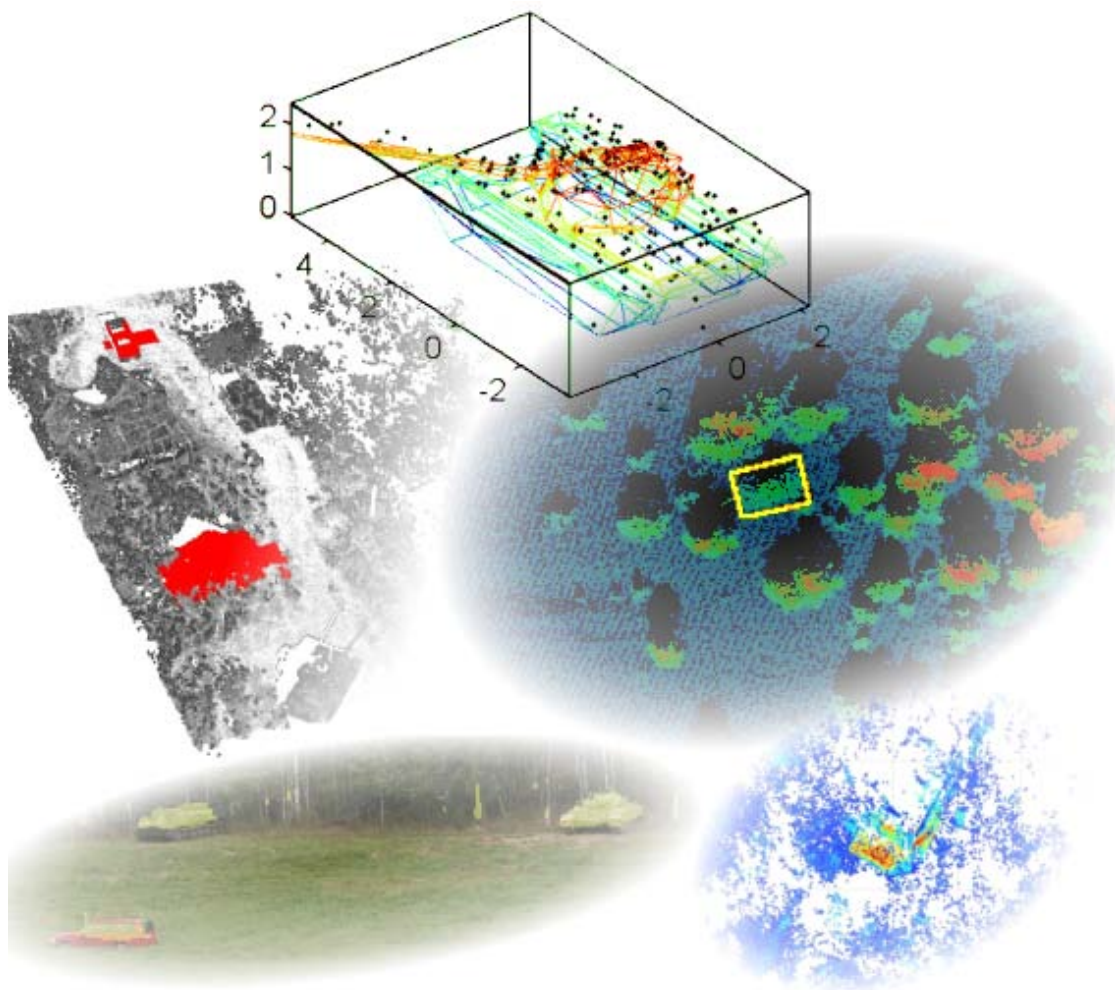


Tomas Chevalier, Pierre Andersson, Christina Grönwall, Frank Gustafsson, Jonas Landgård, Håkan Larsson, Dietmar Letalick, Anna Linderhed, Ove Steinvall, Gustav Tolt



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.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

Tel: 013-37 80 00
Fax: 013-37 81 00

www.foi.se

Årsrapport 3D-laser 2005

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1807--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E3080
	Delområde 42 Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Tomas Chevalier Pierre Andersson Christina Grönwall Frank Gustafsson Jonas Landgård Håkan Larsson	Projektledare Tomas Chevalier	
	Godkänd av Lena Klasén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Tomas Chevalier	
Rapportens titel Årsrapport 3D-laser 2005		
Sammanfattning Projektet <i>Måligenkänning med högupplösande 3D-avbildande laserradar</i> har som syfte att ge en kompetensuppbyggnad inom området samt att ge underlag för bedömning av prestanda hos 3D-avbildande lasersensorer, såväl befintliga system som kommande system. Metoder för att exploatera 3D-informationen för att öka förmågan att hitta och känna igen svårupptäckta mål i vegetation och urban miljö är också en central del i projektet. Denna rapport beskriver större delen av årets verksamhet och omfattar bland annat - Ny laserskanner och ny kompakt 3D-kamera - Verksamheten inom internationella samarbeten och fältförsök - Studie av 3D-laserradarutvecklingen i omvärlden - Metodutveckling inom segmenterings- och igenkänningsområdet - Mätningar, bland annat i Huntsville, Alabama, USA		
Nyckelord Sensorer, 3D, laser, laserradar, måligenkänning, algoritmer		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 43 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1807--SE	Report type User report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2005	Project no. E3080
	Subcategories 42 Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Tomas Chevalier Dietmar Letalick Pierre Andersson Anna Linderhed Christina Grönwall Ove Steinvall Frank Gustafsson Gustav Tolt Jonas Landgård Håkan Larsson	Project manager Tomas Chevalier	
	Approved by Lena Klasén	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Tomas Chevalier	
Report title (In translation) Annual report 3-D laser 2005		
Abstract The purpose for the project <i>Target recognition with high resolution 3-D imaging laser radar</i> is to increase knowledge in the field and to give a base for better assessment of the performance of 3-D imaging laser radar systems, current systems as well as future systems. Methods to exploit the third dimension to increase the ability to discover and recognize difficult targets in vegetation and urban environment is also an important part of the project. This report describes the work during 2005 and covers: • New laser scanner and a new compact 3-D camera • International contacts including a field trial • A study of the international state-of-the-art 3-D laser radar sensors • Development of methods for segmentation and target recognition • Field trials and laboratory measurements		
Keywords Sensors, 3-D, laser, laser radar, target recognition, algorithms		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 43 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	5
1.1	Projektsamverkan.....	6
2	Sensorläget inom FOI.....	7
2.1	Electronic Perception Kit, (EP-Kit).....	7
2.2	Ny laserradar, Optech ILRIS-3D.....	8
3	Internationell verksamhet.....	9
3.1	SET-077 RTG-45, <i>N-Dimensional Eye Safe LADAR Imaging (N-DELI)</i>	9
3.2	SET-072 RTG-40, <i>Modelling of Active EO-Imaging Systems</i>	9
3.3	SET-099 (RSM-003), <i>SCI 145 –Results and Lessons Learned</i>	9
3.4	SET-094 RTO-MP-SET-094, <i>Emerging EO Phenomenology</i>	9
3.5	Tri-lateralt samarbete Kanada/Nederländerna/Sverige.....	10
3.6	Bilateralt projektavtal med AFRL/SNJM.....	10
4	Omvärldsbevakning, teknikutveckling i världen.....	10
4.1	Pulsade FPA-system.....	10
4.2	System för måligenkänning.....	11
4.2.1	LOCAAS.....	13
4.2.2	LAM.....	13
4.2.3	CLAS.....	14
4.2.4	CMRTR.....	15
4.2.5	Jigsaw.....	15
4.2.6	Urban Reconnaissance ACTD.....	16
5	Signalbehandling.....	17
5.1	Litteraturstudie detektion.....	18
5.2	Litteraturstudie måligenkänning.....	19
5.3	Måldetektion med traditionella bildanalysmetoder.....	20
5.4	Måldetektion med stöd av markmodell.....	23
5.5	Måldetektion genom förändringsdetektering.....	24
5.6	Ytdetektion med spinnbilder.....	25
5.7	Måligenkänning genom rektangelskattning.....	29
5.7.1	Exempel måligenkänning.....	30
5.7.2	Identifiering av eldrör och torn.....	32
5.7.3	Skattning av dimensioner.....	33
5.7.4	Prestanda klassificering och måligenkänning.....	33
5.8	Sensorsimulering.....	34
6	Mätningar.....	35
6.1	Reflektionsjämförelser av vegetationsbakgrunder.....	35
6.2	Kamouflagefärg, ansikten.....	37
6.3	Mätkampanj i Huntsville (Alabama, USA) inom NATO RTG-45.....	39
7	Referenser.....	40

1 Inledning

De centrala frågeställningarna för projektet *Måligenkänning med högupplösande 3D-avbildande laserradar* (3D-laser) är dels en analys av förmågan hos framtida system för 3-dimensionell avbildning med laserradar, främst avseende penetration av vegetation och kamouflage, och dels en bedömning av den tekniska potentialen hos 3D-sensorer, främst genom internationell samverkan. Projektet är gällande analysen av prestandan fokuserat mot signalbehandlingen eftersom det är en kritisk länk.

Arbetet inom projektet har resulterat i en omfattande kompetensuppbyggnad där de vetenskapliga och tekniska frågeställningarna har omfattat flera delområden:

- Algoritmer för **signalbehandling** i spaning- och målsökartillämpning.
- Metoder för **sensorsimulering**.
- Studier av andra nationers **sensorutveckling** inom 3D-laserradarområdet.
- **Demonstration** av hur framtida sensorsystem kan verka genom att använda skannande laserradarsystem.

Projektet *3D-laser* är ett treårigt projekt som planeras pågå från 2005 till och med 2007. Det är en del av fortsättningen av projektet *Optroniska System*[1] som studerade 3D-avbildande och passiva elektrooptiska sensorer i kombination. Verksamheten under 2005 har till större delen handlat om metodutveckling för segmentering och måligenkänning i 3-dimensionella data, men viktiga moment under året har dessutom varit deltagandet i flera fältförsök i olika NATO-gruppers regi, samt egna mätningar och sensorsimuleringar. Fältförsöken kommer bland annat att ligga till grund för den viktiga valideringen av sensormodellerna och värderingen av igenkänningsalgoritmerna. Flera viktiga internationella samverkansavtal som startats upp inom området kommer att löpa under flera år framöver. Mot olika tillämpningsstyrda paraplyprojekt, såsom SEMARK (sensormarkläge, FoT8) och MOMS (multi-optisk minspaning, FoT8) har en kontinuerlig resurssamverkan pågått.

I kapitel 2 redovisas vilka sensorer projektet har haft tillgång under 2005. Därefter, i kapitel 3, återges årets internationella verksamheter som bland annat inkluderar NATO och ett trilateralt avtal med TNO och DRDC. Detta följs av kapitel 4 i vilket ges en sammanfattning av projektets omvärldsbevakning av nya koncept och system. I kapitel 5 beskrivs olika områden inom signalbehandling som har berörts av projektet. Kapitel 6 beskriver årets mätverksamhet som bland annat omfattar NATO-fältförsök och reflektansmätningar av vegetation.

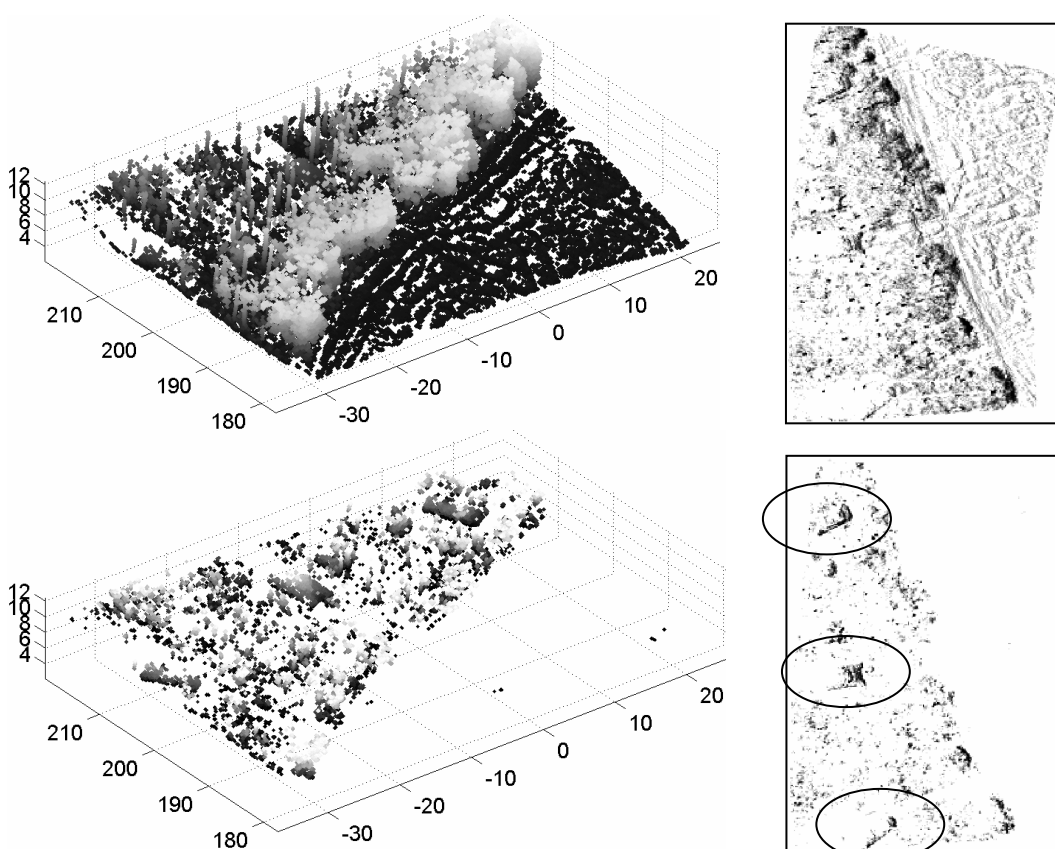
Årets publikationer omfattar följande:

- Två konferensbidrag till SPIE Defense & Security i Orlando (USA): (Milstolpar i kvartal 2 och 3)
 - o *Performance of 3D laser radar through vegetation and camouflage* [2]. Penetrationsanalys på 3D-data. Mätningar och signalbehandling på både TopEye-data och markskannad data.
 - o *Characterizing laser radar snow reflection for the wavelengths 0.9 and 1.5 μm* [3]. Mycket intressanta mätningar på snöreflektans vid 1,5 μm .
- Två konferensbidrag under SPIE Remote Sensing i Brugge (Belgien):
 - o *Range accuracy and resolution for laser radars* [4]. En analys av avståndsupplösning baserad på simulerade 3D-laserradardata.
 - o *Review of laser sensing devices and systems* [5]. Ett inbjudet papper, som ger en aktuell översikt över lasersensorer.

- *Least squares fitting of articulated objects* [6]. Ett föredrag på SSBA:s konferens i Malmö. Konferensbidraget beskriver en matematisk metod för att bättre estimerar formen hos objekt.
- *Least squares fitting of articulated objects* [7]. Motsvarande föredrag på en internationell konferens, A3DISS som var en delkonferens inom CVPR 2005, i San Diego (USA).
- *Detection probabilities for photon-counting avalanche photodiodes applied to a laser radar system* [8]. En tidskriftsartikel i *Applied Optics* som beskriver detektionssannolikheter hos en framtida realiserbar 3D-sensor baserad på APD.
- *Laserbaserade avståndskameror - Sammanställning av tekniska metoder och system* [9]. En teknisk översikt över fältet 3D-sensorer. En studie genomförd av Linköpings Universitet.
- *Laser techniques and methods for urban warfare* [10]. Bidrag till FMV workshop on urban warfare.
- *Laser Imaging and Mapping* [11]. Ett översiktskonferensbidrag till *International Conference on Coherent and Nonlinear Optics*.
- *3-D Imaging of Partly Concealed Targets by Laser Radar* [12]. Ett bidrag till ett NATO- och PfP-symposium i Berlin.

1.1 Projektsamverkan

Under 2005 har en projektsamverkan utökats jämfört med tidigare år. Liksom projektet *Optroniska System* under 2004 har 3D-laser under 2005 utgjort ett hörnstensprojekt inom SEMARK. Projektet 3D-laser har representerat en högupplöst sensor som efter invisning kan undersöka misstänkta regioner i detalj. Som milstolpe för kvartal 1 redovisades en inledande analys [13] av data från 2004 års fältförsök inom SEMARK där man som exempel kan se i Figur 1 hur man relativt enkelt kan "städa" i data och bland annat hyvla bort mark och trädtoppar.



Figur 1. Ett exempel från den inledande analysen av data från SEMARK-fältförsöket 2004. Laserradardata över ett skogsbryn. Rådata på översta raden, medan nedersta raden visar en signalbehandlingsmässigt urgallrad skog. Potentiella fordon (2 pbv 401 (MT-LB) och 1 T-72) kan då ganska lätt urskiljas.

Under vecka 47 och 48 var tanken att delta med en laserskanner i SEMARK-fältförsöket [14], som till skillnad från 2004 avsågs att innehålla mer förflyttningar, och ske närmare bebyggelse. Tyvärr uppstod problem att få laserskannern hemskickad efter fältförsöksdeltagande i USA (se avsnitt 6.3), så ett deltagande i dessa SEMARK-fältförsök blev tyvärr ej möjliga.

Under året har simuleringsprogrammet för 3D-laserradar [15] utvecklats för att anpassas för SEMARK-behov, eftersom avsikten är att kunna fjärrstyra programmet. Målet är att genomföra simuleringar med en gemensam omvärldsbeskrivning med andra sensorplattformar för att visa på en tänkt användning av sensorer i samverkan.

Inom MOMS återfinns liknande frågeställningar som inom 3D-laser, bland annat inom detektion och igenkänning av objekt i 3D-data. Därför sker signalbehandlingsarbetet i samverkan mellan projekten, och ett stort mervärde för båda projekt har redan under 2005 kunnat konstateras. När det gäller mer sensornära problemställningar så skiljer sig verksamheten mer åt eftersom upplösningsskruven avviker. Sensorsimuleringsprogramvaran som utvecklas inom 3D-laserprojektet har redan använts och kommer vara en viktig del inom laserarbetet i MOMS. Dessutom kan man notera att samordningsvinster på datainsamlingssidan har gjorts, liksom det också har skapats utrymme för uppgradering av mätutrustning (Optech ILRIS-3D).

Inom FMV-projektet SATMUMS (signaturanpassningstekniker för multimålsökare) har en realiserbarhetsstudie [16] genomförts på uppdrag av Saab Bofors Dynamics (SBD). Syftet var att, i form av en teknikinventering och kostnadsuppskattning, ge underlag för en systemstudie av en signaturanpassad multimålsökare (IR/radar/laserradar). Denna rapport ligger till grund för kapitel 4.

2 Sensorläget inom FOI

Som tidigare rapporterats (bl.a. i [1]) har *Institutionen för Lasersystem* vid FOI tillgång till två laserskannrar; Riegl LMS-Z210 [17] samt Optech ILRIS-3D [18]. Den förstnämnda har förhållandevis dålig upplösning och mätnoggrannhet, men istället ett mycket bra synfält (340° horisontellt, 80° vertikalt), medan Optech ILRIS-3D har en högre upplösning och noggrannhet (~1-2 cm) men däremot mindre synfält (40x40°). Med hänsyn till främst upplösningen har den senare använts vid de flesta mätningar genomförda inom projektet. Området 3D-laserradar går just nu genom en snabb utveckling och nya tillämpningar dyker ständigt upp, varvid nya produkter kommer fram på marknaden. Medan skannande sensorer har problem med hastigheten och inte kan användas i realtid så finns det snabbare sensorer, som istället har andra begränsningar. Ett exempel på sådana sensorer är Canestas *EP-Kit*, en förhållandevis enkel 3D-kamera, som införskaffats under 2005 och beskrivs i kapitel 2.1.

2.1 Electronic Perception Kit, (EP-Kit)

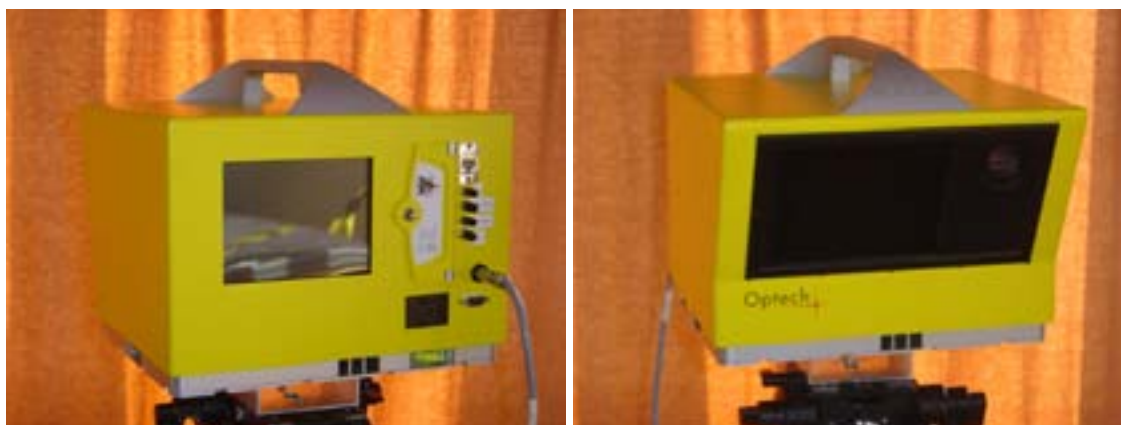
Under 2005 införskaffades en ny typ av sensor för realtidsavbildning i 3 dimensioner, benämnd Electronic Perception Kit, (EP-Kit), tillverkad av Canesta Inc. [19], se Figur 2. För enkelhets skull kallas sensorn internt för *3D-kameran* eller *Canesta-kameran*. En kraftig begränsning med kameran är dess maximala mätavstånd som är ungefär 10 m. Detta kommer sig dels av utsänd ljusmängd, dels av mätmetoden. Kameratekniken är baserad på amplitudmodulering vilket ger ett tvetydighetsavstånd, med en tvingande avvägning mellan räckvidd och upplösning. Bruset i sensorn ger en avståndsnoggrannhet på ungefär 1 cm. Bildtakten beror på exponeringstiden vilket i sin tur beror på önskat mätavstånd, men kan vara upp till 10-15 Hz.



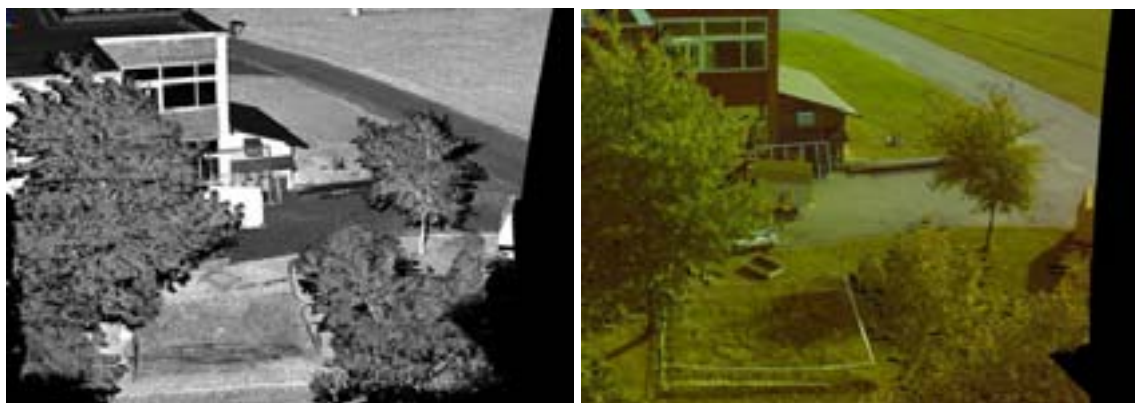
Figur 2. Canestas 3D-kamera. Till vänster en bild på sensorn. Till höger visas exempeldata, med intensiteten i gråskala och avståndet i färgskala.

2.2 Ny laserradar, Optech ILRIS-3D

I oktober blev FOI Lasersystem ägare av en ny Optech ILRIS-3D, se Figur 3. Optech ILRIS-3D har beskrivits utförligt i tidigare rapport [20]. I jämförelse med den gamla skannern har den nya ett betydligt bättre vinkelinkrement, det vill säga den kan skanna en faktor 10 tätare. Vidare har avståndsupplösningen förbättrats, med modelleringsnoggrannheten så pass bra som 2 mm. Det nya systemet har också en inbyggd CCD-kamera som numera direkt kan färgtexturera varje mätpunkt. Figur 4 visar ett punktmoln dels med intensitetsvärden vid 1540 nm, dels med färgtextur i form av RGB-värden. Precis som vår gamla Optech ILRIS-3D har även den nya fått de analoga utgångarna från detektorsignal, laserpulstrigger samt linjetrigger som separata utgångar för att ge möjlighet att studera pulssvaret från detektorn.



Figur 3. Optech ILRIS-3D inköpt oktober 2005. Till vänster visas baksidan med operatörsfönster och till höger framsidan med CCD-kamera (längst upp till höger) samt fönster genom vilket laserskanning utförs.



Figur 4. Samma punktmoln texturerat med intensitetsvärden vid 1540 nm (vänster) samt RGB-värden (höger).

3 Internationell verksamhet

Utlandssamarbete sker dels inom ramen för NATO RTO, dels genom bilaterala och ett trilateralt avtal. FOI medverkar kontinuerligt inom NATO i SET-077 RTG-45, *N-Dimensional Eye Safe LADAR Imaging (N-DELI)*, samt i SET-072 RTG-40, *Modelling Of Active EO-Imaging Systems*. Dessutom har FOI medverkat i NATO-mötet SET-099 (RSM-003), *Sensors & Sensor Denial by Camouflage, Concealment and Deception Cooperative Demonstration of Technology (SCI 145) – Results and Lessons Learned*, och i NATO-symposiet RTO-MP-SET-094, *Emerging EO Phenomenology*. Ett trilateralt samarbete med Kanada och Nederländerna har även startats under hösten. Sedan i mars väntar vi på att projektavtalet med AFRL/SNJM, Wright-Patterson AFB, Dayton, (Ohio, USA) ska skrivas på.

3.1 SET-077 RTG-45, *N-Dimensional Eye Safe LADAR Imaging (N-DELI)*

Ett arbetsmöte arrangerades vid FOI 2005-06-06--09. Status för aktuella program i USA, Kanada, Storbritannien, Tyskland, Frankrike, Spanien och Sverige presenterades.

Ett fältförsök med deltagande från Sverige, USA, Spanien och Kanada genomfördes vid AMRDEC, Redstone Arsenal i Huntsville, AL, 2005-10-17--28. Försöket genomfördes vid Russel Tower, vilket är ett 100 m högt torn från vilket mätningar kunde göras. Dessa försök beskrivs mycket kortfattat i kapitel 6.3, och kommer att redovisas noggrannare under 2006.

3.2 SET-072 RTG-40, *Modelling of Active EO-Imaging Systems*

Denna NATO-grupp genomförde 2005-11-07--17 ett prov med olika avbildande laserutrustningar i syfte att klarlägga effekter av atmosfärens turbulens på avbildningskvaliteten. Deltagande nationer var USA, Kanada, Storbritannien, Tyskland, Danmark samt Sverige. Proven ägde rum i omedelbar anslutning till White Sands Missile Range/High Energy Laser Systems Test Facility (WSMR/Helstf) där ett stort antal instrument för karaktärisering av bl.a. atmosfärsturbulens fanns att tillgå, liksom ett landskap (öken) som favoriserade stora turbulensvariationer. Data kommer nästa år att användas bl.a. för att validera en laserradarmodell som tidigare tagits fram vid FOI.

3.3 SET-099 (RSM-003), *SCI 145 –Results and Lessons Learned*

Specialists' Meeting # 2 hölls på Royal Military Academy i Bryssel, Belgien, 2005-05-31--06-03. Syftet var att diskutera erfarenheter från CDT i Zutendaal 2004, se t.ex. [1], samt att presentera resultaten för de medverkande företagen som deltog i försöket. Formerna för en gemensam databas och distribution av mätdata diskuterades. Databasen skall förhoppningsvis distribueras under 2006. En av slutsatserna var att lasersensorer (3D-laserradar och laservibrometri) kan användas för att "se" genom maskering samt för att skilja mellan skenmål och verkliga mål. FOIs mätningar från Zutendaal presenterades.

3.4 SET-094 RTO-MP-SET-094, *Emerging EO Phenomenology*

Emerging EO Phenomenology var ett symposium för NATO- och PfP-nationer som hölls i Berlin 2005-10-12--13. FOI medverkade med ett föredrag [12]. Kontakter knöts bl.a. med Carl Zeiss Optronics GmbH, som presenterade ett föredrag om 3D-laserradar [21]. I övrigt fanns föredrag t.ex. om hyperspektral teknik, THz-teknik för BC-detektion, ultrakorta laserpulser och polarisation.

3.5 Tri-lateralt samarbete Kanada/Nederländerna/Sverige

I samarbete med Kanada och Nederländerna så ska förmågan att genomföra klassificering på avståndsp profiler (vågformen från en enpixels laserradar) undersökas. Samarbetsavtalet skrevs på under hösten 2005 och samarbetet kommer pågå under 3 år. Ett möte hölls hos DRDC i Valcartier, Kanada, 2005-10-24--25. Sverige kommer bland annat att stå för simulering av lasersensorn.

3.6 Bilateralt projektavtal med AFRL/SNJM

Sedan flera år har vi ett informationsutbytesavtal med en avdelning som ägnar sig åt sensorutveckling vid Air Force Research Laboratories (Wright-Patterson AFB) i Dayton, Ohio, USA. Under 2004 arbetade vi för ett projektavtal med dem, och sedan i mars 2005 väntar vi på att få avtalet undertecknat. AFRL deltog i NATO-fältförsöket i Huntsville som beskrivs i avsnitt 6.3, men utöver detta har ingen aktivitet pågått i detta samarbete.

4 Omvärldsbevakning, teknikutveckling i världen

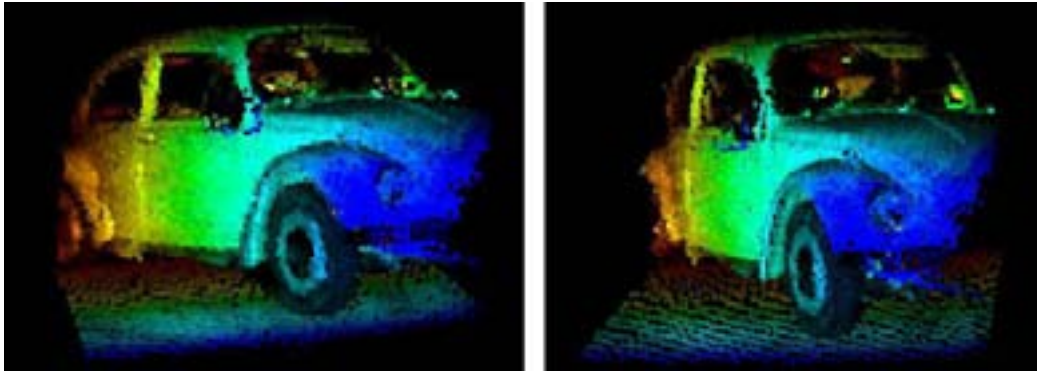
Inom FMV-projektet SATMUMS (signaturanpassningstekniker för multimålsökare) har en realiserbarhetsstudie [16] genomförts på uppdrag av Saab Bofors Dynamics (SBD). Syftet var att, i form av en teknikinventering och kostnadsuppskattning, ge underlag för en systemstudie av en signaturanpassad multimålsökare (IR/radar/laserradar). Denna rapport ligger till grund för kapitel 4. Genom internationella möten och fältförsök har FOI även fått tillgång till data och erfarenhet av flera av dessa internationella *state-of-the-art*-system.

4.1 Pulsade FPA-system

Exempel från Figur 5 och Figur 6, hämtade från Advanced Scientific Concepts (ASC) [22], visar hur kompakta laserkameror kan byggas genom att utnyttja fokalplansmatriser (FPA: *focal plane array*) och mikrochiplasrar. ASC:s sensortechnologi planeras att implementeras för UAV-buren kartering. Hela sensorn, som i en första version kommer att ha en volym på 1 ft³ och en vikt på 23 kg, förväntas kunna krympas ytterligare.

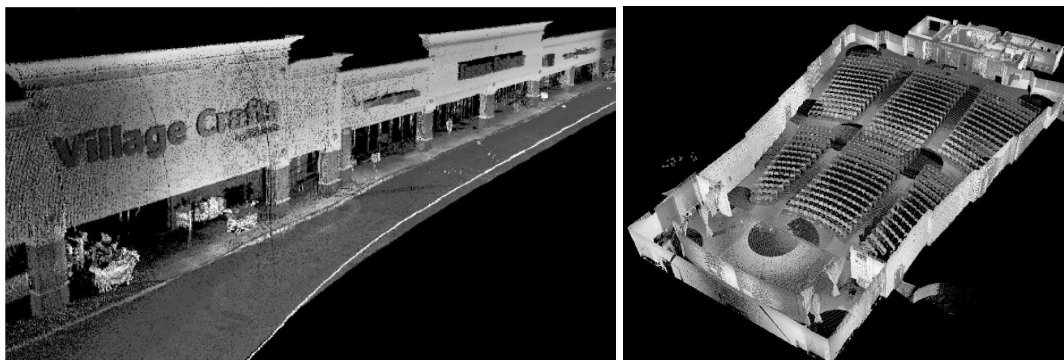


Figur 5. Advanced Scientific Concepts kompakta ladarkamera. Från Stettner et al. [22]



Figur 6. Två vyer från samma "rådatabild" erhållen med en laserpuls och en fokalplansmatris med 128×128 element. Färgkodad avståndsinformation. Från Stettner et al. [22]

Önskemålet om snabb urban avbildning [23] har lett till en utveckling av nya fordonsburna laserradarsystem för kartering av fasader samt handhållna system för kartering av interiörer i byggnader. Man klarar idag mer än 0,5 Mpixel/sekund för dessa system med en utsikt att uppnå 5 Mpixel eller mer i en nära framtid. Detta tillåter ett fordon att relativt snabbt (50 - 80 km/h) köra igenom en stad eller by och kartera gator och byggnader. Med en integrerad färg-CCD-kamera erhålles en visualisering som blir mycket realistisk. Det fordonsburna systemet uppges ha en avståndsnoggrannhet på mindre än 4 mm på 25 m avstånd. På sikt kommer fokalplansmatriser att användas för att reducera kravet på snabb skanning. Figur 7 visar några bildexempel.



Figur 7. Exempel på 3D-laserradarbilder som stöd för urbana operationer. Från Morrison et al. [23]

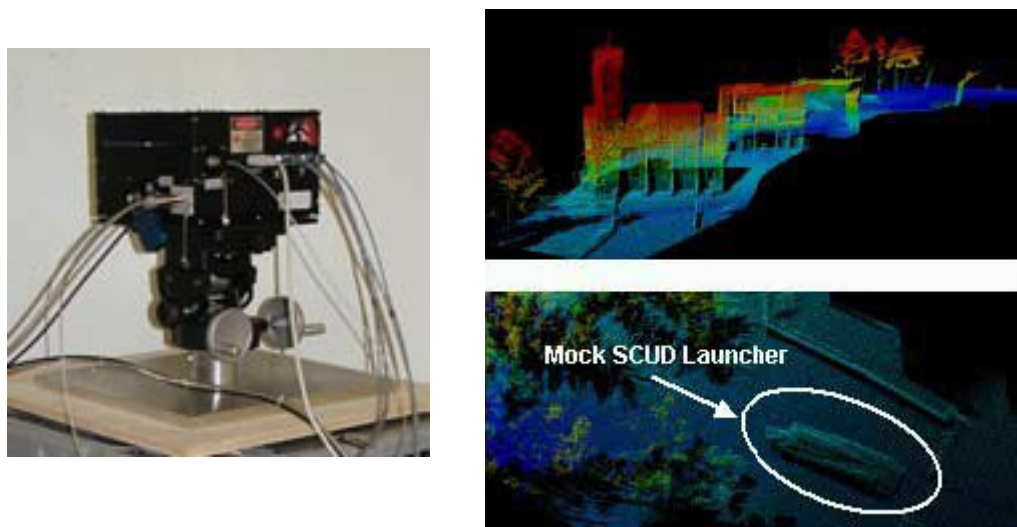
4.2 System för måligenkänning

För militära tillämpningar har laserradar utvecklats för UAV och målsökare. Av speciellt intresse är 3D-förmågan som ger ökad spaningsförmåga och möjlighet till automatisk måligenkänning (ATR) och målföljning i klotter.

I USA utvecklas laserradar för ett flertal UAV- och målsökartillämpningar, ibland i kombination för samma farkost. Ett exempel på en UAV/kryssningsrobotutveckling är *Surveilling Miniature Attack Cruise Missile* (SMACM) från Lockheed [24]. Denna skall ha en räckvidd över 320 km och fällas bl.a. från F/A 22 och JSF F-35. Målsökaralternativet *Tri-mode seeker* innehåller 3 moder (mm-vågsradar, IR och semiaktiv lasermålsökare) medan *Tri-Star Seeker* kombinerar mm-våg, 3D-laserradar och semiaktiv lasermålsökning. Det senare alternativet ger styrka framför allt avseende ATR. Det noteras även att 3D-data ger en förmåga, som saknar motstycke, att identifiera mål i klottrig miljö. Målsökarsensorerna förmår att detektera, klassificera och identifiera mål liksom att rapportera detta inklusive verkansresultat av andra vapen tillbaka till lednings- eller andra vapenplattformar. UAV:n kan även innehålla stridsdel för att själv bekämpa mål.

Forskare på AFRL (Eglin AFB) utvecklar laserradartechniken för målsökare och UAV-tillämpningar. Förutom 3D poängterars möjligheter med multispektral reflektion och polarisationseffekter som bra komplettering till 3D för att ytterligare snabbt öka detektionsförmågan i klotter.

En framgångsrik provflygning med en 3D-laserradar har genomförts av AFRL vid en träningsanläggning för urban strid [25, 26]. Den utrustning som användes var Burns Active Infrared (BAIR) från Burns Engineering Corp., det system som visas i figur 8. Försöket genomfördes för att ge underlag till DARPA:s program *Exploitation of Three-Dimensional (3-D) Data* och syftade till att samla in högupplösta data att användas för utveckling av algoritmer samt att demonstrera laserradarns förmåga i en realistisk miljö.



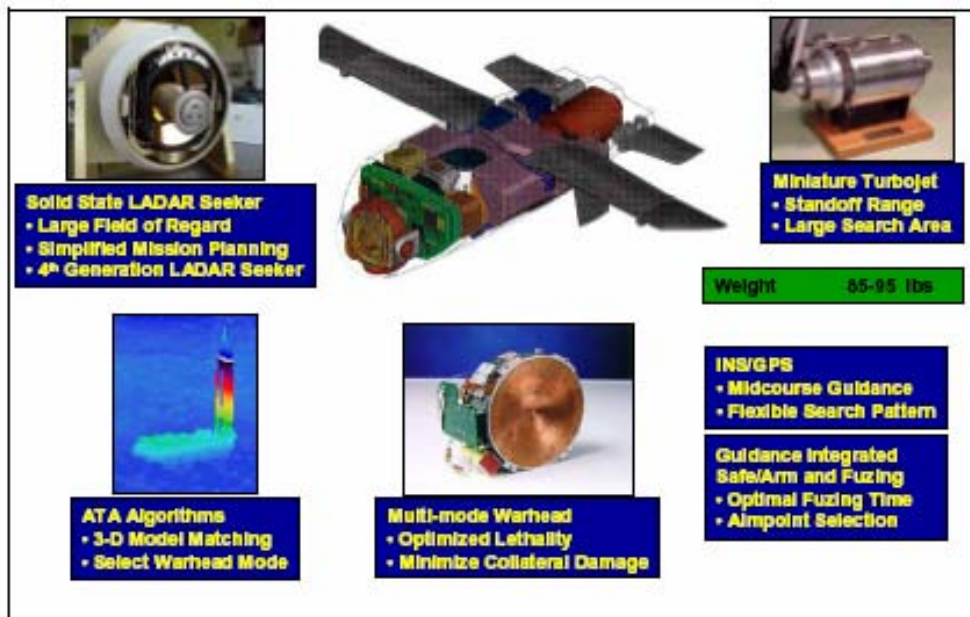
Figur 8. Exempel på 3D-bilder från provflygning med en 3D-ladar (BAIR) i urban miljö under 2004. [23]

Exempel på målsökarsystem baserade på laserradar återfinnes i de amerikanska programmen LOCAAS [27], LAM [28], CLAS [29] och CMRTR (cruise missile real time retargeting). Jigsaw [30] är ett annat intressant koncept som avser att från relativt nära håll detektera fordon i vegetation. I det följande presenteras några försökssystem för måligenkänning. Närmare detaljer och data är sekretessbelagda. Tekniken för måligenkänning i spaningstillämpningar (UAV) och i målsökare är mycket lika varandra.

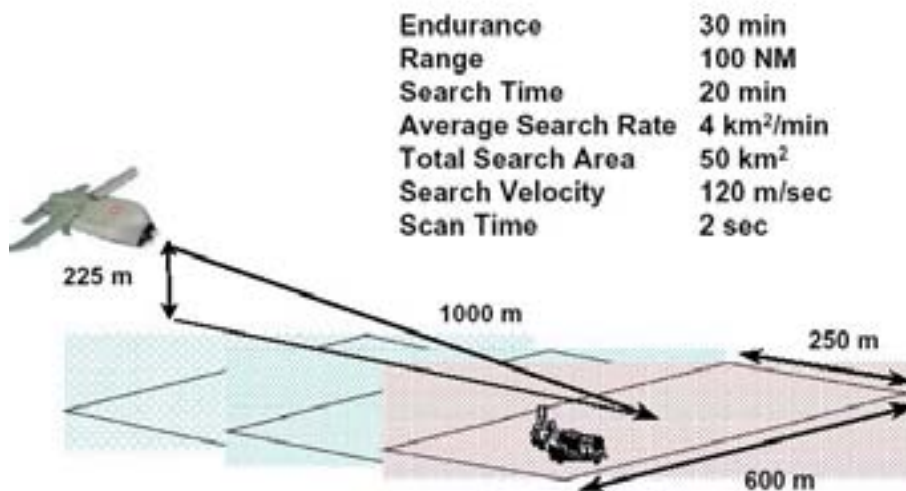
Dessutom finns ett program för att demonstrera lättviktig laserutrustning som kan utföra 3D-spaning i urban miljö under takhöjdsnivå, under trädkronor och inuti byggnader. Programmet går under namnet Urban Reconnaissance ACTD och är planerat att pågå 2003-2007.

4.2.1 LOCAAS

Low Cost Autonomous Attack System (LOCAAS) har varit ett demonstratorprogram som drivits från US Air Force vapenlaboratorium i Eglin Florida.



Figur 9. LOCAAS data och illustrationer. Från referens [27].



Figur 10. Systemdata för LOCAAS. Från referens [31].

4.2.2 LAM

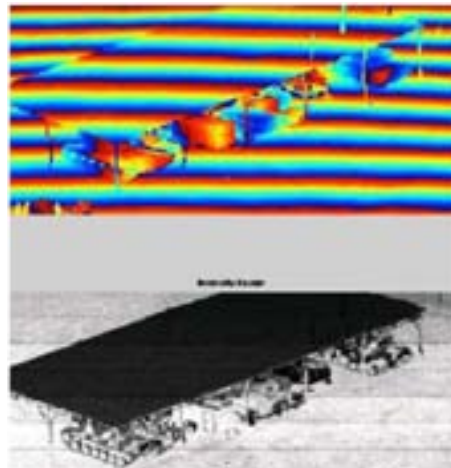
Loitering Attack Missile (LAM) är ett projekt som ingår i *Forward Combat System* (FCS) och utnyttjar målsökarteknologin från LOCAAS programmet. LAM utvecklas av Lockheed-Martin och utgör en del i vapensystemet *Non-Line-of-Sight Launch System* (NLOS-LS, Netfires LLC) [28]. Precis som LOCAAS är LAM tänkt som en 'omkringdrivande' (eng: *loitering*) robot med flygtid på 30 minuter och en maximal räckvidd på 200 km. Roboten, som väger runt 45 kg och är 1,5 m lång, är utrustad med ladarmålsökare, som i kombination med avancerade ATR-algoritmer klarar av målsökning, detektion av potentiella mål samt klassificering och utslagning av prioriterade mål. Figur 11 visar en översikt av *Non-Line-of-Sight Launch System* (NLOS-LS).



Figur 11. NLOS-konceptet med den ladarförsedda och "omkringdrivande" roboten LAM och den direktverkande roboten PAM med IR/laserpekare. Från referens [32].

4.2.3 CLAS

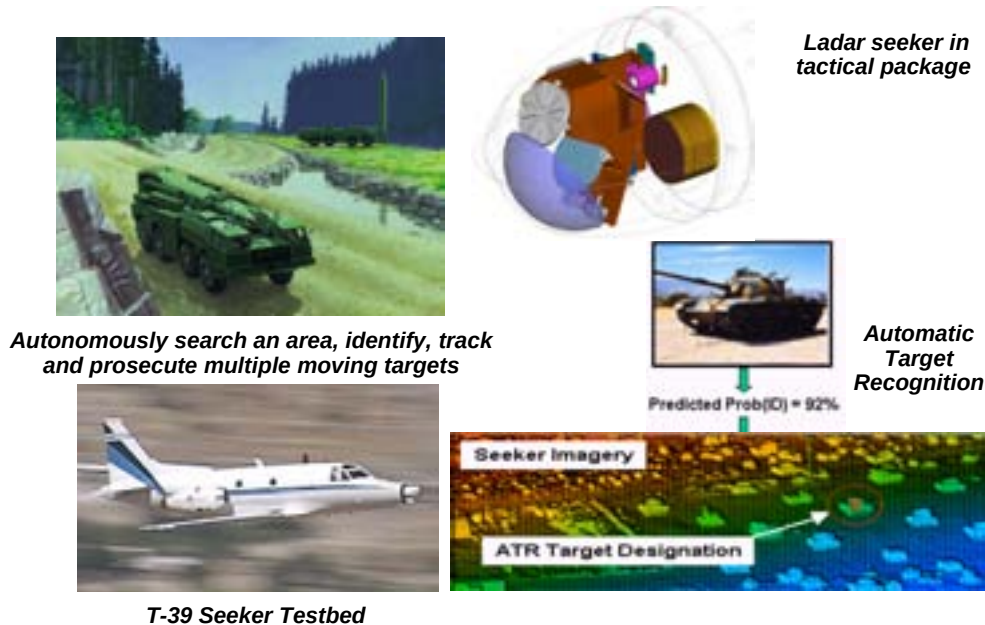
Raytheon har utvecklat laserradar för målsökare och mindre UAV:er enligt två utvecklingsriktningar – en 7-tums (diameter) målsökare för Air Force och en 14-tums målsökare för US Navy's Tomahawk-program. Nästa steg i vad som verkar vara en teknikdemonstrator är *Common Ladar Seeker* (CLAS) [33]. Syftet med CLAS var att demonstrera att teknologin inklusive signalbehandlingen (ATR) kunde få plats i en 7 tums målsökare och demonstrera funktion i realtid. Målsökaren har designats så att man tillåter bred avsökning i en 'omkringdrivande' mod liksom för precisionsinsats.



Figur 12. Exempel på avstånds- respektive intensitetsbild från CLAS. Från referens [33].

4.2.4 CMRTR

I programmet CMRTR (cruise missile real time retargeting) [29] används en Tomahawk-missil med laserradar i en relativt stor målsökare med räckvidder över 6 km.



Figur 13. CMRTR-programmet innefattar en målsökande laserradar som autonomt förmår avsöka, detektera, identifiera och följa samt bekämpa multipla rörliga mål. Programmet leds av NAVAIR i China Lake.

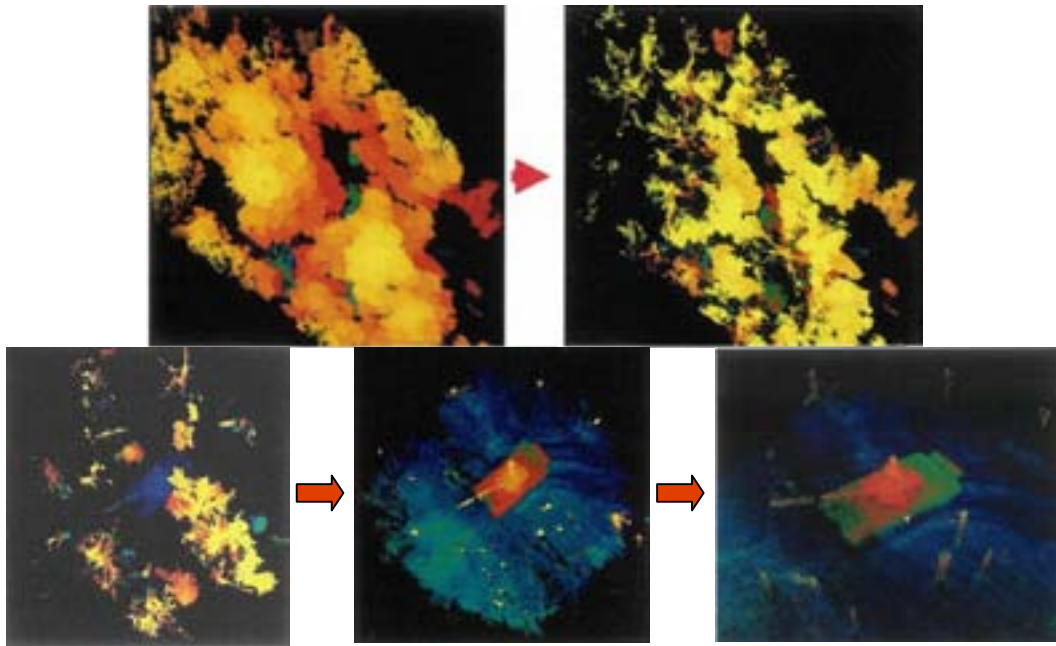
4.2.5 Jigsaw

Jigsaw är ett program som drivs av DARPA, med syfte att demonstrera en 3D-laserradar på en UAV för snabb och korrekt måligenkänning såväl på dagen som på natten [34]. Genom att samla in många 3D-bilder från flera aspektvinklar skapas en mosaikbild, vilket möjliggör avbildning även genom vegetation eller kamouflage. Ett flertal systemlösningar har tagits fram av olika leverantörer. Figur 14 illustrerar Jigsaw-konceptet.

I figur 15 visas exempel från Jigsaw-programmet [35]. Här demonstreras detektion av mål under trädskronorna genom att sätta samman flera vyer och höjdbeskära punktmolnet.



Figur 14. Illustration av Jigsaw-konceptet samt ett system för montering i UAV. Från referens [30].



Figur 15. Figuren illustrerar hur avståndsdata kan användas för att se dolda mål i vegetation genom avståndsgrindning. I den höjdfiltrerade datamängden syns lätt målet (mitten undre raden) och kan sedan vridas i lämpligt perspektiv för att underlätta för måligenkänning (automatiskt eller med hjälp av operatör). Från referens [35].

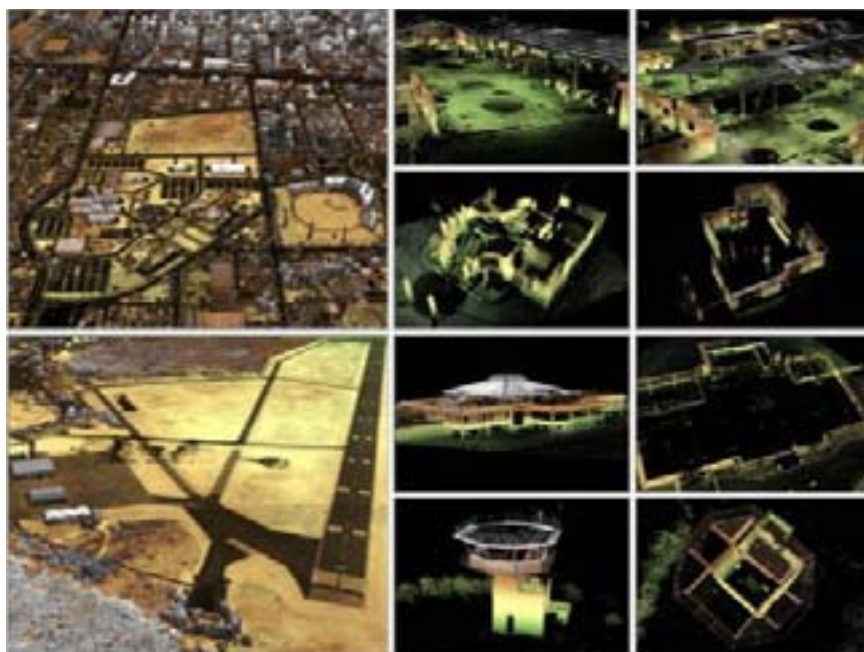
4.2.6 Urban Reconnaissance ACTD

Laserradar kan även användas för att se genom hinder som moln, dimma, damm och även vegetation. Med laserradar kan också högupplösta terrängkartor med noggrann höjdinformation snabbt produceras. Relativ noggrannhet på några cm och absolut höjdnoggrannhet på 10-tals cm har demonstrerats i programmet Urban Recon ACTD (Advanced Concept Technology Demonstration). Denna typ av information är speciellt värdefull i operationer i urban miljö.

Syftet med Urban Recon [28] (2003-2007) är att demonstrera lättviktig laserutrustning för att utföra 3D-spaning i urban miljö under takhöjdsnivå, under trädkronor och inuti byggnader. Vidare ska man demonstrera den militära nyttan och utveckla tillämpningskoncept för användning av lasersensorer, såväl portabla som monterade i markfordon eller i UAV. Slutligen ska programvara utvecklas för visualisering, användning av 3D-data och beslutsstöd för urban miljö.

De militära förmågor som studeras är bl.a. 3D-avbildning av komplexa, urbana miljöer, UAV-monterad lasersensor för terrängkartering (0,5-1 m upplösning) eller högupplöst spaning (5 cm) på intressanta byggnader eller andra objekt.

Grunden för 3D-laserradarn i Urban Recon är den matrisdetektor som patenterats av Advanced Scientific Concepts [36]. Genom att använda en laserradar med matrisdetektor, i stället för ett konventionellt skannande system, kan exempelvis tiden för att samla in data från ett 20×20 km stort område med 50 cm upplösning reduceras från närmare 45 timmar till 12 timmar. Låghöjdsspaning åstadkommes med 5-10 cm upplösning på ett avstånd av 1000 m. Genom att flyga på ca 750 m höjd kan även husfasader avbildas.



Figur 16. Några exempel på 3D-bilder (t.h.) från projektet Urban Reconnaissance ACTD[37].

I projektet *Advanced LIDAR Exploitation System (ALES, 2004-2005)* (LIDAR, *light detection and ranging*, är ett annat namn på laserradar) skall verktyg utvecklas för att dra nytta av urbana särdrag och attribut ur data från laserradar och dataset från andra källor. Projektet *Tactical LIDAR – Rapid Prototyping Program (2003-2005)* syftar till att utveckla en laserradar för användning på en taktisk UAV. Genom att miniaturisera en laserradar, utveckla ett realtidssystem för data- och signalbehandling skall man visa förmågan till snabb insamling av högupplösta terrängdata. Systemet kommer i ett första skede att flygas på en Hunter UAV.

5 Signalbehandling

Signalbehandlingen inom 3D-laserområdet syftar till att utifrån mätdata automatiskt tillhandahålla en relevant beskrivning av en viss scen. Vad som är en relevant beskrivning varierar mellan tillämpningar vilket innebär att ett signalbehandlingssystem, för att det ska vara praktiskt användbart i olika tillämpningar och under olika förhållanden, måste förses med kapacitet att lösa en rad uppgifter. Signalbehandlingsarbetet inom projektet *3D-laser* har detta år fokuserats på *detektion* och *igenkänning* av fordon.

Det sista signalbehandlingssteget inom detta projekt är *måligenkänning*, som syftar till att bestämma vilken typ av objekt som data inom ett visst segment härrör från (t.ex. T-80, pbv 401, osv). Detta åstadkoms genom att jämföra aktuella data med ett antal olika modeller och se om någon/några ger tillfredsställande överensstämmelse. Jämförelsen sker normalt antingen genom att man via s.k. *template matching* bestämmer hur punkterna i modellen och i det aktuella segmentet "passar ihop", eller genom att man extraherar ett antal egenskaper för det aktuella objektet och med hjälp av en *klassificerare* jämför dessa med tänkbara måls egenskaper.

Måligenkänning kräver normalt en god föregående *segmentering*, inte minst av beräknings-tekniska skäl. Segmenteringen innebär att datamängden delas upp i relevanta delar, t.ex. objekt/bakgrund. Detta åstadkoms genom att närbelägna punkter med liknande egenskaper (t.ex. geometriska) grupperas. En för segmenteringen vital funktion är förmågan att *detektera anomalier och förändringar*. Anomalidetektion syftar till att lokalisera *avvikande strukturer* (som skiljer sig markant från sin omgivning), medan målet med förändringsdetektion är att hitta områden inom vilka märkbara förändringar ägt rum jämfört med en tidigare mätning, t.ex. som

resultat av fordons- eller truppförflyttningar. Både anomali- och förändringsdetektion används för att välja ut (mindre) områden för fortsatt analys. En förutsättning för förändringsdetektion är att *mätdata registrerats* i förhållande till varandra, d.v.s. att koordinaterna för punkterna i olika datamängder är direkt jämförbara. Detta innebär att om sensors positions- eller orienteringsförändring mellan mättillfällena inte är känd, måste den uppskattas genom att fastställa den transformation som ger bäst överensstämmelse mellan punktmolnen. En viktig komponent här är förmågan att *definiera referenspunkter* som kan lokaliseras i båda datamängderna.

Robust segmentering och måligenkänning är beroende av ett relativt stort antal mätpunkter från målet. Under året har undersökningar inletts om huruvida detektions- och igenkänningsförmågan kan förbättras om flera mätningar, gjorda från olika positioner och vinklar, läggs samman för att på så sätt öka punkttätheten.

5.1 Litteraturstudie detektion

I denna litteraturstudie avhandlas olika metoder för detektion av markmål, främst fordon. Detektion definieras här som en process där ett antal pixlar/voxlar identifieras, som har samma egenskaper som ett markfordon. Vissa författare kan också skilja på några få typer av icke-mål, såsom stenar, träd och bildartefakter. Målet med detektionen är att identifiera delar av scenen som kan analyseras vidare för målklassificering eller måligenkänning.

I [38-40] används data från stirrande system, medan i [41-47] används data från olika sorters skannande system och i [46, 48] används data från simuleringar. Upplösningen är typiskt hundratals mätpunkter på ett mål, men i [47] är upplösningen lägre med 10-15 mätpunkter på ett typiskt markmål. Vanligtvis behandlas registreringar gjorda i (snett uppfifrån) framåttittande perspektiv, men det finns även de som utnyttjar lodtittande [42, 47] eller sidtittande perspektiv [38]. De flesta författarna använder en vy (en registrering) av scenen medan [39, 41] registrerar flera vyer för att få mätpunkter från alla sidor på målet.

Laserradarsensorer har hög upplösning både i vinkel och i djup. Om stora scener ska analyseras innebär det då att mycket data behöver bearbetas vilket är tidskrävande. För att minska beräkningsbördan används därför invisning. I [49] löses invisningen genom att först analysera var tionde mätpunkt, i [42, 46, 48] används snabba metoder som sällar bort bakgrundsdata, i [38, 40, 42, 45] antas invisningen ske med ett annat system (t.ex. FLIR) och i [41, 43, 44, 50] behandlas inte invisningsproblemet.

Lasersensorers detektorer registrerar ibland felaktiga, slumpmässiga avståndsvärden, s.k. 'dropouts' (mätning utan detekterat eko) och 'false alarms' (mätning med felaktigt eko registrerat). Dessa värden behöver antingen hanteras i en förbehandling [40, 46] eller så måste detektionsprocessen vara robust mot dem [38, 42, 43, 45]. De flesta referenser beskriver metoder där flera mål kan finnas i scenen och där mål kan vara delvis dolda. Undantagen är [40] där bara ett mål, kan vara delvis dolt, förväntas finnas och i [47] där ocklusion (skylning) inte kan finnas i tillämpningen (trafikövervakning i lodtittande perspektiv). I några exempel ingår matchning med måldatabaser i detektionsfasen [39, 41, 47]. Det innebär att metoderna bara kan detektera mål som finns representerade i databasen, vilket kan vara en begränsning. Övriga metoder har filter som markerar detekterade objekt med intressanta egenskaper, t.ex. dimensioner. För dessa metoder är det möjligt att detektera tidigare okända måltyper om de har ungefär samma egenskaper som en redan känd typ. Detektionsmetoderna utnyttjar 3D-informationen i data genom höjddifferentiering [42, 43, 45, 47], avståndsegmentering [38, 40, 48], kantdetektion [43, 46] eller detektion av former [39, 41]. Flera metoder översegmenterar lätt måldata och innehåller därför klustring [42, 43, 45, 46], speciellt statistisk klustring med 'connected components' är populärt [38, 44, 48]. Realtidsaspekter diskuteras i [44, 46].

5.2 Litteraturstudie måligenkänning

Denna litteraturstudie är en utökning av den som finns i [39]. Flera system och metoder för måligenkänning har beskrivits i litteraturen genom åren, främst för militära tillämpningar [39, 40, 43, 46, 50-56]. På senare år har denna metodik även föreslagits för civila tillämpningar, främst trafikövervakning [47, 57, 58].

I [51] beskrivs ett multisensorsystem och bearbetningen av laserradardata beskrivs i detalj i [7, 52]. Måligenkänningsmetoden [56] utvärderas vidare i [59]. Metoden presenterad i [50] analyseras vidare i [38]. Referenserna [54, 60] beskriver olika delar i samma system för måligenkänning. Nedan refereras till [50, 52, 54, 56] när dessa arbeten avses. De föreslagna metoderna har använt laserradardata med olika upplösning och olika aspektvinklar på målet.

I referenserna används data av olika upplösning och olika perspektiv på målet. I [43, 46, 47, 50, 52, 58] innehåller en typisk datamängd några hundra mätpunkter på målet, medan i [47] är upplösningen riktigt låg med ca 1,5 mätpunkter/m². I [39, 40, 53, 55, 57] är det typiskt från 500 upp till några 1000 mätpunkter på ett mål. De flesta använder framåttittande aspektvinkel mot målområdet, men i [47, 52] används även lodtittande perspektiv och i [50, 52, 56] används sidtittande perspektiv. De system som kommit längst i utvecklingen skannar målscenen, medan i [39, 40, 50, 56] används nyare, stirrande lasersensorer. I [39, 53, 54, 57] används data insamlad från flera aspektvinklar vilket gör att delvis dolda mål lättare upptäcks och kan analyseras. Det slutliga resultatet presenteras antingen som en hypotes om fordonsklass (stridsvagn, pansarbandvagn, lastbil etc.) [40, 44, 47] eller det mer vanliga som en hypotes om fordonstyp (T72, M60 etc.).

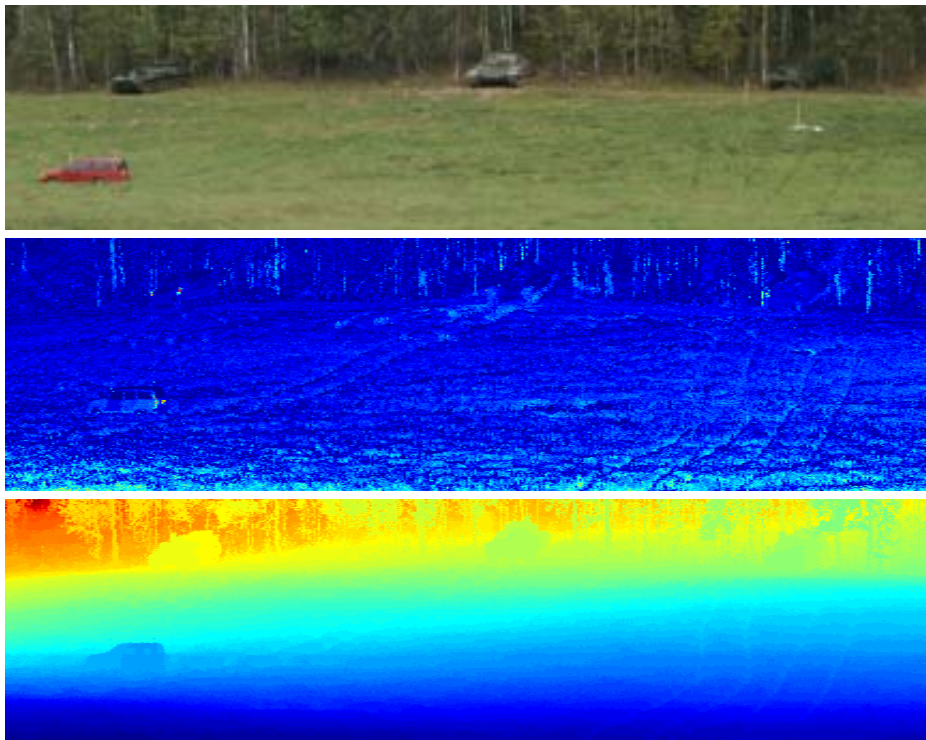
I många måligenkänningsalgoritmer är bearbetningen uppdelad i två steg. I det första steget söker man efter egenskaper som gör att antalet alternativ på möjliga klassificeringar och identifieringar för målet kan begränsas. Det första steget kan bestå av beräkning av målets siluett [40, 46, 55, 58], beräkning av geometriska egenskaper som storlek, orientering och huvuddelar på målet [50, 52] eller andra representationer av geometriska egenskaper [43, 53, 54]. Målets egenskaper kan också beskrivas i lägre dimensioner [47, 56] eller som de mer abstrakta spinnbilderna [39, 57].

Nästa steg i processen är att jämföra de mål, som har intressanta egenskaper, mot ett modellbibliotek. I detta återfinns målmodeller, vanligtvis representerade som CAD-modeller eller erhållna genom tidigare mätningar. I [39, 46, 50, 52-56] jämförs måldatats och modellens form eller siluett. Likheten mellan mål och modell kan också jämföras med regelbaserade metoder [40, 47, 57] eller med lärande metoder [47, 55, 57, 60]. I [43] jämförs mätpunkternas fördelning över målet med beräkningar gjorda på modeller, i beräkningarna ingår sensorns position i förhållande till målet. Jämförelsen görs med χ^2 -test. En del metoder kan hantera delvis dolda mål [39, 40, 46, 50, 53-55, 57]. Problemet med mer artikulerade delar, t.ex. ett roterat torn och eldrör på en stridsvagn, hanteras på ett generellt sätt i [39, 40, 46, 50, 52, 54, 57]. I [53, 56] finns varje måltyp beskriven med olika artikulationer i målbiblioteket, det gör att fler jämförelser behövs för att avgöra måltyp och artikulation. Hos [40, 43, 47, 55, 58] behandlas inte artikulerade mål, delvis för att i tillämpningar med civila fordon är det inte lika intressant.

5.3 Måldetektion med traditionella bildanalysmetoder

Under hösten har analys av 3D-laserradardata ur en alternativ synvinkel påbörjats. 3D-laserradardata betraktas som två bilder; en formad av intensiteten och en formad av avståndsinformationen i lasersvaret. Punkterna har interpolerats till en bild. Figur 17 visas ett exempel från Optech ILRIS-3D. Med denna hantering låser vi betraktningssvinkeln och behandlar informationen som traditionella 2D-bilder. Vill man analysera ur andra vinklar måste först nya bilder genereras.

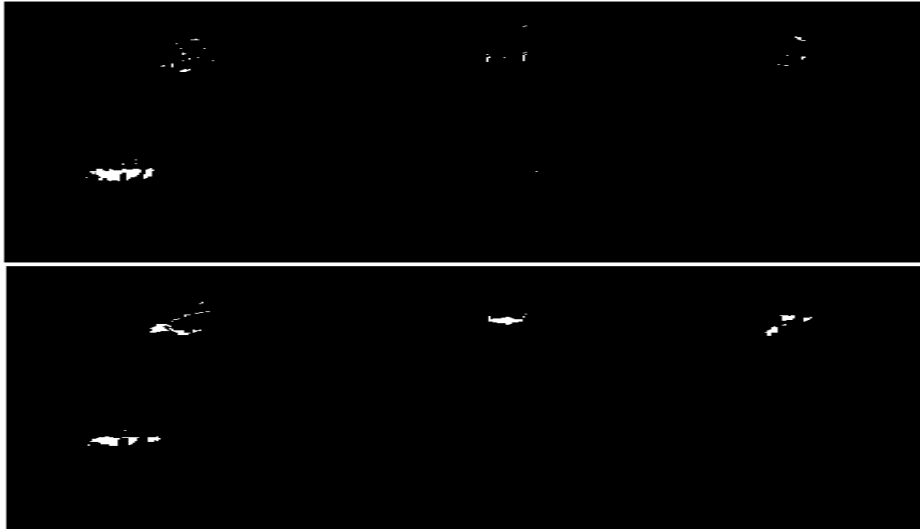
Med låg elevationsvinkel, som exemplet i Figur 17, ökar mätavståndet från nedre till övre kanten av bilden. Det kan antas att på ett mål (i detta fall fordon) ökar mätavståndet mindre eftersom de har ytor nästan vinkelräta mot betraktningsriktningen.



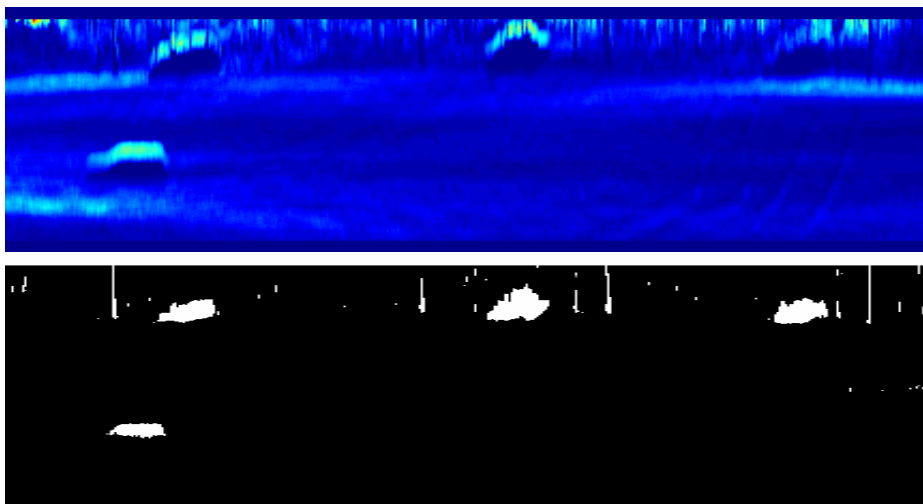
Figur 17. Foto (övre), intensitetsfärgad bild (mitten) och avståndsfärgkodad bild (nedre), av situationen med fordon framför en skogsriddå.

Avståndsvariansbilder skapas med olika storlek på analysfönstret. Den lokala variansen i avståndsbilden undersöks och vi letar efter de områden som har minst varians.

Avståndsvariansbilden trösklas med olika tröskelnivåer. I Figur 18 och Figur 19 nedan visas exempel med godtyckligt vald tröskel, först för kvadratiska områden och sedan med långsmala vertikala sökområden. Det sista angreppssättet är för att hitta saker som står bland träden.

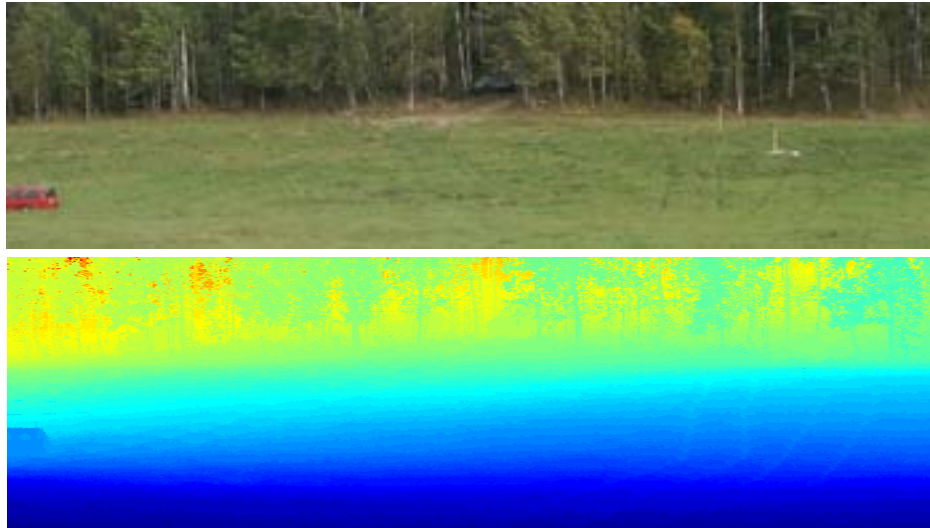


Figur 18. Låg varians trösklad i lokala regioner om 9x9 pixlar (övre) samt 19x19 pixlar (nedre).

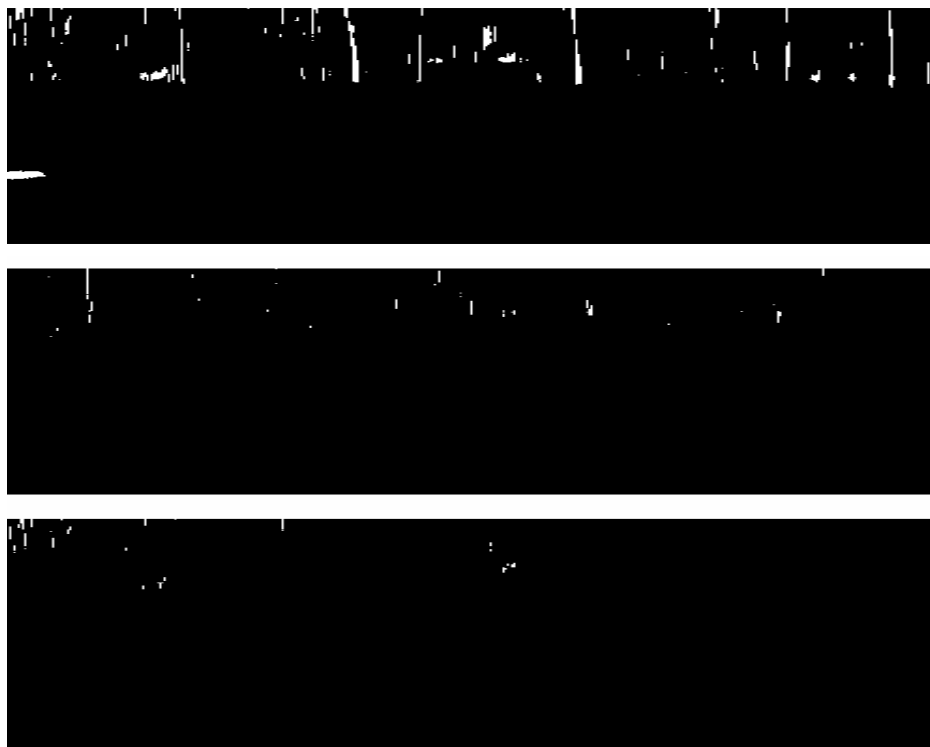


Figur 19. Varians i lokala regioner om 68x1 pixlar (övre), samt en trösklad bild (nedre).

I exemplet från Figur 17, där målen står synliga i skogsbrynet, är målen mycket lätta att detektera. I scenen nedan, se Figur 20, står målen delvis skydda bakom träden. Det gör att detektionerna inte är lika tydliga, utan även ett flertal träd detekteras. Ett förslag är att göra samma analys av intensitetsbilden och lägga samman resultaten, se Figur 21. Då detekteras två av tre mål men även en del träd. Fortsatt analys och arbete med varierande tröskelvärden och storlekar på analysfönstren kan tillsammans med introduktion av fler traditionella bildbehandlingstekniker sannolikt leda fram till effektiva algoritmer för måldetektion.



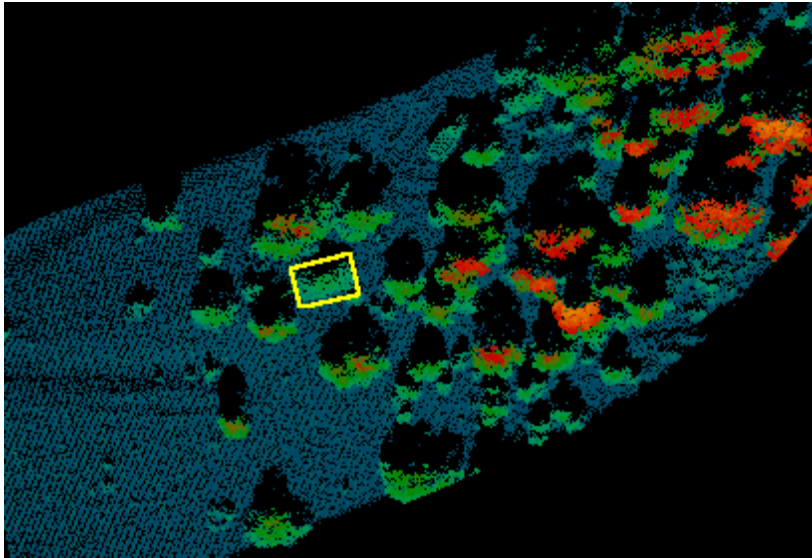
Figur 20. Foto (övre) och avståndsfärgkodad bild (nedre), av uppställningen med fordonen en bit in bakom trädlinjen.



Figur 21. Låg varians i lokala regioner om 68x1 pixlar trösklade på avståndsbilden (övre), intensitetsbilden (mitten) samt på den kombinerade bilden (nedre).

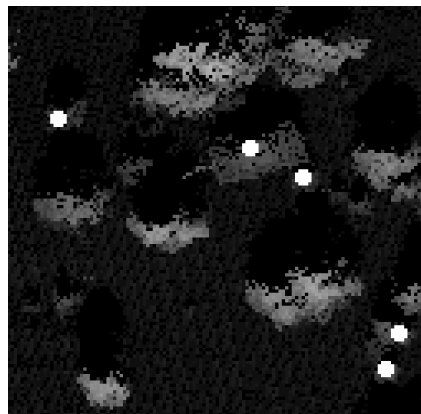
5.4 Måldetektion med stöd av markmodell

Syftet med detta arbete är dels att undersöka hur metoder för markestimering kan underlätta detektion av fordon och dels att lokalisera de punkter i punktskuren som tillhör varje detekterat fordon. Markestimeringsalgoritmer har tidigare utvecklats på FOI för data erhållen med lodtittande laser, se exempelvis [61]. Det har visat sig att dessa algoritmer med relativt små förändringar även kan appliceras på data erhållen med framåttittande system, se exempelvis data i Figur 22 erhållna genom NATO RTG-45 (avsnitt 3.1) från US Navy's Tomahawk [62].



Figur 22. Ett exempel på data insamlad med US Navy's Tomahawk. En stridsvagn är markerad med gul rektangel. Färgen visar höjden över en genererad markmodell i varje bildpunkt.

En skattad markmodell kan användas för att förenkla segmenteringen av data förutsatt att de eftersökta fordonens dimensioner (höjd, längd och bredd) är kända. I de flesta fall kan större delen av datamängden sällas bort genom att enbart behålla punkter som ligger inom ett lämpligt intervall över markytan.



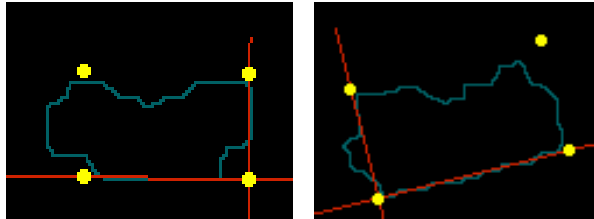
Figur 23. Identifierade intressanta lokala maxima.

Efter den första sällningen identifieras de lokala maxima vars höjdvärden ungefär stämmer överens med höjden på det eftersökta objektet (Figur 23). För varje lokalt maximum analyseras därefter konturen till de omgivande punkterna över markytan med avseende på det eftersökta objektets längd och bredd. De två, tillsammans längsta, ortogonala linjerna (ett fordon antas vara rektangulärt sett uppifrån) identifieras genom Hough-transformering av konturen, varpå positionerna för objektets fyra hörn skattas (Figur 24).

Vegetation kan sedan i de flesta fall skiljas från fordon enligt följande:

1. De skattade dimensionerna (längd och bredd) stämmer ej överens med det eftersökta objektets dimensioner.
2. Det identifierade hörnet (skärningspunkten mellan de två röda linjerna i Figur 24) ligger "för långt" utanför objektets kontur.
3. Objektets kontur följer "dåligt" de skattade sidorna.

Slutligen analyseras även den lokala variansen i ytan till varje identifierat objekt. Då variansen kan antas vara lägre i ytan till ett fordon än i vegetation, kan ytterligare segment förkastas.

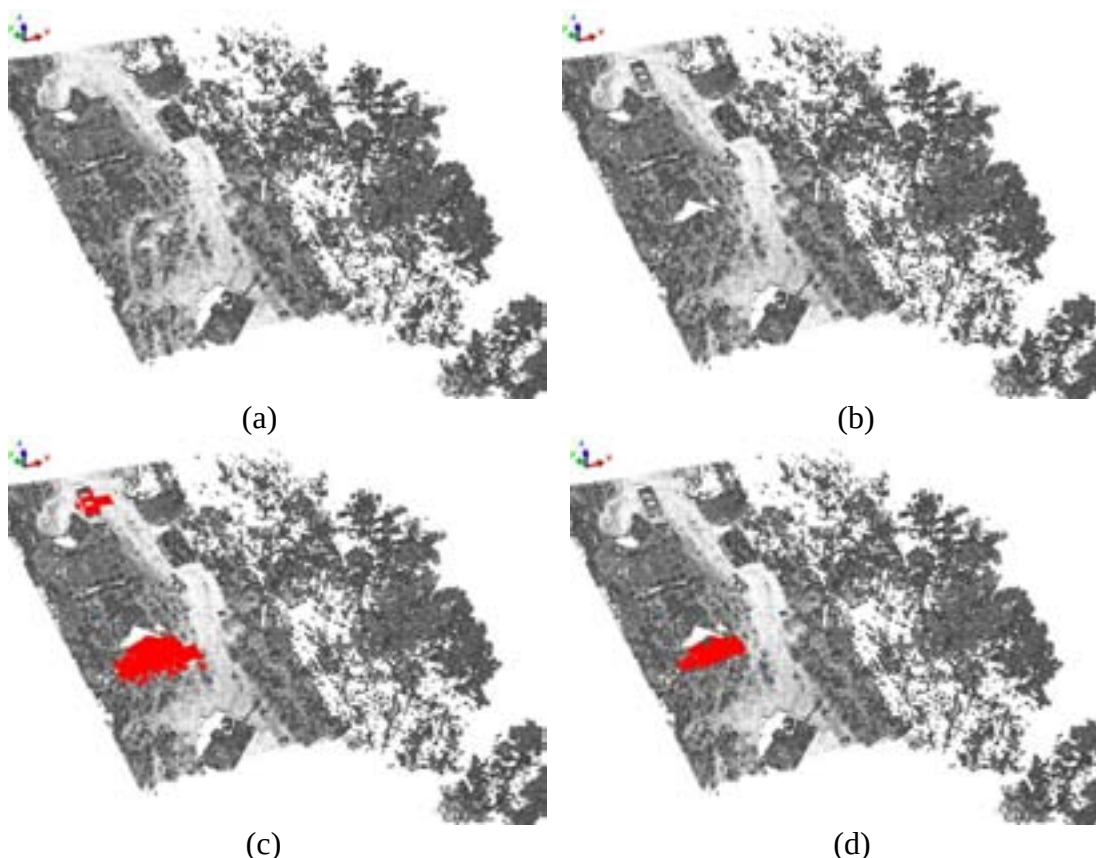


Figur 24. Exempel på analys av konturen till ett objekt. Den gröna slutna kurvan anger objektets kontur, de röda linjerna visar resultatet av Hough-transformeringen av objektkonturen och de gula punkterna de skattade positionerna för objektets hörn. Vänster: buskage, höger: stridsvagn

5.5 Måldetektion genom förändringsdetektering

Under året har arbete med förändringsdetektering i oorganiserade 3D-punktmoln inletts. För att minska beräkningskomplexiteten är det ofta önskvärt att först göra en snabb detektering av ett mindre antal intressanta delområden (Regions Of Interest, ROIs) inom vilka det är mest troligt att förändringar har ägt rum. Därefter kan dessa områden analyseras med mer noggranna (och beräkningskrävande) tekniker för att därigenom få mer detaljerad kännedom om vari förändringen består. Figur 25 visar automatiskt detekterade förändringar som motsvarar skillnader i punkttäthet mellan två punktmoln. Genom att först dela in punktmolnen i ett antal mindre områden (celler) kan en grov uppskattning av punktdensiteten i olika delar av scenen göras. Förändringar som motsvarar relevanta, större objekt (t.ex. fordon) ger typiskt upphov till betydande punktdensitetsskillnader mellan motsvarande celler i punktmolnen. Intressanta områden kan sedan delas upp ytterligare på liknande sätt med successivt minskande cellstorlek, till dess önskad indelning erhållits.

Under året har arbete med att undersöka olika registreringsteknikers möjligheter och begränsningar inletts. I förändringsdetektionsexemplet ovan var sensorns position och orientering oförändrad mellan mätningarna.



Figur 25. Automatisk förändringsdetektion: (a) Referenspunktmoln. (b) Det senast uppmätta punktmolnet. (c) Röda punkter tillhör celler där punkttätheten ökat märkbart i (b) jämfört med i (a). (d) Ytterligare analys (med mindre cellstorlek) av ett område kring den största förändringen gör att stridsvagnen kan pekats ut noggrannare.

5.6 Ytdetektion med spinnbilder

En spinnbild (eng. spin image) är en rotationsinvariant lokal ytrepresentation, som beskrivits bland annat i [39, 63, 64]. Inledande implementering och utvärdering gjordes av FOI och finns beskriven i [65]. Under året har arbetet med spinnbilder bland annat inriktats på att uppnå en effektivare implementering, som nu givit en reducerad beräkningstid, men också på bildernas användning för detektion av mål. Enligt undersökt litteratur har spinnbildernas användningsområde i stor utsträckning varit modellbaserad igenkänning [39, 63, 64]. Genom jämförelse mellan spinnbilder bestäms då likheter mellan de lokala ytegenskaperna hos olika punkter i en modell och den uppmätta scenen. Vasile et al. [39] utvidgar ramverket till att omfatta både detektion och igenkänning av målobjekt i en scen, men även detektionen är modellbaserad, det vill säga metoden kräver att scendata jämförs med en uppsättning spinnbilder som skapats för varje modellobjekt som man vill detektera.

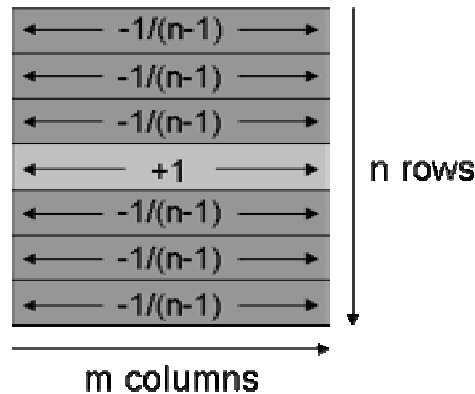
Ett förenklat förfarande som undersöks är att skapa ett begränsat antal spinnbilder motsvarande målrepresentativa ytprimitiver, och söka efter områden i data där antalet likheter är förhöjt. Genom ett bra val av ytprimitiver, skulle mål på detta sätt kunna detekteras genom att särskiljas från klotter i den aktuella scenen.

Principen visas här genom detektion av plana ytsegment lokalt i data genom jämförelser av individuella spinnbilder. Plana ytor kan antas vara relevant för upptäckt av människotillverkade objekt i en miljö bestående av naturligt klotter. För att utnyttja spinnbildernas potential kan och

bör principen kunna generaliseras till att gälla även andra typer av ytsegment, exempelvis olika typer av krökningar, hörn och liknande.

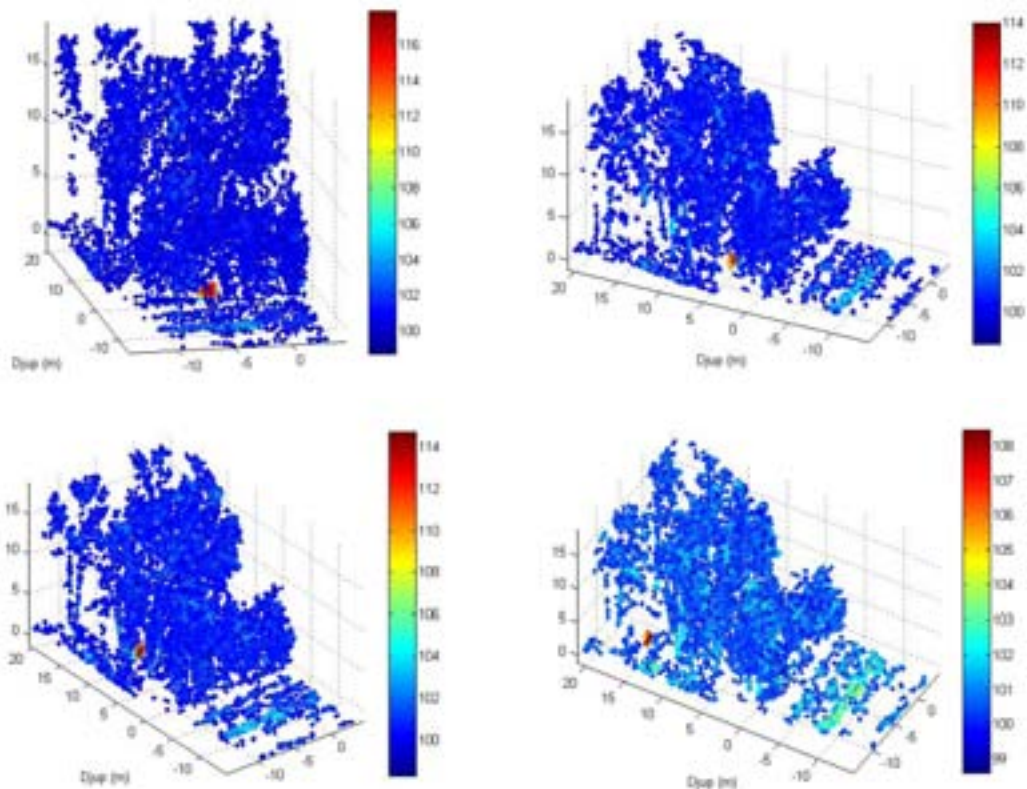
En algoritm har för ändamålet tagits fram, vars syfte är att tilldela individuella poäng till varje datapunkt, där höga poäng ska ges till punkter som är delar av plana ytsegment och lägre poäng ges till punkter på krökta ytor eller klotter. Spinnbilder beräknas först för alla punkter i scendata som vi vill poängsätta, med hjälp av passande parametervärden vid spinnbildsgenereringen.

När spinnbildsstacken beräknats, appliceras detektionsalgoritmen individuellt på varje bild genom påläggning av en detektionsmask. Ett exempel på en sådan mask visas i Figur 26. Masken centreras på raden $\beta = 0$ och i nivå med kolumnen $\alpha = 0$ i varje spinnbild. Elementen i de överlappande delarna av de två matriserna multipliceras elementvis och summeras. Matrisen som visas i Figur 26 är utformad för att ge högsta poäng till punkter på plana strukturer, men tanken är att även t.ex. krökta ytor, kanter eller hörn ska kunna detekteras med andra matriser av olika utseende som konstrueras på liknande sätt. Detektionsmaskens storlek och inre struktur väljs så att m motsvarar storleken på de ytstrukturer vi vill detektera, och n passar den förväntade brusnivån och mängden klotter. Beroende på förväntad ytstruktur kan masken även konstrueras så att mer än en rad i matrisen bidrar positivt till poängsumman.

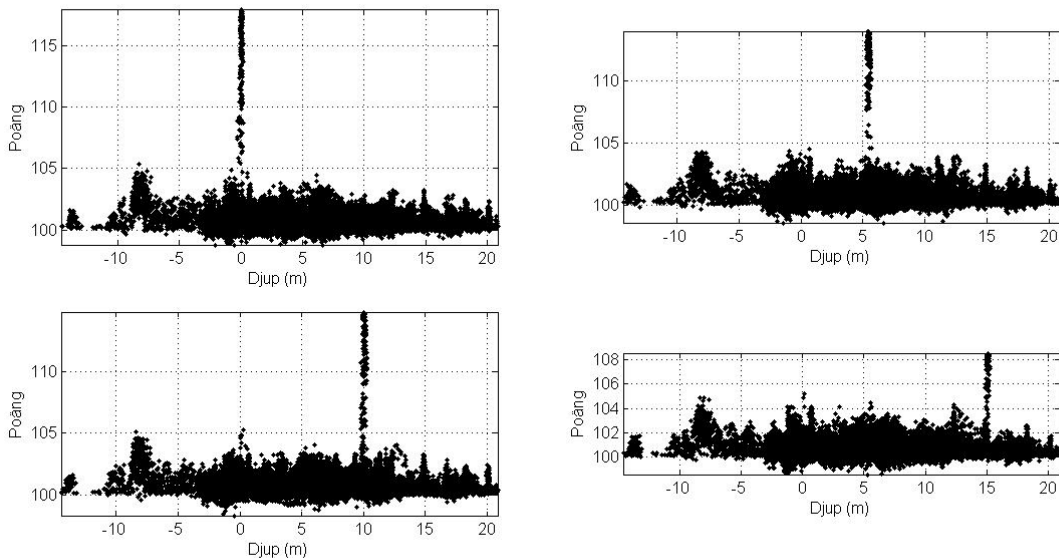


Figur 26. En detektionsmask för plana ytor. Masken överlagras en spinnbild, multipliceras elementvis och produkterna summeras till en poäng. Metoden bör kunna generaliseras till även andra typer av ytstrukturer.

Algoritmen har prövats huvudsakligen på två datamängder. I den första datamängden var laserskannern riktad mot ett skogsområde bestående främst av lövskog av björk och asp, och en $2 \times 2 \text{ m}^2$ stor plan yta av frigolit ställdes på olika djup bakom trädridån. I den andra datamängden avbildas militära fordon placerade skogen, i skogskanten och i öppen terräng från en laserskanner upphöjd i en skylift. Data delades upp i scener med ett fordon och dess omgivande miljö i varje.



Figur 27. Fyra olika datamängder, med den kvadratiske tavlan placerad på olika djup bakom trädridån. Färgskalan representerar poängsättningen av varje punkt vid användning av en detektionsmask på respektive spinnbild. Poängskalans absolutnivå är godtycklig. De förhöjda poängvärdena på tavlan syns tydligt röda i kontrast mot den omgivande miljön i respektive scen.

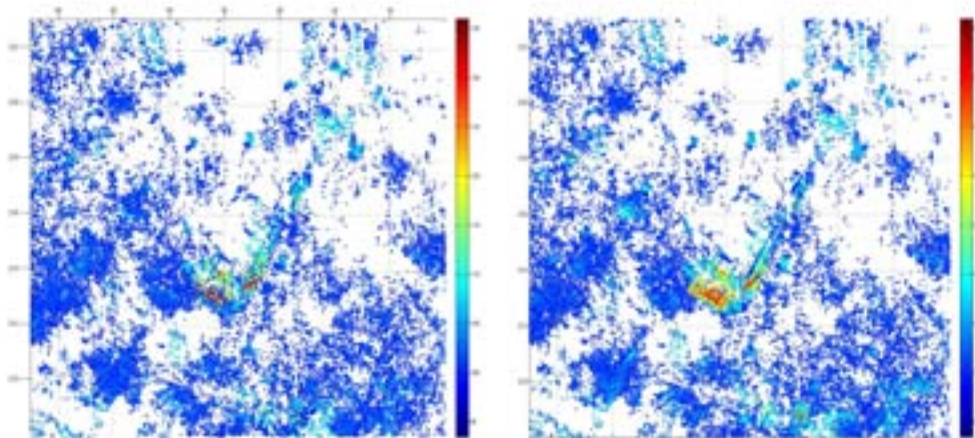


Figur 28. Figuren visar en s.k. "scatter plot" över punkternas beräknade poäng och djup bakom trädridån, för de fyra scenerna i Figur 26. Varje punkt i diagrammen motsvarar en punkt ur respektive scen. Den kvadratiske tavlan kan tydligt ses som punkter med förhöjd poäng på olika djup från ca 0 m till ca 15 m. Jämför med djupskalan i föregående figur.

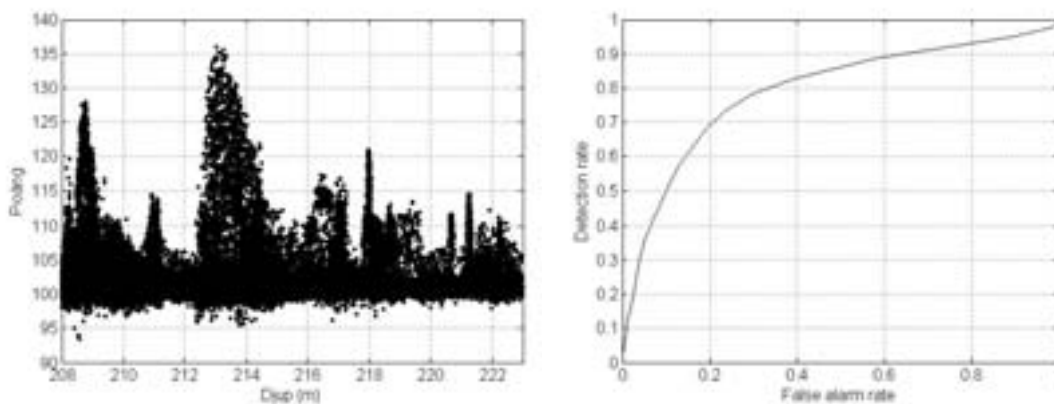
Inför beräkningen av spinnbilderna för respektive scen, uppskattades en skalfaktor med utgångspunkt i det ungefärliga samplingsintervallet i data, och övriga spinnbildsparametrar dimensionerades relativt denna. Ett värde på skalfaktorn om ca 0,15 m bedömdes lämpligt för de aktuella scenerna. En mer utförlig diskussion om dimensionering av spinnbildsparametrar ges av Johnson [63]. I detta arbete har följande parameterrelationer använts:

Omgivning för ytnormalskattning	=	3 gånger skalfaktorn;
Cellstorlek i spinnbild	=	skalfaktorn;
Stöдавstånd (support distance) för spinnbilden	=	10 gånger skalfaktorn;
Stödvinkel (support angle) för spinnbilden	=	70 respektive 110 grader.

Resultaten från algoritmkörningarna presenteras visuellt i Figur 27 och Figur 29, där varje punkt i scenen färgkodats beroende på erhållen poäng. Vi ser att den kvadratiske tavlan detekteras med tydlig kontrast mot den aktuella omgivningen, och att även stora delar av fordonet detekteras, dock med något lägre kontrast mot vissa trädstammar i scenen, då dessas spinnbilder delar vissa egenskaper med de plana ytor vi i detta fall försökt detektera. I Figur 28 och Figur 30 visas en något mer kvantifierad analys av detektionen. Den punktvisa poängsättningen som nu genomförts skulle sedan kunna användas som utgångspunkt för en fortsatt klustring och segmentering på yt- och objektnivå.



Figur 29. Vänster: Automatiskt poängsatta punkter i en scen innehållande en pansarbandvagn 401 i lövskog, projicerad uppifrån. Färgskalan representerar poängsättningen av punkterna. Höger: Samma scen projicerad underifrån för bättre synbarhet av fordonets punkter.



Figur 30. Vänster: Figuren visar en s.k. ”scatter plot” över beräknad poäng och djup för varje punkt i scenen i Figur 28, där djupet definierats nedifrån och uppåt i figuren. Fordonets punkter ger upphov till de höga poängvärdena mellan ca 212,5 m och 217 m. Övriga markanta strukturer i diagrammet kan exempelvis vara trädstammar. Höger: En så kallad ROC-kurva som visar hur väl punkterna på målet kan separeras från omgivningen enbart med hjälp av enskild poängsättning.

5.7 Måligenkänning genom rektangelskattning

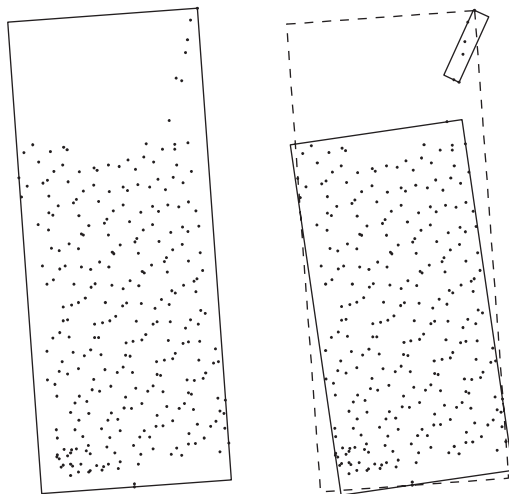
Måligenkännings-metoden [52] är utvecklad på FOI. Det är en metod som kan särskilja olika fordonsklasser (lastbil, stridsvagn, personbil). Den kan hantera 3D-data från målet som registrerats med godtyckligt aspektvinkel. Den är baserad på det faktum att konstgjorda (människotillverkade) föremål, som fordon, kan betraktas som en sammansättning av rätblock. Vi antar att ett fordon i olika projektioner kan approximeras väl med en eller flera rektanglar och att några av dessa rektanglar beskriver målets huvuddelar

Metoden består av fyra steg:

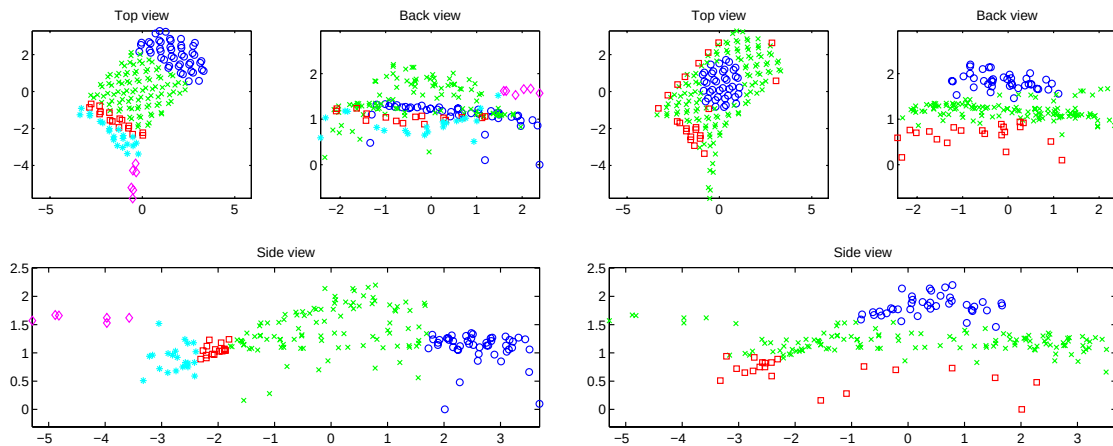
- Skattning av målets orientering och dimensioner i 3D, se exempel i Figur 31.
- Uppdelning av måldata till delar som är ungefärligt rektangulära, se Figur 32.
- Beräkning av geometriska egenskaper för de olika delarna och jämförelse med geometriska egenskaper för typiska huvuddelar hos olika modeller i målbiblioteket, se Figur 33.
- Matchning av måldata med lågupplösta CAD-modeller. Punktskuren från målet jämförs med fasettmodellen av målmodellen, se Figur 34.

En fördel med den här metoden är att varje steg kan presentera användbara resultat, även om rätt mål inte finns i målbiblioteket. Det sista steget är beräkningskrävande och genom en stegvis analys kan antalet matchningar begränsas, vilket spar beräkningskraft och tid.

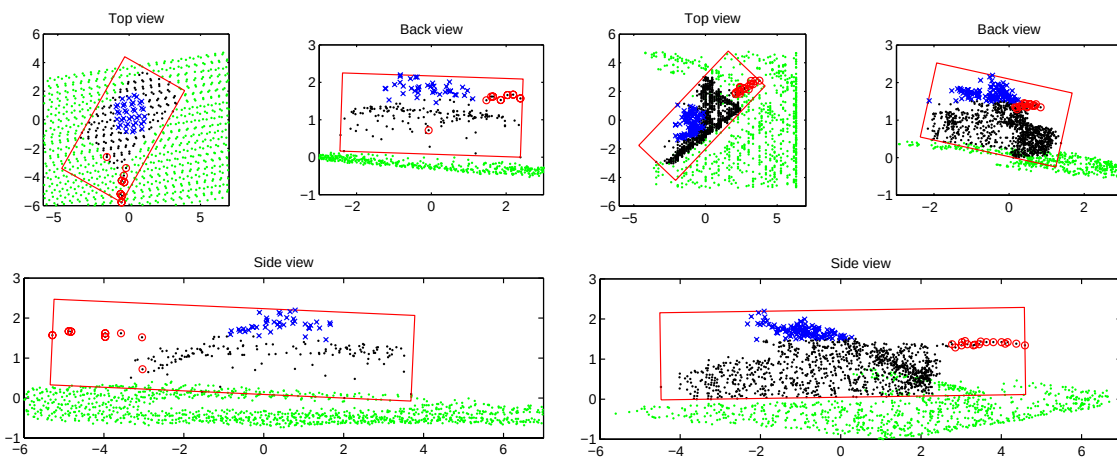
När ett mål registreras med en laserradar erhåller vi en tredimensionell beskrivning av målet. Det innebär att data kan projiceras om till en godtycklig vy. Å andra sidan kan en laserradar inte penetrera hårda ytor, t.ex. trädstammar eller plåt. Vi erhåller alltså bara data från de delar av målet som är synliga ur sensorns perspektiv (sk egen-ocklusion). I de tillämpningar vi tänker oss kan vi inte förutsätta att fordonen är placerade på ett visst sätt i förhållande till sensorn, vilket försvårar problemet.



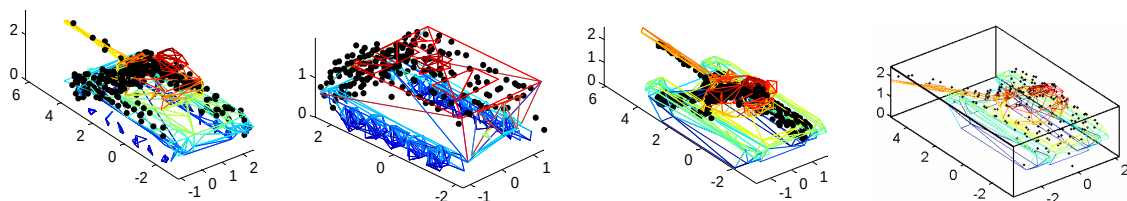
Figur 31. Mätpunkter på en stridsvagn, sedd ovanifrån. Data delas upp i rektangulära delar.



Figur 32. Exempel på uppdelningar av en stridsvagn. Vänster: eldrör identifieras (romber), höger: torn identifieras (cirklar). Axlar i meter.



Figur 33. Identifiering av eldrör (cirklar) och torn (kryss) på två olika stridsvagnar. Den till vänster är registrerad med ett lodtittande system och den till höger med ett sidtittande system. Axlar i meter.



Figur 34. Exempel på matchningar. Från vänster: M60 (Tomahawk-data), M113 (Tomahawk-data), T72 (ILRIS-data), T72 (TopEye-data).

5.7.1 Exempel måligenkänning

Nedan visas resultat erhållna med [52], där igenkänning av stridsvagnar är implementerat. Kännetecken för stridsvagnar är eldrör och torn. Algoritmen testas här på data från fyra olika sensorsystem. Det första, TopEye [66], är ett helikopterburet, lod-tittande, skannade system. Det andra, Optech ILRIS-3D (se avsnitt 2.2), är ett markplacerat, skannande system, där målen registreras från sidan. Det tredje är ett försökssystem för grindad avbildning, utvecklat vid FOI, och beskrivs i exempelvis [20]. Systemet placerades på marken och målet registrerades från sidan. Det fjärde systemet är målsökaren i Tomahawk-missilen, se exempelvis [67]. Målsökaren placerades i en pod i nosen på ett flygplan som flög mot mätområdena, registreringarna är gjorda i framåttittande perspektiv. Elevationsvinkeln vid mätningarna uppskattas till 60-70 grader.

Måldata sammanfattas i Tabell 1. För vissa mätningar på stridsvagnar har inga data från eldröret registrerats. Det beror på att ibland är eldrörets vinkel i förhållande till sensorn för liten för att tillräcklig reflekterad laserstrålning registreras i mottagarens elektronik.

Måligenkännings-algoritmen kommer att utvärderas vad gäller skattning av dimensioner, identifiering av eldrör och torn och matchning mot CAD-modeller. Algoritmen kan utföra olika slags matchningar, här används en med (global) minsta-kvadrat-anpassning. Identifiering av eldrör och torn kommer att ske för alla mål i Tabell 1. Skattning av dimensioner och matchning mot CAD-modeller kräver att CAD-modeller finns, vilket det gör för T72, M60, BTR70, M113, pbv 401 och ZSU23-4M.

Tabell 1. Mätdata som ingått i utvärdering av ATR-algoritmen.

Mätsystem	Stridsvagnar	Stridsvagnar utan punkter eldrör	Pansarbandvagnar	Övriga
TopEye Lodtittande	4 (T72)	1 (T72)	2 (BTR70)	2 Lastbil (TGB30) 1 Container 1 Vedstapel
ILRIS Sidtittande	3 (T72)		6 pbv 401	
GV Sidtittande	1 (T72)			
Tomahawk Framåt-tittande	9 (M60) 1 (M47)	3 (M60)	2 (M113)	1 Lv-kanon (ZSU23-4M) 1 Broläggare 4 Lastbil (M35) 1 Haubitze (M53/55) 1 container
Totalt	18	4	10	12

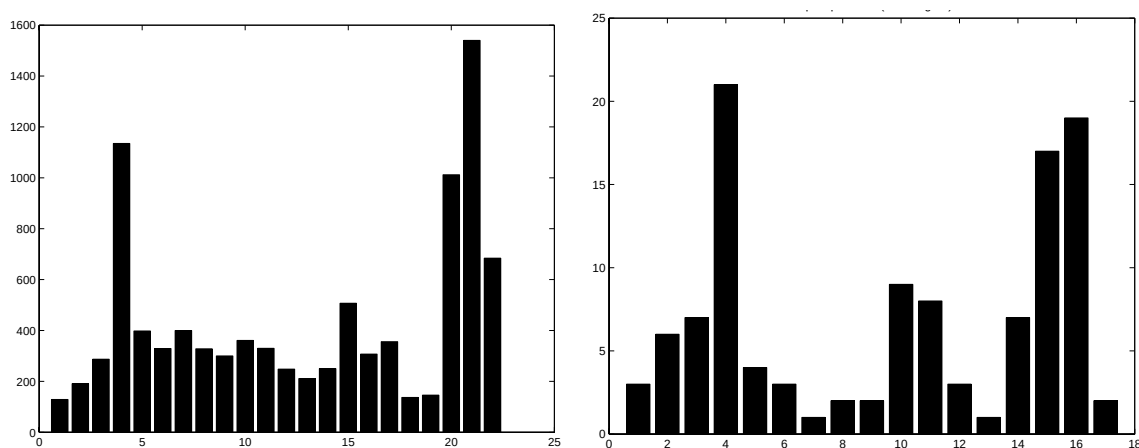


Figur 35. Bilder från mätningarna. Övre raden är från mätningarna med Tomahawk, den undre raden från mätningar med TopEye (vänster) och ILRIS (höger).

5.7.2 Identifiering av eldrör och torn

I Figur 36 visas hur många punkter det är på de stridsvagnar som ingår i testet. De högsta staplarna (flest punkter) kommer från ILRIS- och GV-data. Tomahawkdata och TopEye ger glesare punktmoln, TopEye något glesare och mer oregelbundet än Tomahawk. Algoritmen måste kunna hantera att det är få, geometriskt glesa datamängder som representerar ett eldrör eller torn på en stridsvagn (vilket algoritmen letar efter).

I Tabell 2 visas resultatet av identifieringen. Förutom de som listas i tabellen, testades algoritmen på broläggaren, containrarna och vedstapeln, där vare sig eldrör eller torn kunde hittas. På en stridsvagn hittas både det korrekta eldröret och två falska i en kant av bakändan. Ett eldrör, bestående av 2 punkter, hittas inte p.g.a. att segmenteringen inte lyckas. För stridsvagnar som har 5 punkter eller mer på eldröret fungerar algoritmen stabilare. När algoritmen testades på fordon andra än stridsvagnar, detekterades ett falskt torn på en lastbil. Eventuellt kan det korrigeras med mer genomtänkta regler för definitionen av eldrör. Man kan också tänka sig att man först skattar det okända målets dimensioner och sedan bara kör algoritmen på mål som troligen är stridsvagnar (baserat på dimensionsskattningen).



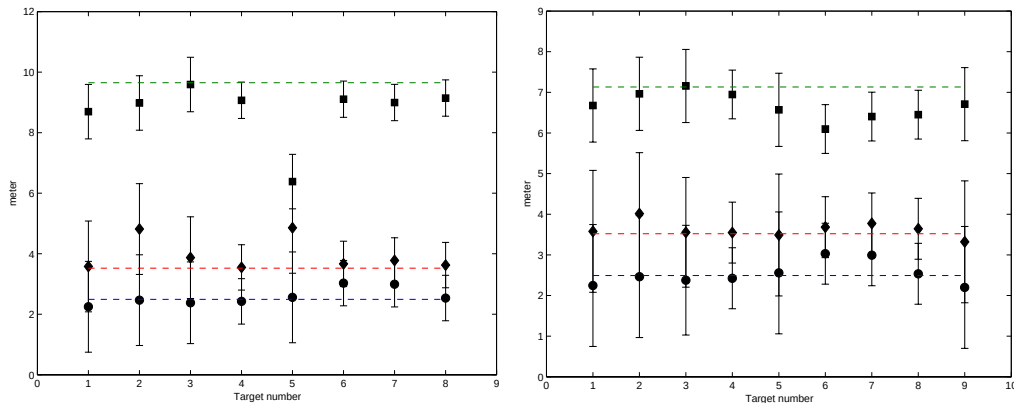
Figur 36. Antal punkter på hela fordonet (vänster) och eldrör (höger) för de stridsvagnar som ingår i testet.

Tabell 2. Resultat av identifiering av eldrör och torn.

	Antal	Eldrör korrekt id	Eldrör fel id	Eldrör missad id	Torn korrekt id	Torn fel id	Torn missad id
Stridsvagn med eldrör	18	17	1	1	15		3
Stridsvagn utan eldrör	4	-	-	-	4		
Pbv	10	-	-	-	-	-	-
Lv-kanon	1	-	-	-	1		
Lastbilar	6					1	
Haubit	1	1					

5.7.3 Skattning av dimensioner

I Figur 37 visas ett exempel på skattning av dimensionerna hos stridsvagnen T72. Algoritmen har en viss bias i sina skattningar av dimensioner, för 300 punkter och varians i data på 5-10 cm (gäller dessa mätningar) är bias 2-5%. Värdena som presenteras i figuren är inte kompenserade för bias. De skattade värdena visas tillsammans med uppskattat 3σ -värde (tre standardavvikelser). Höjd- och breddskattningarna ligger inom 3σ -gränsen medan ungefär var tredje höjdska-
tning ligger utanför 3σ -gränsen. Bredden på vissa T72:or kan avvika från de sanna p.g.a. att eldröret är roterat. Fordonen M60, M113, ZSU23-4M är registrerade i framåttittande mod, vilket ökar risken för egen-ocklusion. Då kanske man heller inte får någon registrering på fram- eller bakändan och fordonet blir kortare eller smalare än modellen.



Figur 37. Skattning av dimensioner för T72. Vänster: skattning hela fordonet, höger: skattning exklusive eldrör. Överst: längd (rutor), mitten: bredd (romber), nederst: höjd (cirklar). Sanna värden enligt CAD-modell visas som linjer.

5.7.4 Prestanda klassificering och måligenkänning

Igenkänning baserad på måltypen visas i Tabell 3. En T72:a igenkänns som en M60, för en mätning som är ganska brusig vilket försvårar igenkänningen. Två pbv 401, som är placerade inne i skogen med grenar som delvis skyler fordonstaken, igenkänns felaktigt som BTR70. Algoritmen är i första hand utvecklad för att särskilja olika fordonsklasser, dessa resultat visas i Tabell 4. De flesta målen har placerats i rätt fordonsklass. Utvärderingen har gjorts på ganska få mätdataexempel, så allmängiltiga antaganden om algoritmens prestanda kan inte göras. Däremot bör noteras att utvärderingen skett på data från fältförsök från fyra fundamentalt olika laserradarsystem. Vi tror att denna ansats till måligenkänning är lovande men fler tester behövs.

Tabell 3. Resultat igenkänning av fordonstyp.

Mål	Modell					
	T72	M60	PBV 401	BTR70	M113	ZSU23-4M
T72	8	1				
M60		12				
PBV 401			4	2		
BRT70				2		
M113					2	
ZSU23-4M						1

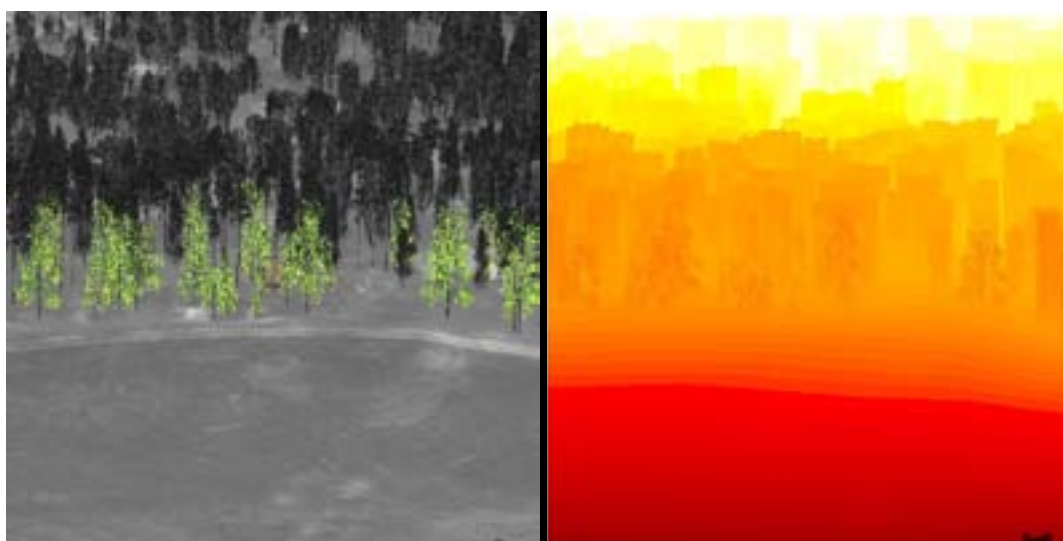
Tabell 4. Resultat igenkänning av fordonsklass.

Mål	Modell		
	Stridsvagn	Pbv	LV-kanon
Stridsvagn	21		
Pbv		10	
Lv-kanon			1

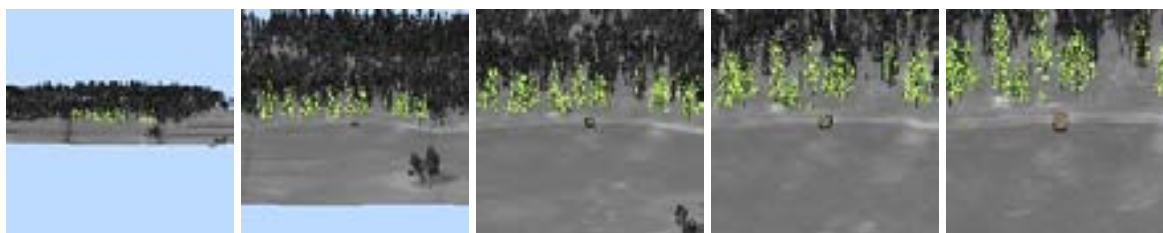
5.8 Sensorsimulering

Sensormodellen, som tidigare har redovisats [15, 68], har under 2005 anpassats för att kunna simulera komplexare miljöer. Tidigare kunde endast enklare scenarion (platt mark, enstaka träd och enstaka fordon) simuleras, medan gränsen nu har flyttats till ett par miljoner polygoner.

Grundprincipen vid simuleringarna bygger som förut på en indelning i fyra delsystem. *Laserkällans* parametrar omfattar till exempel pulslängden, stråldivergensen samt pulsenergin, medan *atmosfären* omfattar bland annat solinstrålning, dämpning och turbulensstyrka. *Scenen* omfattar en geometri, exempelvis den till vänster i Figur 38, samt reflektionsegenskaperna för de i scenen förekommande materialen. *Mottagaren* är det som mest skiljer olika system åt och omfattar parametrar för både optik och elektronik samt viss signalbehandling. Till höger i Figur 38 ses avståndsbilden genererad för scenen till vänster. Figur 39 visar scenen för ett simulerat anflygningsförlopp. De gröna träden är 3-dimensionella träd, medan de grå träden är så kallade "billboard-träd", som endast består av två polygoner och textur. Landskapen i scenen är en modell av Prästtomta skjutfält, använd inom *SEMARK* och i detta fall även inom projektet *Precisionsvapen i NBF*.



Figur 38. En geometriskt komplex simulerad scen där en stridsvagn skymtar i skogsfasaden. De gröna träden är uppbyggda av mängder av polygoner, medan de mörkgrå endast består av två polygoner och en textur. Till höger visas motsvarande avståndsbild, där färgen representerar avståndet.



Figur 39. Simulerat anflygningsförlopp. En stridsvagn (T72) står framför skogen.

6 Mätningar

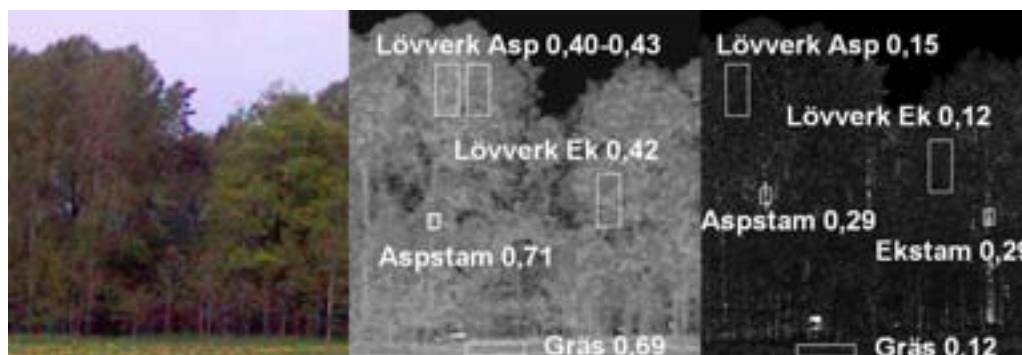
Under året har ett flertal mätningar ägt rum. Exempelvis har olika vegetationsbakgrunder mätts och dokumenterats, liksom kamouflagefärg mot hud. Dessutom har FOI deltagit i ett internationellt fältförsök i Huntsville (Alabama, USA) där mätningar från ett 100 m högt torn erbjöds. Vid det tillfället deltog även ett flertal mycket avancerade sensorer, vars data vi senare får tillgång till.

6.1 Reflektionsjämförelser av vegetationsbakgrunder

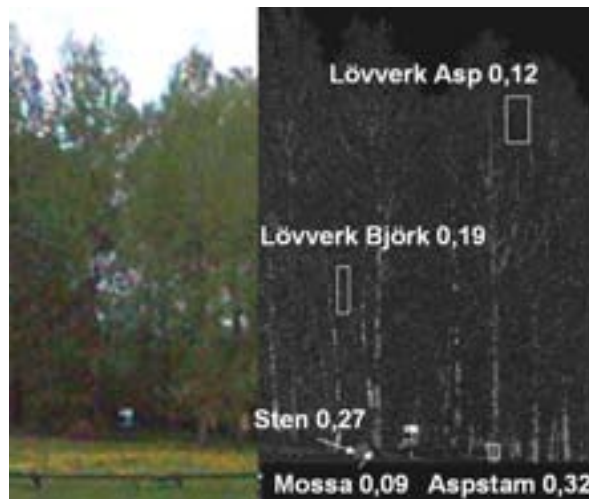
För att lättare kunna urskilja mål i terräng är det viktigt att ha god kännedom om reflektionsvärden från vegetation. En rad mätningar av olika reflektion har tidigare utförts [69, 70] med laserskannern Optech ILRIS-3D (1540 nm, se avsnitt 2.2) mot olika typer av vegetationsbakgrunder och under olika årstider. Dessa mätningar har under året ytterligare kompletterats. Mätningarna har utförts för att erhålla en grov bild av hur reflektionsvärden för vegetation förändras med årstiderna främst för den ögonsäkra våglängden 1540 nm. En annan taktiskt intressant våglängd är våglängden 1060 nm (Nd:YAG-laser, typisk våglängd för laseravståndsmätare). FOI:s andra skannande laserradar, Riegl LMS-Z210, arbetar med 904 nm och bedöms ligga tillräckligt nära 1060 nm för att ge jämförbara mätningar, och har därför använts vid motsvarande mätningar, se exempelvis Figur 40.

Reflektansen hos olika förekommande träslag (främst gran, tall, björk men även asp och ek) har mätts upp. Här redovisas asp under olika årstider vid våglängden 1540 nm; försommar (Figur 40), med även ek representerad (i jämförelse med 904 nm), försommar (Figur 41), med även björk representerad, höst (Figur 42, vänster) samt vinter utan snö i träden (Figur 42, höger). Redovisade reflektionsvärden baseras på ett medelvärde på intensiteten över en avståndslucka i längdled. Denna avståndslucka har satts så snäv som möjligt (några meter) för att undvika att reflektansen hos mätpunkten på objekt bakom trädfasaden påverkar resultatet.

Om de båda våglängderna jämförs visar det sig att 904 nm har en betydligt högre reflektion än 1540 nm för samma scenario. Vi kan se att lövverkets reflektion tydligt ändras under året. Klorofyllet i bladen påverkar reflektionen, se exempelvis försommar (Figur 40) jämfört med höst (Figur 42, vänster) för dungen med asp. Löven har en klart lägre reflektionsfaktor då löven är gula än jämfört med gröna löv. En jämförelse mellan samma granskogsdunge på sommaren och vintern med snö/rimfrost i grenarna, se Figur 43, visar att snön dämpar reflektionen radikalt från mellan 10 och 15 % ner till mellan 2 och 3 %.



Figur 40. Reflektionsvärden vid 904 nm (mitten) i jämförelse med 1540 nm för dunge med asp i maj. Eklöven hade här inte slagit ut så mycket vilket har gett ett lägre reflektionsvärde i lövverket jämfört med asp.



Figur 41. Aspdunge med inte fullt så utslagna blad som i Figur 40. Reflektionsvärdet (vid 1540nm) ligger här några procentenheter lägre än jämfört med löv som kommit lite längre i utvecklingen. Lövverket på björk var här några procentenheter högre än asp.



Figur 42. Aspdungen från Figur 40 skannad i oktober (vänster) samt vintertid (höger). Reflektionsfaktorn (vid 1540nm) i lövverket har här sjunkit till 3-5 % respektive 8-12 %.



Figur 43. Reflektionsfaktorer på en granskogsdunge försommar (vänster) i jämförelse med vinter med snö/rimfrost i grenarna (höger). Reflektionsvärden vid 1540 nm.

6.2 Kamouflagefärg, ansikten

Reflektionsmätningar mot hud redovisades förra året [1]. Utvärdering visade att reflektionen mot hud i vissa lägen var så pass låg som 2 %. Laserradarsystem har svårt att detektera ytor med låga reflektionsvärden särskilt om ytan är skyddad av till exempel vegetation eller kamouflagenät, eftersom energin tillbaka till detektorn då blir för låg. Ett laserradarsystem detekterar sällan hudens låga reflektionsvärden under till exempel kamouflagenät. En människa under kamouflagenät upplevs då som huvudlös. Mätningar har utförts av kamouflagemålat ansikte för att jämföra reflektionsvärdena mot bar hud. Mätuppställningen visas till vänster i Figur 44. Kalibrerade reflektionstavlor har använts för att erhålla kalibrerade reflektionsvärden på samtliga punkter. Beräkningsalgoritm för kalibrerade reflektionsvärden i samtliga punkter i ett scenario har beskrivits i tidigare rapport [71]. De kamouflagefärger som har använts för mätningen är kamouflagestift brun och grön (M0720-800120-7) samt Camo Face Paint av märke Renajs AB Scandinavia (art nr TW101) kulörer grön, brun och svart, se till höger i Figur 44.



Figur 44. Mätuppställning vid mätning av kamouflagefärg på hud. En kalibrerad referenstavla har använts för att erhålla kalibrerade reflektionsvärden för samtliga uppmätta punkter. Till höger: Den använda kamouflagefärgen vid mätningarna av kamouflagefärg på hud. Till vänster kamouflagestift brun och grön (M0720-800120-7) samt till höger Camo Face Paint av märke Renajs AB Scandinavia (art nr TW101) kulörer brun, svart och grön.

Resultatet av mätningarna visar att de testade färgerna över lag ökar reflektionen på hudytan jämfört med bar hud. Den svarta tubfärgen minskar dock reflektionen. I Figur 45 (resultatet från kamouflagestift (M0720-800120-7)) och Figur 46 (resultat från tubfärger från Renajs AB) visas resultat av mätningen i form av intensitetsbilder. I Figur 45 ser vi hur både brunt och grönt kamouflagestift ökar reflektionsvärdet något. Det låga reflektionsvärdet i pannan för brun färg beror på att huden här lyser igenom. Observera även de högre värdena på ögonbrynen som beror både på att hår har en högre reflektion än hud men också på ett tjockare färglager i ögonbrynen. Den nedre bilden i Figur 45, visar en någorlunda korrekt kamouflagemålning (grön bas med upphöjda partier mörkare), dock utan att smeta ut färgerna i varandra. I denna bild kan vi se att intensitetsbilden blir mer jämn än jämfört med den mittersta bilden för enbart grön färg. Mer mörkt kamouflage både i ögonbryn och på haka hade gjort ett mindre framträdande ansikte vid 1540 nm. Personen har haft ögonen öppna på den mittersta och på den högra intensitetsbilden i Figur 45, därav de svarta ögonen.



Figur 45 Kamouflagemålat ansikte med kamouflagefärg från stift (M0720-800120-7) Färgerna är presenterade både med visuell bild och intensitetsbild i par, brun (vänster) och grön (mitten). Den högra parbilden visar en någorlunda riktigt utförd kamouflagemålning.



Figur 46 Kamouflagemålat ansikte med kamouflagefärg på tub från Renajs AB i kulörerna brunt, grönt (vänster parbild) samt svart (höger parbild).

I Figur 46 ser vi hur både brun och grön kamouflagefärg på tub ökar reflektionsvärdet något jämfört med bar hud. Den bruna färgen har här inte täckt huden helt, därav reflektionsvärden nära värdena för bar hud. Trots att den svarta färgen, högra bilden, inte ser ut att ha täckt huden helt sänker den reflektionsvärdet jämfört med bar hud. Vid T-shirtens halslinning syns en kant mellan bar hud och kamouflagemålningen.

Slutsatsen från mätningen mot kamouflagemålat ansikte är att ingen färg höjer reflektionsvärdena i sådan grad att ansiktet skulle lysa upp vid 1540 nm med vegetation som bakgrund, utan ligger i samma reflektionshärad som somrig vegetation. Sannolikheten för detektion av ett kamouflagemålat ansikte under kamouflagenäät ökar dock då reflektionsvärdena ökat jämfört med bar hud. Den svarta färgen sänker dock sannolikheten.

6.3 Mätkampanj i Huntsville (Alabama, USA) inom NATO RTG-45

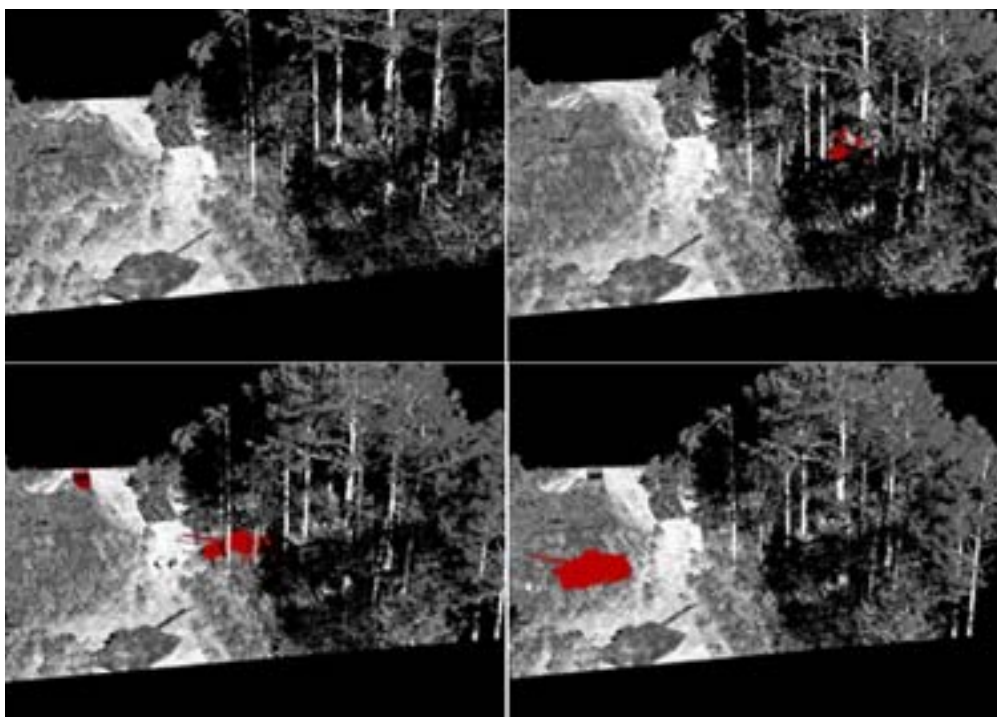
Den 11-28 oktober 2005 deltog FOI vid ett fältförsök vid Redstone Arsenal, Huntsville, i USA. Försöken var en del inom NATO SET-077 RTG45, se avsnitt 3.1. Försöken var förlagda till Russel Tower, se Figur 47, ett hundra meter högt torn med ett mätlaboratorium placerat längst upp. FOI deltog med laserskannern Optech ILRIS-3D. Alla sensorer var placerade i mätlaboratoriet längst upp i tornet. Mätningar gjordes mot såväl öppna som skylda mål både i vegetation och i enklare urban miljö. Syftet med försöken var att bygga upp en stor databank från aktiva bildgenererande sensorer. Förutom tillgång till data från egen sensor kommer FOI att få tillgång till data från samtliga deltagande sensorer. Samtliga deltagande länder och sensorer redovisas i Tabell 5. Mätssystemet som FOI använde samlade bland annat in scenarion för förändringsdetektion. Samma miljö skannades då med förflyttningar mellan varje skanning, se Figur 48.

Tabell 5 Deltagande länder och dess utrustningar vid fältförsöken vid Russel Tower

Land och institut	Utrustning	Våglängd [nm]	Maximalt mätavstånd [m]
Canada, DRDC Valcartier	2D aktiv polarisation Experimentell 3D	810 1500	1000 500
Spanien, CIDA/STGTECEN/DGAM, MoD	3D skannande Linjerad IR-sensor	1500 800-1200	800 -
Sverige, FOI	3D skannande	1540	500
USA, Air Force Research Laboratory - Wright Patterson	Flash 3D	1500	1800
USA, Air Force Research Laboratory - Eglin	3D skannande 3D polariserande	1060 1060	3000 2000
USA, US Army - Night Vision ESD	2D (GV) + IR	1500	>500
USA, US Army - ARMDEC	3D skannande	1060	2000



Figur 47 Det trehundra fot höga Russel Tower. Längst upp i tornet finns ett mätlaboratorium.



Figur 48 Scenarion som kan användas för förändringsdetektion. De röda markeringarna är här manuellt markerade för att illustrera förändringar. Jämför dock med Figur 25 där en automatisk metod för förändringsdetektion har använts.

7 Referenser

- [1] T. Chevalier, T. Winzell, J. Ahlberg, T. Svensson, H. Larsson, I. Renhorn, O. Steinvall, and D. Letalick, "Optroniska System 2004," FOI, Sensor Technology Nov 2004.
- [2] O. Steinvall, H. Larsson, F. Gustafsson, D. Letalick, T. Chevalier, Å. Persson, and P. Andersson, "Performance of 3D laser radar through vegetation and camouflage," in *SPIE Defense & Security Conference on Laser Source and System Technology for Defense and Security*, vol. 5792, G. Wood, Ed. Orlando, FL, USA, 2005, pp. 129-142.
- [3] H. Larsson, O. Steinvall, T. Chevalier, F. Gustafsson, Å. Persson, and P. Andersson, "Characterizing laser radar snow reflection for the wavelengths 0.9 and 1.5 μ m," in *SPIE Defense & Security Conference on Laser Radar Technology and Applications X*, vol. 5791, G. Kamerman, Ed. Orlando, FL, USA, 2005, pp. 293-307.
- [4] O. Steinvall and T. Chevalier, "Range accuracy and resolution for laser radars," in *SPIE Remote Sensing*, vol. 5988. Brugge, Belgium: SPIE, 2005, pp. 73-88.
- [5] O. Steinvall, "Review of laser sensing devices and systems," in *SPIE Remote Sensing*, vol. 5989. Brugge, Belgium: SPIE, 2005, pp. 26-43.
- [6] C. Grönwall and P. Andersson, "Least squares fitting of articulated objects," presented at SSBA 2005, Swedish symp. on image analysis, Malmö, Sweden, 2005.
- [7] C. Grönwall, P. Andersson, and F. Gustafsson, "Least squares fitting of articulated objects," in *CVPR 2005, Workshop on advance 3D image analysis for safety and security*. San Diego, CA, USA, 2005.
- [8] M. Henriksson, "Detection probabilities for photon-counting avalanche photodiodes applied to a laser radar system," *Applied optics*, vol. 44, pp. 5140-5147, 2005.
- [9] R. Forchheimer, "Laserbaserade avståndskameror - Sammanställning av tekniska metoder och system," Linköping University, Dept. of Electrical Engineering, Linköping, Sweden Jan 2005.
- [10] O. Steinvall, "Laser techniques and methods for urban warfare," presented at FMV workshop on urban warfare, Stockholm, 2005.
- [11] O. Steinvall, "Laser Imaging and Mapping," in *ICONO/LAT*. St Petersburg, Russia, 2005.

- [12] D. Letalick, T. Chevalier, and H. Larsson, "3-D Imaging of Partly Concealed Targets by Laser Radar," presented at RTO-MP-SET-094, Berlin, Tyskland, 2005.
- [13] T. Chevalier, "Inledande analys av data från mätningar med 3D-avbildande laserradar under SeMark-fältförsök," FOI, Linköping FOI Memo 1255, Mar 2005.
- [14] L. Svensson, J. Ahlberg, S. Ahlberg, T. Chevalier, P. Follo, H. Habberstad, M. Karlsson, and M. Ulvklo, "SEMARK fältförsök 2005. Utkast till program.," FOI, Linköping FOI Memo 1334, 2005.
- [15] T. Carlsson (later Chevalier), O. Steinvall, and D. Letalick, "Signature simulation and signal analysis for 3-D laser radar," FOI, Sensor Technology FOI-R--0163--SE, July 2001.
- [16] D. Letalick, O. Steinvall, S. Ahlberg, C. Grönwall, and H. Larsson, "LADAR -- en teknikinventering för SATMUMS," FOI, Linköping FOI Memo H272, Oktober 2005.
- [17] Website: *Riegl*, "<http://www.riegl.com> ", 2005
- [18] Website: *Optech Inc.*, "<http://www.optech.ca> ", 2005
- [19] Website: *Canesta Inc.*, "<http://www.canesta.com> ", 2005
- [20] O. Steinvall, L. Klasén, T. Chevalier, P. Andersson, H. Larsson, M. Elmqvist, and M. Henriksson, "Grindad Avbildning - fördjupad studie," FOI, Sensor Technology Nov 2003.
- [21] M. Weispfenning, H. Becht, M. Haug, M. Rech, and M. Scherm, "Eye-Safe Laser Profiling and Gated-Viewing for Target Identification," presented at RTO-MP-SET-094, Berlin , Tyskland, 2005.
- [22] R. Stettner, H. Bailey, and S. Silverman, "Large format time-of-flight focal plane detector development," in *SPIE D&S*, vol. 5791. Orlando, FL, USA, 2005.
- [23] R. A. Morrison, J. F. Turner, M. Barwick, and G. M. Hardaway, "Urban reconnaissance with an ultra high resolution ground vehicle mounted laser radar," in *SPIE D&S*, vol. 8791. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005.
- [24] Website: *Lockheed Martin - Missile and Fire Control - SMACM*, "http://www.missilesandfirecontrol.com/our_products/strikeweapons/SMACM/product-SMACM.html ", 2005
- [25] Website: *AFRL: November 2004 Accomplishments*, "<http://www.afrl.af.mil/accomprpt/nov04/accompnov04.asp> ", 2005
- [26] Website: *AFRL: Success story - Infrared Sensor Provides 3-D Ladar Data*, "http://www.afrl.af.mil/successstories/2004/support_war/04-MN-15.pdf ", 2005
- [27] J. C. Savage, J. Kevin O'Neal, R. A. Brown, and J. E. Keeler, "Powered Low Cost Autonomous Attack System: cooperative, autonomous, wide-area-search munitions with capability to serve as non-traditional ISR assets in a network-centric environment," in *SPIE D&S*, vol. 5791. Orlando, FL, USA, 2005.
- [28] Website: *Raytheon - NLOS-LS*, "http://www.raytheon.com/products/stellent/groups/public/documents/content/cms01_055756.pdf ", 2005
- [29] Website: *Raytheon - CLAS*, "http://wwwxt.raytheon.com/technology_today/2005_i2/feature_7.html ", 2005
- [30] W. C. Stone, M. Juberts, N. Dagalakakis, J. Stone, and J. Gorman, "Performance Analysis of Next-Generation LADAR for Manufacturing, Construction, and Mobility," National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA NISTIR 7117, May 2004.
- [31] Website: *Low Cost Autonomous Attack System (LOCAAS)*, "<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/locaas.htm>, <http://www.defense-update.com/products/l/locaas.htm> ", 2005
- [32] J. E. Grobmyer, "Personlig kommunikation: Jr. Acting LAM Lead Engineer, NLOS-LS Task Force," 2005.
- [33] C. Andressen, D. Anthony, T. DaMommio, D. Hulsey, C. Lawton, J. Neisz, T. Perona, D. Steinmehl, J. Grobmyer, and T. Lum, "Tower Test Results for an Imaging LADAR Seeker," in *SPIE D&S*, vol. 5791. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005.

- [34] Website: *SPIE's OE Magazine April 2003*,
"<http://oemagazine.com/fromTheMagazine/apr03/pdf/ladar.pdf> ", 2005
- [35] R. M. Marino, W. R. Davis, G. C. Rich, J. L. McLaughlin, E. I. Lee, B. M. Stanley, J. W. Burnside, G. S. Rowe, R. E. Hatch, T. E. Square, S. L.J., M. O'Brien, A. Vasile, and R. M. Heinrichs, "High-resolution 3D imaging laser radar flight test experiments," in *SPIE D&S*, vol. 5791. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005.
- [36] R. A. Morrison, J. T. Turner, M. Barwick, and G. M. Hardaway, "Urban reconnaissance with an airborne laser radar," in *SPIE D&S, Laser Radar Technology and Applications X*, vol. 5791. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005, pp. 1-8.
- [37] Website: *Urban Recon - ACTD*,
"<https://peoiewswwebinfo.monmouth.army.mil/JPSD/UrbanRecon/UrbanReconFactSheetFINAL13MAY03.htm> ", 2005
- [38] J. Neulist and W. Armbruster, "Segmentation, classification and pose estimation of military vehicles in low resolution laser radar images," in *SPIE D&S*, vol. 5791. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005, pp. 218-225.
- [39] A. N. Vasile and R. M. Marino, "Pose-Independent Automatic Target Detection and Recognition using 3-D Ladar Data," in *SPIE D&S*, vol. 5426. Orlando, FL, USA, 2004, pp. 67-83.
- [40] J. G. Verly and R. L. Delanoy, "Model-based automatic target recognition (ATR) system for forwardlooking groundbased and airborne imaging laser radars (LADAR)," *IEEE*, vol. 84, pp. 126-163, 1996.
- [41] D. Anguelov, B. Taskar, V. Chatabashev, D. Koller, D. Gupta, G. Heitz, and A. Ng, "Discriminative learning of Markov random fields for segmentation of 3D scan data," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, vol. 2. San Diego, CA, USA: IEEE, 2005, pp. 169-176.
- [42] C. Carlsson (later Grönwall), E. Jungert, C. Leuhusen, D. Letalick, and O. Steinvall, "Target detection using data from a terrain profiling laser radar," in *Third international airborne remote sensing conference and exhibition*, vol. I, 1997, pp. I-431 - I-438.
- [43] R. L. Felip, S. Ferredans, J. Diaz-Caro, and X. Binefa, "Target Detection in LADAR Data Using Robust Statistics," in *SPIE D&S*, vol. 5988. Orlando, FL, USA, 2005, pp. 167-170.
- [44] E. Al-Hujazi and A. Sood, "Range image segmentation with applications to robot bin-picking using vacuum gripper," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, vol. 20, pp. 1313-1324, 1990.
- [45] D. Letalick, M. Millnert, and I. Renhorn, "Terrain segmentation using laser radar range data," *Applied Optics*, vol. 31, pp. 2883-1890, 1992.
- [46] M. R. Wellfare and K. Norris-Zachery, "Characterization of articulated vehicles using ladar seekers," in *SPIE Aerosense*, vol. 3065. Orlando, FL, USA, 1997, pp. 244-254.
- [47] C. K. Toth, A. Barsi, and T. Lovas, "Vehicle recognition from lidar data," in *ISPRS working group III/3 workshop*, 2003, pp. 162-166.
- [48] D. W. Webster, E. Marcus, and D. M. Doria, "Target acquisition in three-dimensional data," in *SPIE Aerosense*, vol. 5094. Orlando, FL, USA: SPIE, 2003, pp. 50-58.
- [49] A. N. Vasile and R. M. Marino, "Pose-Independent Automatic Target Detection and Recognition using 3-D Ladar Data," in *SPIE*, vol. 5426, F. A. Sadjadi, Ed. Orlando, FL, USA, 2004, pp. 67-83.
- [50] W. Armbruster, "Comparison of deterministic and probabilistic model matching techniques for laser radar target recognition," in *SPIE D&S*, vol. 5807. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005, pp. 233-240.
- [51] J. Ahlberg, M. Folkesson, G. Christina, T. Horney, E. Jungert, L. Klasén, and M. Ulvklo, "Ground Target Recognition in a Query-Based Multi-Sensor Information System," *Integrated Computer-Aided Engineering Journal*, Submitted Dec 2004.

- [52] C. Grönwall, F. Gustafsson, and M. Millnert, "Ground target recognition using rectangle estimation," Dept. of Electrical Eng., Linköpings Universitet, Linköping, Sweden, Linköping, Tech. Report LiTH-ISY-R-2684, March 2005.
- [53] M. A. Jeffris, "Robust 3D ATR techniques based on geometric invariants," in *SPIE D&S*, vol. 5807. Orlando, FL, USA: SPIE, 2005, pp. 190-200.
- [54] M. R. Stevens, C. Monnier, and M. S. Snorrason, "Parameter adaption for target recognition in LADAR," in *SPIE D&S*, vol. 5807. Orlando, FL, USA, 2005, pp. 201-211.
- [55] C. English, S. Ruel, L. Melo, P. Church, and J. Maheux, "Development of a practical 3D automatic target recognition and pose estimation algorithm," in *SPIE D&S*, vol. 5426. Orlando, FL, USA: SPIE, 2004, pp. 112-123.
- [56] Q. Zheng, S. Z. Der, and H. I. Mahmoud, "Model-based Target Recognition in Pulsed Ladar Imagery," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, pp. 565-572, 2001.
- [57] D. Huber, A. Kapuria, R. Donamukkala, and M. Hebert, "Parts-based 3D object classification," in *CVPR 2004*, vol. II. Washington, DC, USA, 2004, pp. II-82 - II-89.
- [58] T. Yano, T. Tsujimura, and K. Yoshida, "Vehicle identification technique using active laser radar system," in *MFI*, 2003, pp. 275-280.
- [59] B. A. Hutchinson, R. L. Galbraith, B. L. Stann, and S. Z. Der, "Simulation based analysis of range and cross-range resolution requirements for the identification of vehicles in ladar imagery," *Opt. Eng.*, vol. 42, pp. 2734-2745, 2003.
- [60] E. Sobel, J. Douglas, and G. Ettinger, "3D LADAR ATR based on recognition by parts," in *SPIE Aerosense*, vol. 5094. Orlando, FL, USA, 2003, pp. 29-40.
- [61] J. Landgård, "Segmentering och klassificering av LIDAR-data," Dept. of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping LITH-ISY-EX-05/3729-SE 2005.
- [62] Website: *Raytheon - Tomahawk Cruise Missile*, "<http://www.raytheon.com/products/tomahawk/>", 2005
- [63] A. E. Johnson, "Spin-Images: A Representation for 3-D Surface Matching," in *Robotics Institute*. Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 1998.
- [64] S. Ruiz-Correa, L. G. Shapiro, and M. Meila, "A New Paradigm for Recognizing 3-D Object Shapes from Range Data," presented at Ninth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2003), Nice, France, 2003.
- [65] C. Grönwall and P. Andersson, "Spin-Images för detektion och igenkänning," FOI, Sensor Technology Dec 2004.
- [66] Website: *TopEye AB*, "<http://www.topeye.com>", 2005
- [67] C. Grönwall, T. Chevalier, J. Karlholm, F. Näsström, and A. Sume, "Måligenkänning vid precisionsbekämpning," FOI, Base data report FOI-R--xxxx--SE, In print dec. 2005.
- [68] O. Steinvall and T. Chevalier, "Three-dimensional laser radar modelling," in *SPIE Aerosense conference on Laser Radar Technology and Applications VI*, vol. 4377. Orlando, FL, USA: SPIE, 2001, pp. 23-34.
- [69] L. Klasén, T. Svensson, I. Renhorn, T. Carlsson (later Chevalier), H. Larsson, M. Elmqvist, O. Steinvall, A. Linderhed, and D. Letalick, "Optroniska sensorsystem för ökad spaningsförmåga," FOI, Sensor Technology Dec 2003.
- [70] H. Larsson, F. Gustafsson, T. Chevalier, and K. Karlsson, "Mätdokumentation för penetration- och reflektionsmätning mot hårt mål med olika vegetation avseende årstider, Lidbacken 2004," FOI, Linköping, Internal Report FOI-D--0188--SE, 2004.
- [71] F. Näsström, R. Aljasmi, B. Boberg, L. Carlsson, M. Gustafsson, H. Larsson, D. Letalick, A. Persson, O. Steinvall, A. Sume, T. Svensson, M. Ulvklo, and Å. Wernersson, "Intelligenta Verkanssystem, slutrapport av genomförda aktiviteter år 2002," FOI, Linköping, Technical Report FOI-R--0746--SE, Feb 2003.