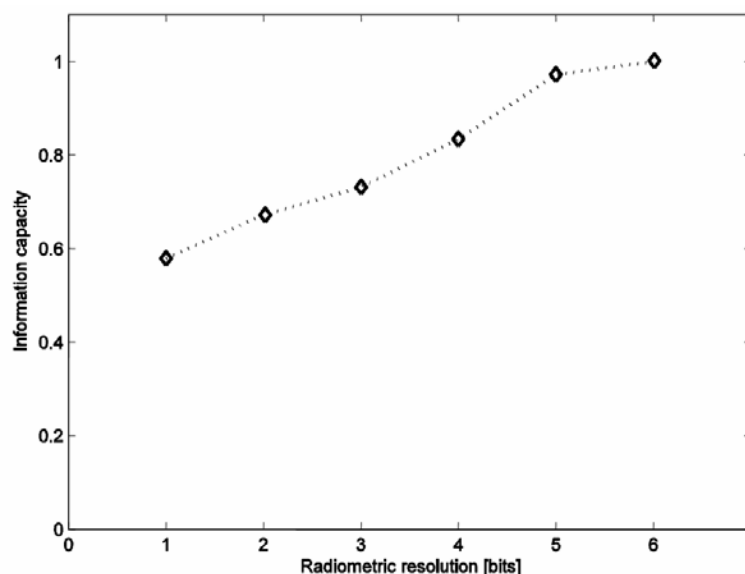


Fig. 26 Informationskapaciteten hos en multispektral sensor som funktion av antalet bitar per spektralband.

Om kapaciteten är en bit får vi full information om huruvida varje pixel är en mål- eller bakgrundspixel. Om kapaciteten är lägre kommer vi alltid att få en viss felprocent. Detta gäller oavsett vilken detektions- eller klassningsalgorithm vi använder – informationskapaciteten ger en övre gräns för hur bra en sådan algorithm kan bli med den givna sensorn. Vårt mål är därför att optimera sensorn så att vi med så få spektralband och så grov kvantisering (få bitar per spektralband) som möjligt få så hög informationskapacitet som möjligt. Eller med andra ord, för så lite pengar som möjligt få bästa möjliga sensor.

Givet ett antal mål- och bakgrundspixlar uppmätta med en sensor kan vi estimeras sensorns informationskapacitet. Även om resultatet bara är giltigt för just de typer av mål och bakgrunder som ingår i träningsdata, ger det ändå en fingervisning av hur bra sensorn är, och det ger oss också ett mått på hur bra en viss detektions/klassningsalgorithm är eftersom vi har ett teoretiskt optimum att jämföra med.

Det för vårt ändamål viktigaste är att vi kan jämföra olika konfigurationer av en sensor. Hur förändras kapaciteten när vi ändrar kvantiseringen (antalet bitar) eller antalet spektralband? Ett exempel visas i fig. 26, där en 16-bands multispektral sensor tittat på kamouflagenät och gräs. Ju hårdare data har kvantiserats, desto mindre information har sensorn kunnat överföra.

Vårt problem är att avgöra vilka och hur många spektralband som ska användas. Med den föreslagna ansatsen kan man utvärdera en uppsättning spektralband, och metoder för hur man utgående från en sensor med många smala spektralband successivt minskar antalet band genom att ta bort eller slå ihop band har studerats. Metoderna redogörs för i mer detalj i [8].

6. Sammanfattning och framåtblick

6.1 Sensorteknik

Hyperspektral avbildning är konceptuellt ett relativt moget område men som nu kräver teknologiutveckling för att realisera funktionella system. Som nämns ovan saknas europeisk hyperspektral kapacitet i såväl mellanvågs- som långsvågsbanden.

Nuvarande sensorsystem i det termiskt infraröda våglängdsområdet utnyttjar endast en liten del av informationen i den optiska strålningen i 8–12 μm -området. Detta betyder inte enbart att en stor del av tillgänglig strålning ej tas tillvara. Det betyder även att spektrala egenskaper som kan utnyttjas för detektion, klassning och identifiering ej heller utnyttjas. En förutsättning för utveckling av sådana multi/hyperspektrala system är tillgång till fokalplansarrayer i detta spektralintervall av god kvalitet.

En interferometrisk sensorlösning har egenskaper som potentiellt kan medge goda prestanda i dessa avseenden. Vår avsikt är att i en första fas utreda konceptet och realiserbarheten av en sådan sensor samt utarbeta ett förslag hur en sådan interferometer kan kombineras med befintlig avbildande teknik i de aktuella våglängdsbanden. En sådan sensor blir unik även i ett internationellt perspektiv.

6.2 Bildanalys

Detektion och klassning av mål eller hot är en central funktion i spaningssystem, övervakningssystem, målsökare och varnarsystem. För en framgångsrik analys krävs ingående kunskap om målets och bakgrundens egenskaper. Många situationer involverar små mål och innehåller i dessa fall begränsad information om storlek och form hos objektet. Grundfunktionen i dessa fall är att utifrån den observerade bakgrundsstatistiken avgöra om en observation är konsistent med denna statistiska modell. Förmågan hos en sådan anomalidetektor är beroende av den statistiska modellens relevans för den aktuella situationen. En detaljerad modellering av bakgrunden möjliggör även en effektiv kontroll av falsklarmfrekvensen. Förmågan hos detektionssystemet ökar naturligtvis också med dimensionaliteten i sensorsystem. Multi- och hyperspektrala sensorer har här visat sig vara kraftfulla.

Hyperspektrala data kan utgöra underlag för automatisk material- och terrängklassning. Spektrala data i varje enskild pixel, tillsammans med data från närliggande pixlar, utnyttjas för karakterisering av signaturanomalier och atmosfärsinverkan. Hyperspektral avbildning har potential att kraftigt förbättra sannolikheten för måldetektion då målmaterialet på något sätt skiljer sig från omgivningen.

Initialt har system i det visuella och nära infraröda spektralområdet studerats. Dessa system är beroende av dagsljus. System i det termiskt infraröda våglängdsområdet har på motsvarande sätt en stor potential och medger dessutom nattkapacitet. Det är inte enbart mål/bakgrundskontrast som ökar utan även diskrimineringsförmågan mellan tidigare oskiljbara mål- och bakgrundsstrukturer. Förmågan att detektera ej upplösta mål (subpixelmål) förbättras avsevärt eftersom målets spektrala egenskaper kan särskiljas även vid en liten andel av den totala signalen.

6.3 Modellering och simulering

I fysikaliskt baserad scen och målmodellering, modelleras radiometrisk och termisk egenskaper för varje scenelement inklusive väderinverkan och atmosfärstransmission baserat på materialdatabaser och geometriska modeller. En sensormodell inkluderas i den slutliga simuleringen. Beräknade signaturer som erhållits från första princip jämföres med signurmätningar. Resultaten kan användas för signaturanpassning, sensorutveckling och övning. Med en tillförlitlig och validerad modell kan nya idéer prövas i en syntetisk omgivning. Spektral modellering medger värdering av olika typer av signaturanpassningsåtgärder med avseende på sensorförmåga. Modelleringskapaciteten kan även utnyttjas vid olika typer av specifikationer.

För scenvalidering måste ett försöksområde karakteriseras i hög detalj med avseende på geometri, scenelement och signaturregenskaper. Plattformstester och sensortester bör genomföras i detta område för att kunna samla relevanta data för efterföljande modellering och simulering. FOI har för detta ändamål i internationell samverkan genomfört en detaljerad kartläggning av ett område i Kvarn.

För att kunna värdera framtida hyperspektrala (och polarimetriska) system kommer det att vara nödvändigt att utveckla validerad simuleringsprogramvara. Detta är nödvändigt för designavvägningar och algoritmutveckling. Aktuella taktiska fall kan inte täckas in med dyrbara fältförsök utan måste kompletteras med modellering och simulering. Fältförsök är dessutom oftast begränsade till ett fåtal geografiska platser, specifika scenarier och årstids- samt väderförhållanden.

Det föreligger ett ökande behov av att kunna värdera förmågan hos nya sensorsystem, effekten av förbättrad kamouflageteknik, signaturreduktionsåtgärder och för utveckling av detektion, klassning och identifiering. Cameo-Sim/RadTherm är baserad på fysikalisk fenomenologi och utvecklat med avseende på dessa behov. Den innehåller en öppen struktur som tillåter användarspecifika tilläggswerktyg. Cameo-Sim kan användas för både passiva och aktiva sensorsystem. Tilläggsmoduler kan även utnyttjas för simulering av sensorspecifika effekter. FOI ingår i en användargrupp och har påverkat utvecklingen av denna programvara.

7. Publikationer inom projektet

Projektet har producerat följande rapporter och andra publikationer:

- **Konferensbidrag:** J. Ahlberg, I. Renhorn, *An information-theoretic approach to band selection*. Publicerad i *Proceedings of SPIE Vol. 5811, Targets and Backgrounds XI: Characterization and Representation*, sid. 15–23. Presenterad på *SPIE Defense & Security Symposium*, Orlando, FL, februari 2005. FOI särtryck nr. FOI-S--1757--SE.
- **WEAG-rapport:** J. Ahlberg, *Processing of spectral images recorded under THALES JP8.10 trials – Results from Sweden*. WEAO CEPA Document Th_T_WP4_K_07, 2005. FOI särtryck nr. FOI-SH--0007--SE (Hemlig/Restricted).
- **WEAG-rapport:** J. Ahlberg, *Processing of spectral images recorded under THALES JP8.10 trials – Hypernational report*. WEAO CEPA Document Th_T_WP4_K_07, 2005. FOI särtryck nr. FOI-SH--0008--SE (Hemlig/Confidential).
- **Vetenskaplig rapport:** M. Jottrand, J. Ahlberg, *Hyperspectral Classification using Support Vector Machines*, FOI, 2005.
- **Användarrapport:** J. Ahlberg, I. Renhorn, *Analysis of Hyperspectral Longwave Infrared Imagery*, FOI-RH--0493--SE, 2005 (Hemlig/Restricted).
- **Memo:** J. Ahlberg, *Multispektrala sensorlösningar*, FOI Memo 1344, 2005.
- **Memo:** T. Winzell, *Sensor Modelling on Synthetic Input*, FOI Memo 1508, 2005.

Referenser

- [1] Airborne Hyperspectral Imager. www.higp.hawaii.edu/ahi
- [2] ThermoAnalytics, Inc. www.thermoanalytics.com
- [3] J. Ahlberg, *Processing of spectral images recorded under THALES JP8.10 trials—Results from Sweden*, WEO CEPA JP8.10, Document Th_T_WP4_K_07, 2005. (FOI-SH--0007--SE, Hemlig/Restricted).
- [4] J. Ahlberg, *Processing of spectral images recorded under THALES JP8.10 trials—Hypernational report*, WEO CEPA JP8.10, Document Th_T_WP4_K_11, 2005. (FOI-SH--0008--SE, Hemlig/Confidential).
- [5] J. Ahlberg, *Multispektrala sensorlösningar*, FOI Memo 1344, June 2005.
- [6] J. Ahlberg, I. Renhorn, *Analysis of Hyperspectral Longwave Infrared Imagery*, FOI-RH--0493--SE, 2005 (Hemlig/Restricted).
- [7] J. Ahlberg, I. Renhorn, *Multi- and Hyperspectral Target and Anomaly Detection*. Scientific Report FOI-R--1526--SE, 2004.
- [8] J. Ahlberg, I. Renhorn, "An information-theoretic approach to band selection," *Proc. SPIE Vol. 5811, Targets and Backgrounds XI: Characterization and Representation*, pp. 15–23, 2005 (FOI-S--1757--SE).
- [9] T. Chevalier et al., *Optroniska system 2004*, FOI-R--1422--SE, 2004.
- [10] Insys Ltd, *User Manuals, CAMEO-SIM*, version 5.4, 2005.
- [11] Insys Ltd, *User Manuals, McCavity*, version 4.0, 2005.
- [12] M. Jottrand, J. Ahlberg, *Hyperspectral Classification using Support Vector Machines*, FOI, 2005.
- [13] P.G. Lucey, T. Williams, and K. Horton, *Characterization of SMIFTS, Spatially Modulated Fourier Transform Spectrometer*, ftpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/characte.htm
- [14] J.B. Rafert, R. Sellar, and J. H. Blatt, "Monolithic Fourier-transform imaging spectrometer," *Applied Optics*, Vol. 34, pp. 7228-7230, 1995.
- [15] I. Renhorn, The Kvarn Campaign – Multi and hyperspectral field trial in Sweden May 26-June 14 2003, WEO CEPA JP8.10, Document Th_T_WP4_K_02, 2003.
- [16] I. Renhorn et al., *Försök med multispektrala aktiva/passiva sensorer*, FOI-R--0290--SE, 2002.
- [17] L. Svensson, M. Elmqvist, T. Chevalier, *SeMark Fältförsök 2004. Genomförda försök vecka 37-38*, FOI Memo 1009, 2004.
- [18] T. Winzell, *Sensor Modelling on Synthetic Input*, FOI Memo 1508, 2005.

Bilaga 1: Tillämpningar av spektral avbildning

Tillämpning	Användning
Kartläggning, kartering och geodesi	Bildkartering Terrängkartering Egenskapskartering Elevationsdata Kartframställning Förändringsdetektion
Spaning över större områden	Automatisk förändringsdetektion Invisningsstöd
Katastrofstöd	Kartläggning av naturkatastrof Kartläggning av katastrof orsakad av mänsklig aktivitet
Strategisk industri och tillgångar	Övervakning Exploatering av naturtillgångar/gruvdrift Industriella processflöden Hamnutnyttjande Kraftproduktion Underjordsanläggningar Produktion av kemiska och biologiska stridsmedel
Planering inför potentiella insatser	Informationsinhämtning om potentiella stridsområden Planering av landningsområden och fällningsanalys Planering av landstigningsoperationer Flygfältsanalyser Evakueringsplanering för civila Miljöriskanalyser
Uppdragsplanering och generalrepetition	Orientering i större områden Operationsplanering Uppdragsgenomgång Uppdragsvärdering
Operationsstöd	Stridsfältsövervakning Stridsfältsanalys
Målinmätningssöd	Målupptäckt Målupptäckt och följning Målskadeanalys Analys av målmaterial Målpenetrationsanalys Bombskadevärdering