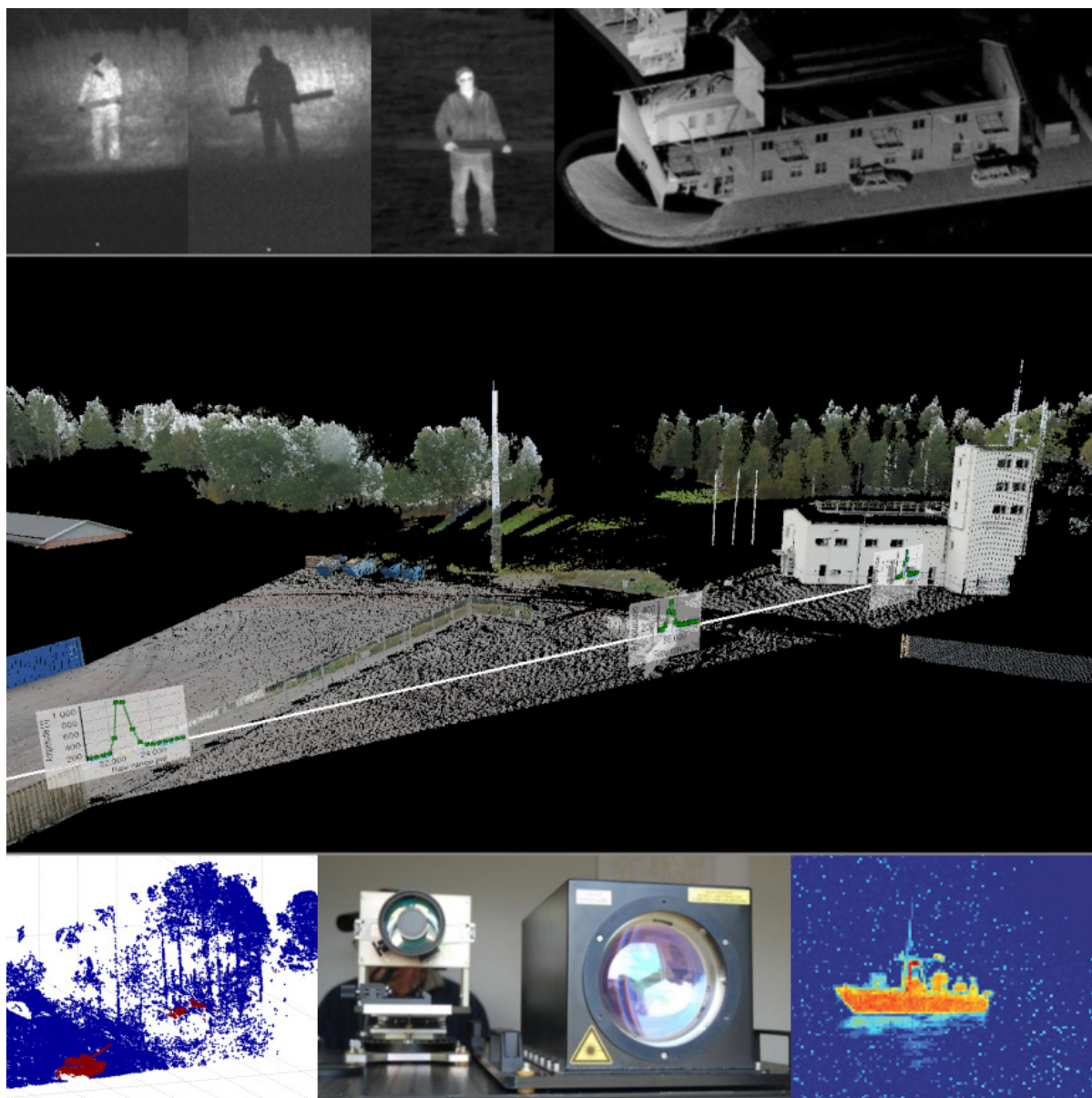


HÅKAN LARSSON, ELIAS AMSELEM, JIMMY BERGGREN,
CARL BRÄNNLUND, PHILIP ENGSTRÖM, FRANK GUSTAFSSON,
FREDRIK HEMSTRÖM, MARKUS HENRIKSSON, CHRISTINA GRÖNWALL,
ANNA LINDERHED, LARS SJÖQVIST, OVE STEINVALL, GUSTAV TOLT



Håkan Larsson, Elias Amselem, Jimmy Berggren,
Carl Brännlund, Philip Engström, Frank Gustafsson,
Fredrik Hemström, Markus Henriksson,
Christina Grönwall, Anna Linderhed, Lars Sjöqvist,
Ove Steinvall, Gustav Tolt

Multispektral dynamisk 3D- avbildning med laser

Slutrapport

Titel	Multispektral dynamisk 3D-avbildning med laser
Title	Multi spectral dynamic 3D imaging with laser
Rapportnr/Report no	FOI-R--3768--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	43 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E54503
Godkänd av/Approved by	Martin Rantzer
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Lasersensorer kan generera data med en tredimensionell och spektral beskrivning av objekt och omgivning. Detta kan vara till stor nytta i militära operationer för t.ex. insamling av lägesbild och måligenkänning.

Skannande lasersystem är till stor nytta för kartering, i förberedelsefas eller under uppdrag. Vissa uppgifter kräver snabbare datainsamling än vad en laserskanner klarar av och därför används numera ofta matrisdetektorer för att mäta flera punkter med varje laserpuls. Särskilt intressant är system som både bygger upp och använder en omvärldsmodell under förflyttning, så kallad SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping). SLAM kan göras effektivt på korta avstånd (hundratals meter) med enkla sensorsystem, vilket drar ner kostnaden på annars dyra sensorsystem. Sensorerna kommer att vara så små att de kan placeras på mindre autonoma plattformar, t.ex. UAV:er av typen multiroboter, vilket kommer göra automatisk kartering billigare och möjlig att använda i konfliktområden. Genom att jämföra kartering från olika tillfällen möjliggörs skillnadsdetektion som effektivt avslöjar potentiellt hotfull verksamhet.

Inmätning av rörliga mål kräver 3D-avbildande matrisdetektorer, som även tillåter insamling av videodata. Prototypsystem för detta baserat på några olika tekniker finns på flera håll i Europa t.ex. UK och USA. Prestanda avseende antal pixlar i sensorn och sensorernas robusthet utvecklas mot operativt användbara system. Viktigt för igenkänning av mål bakom kamouflage är att avståndsupplösningen i varje pixel är sådan att flera ytor som delvis döljer varandra kan särskiljas. Fotonräknande laserradarsystem visar lovande prestanda för detta och matrisdetektorer som tillåter avbildning i videotakt börjar utvecklas, dock än så länge med ganska få pixlar.

Särskiljning och igenkänning av material kan göras med multispektral spaning där mätning görs samtidigt vid flera våglängder. Detta kan göras antingen aktivt med laserbelysning eller passivt med användande av solljus eller IR-strålning i omgivningen. Skillnader i spektrala egenskaper kan t.ex. användas för att särskilja personer och fordon från vegetationsbakgrund, identifiera objekt som personer håller i händerna eller återigenkänning av personer i en folkmassaberoende på kläderna. Speciellt intressant är att studera reflektans utanför det synliga våglängdsområdet där ofta mindre resurser lagts på signaturanpassning. Tekniken för multispektral laserradar är ännu långt från operativ användning och nya koncept för datainsamling behöver utvecklas för att minska mättiden. Eftersom 3D-avbildande multispektral laserradar ännu inte kan utföras på ett operativt rimligt sätt så är det viktigt att studera sensorfusion av 3D-data och 2D-avbildande multispektral data.

Nyckelord: Högupplöst 3D-avbildning, multispektral, dynamisk, lasersensorer, signalbehandling, modellering

Summary

Laser sensors can generate data with three dimensions and a spectral description of objects and surroundings. This can be very useful in military operations for target recognition and as basis data for situation awareness.

Scanning laser systems are of great use for mapping, in preparation phase or during missions. Increase in data acquisition speed is needed for some tasks and therefore often array detectors are used to measure multiple points with each laser pulse. Particularly interesting is the system that will build and use a localization model during movement, so-called SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping). SLAM can be performed with good quality using simple sensors, which pulls down the cost of otherwise expensive sensor systems. As the sensors are shrinking and they soon can be placed on smaller autonomous platforms, such as UAV -type multi-rotors, which will make autonomic mapping cheaper and available for use in areas of conflict. By repeated mapping at different occasions, change detection algorithms can be used that effectively reveals potentially threatening activities.

Survey of moving targets requires that the entire scene is measured the same time. This can be done with 3D imaging array detectors, which also allows the collection of video data. Prototype systems for this, based on different techniques, are developed at several places in the world. Performance regarding the number of pixels in the sensor and sensor robustness evolve towards operationally useful systems. Important for recognition of targets behind camouflage is that the range resolution in each pixel is such that several surfaces that partially conceal each other can be distinguished, also when they are separated by a few centimeters. Photon counting laser radar shows promising performance for this and array detectors that allow imaging in video rate begins to be developed, as yet however, with relatively few pixels.

The possibility of recognition of material is possible with multispectral measurements where the reflectance of surfaces is measured at several wavelengths. This can be done either by active imaging using lasers or by or by passive imaging using the background light from the sun. Differences in spectral characteristics can e.g. be used to distinguish people and vehicles from the surroundings (vegetation or urban materials), identify objects that people hold in their hands or re-identification of people in a crowd depending on the clothes. Especially interesting are the reflectance properties outside the visible wavelength range, as often less work with signature adaptation has been performed in those regions. The technology of multispectral laser radar is still far from operational use and new concepts for data collection need to be developed to reduce analysis time. As 3D imaging multispectral laser radar yet cannot be performed on an operational reasonable way, it is important to study the sensor fusion of 3D data and 2D imaging multispectral data.

Keywords: High resolution 3D imaging, multi-spectral, dynamic, laser sensors, signal processing, modeling

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Arbetsmetod	8
1.3	Resultat	8
1.4	Publikationer – Översikter av verksamheten	10
2	Samarbeten och omvärldsbevakning	11
2.1	Samarbeten i Sverige	11
2.2	Internationella samarbeten	13
2.3	Publikationer – Samarbeten och omvärldsbevakning	14
3	3D-avbildande lasersensorsystem	16
3.1	Pulsad laserskanning	16
3.2	Sensorer innehållande matrisdetektorer	18
3.3	Grindad avbildning	19
3.4	Distribuerat ljus	20
3.5	Enfotonsystem	20
3.6	Spektropolarimetrisk avbildning	21
3.7	Multispektralt 3D-laserradarsystem baserad på TCSPC	21
3.8	Publikationer – 3D-avbildande lasersensorer	22
4	Multispektrala lasersensorsystem	24
4.1	Försök på FOI	24
4.2	Försök med Fraunhofer/IOSB och Onéra	26
4.3	Publikationer - Multispektrala mätningar och resultat	27
5	Signalbehandling	28
5.1	Fusion av bilder/data från rörliga mål	29
5.2	Fusion av multispektral data	32
5.3	Robust måldetektion och –följning	34
5.4	Tomografi	37
5.5	Publikationer – Signalbehandling	38
6	Modellering	40
6.1	Selex 3D BIL (Swallow)	40
6.2	Turbulens	40

6.3	Publikationer – Modellering.....	42
7	Slutsatser och fortsatt arbete	43

1 Inledning

Denna rapport utgör slutrapporten och sammanfattar resultat för det treåriga FoT-projektet *Multispektral dynamisk 3D-avbildning med laser* som pågått 2011-2013. Projektet har varit en del av Försvarsmaktens samlingsbeställning. Målet med projektet har varit att stödja försvarsmakten med kunskap inom området 3D-avbildande laser-sensorsystem. Detta har gjorts genom att följa den internationella utvecklingen, delta i internationella samarbeten, delta och presentera resultat på konferenser samt genom att utveckla sådan kunskap att FOI fortsätter vara en intressant partner inom området.

I detta kapitel beskriver vi bakgrunden till projektet och sammanfattar resultaten. I följande kapitel beskriver vi våra resultat område för område; Samarbeten och omvärldsbevakning (Kapitel 2), 3D-avbildande lasersensorsystem (Kapitel 3), Multispektrala försök och resultat (Kapitel 4), Signalbehandling (Kapitel 5) och Modellering (Kapitel 6). Kapitel 7 innehåller slutsatser och förslag till framtida arbete. För en kortfattad resultatsammanfattning ombeds läsaren att läsa avsnitt 1.3. Varje kapitel inleds med en sammanfattning av resultaten och en diskussion om nyttan för FM och FMV. Därefter beskrivs resultaten mer utförligt tillsammans med referenser. För de läsare som vill fördjupa sig i något avsnitt hänvisas till bifogad CD med referenserna länkade från rapporten som PDF-filer.

1.1 Bakgrund

Högupplöst 3D-avbildning med laser ger unika möjligheter främst avseende kartering, spaning och måligenkänning, med särskilt stor fördel mot delvis dolda och kamouflerade mål. Vårt mål har varit att bygga upp kunskap och verktyg för värdering av förmåga och prestanda hos 3D-avbildande laserradar. Vi har beaktat problemställningar som rör utformning av och prestanda hos framtida system för olika militära uppgifter och värdering av sensorsystem.

Vi har studerat möjligheterna med laserbaserad 3D-avbildning för detektion, klassificering, följning, igenkänning, identifiering och visualisering. Detta har gjorts genom utveckling av signalbehandling, experimentella försök och fysikaliskt verifierad modellering. Avsikten har varit att stödja med nödvändiga kunskaper vid värdering av tekniker för spaning, måligenkänning och precisionsinmätning. Projektets fokus har legat på multispektrala och dynamiska tillämpningar.

De vetenskapliga och tekniska frågeställningarna omfattar den förmåga som 3D-avbildande laser tillför i multispektrala dynamiska tillämpningar för att

- genomföra måligenkänning,
- övervaka operationsområde för förbättrad situationsmedvetenhet,
- stödja multisensorsystem,
- stödja kartering

1.2 Arbetsmetod

För projekt av den här karaktären behövs två olika typer av kontroller av relevans; att vi studerar frågeställningar som är relevanta för FM och deras behov (kundkvalitet) samt att vi använder ett vetenskapligt angreppssätt, det vill säga informerar FM vad som finns till hands inom forskningen (teknisk och vetenskaplig kvalitet). Kundkvalitet har tillgodosetts genom rapportering enligt genomförandeplan, genom dialog med FM utvecklingsenheter och skolor, samt genom samarbete med relevanta FMV-projekt. Teknisk och vetenskaplig kvalitet har säkerställts genom rapportgranskning, publicering i vetenskapliga tidskrifter eller på konferenser, samt genom en hög andel forskarutbildad personal bland projektmedarbetarna. Hög kvalitet är en förutsättning för internationell samverkan och deltagande i internationella forskningsprogram. Samarbeten och dialoger, främst internationella, kräver att vi bidrar med kunskap och deltar aktivt.

1.3 Resultat

Projektets arbete har bestått av

- Samarbeten och omvärldsbevakning
- System- och prestandaanalyser av 3D-avbildande lasersystem och multispektrala system
- Multispektrala mätningar
- Signalbehandling
- Modellering

Nedan sammanfattas arbete och uppnådda resultat.

Samarbeten och omvärldsbevakning. Omvärldsbevakningen sker till stora delar genom samarbeten. Projektet har haft samarbete med andra projekt på FOI, främst FoT-projekt. FOI har stött FMV och FM genom teknik- och demonstratorprojekt. Projektet har gett stöd till FM genom direktstöd, deltagande i seminarier och studier. Vi har internationella kontakter via arbete i NATO-grupper och vi deltar i EDA-studier. Vi har bilaterala samarbeten med Fraunhofer/IOSB (Tyskland) och DSTL (Storbritannien). Vi inhämtar också kunskap genom att besöka andra forskargrupper och företag.

3D-avbildande lasersystem. Inom projektet har vi studerat olika 3D-avbildande lasersensorsystem och tekniken bakom dessa. Data (främst punktmoln¹) har använts för algoritmutveckling (exempelvis registrering och robust måldetektion). Statiska (stillastående) sensorer är de kommersiellt mest noggranna avseende punktprecision och används för att prestandaverifiera andra 3D-avbildande lasersensorsystem. Dessa sensorer är inte särskilt användbara för militära ändamål då de endast kan mäta på stillastående objekt. Genom att integrera en pulsad laserskanner med tröghetsnavigering och GPS data samlas in under rörelse. Militärt kan detta användas för kartering från bilburen plattform, eller från mini-UAV, typ multirobot. För att samla in 3D-data under rörelse och/eller avbilda rörliga scenarier med rörelse består sensorn av en laserbelysare och en matrisdetektor. Militärt är dessa särskilt användbara för måligenkänning och ökad situationsmedvetenhet över långa avstånd >km. I bilaterala samarbetena ingår att undersöka och utvärdera nyttan med den grindade sensorn Selex 3D BIL även kallad Swallow. I ett angränsande transferprojekt har en 3D-kamera (baserad på distribuerat ljus) provats för forensiska tillämpningar med mycket lyckat resultat, både snabbheten och precisionen på 3D-avbildningen är av nytta. Grindade lasersensorsystem har främst använts för att studera multispektrala egenskaper inom projektet.

¹ Ett punktmoln är resultatet av alla avståndsmätningar lasersensorsystemet utfört. Varje punkt är en mätning definierad i tre dimensioner som en XYZ-koordinat.

Nya intressanta avbildningstekniker har studerats i detta eller i angränsande projekt:

- Enfotonsystem (Time Correlated Single Photon Counting (TCSPC)) användes för högupplöst avståndprofilering och kan även användas för mätning av högupplösta 3D-scener genom mekanisk skanning. Avbildningstekniken är särskilt intressant militärt då den kan lösa upp exempelvis kamouflage och bakomliggande mål i samma pixel inom en centimeter.
- Med spektropolarimetrisk avbildning utnyttjas polarisationskodning. Fördelen med metoden är att lateralt högupplöst data kan erhållas eftersom två (eller en) vanliga kameror utnyttjas.
- I en studie analyserades ett multispektralt 3D laserradarsystem baserad på TCSPC som samtidigt kan mäta flera olika våglängder. Att kombinera olika våglängder ökar möjligheten för identifiering.
- Med tomografi utnyttjas avståndsprofiler från olika aspektvinklar för återskapning av tvådimensionella bilder. Militärt kan denna metod användas på flera kilometers avstånd till målet för identifiering.

Multispektrala mätningar och resultat. Det finns ett militärt behov att kunna identifiera personer och fordon på långa avstånd, bland annat vill man kunna se vad en person bär på eller har i händerna och vad personen gör. Ännu finns inga kommersiella multispektrala aktiva system utan vi har inspirerats av andra forskningsgrupper som har demonstratorer i laborationsmiljö. Vi har gjort mätningar med kombinationer av olika sensorer som opererar vid olika våglängder, både med aktiva (laserbaserade) system och passiva EO-system. Nyttan för försvaret är att kombinationen av olika våglängder ger robusta egenskaper för att urskilja personer mot bakgrunden, se skillnad på olika kläder (återigenkänning) och urskilja vad personen håller i sina händer.

Signalbehandling. Data med avståndsinformation ger ett bra stöd för att kunna avgöra vilka objekt som finns i en scen och på vilka avstånd, även när scenen består av många objekt (t ex i skog eller i stad). Målet med vår signalbehandling är att genom olika kombinationer av data förbättra upplösningen av de mål som finns i scenen och för att kunna upptäcka målen under de flesta väder- och ljusförhållanden. Under dessa år har vi studerat hur man kan göra registrering där antingen målet eller sensorn rör sig (dynamiska aspekter) under inmätningen och kombinera data från flera mätningar.

Vi har också studerat bildfusion av olika typer av sensordata, främst bildalstrande sensorer. Genom att kombinera olika våglängder visar forskningen att det är lättare att se små mål på långa avstånd, se vad de gör och vad de har i händerna. Syftet är att ge längre framförhållning mot mål som genomför fientliga handlingar.

Vi studerat hur man kan använda data från TCSPC-system, för att utnyttja den exceptionellt bra 3D-upplösning (cm) som finns i dessa data.

Modellering. Vi har vidareutvecklat vårt verktyg lasersimulatorens FOI-LadarSim för modellering och simulering av olika laserradarsystem. Med FOI-LadarSim har vi simulerat det grindade systemet med 3D kapacitet kallat Selex 3D BIL kallad Swallow. Vi har också simulerat turbulensens inverkan på bildalstrande sensorer. Vi har i ett annat FoT-projekt simulerat små sjömål avseende tomografi. Vid en simulering genereras syntetisk data/bilder, som kan användas för signalbehandling eller visualisering.

1.4 Publikationer – Översikter av verksamheten

Vi har skrivit ett antal översikter som beskriver aktiva system, till exempel hur multipla data i kombination med laserdata kan förbättra sensorsystemets förmåga:

[Ref 1-1] Christina Grönwall, Ove Steinvall, Håkan Larsson, Philip Engström, Gustav Tolt, Dietmar Letalick, Frank Gustafsson, "Årets arbete i Multispektral, dynamisk 3D-avbildning med laser", FOI MEMO 3379 (2011).

[Ref 1-2] Christina Grönwall, Carl Brännlund, Philip Engström, Håkan Larsson, "Arbete med aktiva, multispektrala system", FOI MEMO 4239 (2012).

[Ref 1-3] O. Steinvall, "Optronics at the Swedish Defence Research Agency", ISL symposium Laser and Laser Applications, FOI-S--3723--SE (2011).

[Ref 1-4] O. Steinvall, "Activities in active imaging at the Swedish Defence Research Agency", ISL symposium Laser and Laser Applications, FOI-S--3722--SE (2011).

[Ref 1-5] O. Steinvall, V. Molebny, G. Kamerman, "Laser radar in a system perspective", SPIE Defence and Security, Orlando, 2011-04-26 - 2011-04-29, FOI-S--3724--SE (2011).

[Ref 1-6], O. Steinvall, M Elmqvist, "Application studies of active imaging" ISL Workshop on Active Imaging, November (2011).

[Ref 1-7] Ove Steinvall, "Active imaging and mapping - an outlook", OPTRO 2012, Paris, 2012-02-08 - 2012-02-10, FOI-S--4001--SE (2012).

2 Samarbeten och omvärldsbevakning

Omvärldsbevakning inom 3D-laser sker till stor del via samarbeten. Vi eftersträvar att ha projekt och/eller gemensamma mätkampanjer med de forskargrupper och företag som är ledande. De internationella kontakter vi har via arbete i NATO-grupper och EDA-projekt ger mycket information som inte skrivs i öppen litteratur.

Våra samarbeten kan delas upp i:

- Samarbeten med andra projekt på FOI, främst FoT-projekten,
- Stöd till FM/FMV genom deltagande i FM-studier och direktstöd,
- Bilateral projekt och samarbeten med andra länder,
- Aktivt deltagande i NATOs forsknings- och teknikgrupper (NATO Research and Technology Organization, RTO),
- Aktivt deltagande i projekt och studier inom EDA,
- Aktivt deltagande i vetenskapliga konferenser, även som konferensordförande och medarrangör.
- Besök hos forskargrupper och företag.

2.1 Samarbeten i Sverige

2.1.1 Andra FoT-projekt

- Laserbaserad identifiering och verkan (LASID&V) (FoT Telekrig): Samarbete inom fotonräknande laserradar.
- Omvärldsmodellering (FoT M&S): 3D-laser-projektet har stöttat projektet Omvärldsmodellering med 3D-data för byggnadsmodellering. Stödet har bl a omfattat olika typer av dataförädling och konvertering av data till format lämpliga för fortsatt analys.
- Sensorer för upptäckt av IED (FoT Sensorer och signaturanpassning): Avtappning av kunskap för dynamisk förändringsdetektion för upptäckt av IED:er.
- Övervakningssystem (SUO) (FoT Sensorer och signaturanpassning): Datafusion mellan termisk sensor och laserskanning; 3D-modell av Bonnland (tysk by använd för NATO-fältförsök).
- Små sjösmål (FoT Sensorer och signaturanpassning): 3D-laser har främst stöttat med simuleringar av tomografi av små sjösmål (mindre fartyg, båtar).
- IR-spaning (FoT Sensorer och signaturanpassning): IR-projektet har bidragit med spektrala sensorer så att spektral information har kunnat tillgodoses i projektet.
- Simsens (FoT Sensorer och signaturanpassning): integration av simulator för laserradarsystem (FOI-Ladarsim) med FOIs multisensorsystem-simulator (MSSLab).

2.1.2 FM och FMV

- Deltagande i Försvarmaktens ”Studie Identifiering/igen-känning av objekt på markarenan (MARK 091102S)”, populärt kallad Combat-ID. Studien pågick 2010-2012 och leddes av Markstridsskolan. I samband med studiens fältförsök genomförde FOI kompletterande mätningar, på uppdrag av FMV.

- Vi har en diskussion med Sjöstridsskolan (SSS) om lasersignaturer, 3D-avbildning och SLAM. Bland annat genomförde vi 2012 ett försök ombord på Båtbevakningskompaniets (Amf1) HMS Skaftö. Vi gjorde tester med tre olika system; ett fotmonterat positioneringssystem, ett kamerabaserat positioneringssystem och ett laserbaserat system för geometrisk avbildning. Systemen är tänkta att kunna användas för positionering och kartering vid tillfällen när man inte kan lita på GPS.
- I projektet Metadata för 3D-informatik studerades olika kvalitetsaspekter kopplade till 3D- och höjddata. Som en del i detta genomfördes en högupplöst laserskanning av Strid-i-bebyggelse-anläggningen i Kvarn, varvid kompetens och programvara från 3D-laserprojektet användes. Datasetet kommer att kunna användas för att verifiera noggrannheten på andra bildalstrande sensorsystem såsom flygburen laserskanning, flygburen kartering baserad på kameror eller satellitfoton.
- I ett angränsande transferprojekt har den handhållna sensorn Mantis Vision F5 provats avseende forensisk högupplöst 3D-avbildning. FOI bedömde att sensortechniken kan uppfylla ovanstående krav och kan vara mycket användbar för forensiska tillämpningar. Se vidare avsnitt 3.4.

2.1.3 Projekt från civila forskningsfinansiärer

- I projekten *Ny sensorteknik på gallringsskördare* och *Positionering av gallrings-skördare* har vi tillsammans med SLU och Skogforsk dragit nytta av kunskapen från 3D-laserprojektet. Pulsad laserskanner har integrerats med tröghetsnavigering, GPS och stereokameror för att under rörelse samla in 3D-data av skog. Data förädlas till punktmoln för fortsatt analys av trädpositioner och träddiameter.
- I ett VINNOVA-finansierat projekt (via det strategiska forskningscentrat SecurityLink) undersöker vi hur man kan göra robust detektion av intressanta objekt genom att kombinera analystekniker för sensorbaserad positionering och militär måldetektion. Ett sensorsystem med den analyskapaciteten skulle kunna vara ett stöd vid rökdykning, inbrytning etc, genom att kunna markera farliga objekt och skadade.
- I ett VINNOVA-finansierat projekt har FOI deltagit i en förstudie om hur en 3D-avbildande kamera (laserbaserad) skulle kunna användas inom säkerhetstillämpningar. Projektet leddes av Fotonic AB och FOI deltog tillsammans med svenska företag verksamma inom optik respektive säkerhet. Förstudien visade att laserbaserad 3D-avbildning fyller en uppgift inom perimeterövervakning och bevakning på sportarenor.

2.1.4 Internfinansierade FOI-projekt

- Interna kompetensprojekt *Ny koherent avbildningsteknik*. Inom detta projekt har koherent avbildning med få fotoner samt holografisk avbildning på avstånd undersökts.
- Interna kompetensprojektet *Se runt hörn*. I detta projekt studerades om bildalstrande lasersystem kan användas för att se ”runt” hörn. Spekulära ytor såsom fönsterrutor, bilarosser etc användes för att spegla laserljuset. Fönsterrutor visade sig vara görbart att använda, medan bilarosser är omöjliga på grund av att reflexen blir förvrängd.

2.2 Internationella samarbeten

Som ett resultat av demonstratorstudien *Ladardemo* (rapporterad 2011) erhöll FOI ett treårigt projekt för att närmare samverka inom Europa inom detta teknikområde. Vi fick uppdraget att värdera nya 3D fokalplansensorer tillsammans med främst England (DSTL) och Tyskland (Fraunhofer/IOSB).

2.2.1 DSTL (UK)

Ett samarbetsavtal ”Imaging lidar for threat detection” har slutits mellan FOI och DSTL med start 2012. Målsättningen ges i avtalstexten enligt:

The program aims at exchanging ideas and experience on the use of imaging lidar for target detection, tracking and identification and threat verification in military scenarios including ground to ground, ground to air, air to ground and maritime mainly through joint collection of lidar imagery, exchange of lidar imagery for advanced processing and comparison of processing techniques applied to lidar imagery.

Projektledare: Dr Ken McEwan, DSTL (UK), Dr Ove Steinvall/ Dr Christina Grönwall, FOI (Swe)

Vi deltog i en mätkampanj benämnd ”Low light field trial” i Porton Down (DSTL) i december 2013. FOI deltog med Obzerv (808 nm) samt en passiv/aktiv SWIR kamera (1-1.6 µm/1.55 µm). Deltagare var FOI, DSTL och DREV (Kanada).

2.2.2 Fraunhofer/IOSB (Tyskland)

FOI lasergrupp har haft en lång och givande samverkan med IOSB (Fraunhofer Institute for Optonics, System Technologies and Image Exploitation, IOSB, tidigare FGAN-FOM), bl a inom aktiv avbildning. Ett nytt treårigt samarbetsavtal har tecknats, Avtalet benämns: ”Evaluation of active/passive electro optics for target identification (Evaptor)” och målsättningen lyder:

Laser radar systems will be evaluated with respect to performance for target detection and recognition. Of special interest is to compare 2D active/passive SWIR imaging with full 3D imaging using a state of the art 3D focal plane array sensor. This effort has relevance for future direction in active imaging. Based on the experience at both Participants a strategy for common investigations will be set up. Exchange of equipment may be part of the program.

Projektledare: Mr Mario Gebauer, WTD Meppen (Ger), Mr Åke Arbrink, FMV (Swe).
Kontraktörer: Mr Endre Repasi, Fraunhofer IOSB (Ger), Dr Ove Steinvall, FOI (Swe). I vårt samarbetsavtal ingår att utvärdera Selex sensorn 3D BIL.

2.2.3 EDA

2.2.3.1 ACTIM-studien

FOI föreslog och fick lead för ett studieuppdrag inom EDA benämnd Active Imaging (ACTIM), EDA ref: 09-R&T-008, FOI-RH-1077—SE, Januari 2011. Våra partners var Onera Frankrike och IOSB Tyskland.

Syftet med studien var att undersöka potentialen för aktiv avbildning och kartering med tonvikt på spektral analys, identifiering av viktiga militära tillämpningar och att föreslå fortsatta projekt inom EDA för att validera fördelarna med aktiv multi- och hyperspektral avbildning. En ganska omfattande litteraturstudie har genomförts avseende teknologi, system och tillämpningar. Ett frågeformulär skickades ut till EDAs medlemsstater för att få deras syn på aktiv avbildning i allmänhet och spektral avbildning i synnerhet. Baserat på resultat från denna undersökning valdes tre tillämpningsområden ut för en systemana-

lys. Dessa tillämpningar omfattar målidentifiering på långa avstånd, varning på kortare avstånd, samt flygburen övervakning och kartering.

2.2.3.2 ESUO-studien

Under 2011-2013 genomförde FOI och TNO en studie om EO-sensorer för framtida urbana operationer (ESUO, EO sensors for urban operations). Studien gjordes på uppdrag av EDAs grupp CapTech IAP3 (Capability Technology, Optical Sensor Systems & Signal Processing). Studien fokuserade på den signalbehandling och sensor-/datafusion som behövs för att få bra beslutsunderlag och de krav som ställs på datatransmissionen vid överföring av sensordata. I studien tog vi fram en metod för att utvärdera multisensorsystem och en metod för att utvärdera kedjan av signalbehandling och transmission från sensor till hög chefs beslutsunderlag. Både passiva och aktiva EO-system studerades.

2.2.4 NATO

2.2.4.1 NATO SET-132/RTG-72, "Imaging LADAR Technology"

NATO-SET32/RTG-72 *Imaging LADAR Technology* hade ett möte i oktober på DRDC, Kanada. På mötet redovisade deltagande nationer sina resultat av arbetet med mätdata från olika sjömål (RIB-båtar, småbåtar, kryssningsfartyg, andra fartyg). Genom samarbetet har FOI fått ta del av andra länders sensorutveckling, data från dessa sensorer, och haft givande diskussioner om signalbehandling för måldetektion och -klassificering. En ny grupp kommer att startas upp under 2014.

2.2.4.2 NATO SET-156, "Modeling of Active EO-Imaging Systems"

Inom NATO SET-156, *Modeling of Active EO-Imaging Systems* har två möten ägt rum under 2011. Det första ägde rum i Panama City, FL, USA i maj och det andra vid FOI Linköping i november. Inom gruppen ska metoder och frågeställningar som berör simulering och bildförbättring av turbulenspåverkade bilder från i huvudsak aktiva system diskuteras. FOI har genom detta deltagande bland annat fått del av en modell för effektiv simulering av turbulenspåverkan av bilden, som redan har implementerats i FOI-Ladarsim, FOIs verktyg för simulering av 3D-avbildande laserradarsystem. Dessutom har vi fått ökad kunskap om vilka möjligheter man har att bildförbättra turbulenspåverkade bilder. En stor mängd metoder har utvärderats inom gruppen.

2.3 Publikationer – Samarbeten och omvärldsbevakning

Nedanstående rapport behandlar ny koherent laserradar teknologi och system (internfinansierad verksamhet):

[Ref 2-1] Ove Steinvall, Jonas Tidström, "New coherent laser radar technologies and systems", FOI-D--0492--SE, 2013.

Samarbetet med AFRL:

[Ref 2-2] O. Steinvall, "Cooperation between AFRL and FOI within the laser radar area", FOI MEMO 4104, 2012.

ACTIM-studien inom EDA:

[Ref 2-3] Dominique Hamoir, Laurent Hespel, Philippe Déliot, Yannick Boucher, Ove Steinvall, Jörgen Ahlberg, Håkan Larsson, Dietmar Letalick, Peter Lutzmann, Endre Repasi, Gunnar Ritt, "Results of ACTIM, an EDA study on spectral laser imaging", Proc. SPIE. 8186, FOI-S--3958--SE (2011)

[Ref 2-4] D. Lindgren, D. Bank, L. Carlsson, R. Dulski, Y. Duval, G. Fournier, R. Grasser, H. Habberstad, C. Jacqueland, M. Kastek, R. Otterlei, G.-P. Piau, F. Pierre, I. Renhorn, L. Sjöqvist, O. Steinvall, P. Trzaskawka, "Multisensor configurations for early sniper detection", Proc. SPIE 8186, FOI-S--3959--SE (2011).

ESUO-studien inom EDA:

[Ref 2-5] C. Grönwall, P. B. Schwering, J. Rantakokko, K. W. Benoist, R. A. W. Kemp, O. Steinvall, D. Letalick, S. Björkert, "Future electro-optical sensors and processing in urban operations", Proc. SPIE. 8897, FOI-S--4395--SE (2013). (Invited paper)

NATO-samarbeten:

[Ref 2-6] R. Hintz, O. Steinvall, m.fl. RTO TECHNICAL REPORT TR-SET-132, RTG-72 "Investigation of LADAR ATR for Maritime Targets", 2012. (Ej med på CD då denna är NATO restricted)

3 3D-avbildande lasersensorsystem

Inom projektet har vi studerat olika 3D-avbildande lasersensorsystem och tekniken bakom dessa. Inom FoT 3D-laser har vi gått från statiska (stillastående) tillämpningar (2005-2007) till dynamiska (rörliga) tillämpningar (2008-2010) och nu även inkluderat multi-spektrala egenskaper (2011-2013). Statiska sensorer är fortfarande viktiga då dessa kommersiellt är de mest noggranna och kan användas för att verifiera prestanda hos andra 3D-avbildande lasersensorsystem.

Genom att integrera pulshade laserskannrar med system för noggrann positionering blir det möjligt att samla in data under rörelse. Positionering kan göras med någon kombination av tröghetsnavigering, GPS, och stereokamera, vilket kan användas för militär kartering från bilburen plattform eller från multirotor typ mini-UAV. Dessa dynamiska system kan dock inte avbilda scenarior med rörelse i scenen. För det krävs att sensorsystemet innehåller en matrisdetektor. Vi har följt tekniken under flera år och utvärderat sensorer både för korta (10-15 meter) och långa mätavstånd (flera kilometer). Militärt är detta särskilt användbart för måligenkänning och ökad situationsmedvetenhet över långa avstånd. I bilaterala samarbeten ingår att undersöka och utvärdera nyttan med det grindade sensorsystemet med 3D kapacitet Selex 3D BIL även kallad Swallow. I ett angränsande transferprojekt har en 3D-kamera (baserad på distribuerat ljus) provats för forensiska tillämpningar med mycket lyckat resultat, både snabbheten och precisionen på 3D-avbildningen är av nytta.

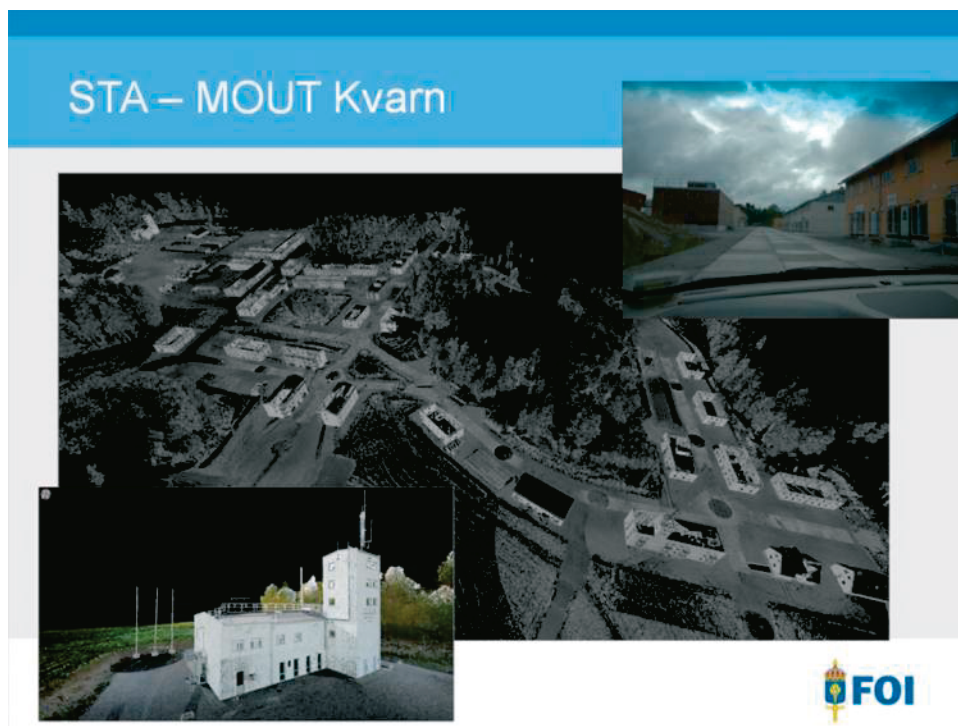
Nya intressanta avbildningstekniker har studerats i detta och i angränsande projekt. En teknik är enfotonsystem (Time Correlated Single Photon Counting (TCSPC)) som används för högupplöst avståndprofilering och kan även användas för mätning av högupplösta 3D-scener genom mekanisk skanning. Avbildningstekniken är särskilt intressant militärt då den kan lösa upp exempelvis kamouflage och bakomliggande mål i samma pixel inom en centimeter. Med spektropolarimetrisk avbildning utnyttjas polarisationskodning för ökad kontrast mellan mål och bakgrund. I en studie analyserades ett multispektralt 3D laserradarsystem baserad på TCSPC som samtidigt kan mäta flera olika våglängder. Att kombinera olika våglängder ökar möjligheten för identifiering.

3.1 Pulsad laserskanning

3.1.1 Statiska 3D-lasersensorsystem

Vi använde tidigt skannande statiska 3D-lasersensorer för vår forskning inom FoT 3D-laser. Mellan 2005-2007 kallades FoT-projektet 3D-laser för ”3D-avbildande laserradar i statiska miljöer” och skannande sensorer användes för att samla in punktmoln för fortsatt algoritmutveckling för detektion, klassificering och igenkänning. 2011 köpte vi ett skannande system på teknikens absoluta framkant, Riegl VZ-400 [[Ref 3-2]. Markbunden laserskanning är den kommersiellt mest noggranna avseende precisionen på inmätt punkt (VZ-400 mäter med 3 mm noggrannhet). Vi använder tekniken med insamling av punktmoln till viss del fortfarande i vår forskning och algoritmutveckling, men också som ett verifieringsinstrument då vi mäter prestanda på andra bildalstrande lasersensorer som grundar sig på annan teknik (t ex verifiering av Fotonic E40 och dynamiskt system för positionering av skogsskördare mm). Med data från VZ-400 har bland annat en stor punktmolnsmodell byggts av Strid-i-bebyggelse anläggningen i Kvarn (Figur 3-1) och detsamma av tyska Bonnland vid ett NATO-fältförsök. En publikation [Ref 3-1] sammanfattar den kommersiella utvecklingen av kommersiella laserskannrar under tio års tid.

Inom projektet samlade vi in data för utveckling av registreringsalgoritmer. En provdocka och en personbil ställdes ut i skogsmiljö. Laserskanning utfördes med omkring 20 skanningar runt de båda objekten på mellan 20-30 meter från objekten (se Figur 3-2).



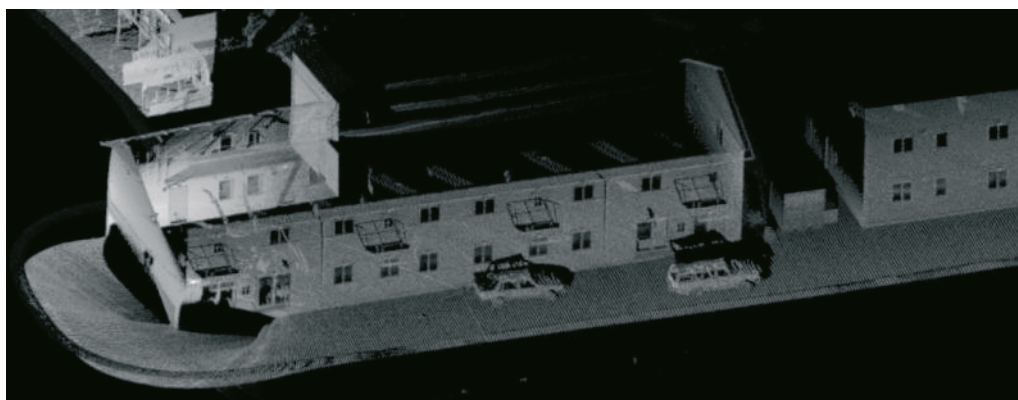
Figur 3-1. Punktmolnsmodell från Strid-i-bebyggelseanläggningen på Kvarn (STA-MOUT). Modellen kommer att kunna användas för att verifiera noggrannheten på andra bildalstrande sensorsystem såsom flygburen laserskanning, flygburen kartering baserad på kameror eller satellitfoton.



Figur 3-2. Punktmolnet överst visar modellen registrerad och färgtexturerad (det var snö). De gula punkterna visar var skanningen utfördes. Nedre raden visar skylddockan och bilen.

3.1.2 Dynamiska 3D-lasersensorsystem

För att kunna mäta med pulsad laserskanning under rörelse krävs det att man vet var laserpunkterna har mätts. Detta görs genom att integrera laserskanningen med tröghetsnavigering och GPS. Mellan 2008 och 2010 kallades FoT-projektet 3D-laser för ”3D-avbildande laser i dynamiska tillämpningar” och år 2009 hyrde vi ett kommersiellt dynamiskt system från brittiska Infoterra. De kommersiella systemen är noggranna, men också mycket dyra (flera miljoner kronor). Inom ett angränsande skogsprojekt har vi utvecklat ett dynamiskt 3D-lasersystem som inte riktigt uppfyller de kommersiellas prestanda, men som i sammanhanget kostar betydligt mindre [Ref 3-4]. Vi har förevisat systemet på bland annat Ing2 i Eksjö och vi har gjort mätningar med det vid Strid-i-bebyggelseanläggningen på Kvarn. En rapport behandlar generellt dynamiska förlopp [Ref 3-3]



Figur 3-3. Del av ett punktmoln vid mätningarna på SiB, Kvarn. Punktmolnet är insamlat runt byggnaden.

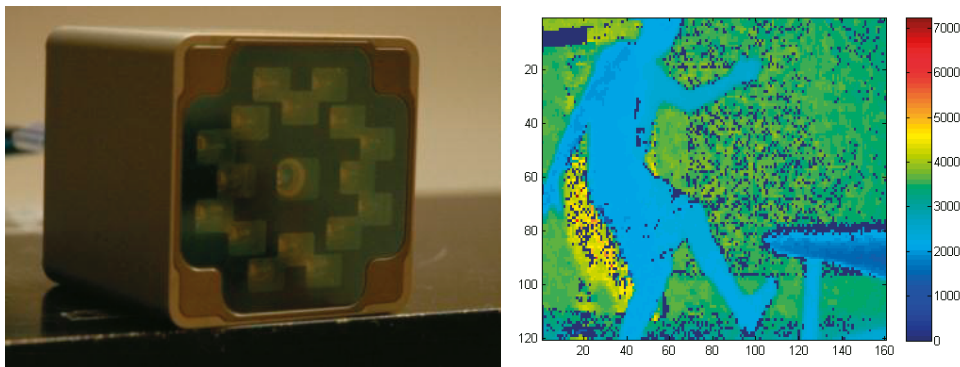
3.2 Sensorer innehållande matrisdetektorer

Sensorer innehållande en laserbelysare och en matrisdetektor kan samla in 3D data i rörelse och/eller avbilda scenarier innehållande rörliga objekt. Sensorn ger en avståndsbild där värdet i varje bildpunkt är avståndet mellan sensorn och det objekt som reflekterat ljuset. För korta mätavstånd (några tiotal meter) är avståndsdetektionen baserad på kontinuerlig löptidsmätning (Continuous Wave Time of Flight (CW ToF)). För långa mätavstånd (flera km) är avståndsdetektionen baserad på pulsad löptidsmätning (pulsed ToF).

3.2.1 Sensorer för korta mätavstånd

Laserbaserade sensorer för korta mätavstånd kan till exempel användas som perimeterskydd/bevakning av tunnelmynningar och perronger i tunnelbana (kräver flera sensorer). Sensorsystemet kan användas för att upptäcka om det finns personer eller föremål på spåret. Som övervakningsskydd fungerar tekniken bra upp till 10-15 m. Militärt behöver tekniken utvecklas för att klara större avstånd, minst 100 m, med samma ungefärliga upplösning och avståndsnoggrannhet som dagens kortsräckviddiga sensorer och helst inte på bekostnad av att sensorn blir ögonfarlig.

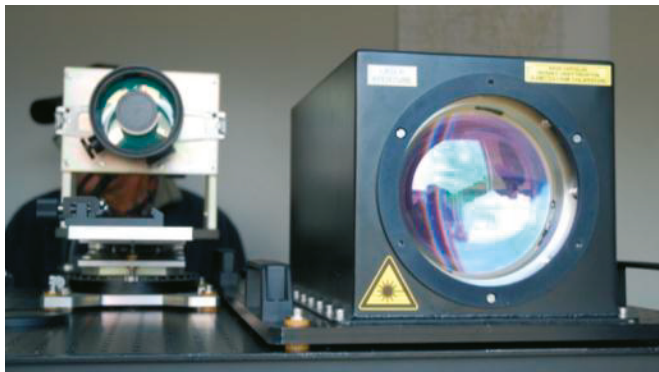
FOI har genom mätningar prestandaverifierat sensorn Fotonic E40 [Ref 3-5], en sensor som inom sitt område 2013 bedöms vara på teknikens absoluta framkant; mätavstånd 10 m, 160×120 pixlar. En rapport sammanfattar resultatet av dessa mätningar, sensorns styrkor som är repeterbarhet, minimal rörelseoskärpa, detektion av snabba rörelser samt förbättrad dagsljusprestanda, men också begränsningar som är dess kalibrering, noggrannhet samt tvetydighet.



Figur 3-4. Vänster bild visar sensorn Fotonix E40 och den högra bilden en person fångad i rörelse i solsken.

3.2.2 Sensorer för långa avstånd

För att kunna mäta med matrisdetektorer över lite längre avstånd, >km, måste avståndsmätningen baseras på pulsad laser. Vi har tidigare undersökt Advanced Scientific Concepts sensor, ASC Flash, i vårt tidigare samarbetsavtal med Air Force Research Agency (AFRL) (2008-2010). AFRLs ASC Flash var av prototyp och visade sig ha vissa begränsningar då den uppvisade höga brusnivåer, som till viss del kunde kalibreras till lägre nivåer. Inom det bilaterala samarbetsavtalet med DSTL har vi 2013 börjat undersöka lasersensorn Selex 3D BIL. Sensorn har visat sig till viss del besvärlig att använda, men tekniken har potential. Eftersom sensorn även har simulerats i FOI-Ladarsim redovisas denna utvärdering under avsnitt 6 Modellering.



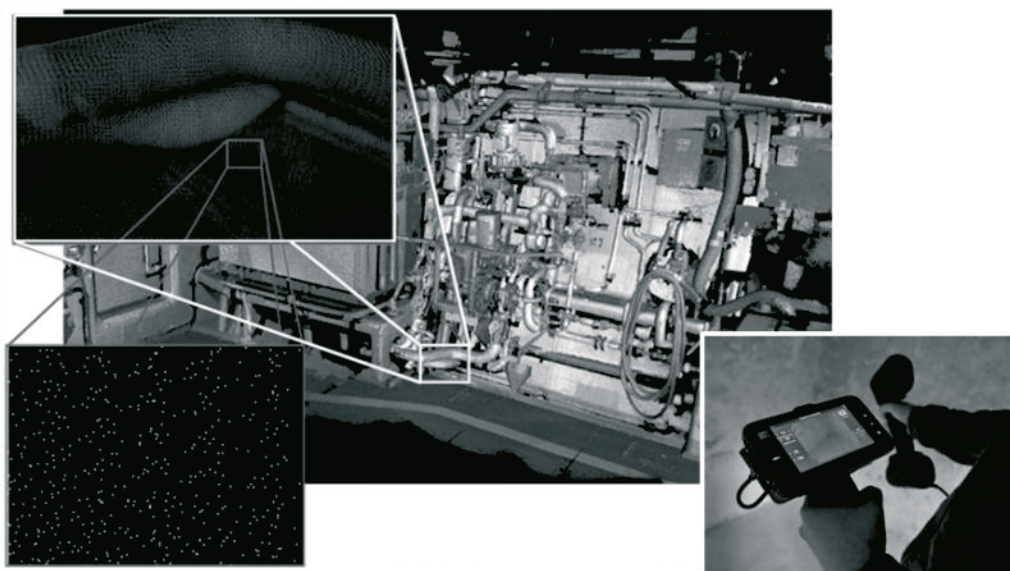
Figur 3-5. Selex 3D BIL, laserbelysaren till höger (våglängd 1.574µm) och mottagarkameran till vänster.

3.3 Grindad avbildning

Med en noggrant styrd slutare på mottagarkameran kan tekniken användas för att se bakom skyl såsom kamouflage, vegetation, regn, snö och dimma. Det går alltså att styra var emellan man vill öppna upp sin avståndsinformation. Inom detta projekt har vi använt två olika grindade system för att främst studera multispektrala egenskaper. De filmer vi tagit fram har vi också använt för att utföra perceptionstester där människor har burit olika handhållna objekt som kratta och handeldvapen.

3.4 Distribuerat ljus

I det angränsade transferprojektet *Värdering av en 3D-kamera inom KTSU* provades tekniken med distribuerat ljus². Resultatet har presenterats på en vetenskaplig konferens [Ref 3-12]. Vi studerade funktionen hos en handhållen 3D-kamera (Mantis Vision F5) och de möjligheter och fördelar teknologin har avseende militära kriminaltekniska utredningar, men också begränsningar. Både verkliga scenarier och laboratoriemätningar låg till grund för utvärderingen av kamerasystemet. Vid undersökning av militära incidenter (eldöverfall, IED-attacker, materielundersökningar) är det av värde att kunna göra en noggrann forensisk dokumentation av exempelvis skadeutfall (fordon, byggnader, kroppar), krevadgropar och tillvaratagen materiel. Även avbildning av insurgenters områden som till exempel mindre byggnader (IED-fabriker), eldställningar, fordon etc. är av intresse av forensisk dokumentation. FOI bedömde att sensortekniken kan uppfylla ovanstående krav och kan vara mycket användbar för forensiska tillämpningar. Begränsningar finns för avbildning av tunna strukturer såsom kablage eller vissa material, exempelvis blank metall och glas.

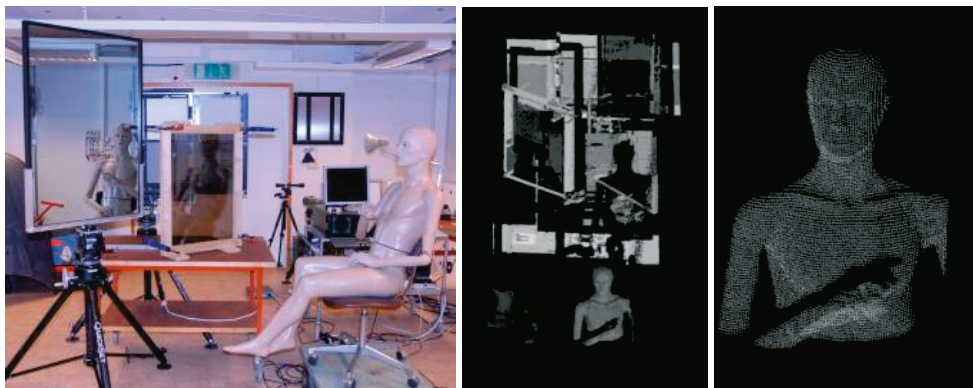


Figur 3-6. Sensorn Mantis Vision F5 används i ett tvåhandsgrepp med en mini-PC i ena handen och sensorenheten i den andra. Mini-PC:n används för datalagring och operatörsgränssnitt. Sensorn består av laserbelysare och videokamera, se längst ner till höger. En 3D-modell baserad på 3D-rekonstruktion från F5 videos är mycket tät (flera punkter per mm²). Exemplet består av ett punktmoln från flera hoplagda rekonstruerade videoklipp från ett maskinrum på ett fartyg.

3.5 Enfotonsystem

Det fotonräknande (TCSPC, Time-Correlated Single-Photon Counting) laserradarsystem som tagits fram i projektet LASID&V inom FoT Telekrig för högupplöst avståndprofilering användes för mätning av högupplösta 3D-scener genom mekanisk skanning. Tekniken är för långsam för de flesta tillämpningar och användes främst för att ta fram högupplösta dataset för utprovning av signalbehandlingsalgoritmer. Systemet ger möjlighet att separera olika ytor inom samma pixel med en avståndsskillnad på under 1 cm. Ett exempel på en insamlad scen ges i Figur 3-7. En översikt av FOIs verksamhet inom fotonräknande laserradar presenterades vid en vetenskaplig konferens 2012 [Ref 3-15].

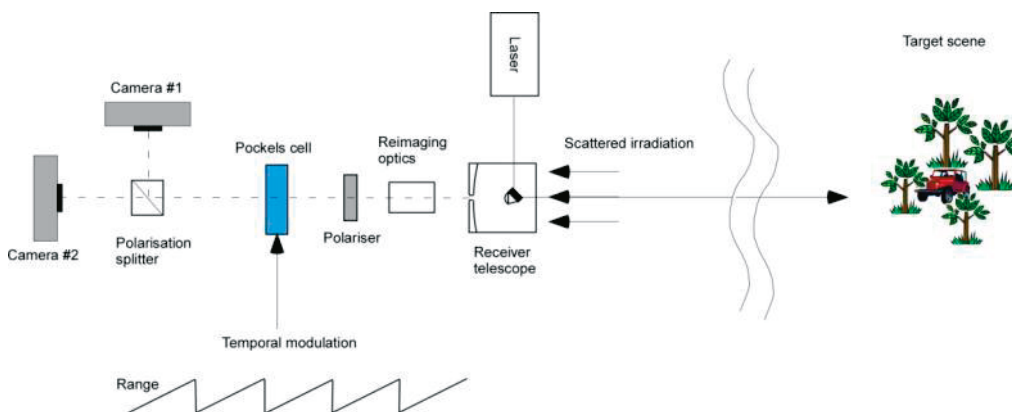
² Distribuerat ljus är samma sak som strukturerat ljus. Mantis Vision föredrar att använda termen distribuerat ljus.



Figur 3-7. Exempel på högupplöst 3D-scen insamlad med ett skannat fotonräkande laserradarsystem. Vänster är ett foto på scenen bestående av en provdocka och två partiellt reflekterande ytor samt en oregelbunden bakgrund. Mittenbilden visar den uppmätta scenen och till höger en närbild på provdockan. Observera att den visuella bilden är tagen på en annan scenuppställning än den som visas som punktmoln.

3.6 Spektropolarimetrisk avbildning

En litteraturstudie avseende spektropolarimetrisk aktiv avbildning och liknande tekniker har genomförts [Ref 3-16] delvis inom ett internt FOI-projekt och som del av projektet ”Multispektral dynamisk 3D-avbildning med laser”. I litteraturstudien ingick en genomgång av metodik för aktiv spektropolarimetrisk avbildning och vilka fördelar som kan erhållas i tillämpningen måldetektion och klassificering. Med polarisationsinformation om scen och mål för olika våglängder fås mer information som kan användas för målklassificering. En nackdel är att systemet som används blir mer komplicerat och beräkningstunga signalbehandlingsmetoder och algoritmer oftast krävs. I rapporten ges förslag på några intressanta tekniker där bl.a. LIMARS (”Laser Imaging and Ranging System”) är en gammal idé som fått förnyat intresse. I LIMARS-metoden, som används för att skapa 3D-data, utnyttjas polarisationskodning. Fördelen med metoden är att lateralt högupplöst data kan erhållas eftersom två (eller en) vanliga kameror utnyttjas (Figur 3-8).

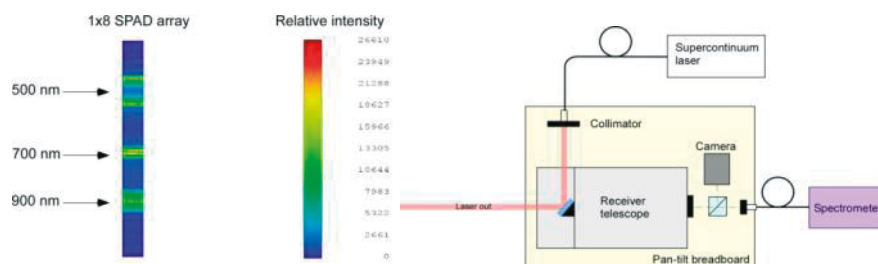


Figur 3-8 Schematisk bild av LIMARS där polarisationskodning används för att generera 3D-data. Från [Ref 3-16]

3.7 Multispektralt 3D-laserradarsystem baserad på TCSPC

I en annan studie analyserades ett multispektralt 3D laserradarsystem baserad på TCSPC med en multikanalmottagare med åtta våglängdskanaler [Ref 3-17]. Arbetet innehöll även en diskussion om hur ett multispektralt system baserat på en MCT APD detektormatris kan konstrueras. Den senare är mindre detaljerad eftersom dessa detektormatriser inte

finns kommersiell tillgängliga och möjligheterna att ta fram ett system fortfarande ligger flera år framåt i tiden. I Figur 3-9 ges ett exempel på ett schematisk multispektral 3D LADAR-system baserat på enfotonräkning.



Figur 3-9 Simulerad intensitetsdistribution över en 1x8 SPAD-matris för ett multispektral LADAR-system baserat på enfotonräkning (vänster). Schematisk bild av ett multispektralt LADAR-system baserat på enfotonräkning. Från [Ref 3-17] under avsnitt 3.8 Publikationer – 3D-avbildande lasersensorer.

3.8 Publikationer – 3D-avbildande lasersensorer

Följande publiakationer och rapport behandlar kommersiella pulshade 3D-laserskannrar:

[Ref 3-1] Håkan Larsson, "A decade of experience from commercial 3D laser range sensors for ground applications", SPIE Europe, Edinburgh, 2012-09-24 - 2012-09-27, FOI-S--4217--SE (2012) (Invited paper).

[Ref 3-2] Håkan Larsson, "Laser scanner Riegl VZ-400", FOI-D--0463--SE (2012).

Följande rapport behandlar generellt dynamiska förlopp:

[Ref 3-3] FOI Memo 3930 Mätningar av dynamiska förlopp (2012)

Nedanstående rapport handlar om ett dynamiskt lasersensorsystem för gallrings-skördare:

[Ref 3-4] Håkan Larsson, Philip Engström, Joakim Rydell, "Measurement of tree population with new sensor technology at forest harvester - Study and test of existing laser imaging systems", FOI-D--0443--SE (2011).

Mätning och utvärdering av sensorn Fotonic E40 för korta avstånd:

[Ref 3-5] Håkan Larsson, Philip Engström, "Fotonic E40 – En sensorutvärdering", FOI-D--0539--SE (2013).

Följande publikationer behandlar grindad avbildning främst avseende multi-spektrala aspekter och svårigheter med turbulens:

[Ref 3-6] M Elmqvist, O. Steinvall, "Slant Path Range Gated Imaging Close to Ground", ISL Workshop on Active Imaging (2011).

[Ref 3-7] Steinvall Ove, Elmqvist Magnus, Karlsson Kjell, Gustafsson Ove, and Chevalier Tomas, "Slant path 1.5 μm range gated imaging close to ground", Proc. SPIE 8037, 803703, FOI-S--3725--SE (2011).

[Ref 3-8] Steinvall,O., Elmqvist,M., Karlsson,K., Gustafsson,O., T. Chevalier, "Slant path range gated imaging of static and moving targets", Proc. SPIE 8379 – 32, FOI-S--4223--SE, (2012).

[Ref 3-9] Steinvall, Ove; Elmqvist, Magnus; Chevalier, Tomas; Gustafsson, Ove, "Active and passive short-wave infrared and near-infrared imaging for horizontal and slant paths close to ground", Applied Optics, Vol. 52 Issue 20, pp.4763-4778, FOI-S--4351--SE, (2013).

[Ref 3-10] O. Steinvall, "Active and passive imaging NIR/SWIR performance for slant paths close to ground " OSA (Laser sensing and Communication), Paper 1755802 , Paris, FOI-S--4473--SE (2013).

Följande publikation om observationstester baserade bland annat på videos från grindad avbildning:

[Ref 3-11] O. Steinvall, "Identification of handheld objects and human activities in active and passive imaging", Proc. SPIE 8542, FOI-S--4214--SE (2012).

Distribuerat ljus:

[Ref 3-12] Håkan Larsson, Diemar Letalick, "Military forensic use of handheld 3D camera", FOI-S--4445--SE, Proc. SPIE 8731 (2013).

Följande publikation är en kombinerad studie och mätningar med olika bildalstrande sensorer (grindade, statiska och matrissensorer) och försök att utnyttja spekulära reflexer och på så vis se "runt" hörn:

[Ref 3-13] Ove Steinvall, Magnus Elmqvist, Håkan Larsson, " See around corner using active imaging", SPIE Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies and Applications V, SPIE Vol. 8186, Prague, 2011-09-19 - 2011-09-22, s.818605-1-818605-17, FOI-S--3956--SE (2011).

Nedanstående publikationer handlar om enfotonsystem:

[Ref 3-14] L. Sjöqvist, M. Henriksson, C. Grönwall, and O Steinvall, "High Resolution Time-Correlated Single-Photon Laser Radar for Security Applications", Tamsec, FOI-S--3847--SE, (2011).

[Ref 3-15] O. Steinvall, L. J. Sjöqvist, M. Henriksson, "Photon counting lidar work at FOI, Sweden," Proc. SPIE 8375, 83750C, FOI-S--4210--SE (2012)

Spektropolarimetrisk avbildning:

[Ref 3-16] D. Bergström, L. Sjöqvist och D. Gustafsson, "Passive and active spectropolarimetric imaging for target detection", FOI-D--0495--SE (2012).

Följande rapport behandlar tekniken kring multispektral laserradar:

[Ref 3-17] M. Henriksson, L. Sjöqvist, "Multi-spectral laser radar - Analysis of some technical solutions", FOI-D--0457--SE (2012).

4 Multispektrala lasersensorsystem

Det finns ett militärt behov att kunna identifiera personer och fordon på långa avstånd, bland annat vill man kunna se vad en person bär på eller har i händerna och vad personen gör. Det finns också önskemål att kunna se in i bilar, för att se hur många personer som sitter i bilen och vad de har för sig. Man vill kunna upptäcka och identifiera personer och fordon i både rural och urban miljö, dvs i miljöer där det finns många andra objekt. Denna upptäckt och identifiering ska även kunna ske vid dåliga ljusförhållanden. Eftersom målen ska hittas i komplexa miljöer krävs ofta mätningar vid olika våglängder, och mätningar både med egen laserbelysning (aktiv mätning) och utan egen belysning.

I dagsläget finns det inget aktivt, multispektralt system på marknaden. Det finns några demonstratorer och system som fungerar i laboratoriemiljö som tagits fram i USA och de stora EU-länderna. I det här projektet har vi inspirerats av dem och gjort mätningar med kombinationer av system som opererar vid en våglängd, både med aktiva (laserbaserade) system och passiva EO-system. Dessa system har vi antingen själva eller så har vi fått tillgång till dem genom samarbete med Fraunhofer/IOSB och Onéra. Mätningar utomhus vid olika väderlek och ljusförhållanden prioriterades. Vi har mätt med aktiva system i våglängdsområdena NIR, VIS, och SWIR, där NIR och SWIR är mest intressant operativt. Med passiva system har vi mätt i våglängdsområdena VIS, SWIR, MWIR och LWIR. Data från försöken kommer att analyseras för att se om det finns robusta egenskaper i data vid olika våglängder, som gör att man kan 1) urskilja personer från urban/rural bakgrund, 2) se skillnad på olika sorters kläder, 3) om man kan avgöra vad personen har i handen och 4) om man kan känna igen dessa kläder även i en mätning från ett annat tillfälle. Personerna som vi mätt på har haft på sig vanliga civila kläder, jaktkläder, svenska uniformen M90 och NATO-uniformer.

Data kommer också att användas för observatörtester, där observatörerna kommer att titta på korta sekvenser där personer utför handlingar med sina handhållna verktyg (kratta, spade, gevär, pistol, mobiltelefon mm). Även här är frågan vilken våglängd eller våglängdskombination som gör att det är lättast att bedöma vad som sker.

Vi har gjort mätningar själva och tillsammans med Fraunhofer/IOSB och Onéra och analysen av data sker tillsammans med dem. Preliminära analyser tyder på att kombinationen av olika våglängder ger mer robust upptäckt och att aktiv belysning vid NIR och SWIR är ett bra stöd för identifieringen av vad personerna har i händerna.

4.1 Försök på FOI

Vid försöken inomhus har vi mätt vid visuella våglängder på diverse objekt och på kläder; civila kläder, jaktkläder och uniformer. Vi placerade ut markörer i scenerna för att efteråt kunna kalibrera data från de olika sensorerna mot varandra. Det medför att vi kan göra fusion av data på pixelnivå. I Figur 4-1 visas mätningar på kläderna och fusionsbilder. Fusionsbilderna är genererade genom att skapa falska färgbilder, där röd-, grön- och blåkanalerna är ersatta med spektral data från de tre våglängderna 950 nm, 1250 nm och 1550 nm (NIR-SWIR). En fördel med en aktiv belysning, jämfört med passiv, är att djupinformationen i scenen bevaras. I Figur 4-1, höger, har vi använt 3D-beskrivningen av scenen från laserskannern för att få 3D-data av dockan och sedan lagt på texturen från fusionsbilden på 3D-data.



Figur 4-1. Mätningar kamouflagefärgade jaktkläder. Vänster visar visuellt foto på dockan med kläderna, mitten är en fusionsbild (detaljer av avvikande material/struktur syns väl; t ex förstärkningstyg på axlar och benficka, dragkedjor och knappar; kamouflagemönstret syns emellertid inte alls) samt höger är motsvarande fusionsbild som mitten, roterad i 3D (draperat punktmoln).

Vi har också gjort mätningar utomhus med de avbildande lasersystem som klarar längre avstånd. Vi mätte med gated viewing-systemet Obzerv som arbetar vid våglängden 0.808 μm (NIR), och med ett gated viewing-system som arbetar vid våglängden 1.55 μm (SWIR). Det andra systemet utvecklade FOI tillsammans med Saab för FMVs räkning för ett antal år sedan. Obzerv kan mäta på avstånd upp till 3 km vid gynnsamma förhållanden och "FOI/Saab-systemet" kan mäta på ännu längre avstånd. Vi mätte även med Riegl-laserskannern, som klarar mätavstånd på upp till flera hundra meter vid gynnsamma förhållanden. Vi hade även med en TIR-kamera och FoT-projektet IR-spaning bidrog med passiva kameror i VIS, NIR, SWIR.

Vi mätte på samma kläder som vi gjorde i lab. Personer som bar kläderna placerades på avstånden 200 m, 350 m, 450 m, 800 m, och 1,5km från sensorerna. Personerna stod dels öppet, öppet med saker i händerna (plastpistol, plastgevär, yxa), och delvis dolda av buskar och sly. Exempel visas i Figur 4-2 och Figur 4-3. För guillisuit fick vi generellt låga signalsvar eftersom den ojämna ytan i kläderna dämpade belysningen. De kamouflagefärgade jaktkläderna reflekterar bra, men kamouflagemönstret syns inte. Bomullskläderna syns också tydligt i dessa våglängder.



Figur 4-2. Mätning med GV i SWIR (1,55 μm), avstånd 450 m. I vänster bild står personerna öppet och i höger bakom sly. Från vänster till höger i vänster bild: anorak och jeans, guillisuit, jaktkläder. Från vänster till höger i höger bild: jaktkläder, anorak och jeans samt guillisuit



Figur 4-3. Mätning med GV i NIR (880 nm), avstånd 450 m. I vänster bild står personerna öppet och i höger bakom sly. Från vänster till höger i respektive bild: anorak och jeans, guillisuit, jaktkläder. Från vänster till höger i vänster bild: anorak och jeans, guillisuit, jaktkläder. Från vänster till höger i höger bild: jaktkläder, anorak och jeans samt guillisuit.

4.2 Försök med Fraunhofer/IOSB och Onéra

Som ett resultat av ACTIM studien genomfördes i April 2013 ett prov i på Onéras provplats i Toulouse i södra Frankrike. Målsättningen var att utvärdera resultatet för enskilda aktiva och passiva EO sensorer och kombinationer för att klassificera och identifiera mänskliga mål, inklusive deras handhållna föremål och aktiviteter. Fokus låg på att påvisa mervärdet av aktiv avbildning i kombination med passiv avbildning, liksom som att undersöka aktiv avbildning vid flera våglängder för att utröna om bättre igenkänningsförmåga kan erhållas i mörker bl a med tanke på de kläder som en misstänkt person bär. Proven visar att signaturerna vid NIR och SWIR kan skilja sig högst väsentligt från de visuella. Sålunda kan mörka kläder i det visuella te sig ljusa i andra våglängdsband osv.

En inledande preliminär analys rapporterades hösten 2013 [Ref 4-4], [Ref 4-5]. Försöken kommer även att rapporteras vid konferensen OPTRO 2014 i Frankrike. Vidare kommer videoklipp och stillbilder från de olika sensorerna (aktiv och passiv NIR, SWIR samt termiska o visuella kameror) att sammanställas för observatörstester med medverkan från K3 och MSS. Dessa försök är planerade till februari eller mars 2014.



Figur 4-4. Övre raden: Sensorparken vid proven i Toulouse, våren 2013. Från vänster IOSB, FOI samt Onéras sensoruppställningar. Undre raden visar ett exempel på hur olika kläder kan te sig visuellt samt vid aktiv avbildning vid 1.55 μm (mitten) respektive 808 nm våglängd.

4.3 Publikationer - Multispektrala mätningar och resultat

Mätningar genomförda på FOI, i laboratorium och utomhus, med enbart FOIs system presenteras i

[Ref 4-1] C. Grönwall, M. Henriksson, H. Lundén, L. Sjöqvist, "Multi-spectral laser radar. Current work and analysis of technical solutions", FOI MEMO 4013 (2012).

[Ref 4-2] C. Brännlund, "Analys av multispektral 3D-data, mätningar lab" dec 2011, D-nr FOI-2012-1693 (2012).

[Ref 4-3] Carl Brännlund, Elias Amselem, Christina Grönwall, Håkan Larsson, "Multispektrala mätningar med laser på uniformer", FOI MEMO 4711 (2013)

Mätningen som FOI genomfört tillsammans med Fraunhofer/IOSB och Onéra presenteras i

[Ref 4-4] Christina Grönwall, Ove K. Steinvall, Håkan Larsson, Peter Lutzmann, Endre Repasi, Benjamin Göhler, Laurent Hespel, Olivier Vaudelin, Michel Fracès, Bernard Tanguy, "Measurements and analysis of active and passive multispectral imaging", Proc. SPIE, 8897-3 FOI-S--4469--SE (2013)

[Ref 4-5] Christina Grönwall, Ove K. Steinvall, Håkan Larsson, Peter Lutzmann, Endre Repasi, Benjamin Göhler, Laurent Hespel, Olivier Vaudelin, Michel Fracès, Bernard Tanguy, "Measurements and analysis of active and passive multispectral imaging", Workshop on active imaging, ISL, Frankrike, 20-21 november 2013 FOI-S--4469--SE, (2013).

5 Signalbehandling

Data med avståndsinformation ger ett bra stöd för att kunna avgöra vilka objekt som finns i en scen och på vilka avstånd, även när scenen består av många objekt (t ex i skog eller i stad). I projektet koncentrerar vi oss på sensorer med laserbelysning för att avståndsinformation även under långa avstånd och vid dålig belysning (mörker, dimma, regn, rök, etc.). Målet med vår signalbehandling är att genom olika sorters kombination av data förbättra upplösningen på de mål som finns i scenen och för att kunna upptäcka målen under de flesta väder- och ljusförhållanden.

Med registrering menas att kombinera flera mätningar mot samma mål så att de inkluderas i samma koordinatsystem (eng. registration; vedertaget begrepp inom signalbehandling av punktmoln). Det kan vara samma sensor eller olika sensorer, samlokaliserade eller från skilda punkter. Syftet är att genom flera mätningar få en tydligare beskrivning av målets form och dess strukturer som t ex antenner. I vårt fall arbetar vi här med de 3D-data som sensorerna ger. Under dessa år har vi studerat hur man kan göra registrering där antingen målet eller sensorn rör sig under inmätningen. Vi har arbetet med sensor-/bildstabilisering för ett specifikt sensorsystem, och tittat generellt på registrering av båtar och fordon under rörelse. Kvalitetsmått för registreringen har också studerats, med mål att få mått på när man kan anse att man mätt tillräckligt länge på ett mål.

Vi har också studerat bildfusion av olika typer av bildalstrande sensordata. Genom att kombinera några olika våglängder visar forskningen att det är lättare att se små mål på långa avstånd, se vad de gör och vad de har i händerna. Syftet är att ge längre framförhållning mot mål som genomför fientliga handlingar. Med statistiska metoder håller vi just nu på att gå igenom vilka sensorer som under olika förutsättningar gör att det är lätt att se personer i olika miljöer. Utvärderingen sker på de data som vi samlat in själva och med våra samarbetsparter. När man funnit den sensorkombination som har störst potential att se målen, kan man utnyttja den avancerade signalbehandling för måldetektion och -igenkänning som används vid analys av (passiva) hyperspektrala sensorer.

Vi har gjort mindre arbeten på måldetektion och -följning baserat på 3D-data. Här utnyttjar vi också att 3D-informationen i data ger bra möjligheter att följa målen, även när scenen består av många objekt. Vi presenterar också ett arbete på målinvisning som vi gjorde på FMVs uppdrag i samband med Försvarmaktens studie ”Studie Identifiering/igenkänning av objekt på markarenan (MARK 091102S)”, kopplat till materialsystem MS 455. Här illustrerade vi hur en passiv kamera med stort synfält (termisk IR) kan användas för att upptäcka mål och sedan visa in en högupplöst GV-kamera för att få möjlighet till igenkänning eller identifiering av målet.

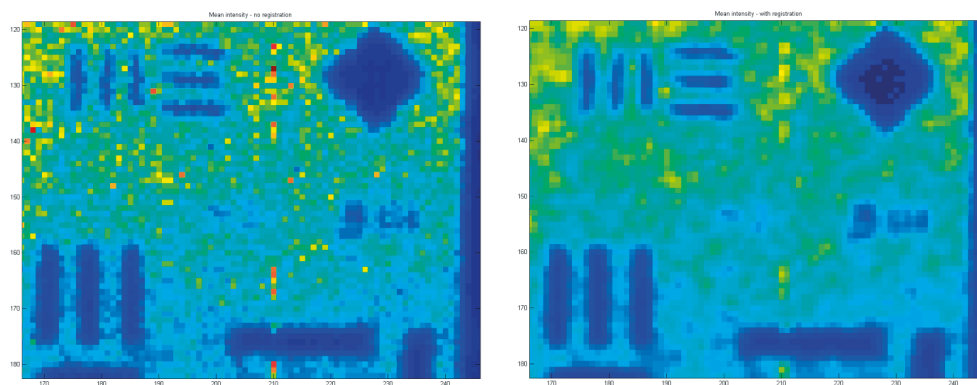
Slutligen har vi studerat hur man kan använda data från TCSPC-system, för att nyttja den exceptionella avståndsupplösning som finns i dessa data (cm). Vi studerade här tomografisk³ avbildning som är vanlig inom medicinsk signalbehandling. Med tomografi utnyttjas avståndsprofiler från olika aspektvinklar för återskapning av tvådimensionella bilder. De olika aspektvinklarna på målet fås genom att antingen målet eller sensor rör sig under inmätningen. Tomografisk avbildning ställer höga krav på registrering av sensorns position i förhållande till det mätta objektet.

³ Inom medicin avser tomografi skikt bilder som man får genom att sensorn ser genom objektet. Med laser får man endast höljet och ingen insida.

5.1 Fusion av bilder/data från rörliga mål

5.1.1 Bildstabilisering

En del signalbehandlingsalgoritmer som arbetar på flera bilder kräver att bilderna är registrerade mot varandra. I vissa fall på subpixel-nivå. För det fallet när den bildalstrande avståndssensorn stått (i princip) still och gjort flera mätningar av en scen kan rena bildbehandlingstekniker användas. I mätningarna med Selex 3D BIL var problemet att bilden ibland flyttade på sig en eller några pixlar under mätningen, t ex till följd av att systemet oavsiktligt rubbades något ur sitt läge. Ett antal registreringstekniker utvärderades, bl a metoder som bygger på bildkorrelation. Det som visade sig fungera bäst för dessa data var en metod som bygger på *ömsesidig information* (eng: mutual information). Den visade sig dessutom vara tämligen robust mot rörelser i scenen. Figur 5-1 visar ett exempel.



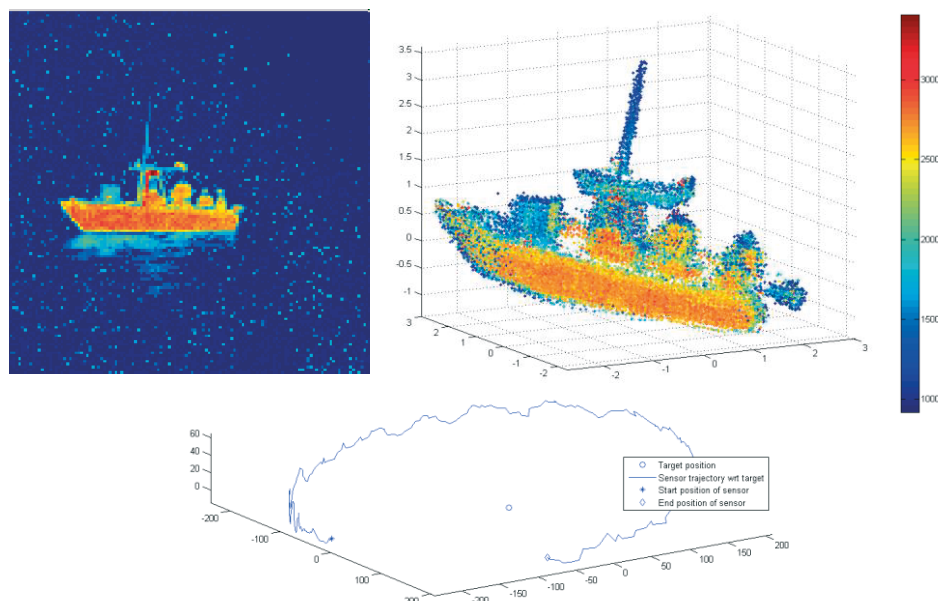
Figur 5-1. Resultatet efter medelvärdesbildning över ett antal bilder, utan bildstabilisering (vänster) respektive med bildstabilisering (höger).

5.1.2 Registrering av mål under rörelse

För att kunna utnyttja flera 3D-mätningar från olika positioner måste datasetens inbördes rumsliga relation fastställas. GPS, kompass och tröghetssensorer kan användas för att bestämma sensorns position och riktning. Men ofta är noggrannheten hos dessa system inte tillräcklig för detta ändamål. Data måste då finjusteras så att dataseten passar ihop med varandra så bra som möjligt i ett och samma referenskoordinatsystem. Denna process brukar kallas registrering. I litteraturen har flera metoder för registrering av oorganiserade 3D-data presenterats och det ojämförligt vanligaste tillvägagångssättet är en något slags variant av algoritmen Iterative Closest Point (ICP). ICP bygger på att hitta punkter i respektive dataset som tros höra ihop, det vill säga som ligger nära varandra (med något slags avståndsmått). Utifrån den informationen skattas och appliceras sedan en transform som för dataseten närmare varandra, varpå nya punktpar och en ny transform appliceras, och så vidare. Iterationerna fortsätter tills någon form av stoppkriterium är uppfyllt, t ex att ingen ytterligare märkbar förändring sker.

Den ICP-variant som använts mest inom projektet innehåller en adaptiv avståndsfiltrering⁴. Avståndsfiltreringen ignorerar punkter som är alltför långt ifrån varandra, vilket har visat sig vara ett bra sätt att få en mer robust registrering när data innehåller många "outliers" som ofta är fallet vid mätningar i utomhusmiljöer. Se Figur 5-2 och [Ref 5-1] för ytterligare information.

⁴ Z. Zhang. "Iterative Point Matching for Registration of Free-Form Curves," IRA Rapports de Recherche, Programme 4: Robotique, Image et Vision, nr 1658, 1992.



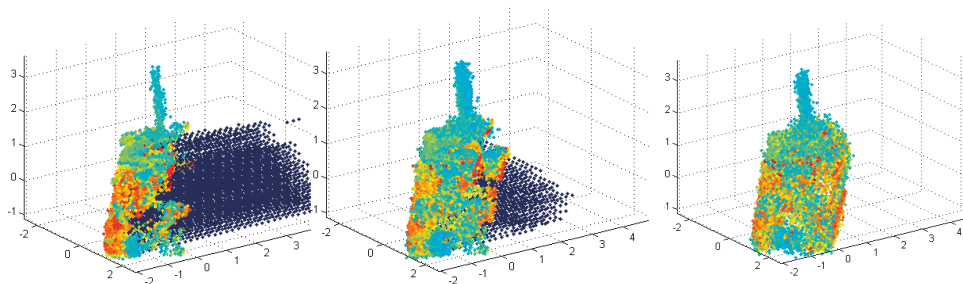
Figur 5-2. Överst till vänster: exempel på data insamlad med en sensorn ASC Flash. Överst till höger: Data från flera mätningar är kombinerade med registrering (ICP). Färgvärdet motsvarar intensiteten på den mottagna ljuspulsen. Nederst: sensorns position relativt målet under datainsamlingen.

5.1.3 Kvalitetsmått för registrering

Mätdata från ett lasermätssystem ger mer information än bara de mätpunkter som genereras då en laserpuls reflekterats på olika typer av ytor. Det faktum att laserstrålen nått ända fram till en reflekterande yta *indikerar* (men garanterar inte!) att området mellan sensorn och ytan är fritt från objekt. På samma sätt *indikerar* data att området bakom den reflekterande ytan från sensorn sett är okänt eftersom inget, eller åtminstone för lite, ljus nått dit. Genom att kombinera informationen från flera mätningar kan man skapa statistiska mått för voxlarna (se förklaring av voxel nedan) och därigenom skapa sig en bild av hur det aktuella området ser ut.

För att beskriva sådana aspekter krävs en kompletterande datarepresentation, där rummet delas in i mindre områden. Sådana områden i 3D brukar kallas "voxlar" (*voxel: volume element*, i analogi med *pixel: picture element*). Varje voxel associeras med flera olika attribut, vars värden uppdateras i takt med att nya mätningar görs. Ett typiskt attribut är den uppskattade sannolikheten för att voxeln innehåller ett reflekterande objekt (dvs. att den är "ockuperad"). Annat intressant som kan utvinnas från voxel-representationen är information om skydda voxlar, som legat inom sensorns synfält men varken innehåller träffar eller har passerats av laserljus.

En voxel-representation kan bl.a. användas som stöd i samband med datainsamlingen; en operatör eller ett system kan se vilka delar av ett terrängparti som har spanats av och vilka som ännu är utforskade, samt bedöma varifrån ytterligare data bör samlas in för att ge ännu mer information om scenen. I [Ref 5-2] diskuteras några ytterligare exempel på användningsområden för voxelgrid, t ex för registrering. Se ett exempel i Figur 5-3.

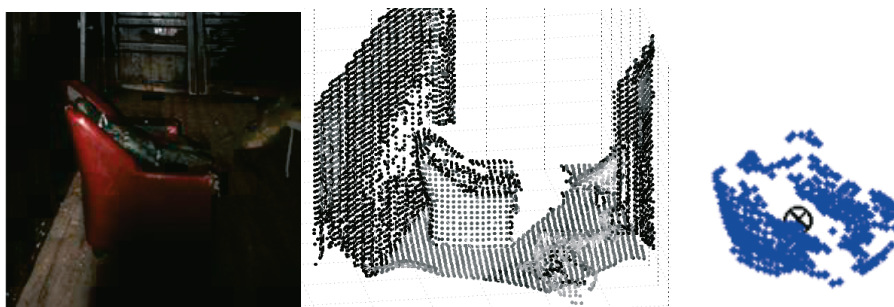


Figur 5-3. De blå prickarna indikerar skymda voxlar. I bilden till vänster har sensorn mätt från ett håll, varför det finns många skymda voxlar bakom målet/båten. I mittenbilden har sensorns position relativt målet ändrats så att flera tidigare skymda voxlar nu är observerbara. I bilden till höger, efter ytterligare förflyttning, har sensorn sett allt av målet och inga outforskade voxlar kvarstår (såna som på inuti båten).

5.1.4 Automatisk måldetektion under inomhuskartering.

Kamerabaserad samtidiglökalisering och positionering (simultaneous localization and mapping, SLAM) är en teknik för att skapa en karta av ett område (scen) medan man rör sig i området [[Ref 5-3]. Om man vet en kameras position och riktning och kameran är kalibrerad så kan man räkna ut var i rummet objekt finns som syns i kamerabilden. Likaså om positionen för objekt som syns i bilden är kända så kan kameras position beräknas. Om både kamerans position och positionen för objekt som syns i kameran är okända kan man med SLAM successivt bygga en karta av objekt som syns i bilden och samtidigt beräkna kameras position i förhållande till den skapade kartan.

Kameran kan bäras av en person eller någon slags robot. Måldetektion och –igen-känning (automatic/aided target detection and recognition, ATD/R) är tekniker för att från sensor-data automatiskt hitta de fysiska objekt som man mätt på, objekten kan vara möbler, personer, bilar etc. De båda teknikområdena har utvecklats parallellt trots att de finns många likheter mellan dem. En likhet är att man baserar analysen på flera mätningar mot samma scen. En skillnad är de landmärkena man använder i SLAM inte kopplas till fysiska objekt, medan i ATD/R baseras på detektion av fysiska objekt och inte landmärken. I ett VINNOVA-finansierat projekt, via det strategiska forskningscentrat SecurityLink, undersöker vi hur man kan göra robust detektion av intressanta objekt genom att kombinera dessa tekniker. Man kan använda informationen från SLAM-systemet för att notera var objekt finns. Ett sensorsystem med denna analyskapacitet skulle kunna vara ett stöd vid rökdykning, inbrytning etc, genom att kunna markera farliga objekt och skadade [Ref 5-4].



Figur 5-4. En mätning på en fätölj med en docka i, från Brandförsvarets övningsanläggning. Från höger: foto, 3D-lasermätning och detektion av fätöljen i laserdata.

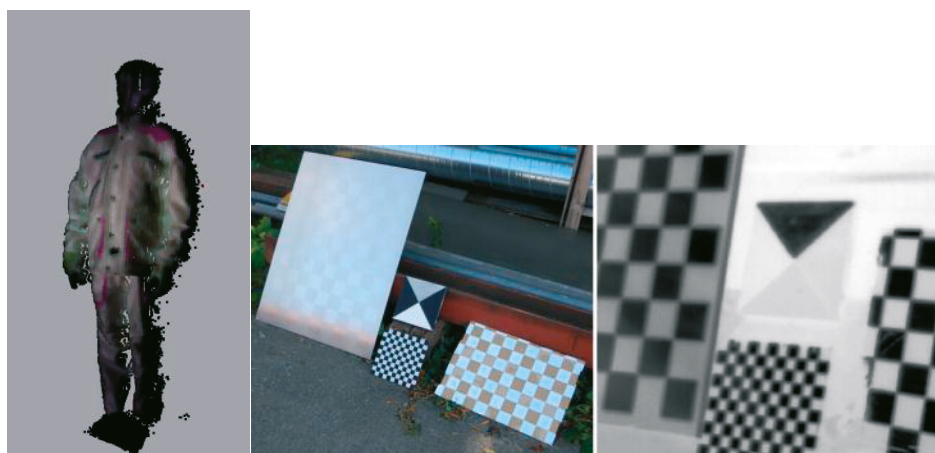
5.2 Fusion av multispektral data

5.2.1 Texturering av punktmoln

Bildalstrande lasersensorer levererar i allmänhet punktmoln med laserintensitet. Intensitetssvärdet i en punkt baseras på reflektansen i punkten för gällande laservåglängd. Med en andra sensor kan punktmolnet textureras med våglängdsinformationen från denna sensor, exempelvis en visuell kamera, en termisk sensor eller i praktiken vilken annan bildalstrande sensor som helst. Kombinationen visuell kamera och laserskanner ger möjligheten att färglägga punktmoln. Hur väl denna färg överensstämmer med färgen på det verkliga objektet beror på upplösning hos respektive system samt noggrannheten i kalibreringen. Givet en tillräckligt bra kalibrering och tillräckligt hög upplösning på målet kan man erhålla en tillräckligt bra mappning mellan de båda systemen. Hur noggrann avbildning som behövs beror dock beror dock på tillämpningen. Den stora nyttan med texturering är att man snabbt kan visualisera relativt komplexa fenomen. Genom att vi tagit fram metoder för generell registrering av 2D- och 3D-data kan vi kombinera olika sorters bildalstrande sensorer fritt i våra multispektrala analyser. Millitärt kan detta vara användbart exempelvis för att avgöra om en person håller i ett riktigt vapen eller ett vapenliknade föremål.

För kommersiella laserskannrar finns färdiga arbetsprocedurer kring kalibrering och mjukvara som löser hela textureringen med visuella kameror, men för forskningssystem vid andra våglängder är det nödvändigt att utföra textureringen själv. För att utföra en texturering måste den sensor, vars våglängdsinformation som ska drapera punktmolnet, vara kalibrerad till lasersensorn, vilket i praktiken innebär att deras optik (intrinsiska parametrar) och relativa placeringar (extrinsiska parametrar) måste vara kända. Den vanligaste metoden för extrinsisk kalibrering är att placera markörer i scenen som båda sensorerna ser, och den vanligaste metoden för intrinsisk kalibrering är att vifta ett väldefinierat mönster framför sensorn, exempelvis ett schackbräde, likt de i Figur 5-5. Med hjälp av dessa mätningar kan man sedan beräkna de nödvändiga parametrarna och texturera ett punktmoln såsom det i Figur 5-5 som texturerats med multispektral bilddata.

Om man arbetar med andra våglängder än de visuella kan man ha problem med att hitta tavlor och mönster som syns i kamerabilderna. Ett bra exempel är termiska sensorer där ett vanligt schackbräde avbildas helt kontrastlöst på grund av att dess emissivitet är ungefär densamma över hela brädet. Figur 5-5 visar ett urval av några kalibreringstavlor som konstruerats och använts just för kalibrering av termisk-IR-sensorer. Tavlor är justerade så att de svarta och vita områdena har olika temperaturer (vilket i detta fall innebär att shackmönstret består av material med olika emissivitet), mer om detta i [Ref 5-5].



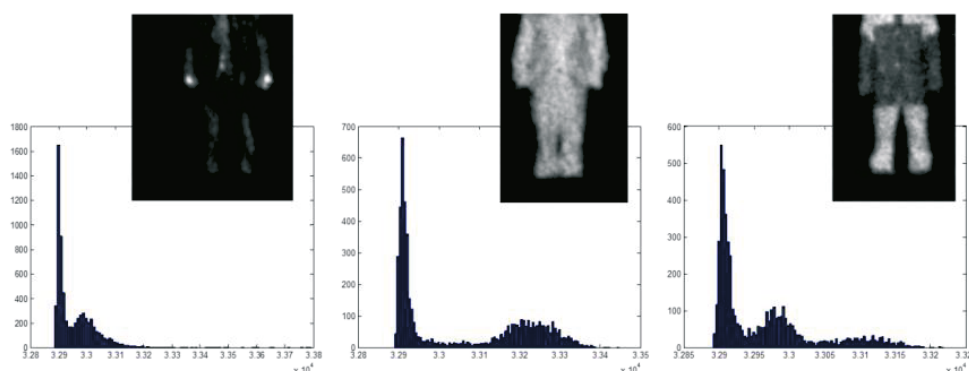
Figur 5-5. Vänster: Punktmoln texturerat med multispektral data. Mitten: Kalibreringstavlor för kameror i det visuella området. Höger: Kalibreringstavlor speciellt framtagna för termisk-IR-sensorer.

5.2.2 Spektralanalys

Data från försöket i Toulouse kommer att analyseras för att se om det finns robusta egenskaper i data vid olika våglängder, som gör att man kan 1) urskilja personer från urban/rural bakgrund, 2) se skillnad på olika sorters kläder, och 3) om man kan känna igen dessa kläder även i en mätning från ett annat tillfälle. Med statistiska metoder undersöker vi vilka våglängder som verkar mest robusta för olika väder- och ljusförhållanden. Ett exempel visas i Figur 5-6 - Figur 5-7. De tre histogrammen har en struktur (flera pucklar) som gör att det är troligt att man kan separera mål-bakgrund med olika sorters automatisk analys (måldetektion och -klassificering). I framtiden planerar vi att se om dessa möjligheter till måldetektion är generella för olika bakgrunder, kläder, väder- och ljusförhållanden, samt för olika våglängder.



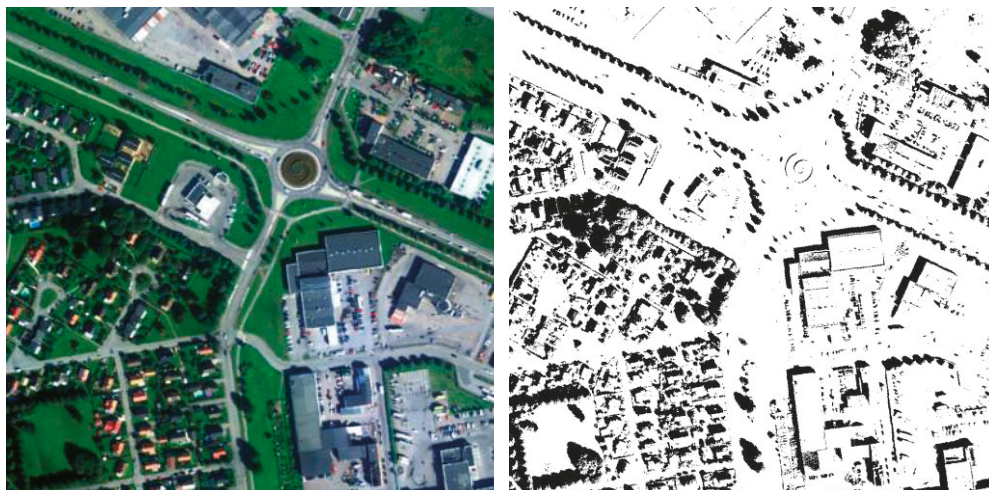
Figur 5-6. De tre personerna är våra mål. Mätning med MWIR i skymning, avstånd 600 m.



Figur 5-7. Närbild av de tre personerna. Bilder och histogram över fördelning av intensitetsvärden för zoomat område. De tre histogrammen har en struktur (flera pucklar) som gör att det är troligt att man kan separera mål-bakgrund även vid automatisk analys i en dator.

5.2.3 Fusion av spatiella och multispektrala data

Projektet har även bidragit till utveckling av metoder som kombinerar spatiella och spektrala data. Med en kombination av höjdmodeller (framtaga med laserskanning) och hyperspektrala bilder kan t ex skuggor detekteras [Ref 5-6]. Höjdmodellen används för att göra en grov skattning av skuggor (genom siktlinjesanalys), som en klassificerare sedan använder för att "lära sig" hur den spektrala signaturen för skuggor ser ut i den aktuella scenen. I [Ref 5-7] föreslås en metod för att korrigera spektrala signaturer utifrån estimerade ljusförhållanden i en viss geografisk position och i [Ref 5-8] presenteras en metod att kombinera spatiell och spektral information för att hitta mål i skuggområden. Ett exempel på skuggdetektion visas i Figur 5-8.



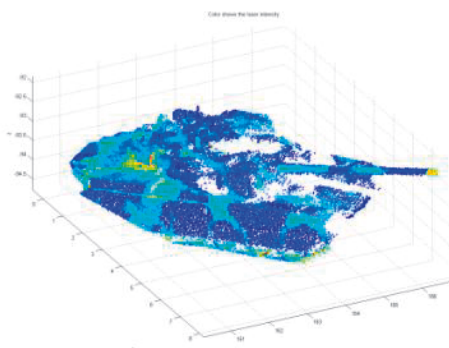
Figur 5-8. Vänster: utsnitt av hyperspektrala data som visar tre band (motsvarande RGB) av totalt 24. Höger: automatiskt detekterade skuggor.

5.3 Robust måldetektion och –följning

5.3.1 Måldetektion för 3D-data

På FOI har det länge pågått forskning kring boosting-baserade inlärningsmetoder, vilka har visat ge goda och robusta resultat. Forskningen har främst fokuserat på detektera mål i bilder (2D-data), framförallt IR. I detta projekt har vi tittat på möjligheten att utöka metoderna för att tillämpa på 3D-data (ostrukturerade punktmoln). Boosting är en populär metod som kan användas för att kombinera ihop enkla särdrag och tillsammans bilda en kraftfull klassificerare, som kan användas för måldetektion. Metoden bygger på att man presenterar positiva och negativa exempel på det man vill klassificera samt en uppsättning enkla särdrag. Ett särdrag är en enkel egenskap som kräver liten beräkningskraft. Den sammansatta kombinationen av enkla särdrag leder till en kraftfull klassificerare med låg beräkningskomplexitet som lämpar sig för realtid.

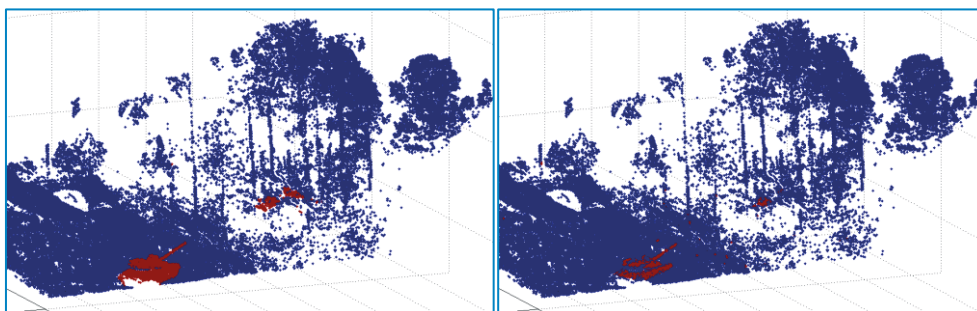
Ansatsen för utökning från 2D- till 3D-data är att bygga en måldetektor som i varje punkt i ett punktmoln kan avgöra om punkten tillhör ett mål. Figur 5-9 visar en sampling positiva punkter (exempel), där varje punkt har en position och en intensitet. För varje punkt beräknas olika särdrag vilket beskriver den lokala omgivningen. Exempel på särdrag är intensitet ("färg"), yttäckning, ytnormaler och avstånd till närliggande punkter.



Figur 5-9. Exempel på 3D-data (punkter i 3D vars färg motsvarar intensitet) som illustrerar positiva punkter (särdrag av den lokala omgivningen).

Ett antal särdrag har tagits fram och testats på mätdata som innehåller både synliga och skylda mål, i det aktuella fallet en T72 och M60. Måldetektorn appliceras på varje punkt i molnet, se Figur 5-10. Den klarar av att hitta den synliga T72an, men även delar av den skylda M60. En viss mängd falsklarm förekommer, men de kan enkelt filtreras bort. Givet ovan gjorda test och valda nivå för falsklarm klassificeras punkterna rätt med 98.5% säkerhet. De särdrag som bidrog mest till måldetektion var avstånd mellan närliggande punkter, höjd över mark och intensitet.

De preliminära resultaten vittnar om att en utökning till 3D-särdrag kan möjliggöra bättre måldetektion i svårare miljöer men på bekostnad av ökad beräkningskomplexitet. Exakt hur mycket bättre och om detta motiverar den ökade beräkningskomplexiteten behöver undersökas ytterligare. En framkomlig väg kan vara en kombination där man först tillämpar 2D-särdrag och sedan 3D-särdrag för att avgöra de svåraste fallen.



Figur 5-10. Till vänster sanna markerade mål, T72 och M60 och till höger detektioner i punktmål.

En fördel med att analysera varje enskild punkt är att man kan detektera även delvis skylda mål. Ett exempel är ett eldrör som sticker ut genom kamouflagenätet, även om resten av stridsvagnen kan vara svår att se.

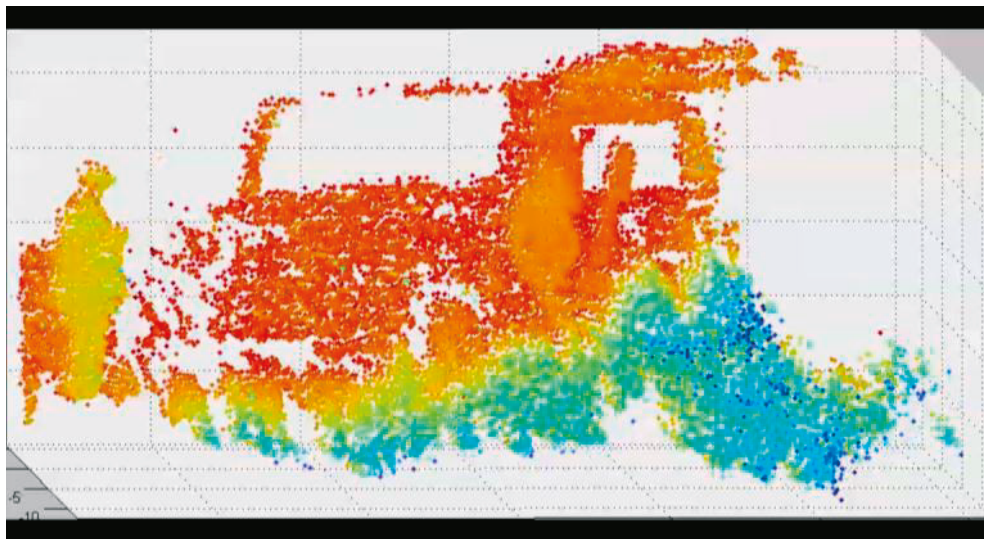
En nackdel med den här metoden för måldetektion är att det krävs en stor mängd träningsdata. Tillgången på träningsdata kan antingen komma från mätningar eller simuleringar. Att skapa träningsdata genom mätningar är tidskrävande, dels beroende på att man behöver många mätningar, men också för att man manuellt måste markera vad som är faktiska mål och bakgrund. Ett alternativ är att simulera data. På FOI har vi sedan tidigare tagit fram en Ladarsimulator (FOI-Ladarsim) som är kapabel att simulera sensordata från en rimligt komplex scen. Den stora fördelen med simulering är att man redan vet var man har placerat sitt mål och således inte behöver markera. Det är även lätt att simulera godtyckliga riktningar och att variera miljön på ett enkelt sätt. En nackdel med den simulatoren är att den inte är optimerad för rendering och därför tar lång tid att köra. Det går idag att simulera enklare scener men beräkningstiden kommer att skjuta i höjden om man behöver simulera komplexare scener.

5.3.2 Målföljning i 3D-data

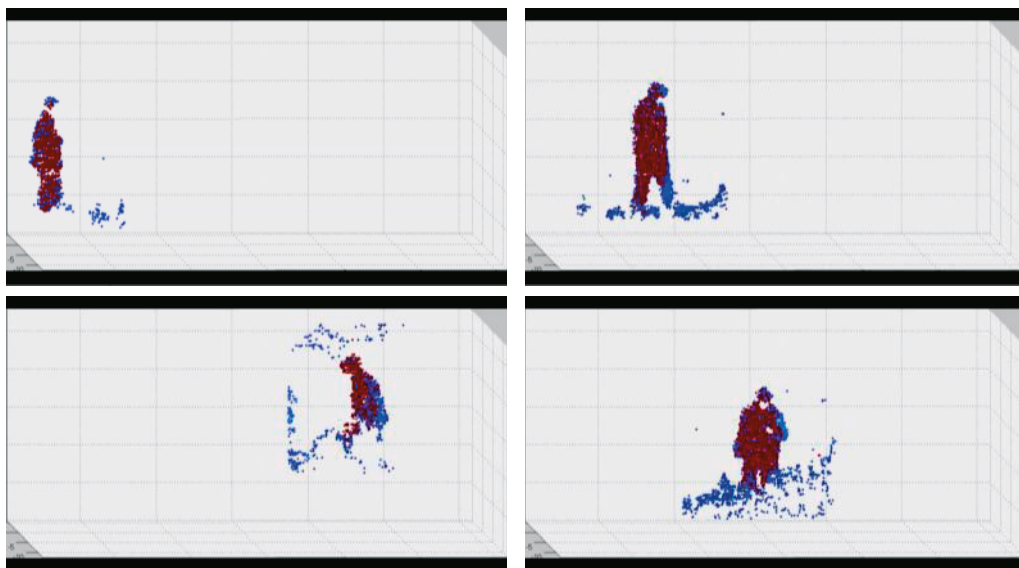
I projektet har inlett arbete med att undersöka vilka signalbehandlingsmetoder som är relevanta för data från Selex 3D BIL, bl.a. för följning av objekt i 3D-data. Se exempel i Figur 5-11 och Figur 5-12. Eftersom data är tämligen brusiga är det svårt att segmentera och följa små strukturer. Vad man däremot kan göra är att följa större kluster av mätpunkter som rör sig bland de andra punkterna. En metod som visade sig fungera bra för detta ändamål bygger på den s.k. MeanShift-algoritmen. Metoden går i korthet ut på att man följer hur medelpunkten, *centroiden*, för en eller flera grupper av punkter flyttar sig. När målet flyttar sig uppdateras centroiden och följer således den grupp av punkter som motsvarar målet.

I Figur 5-12 visas ett exempel. De röda punkterna är de som algoritmen använder för att uppdatera centroiden för personen som rör sig i bilden. Som synes kommer inte hela personen med bland dessa punkter. Det är bl.a. en konsekvens av att algoritmen är generell

och inte dedicerad till att hitta just människor; algoritmen tar inte hänsyn till objektets form. Därför kan en större omgivning tas med och visas för att sätta följningen i en kontext (de blå punkterna). Observera att algoritmen förutsätter att det gjorts en inledande detektion av målet som sedan kan följas. I nedanstående exempel gjordes den manuellt utifrån den första bilden.



Figur 5-11. En bild från en mätsekvens⁵ från Meppen-försöket. 3D-data är färgkodad med blå färg är närmast sensorn och grön, gul, orange och röd motsvarar i tur och ordning ökande avstånd. Till vänster i scenen står en person, i mitten av bilden står en skåpbil med öppen baklucka. De blåaktiga punkterna i förgrunden är vegetation.



Figur 5-12. Exempel på följning⁶ av en person i avståndsdata (samma sekvens som ovan). Runt det detekterade objektet (markerat med rött) har ett mindre område av data klippts ut, därav ströpixlarna runt objektet.

⁵ [Länk till video](#)

⁶ [Länk till video med hela följningssekvensen](#)

5.3.3 Målinvisning

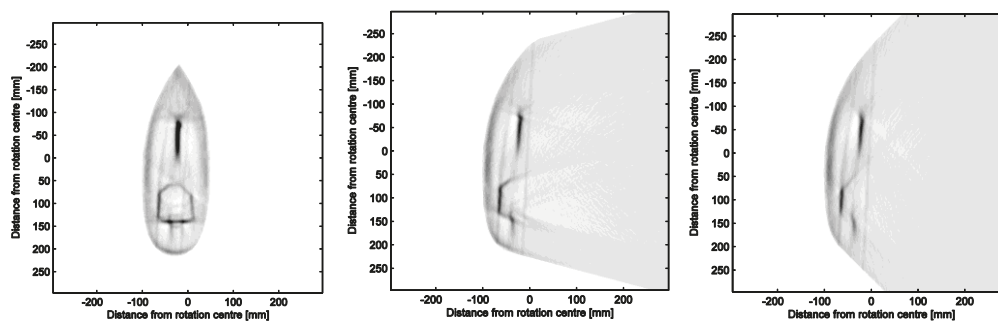
I samband med FM-studien Combat-ID undersökte vi ett koncept för invisning. En FLIR-kamera och en GV-kamera verksam i NIR-området monterades så att de hade överlappande synfält. Detektion av mål, personer och fordon, gjordes i FLIR-kameran med stort synfält och sedan visades GV-kameran in till det området i scenen. På så sätt kunde vi få dels en högupplöst bild av målet så att kunde se vad personen/fordonet gjorde och vi hade också fått mätningar i två olika väglängder på målet. Den frågeställning vi undersökte var om automatisk detektion av person/fordon skulle kunna vara ett stöd för en operatör eller skytt. Markeringarna i bilderna är ett stöd för en ovan användare medan vana användare inte skulle behöva detta. Automatisk invisning av en högupplöst kamera ansågs vara bra. Ett exempel visas i Figur 5-13 och i video.



Figur 5-13. En bild från SIB-anläggningen vid MSS, Skövde. Fordonet detekteras och markeras i IR-bilden (vänster) och GV-kameran riktar in mot det området (höger, nedre). Höger, övre visar visar närbild på GV-kameran Obzerv med FLIR-kameran ThermaCAM SC660 monterad ovanpå.

5.4 Tomografi

Försök med tomografisk avbildning genomfördes i samverkan med projektet LASID&V inom FoT Telekrig. Här utnyttjas avståndsp profiler från olika aspektvinklar för återskapning av tvådimensionella bilder genom tomografisk teknik. Försök i laboratoriemiljö gav goda resultat med tydliga bilder som publicerades vid en vetenskaplig konferens [Ref 5-12]. Signalbehandlingen utvecklades delvis inom ett examensarbete [Ref 5-13]. För bildgenereringen krävs dock minst 90° och helst 150° sektor av aspektvinklar där rotationen sker runt en symmetriaxel. Några exempel på återskapning med olika vinkelsektorer ges i Figur 5-14. Så bra förutsättningar angående vinkelsektorer förväntas inte vara tillgängliga i tillräcklig omfattning för att fortsatt forskning om tomografisk bildgenerering ska vara motiverad. Om ett behov av avbildning av roterande objekt uppstår så är tekniken en attraktiv möjlighet. Tekniken kan även vara av visst intresse för identifiering av satelliter.



Figur 5-14. Tomografiska rekonstruktioner av en trämodell av en fiskebåt baserade på laserradarprofiler med aspektvinkelsektorer om (från vänster) 340, 150 och 90° med steg om 1° vinkelförflyttning mellan varje profilmätning.

5.5 Publikationer – Signalbehandling

Registrering av mål under rörelse presenteras i:

[Ref 5-1], C. Grönwall, G. Tolt, "Signal processing for imaging and mapping lidar", Proceedings of SPIE Vol. 8186, FOI-S--3955--SE (2011) (Invited paper).

[Ref 5-2] G. Tolt, T. Chevalier, P. Engström & C. Grönwall. "Applications of 3D occupancy grids in a target analysis context", Proceedings of SPIE Vol. 8379, FOI-S--4066--SE (2012).

Automatisk måldetektion under inomhuskartering presenteras i:

[Ref 5-3] C. Grönwall, J. Rydell, and J. Rantakokko, "Accurate indoor positioning of first responders", Proceedings TAMSEC, p. 27-27 (2011).

[Ref 5-4] C. Grönwall, D. Törnqvist, H. Larsson, P. Engström, "Concurrent object recognition and localization for first responder applications", Proceedings TAMSEC, FOI-S--4464--SE (2013).

Texturering av punktmoln beskriv i:

[Ref 5-5] Engström, P., Larsson, H., & Rydell, J, "Geometric calibration of thermal cameras", SPIE Security+ Defence (pp. 88970C-88970C) (International Society for Optics and Photonics), FOI-S--4429--SE (2013).

Fusion av spatiella och multispektrala data

[Ref 5-6] G. Tolt, M. Shimoni, J. Ahlberg, "A shadow detection method for remote sensing images using VHR hy-perspectral and LIDAR data," Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada, pp. 4423-4426, FOI-S--3960--SE (2011).

[Ref 5-7] O. Friman, G. Tolt, J. Ahlberg, "Illumination and shadow compensation of hyperspectral images using a digital surface model and non-linear least squares estimation", Proceedings of SPIE Remote Sensing 2011, Paper 8180-26, Prague, Czech Republic, FOI-S--3939--SE (2011).

[Ref 5-8] M. Shimoni, G. Tolt, C. Perneel, J. Ahlberg, "Detection of vehicles in shadow areas using combined hy-perspectral and LIDAR data," Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada, pp. 4427-4430, FOI-S--3961--SE (2011).

Robust måldetektion respektive målinvisning presenteras i:

[Ref 5-9] Philip Engström, Fredrik Hemström, "Klassificering av 3D-data med boosting", FOI MEMO 4642 (2013)

[Ref 5-10] E. Emilsson, L. Funke, C. Grönwall, J. Rydell, K.-G. Stenborg, "Detection and tracking of dismounted blue forces using optical sensors", EUROPEAN SURVIVABILITY WORKSHOP, 12-14 juni, 2012, Halmstad, Sverige, (2012).

[Ref 5-11] C. Grönwall, "Studieförsök identifiering av Combat ID-markörer: Automatisk detektion av personer och fordon", FOI Memo 3944 (2012)

Arbetet med tomografisk avbildning har redovisats i:

[Ref 5-12] M. Henriksson, C. Grönwall, T. Olofsson and L. Sjöqvist, "Optical reflectance tomography using TCSPC laser radar," Proc. SPIE 8542, 85420E FOI-S--4203--SE (2012).

[Ref 5-13] T. Olofsson, "Reflective tomography using a TCSPC system - a study of current limitations and possible improvements", Examensarbete, Umeå Universitet, FOI-S--4233--SE (2012).

[Ref 5-14] O. Steinvall, "Measurement and modeling of laser range profiling of small maritime targets" Proc. SPIE 8542, FOI-S--4212--SE (2012).

6 Modellering

Vi gör matematisk modellering av de sensorsystem som vi utvärderar och av atmosfärens påverkan på resulterande mätdata. Modelleringen görs för att vi ska kunna komplettera våra genomförda mätningar med simuleringar av andra mätfall. I projektet har vi dels byggt en modell av Selex 3D BIL och av turbulensens påverkan på mätdata. Om det är mycket turbulens i luften, ger det mer onoggrannhet och brus i mätdata, vilket gör att bilderna från sensorsystemet är svårare att tolka för en observatör eller en algoritm, och detta sin tur påverkar avstånd för måldetektion, -igenkänning och – identifiering.

6.1 Selex 3D BIL (Swallow)

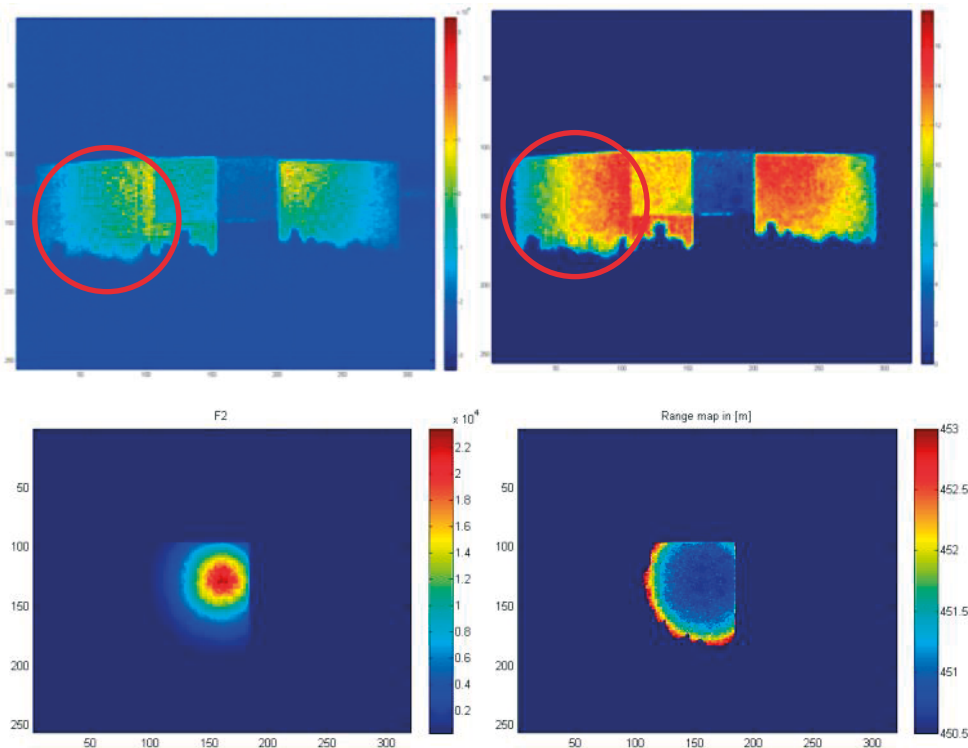
Som ett led i utvärderingen av prestandan för en ny tilltänkt sensor har en simulering utförts. Sensorn ifråga är från Selex Galileo i England. Tillverkaren har utvecklat en sensor baserad på APD (avalanche photo diodes) teknologi för att få en hög ljuskänslighet men samtidigt en snabb respons i varje pixel. Denna nya sensor med 320×254 pixlar går under namnet Swallow och har speciellt utvecklats för att möjliggöra insamling av 3D-data där varje laserpuls ger 3D information över en specificerad tidslucka. Tekniken möjliggör att med ett fåtal pulser, en puls i bästa fall, bygga upp en avståndskarta.

Genom simuleringen har vi ökat vår förståelse och förmåga att hantera systemet inför planerade fältförsök med sensorn. Detta infattar båda direkta begränsningar för sensorn men också hur systemet ska på ett bättre sätt användas för att optimera data insamlingen. Som ett led i utvärderingen av sensorn har vi, efter kalibrering av simuleringen, utfört simuleringar på småbåtar. För en mer uttömmande beskrivning av Selex 3D BIL sensorns prestanda och dess tillhörande simulering se [Ref 6-1].

Ett exempel på tester som utförts med simuleringen är att undersöka varför data från fältförsöken med sensorn visar att det finns en osäkerhet i avståndsbestämningen som är korrelerad till intensiteten på den mottagna signalen. Svagt belysta områden blir avbildade längre bak jämfört med starkt belysta områden. Figur 6-1 är ett exempel på data från fältförsöket i Meppen Tyskland. I den inringade delen av den högra bilden visas en plan yta, som är vinklerät mot sensorns optiska axel, med en avtagande belysningsintensitet och i den vänstra återfinns rådata för avstånds estimering. Som kan ses ändras avståndet gradvis med intensiteten på den plana ytan trots att dessa är på samma avstånd. Detta beteende kunde även hittas i simuleringen, se Figur 6-1 nedre raden, och uppkommer troligtvis på grund av att laserpulslängden inte är försumbart kort. Detta är en artefakt som finns i den teknik som Selex valt att använda för avståndsbestämning. Vidare undersökning visar att förskjutningen beror även på vart inom tidsluckan objektet av intresse befinner sig.

6.2 Turbulens

I samband med analys av våra mätningar mot små båtar samt i sneda banor mot landmål har vi modellet inflytandet av turbulens i huvudsak som påverkande bildernas upplösning. Även strålvandring och stråljitter har studerats genom mätningar och modeller liksom turbulensstyrkans avtagande som funktion av höjd över marken. För att studera inverkan av turbulens på operatörers förmåga att känna igen mål i bilder har vi simulerat oskärpa till följd av turbulens, se exempel i Figur 6-2.



Figur 6-1: Intensitet (övreraden vänster bild) och avstånd (övreraden höger bild) bild från en scen med några provtavlor. Innanför det inringade området är en del av tavlan som är (nästan) vinkelrätt mot sensorns optiska axel och därför bör alla pixlarna ha samma avståndets värde. Istället ser vi ett starkt beroende mellan intensitet och avstånd. Samma beteende ser vi i simuleringen (nedreraden) där vi har belyst en plan yta (nedreraden vänster bild) och bestämt avståndet till den (nedreraden höger bild) enligt tekniken som används i Selex 3D BIL sensorn. Samma karakteristiska beteende uppkommer i simuleringen som den från fält försöket.



Figur 6-2. Exempel på simulerat turbulensinflytande för (från vänster till höger) låg, medel och hög turbulens utgående från upptagna GV-bilder samt IR-bilder (undre raden).

6.3 Publikationer – Modellering

Prestanda och simuleringstester av sensorn Selex 3D BIL (Swallow) presenteras i

[Ref 6-1] Elias Amselem, Gustav Tolt, "Evaluation of Selex Swallow sensor" FOI-D--0541--SE (2013).

Följande publikation behandlar modellering och simulering av turbulens, speciellt för detektion av små båtar:

[Ref 6-2] O. Steinvall, "Measurement and modeling of laser range profiling of small maritime targets" Proc. SPIE 8542, FOI-S--4212--SE (2012).

[Ref 6-3] Ove Steinvall, Tomas Chevalier, Christina Grönwall, Simulating the performance of laser imaging and range profiling of small surface vessels " *Proc. SPIE*. 8731, Laser Radar Technology and Applications XVIII 87310U , May 28 2013, FOI-S--4350--SE (2013).

[Ref 6-4] O. Steinvall, T. Chevalier, C. Grönwall, "Simulation and modeling of laser range profiling and imaging of small surface vessels", Submitted to Optical Engineering, sep. 2013.

7 Slutsatser och fortsatt arbete

I FoT-projektet *Multispektral dynamisk 3D-avbildning* har vi under tre år undersökt olika 3D-avbildande lasersensorsystem, främst avseende multispektrala (olika våglängder) och dynamiska (rörelse) egenskaper.

Bildalstrande lasersensorer genererar vanligtvis tredimensionell data och spektral beskrivning av objekt och omgivning. Den spektrala informationen är dock endast en våglängd-kopplad till laserns våglängd. Genom att kombinera våglängder (multispektral avbildning) kan en ökad förmåga till målklassificering erhållas. Fördelarna med ett aktivt multispektralt sensorsystem är att det har sin egen belysning med sig och därför är effektiv nat-tetid då andra passiva sensorer har svårare att erhålla en bra kontrast mellan mål och omgivning. Vidare genererar inte ett aktivt system de klassiska skuggor som passiva system gör, vilket gör att en motståndare får svårare att gömma sig. Det krävs dock teknisk utveckling av sensorer eftersom dagens teknik har begränsningar att samla in flera våglängder samtidigt.

Med dynamik avses insamling av data under rörelse där sensorplattformen och/eller scenen innehåller rörliga objekt. Det är möjligt att kombinera flera mätningar för att därigenom successivt öka kunskapen om den aktuella scenen. Det underlättar för användaren att dra nytta av information som är insamlad från olika positioner. Det här innebär till exempel att

- Mål (ex fordon, fartyg, personer) kan följas i 3D-data, även då kvaliteten på avståndsskattning/avståndsuppgifter är brusiga.
- 3D-data kan indikera om dess innehåll är begränsad, osäker eller inte är tillgänglig där ytterligare insamling bör ske.

Med kombinationer av tröghetsnavigering, GPS och stereokamrar beräknas en laserplattformens rörelse och position och på så vis var varje laserpunkt har mätts i rymden. Dessa skannande system är till stor nytta vid kartering och en trend ses både avseende lägre sensorskostnad och en miniatyrisering av systemen. I framtiden kommer dessa att kunna placeras i mindre UAV:er, vilket kommer att göra automatisk kartering billigare.

Ökning av datainsamlingshastighet är önskvärt för att kunna mäta scener innehållande rörelse och därför används numera ofta matrisdetektorer för att mäta flera punkter med varje laserpuls. Det finns ett antal prototypsystem av olika tekniker, innehållande matrisdetektorer, för detta på flera håll i världen. För igenkänning av mål bakom kamouflage är avståndsupplösningen i varje pixel viktig och att ytor kan särskiljas inom några centimeter. Fotonräknande laserradarsystem visar lovande prestanda för detta och matrisdetektorer som tillåter avbildning i videotakt börjar utvecklas.

Kommande treårsperiod kommer att innehålla en större del perceptionstester (både 2D och 3D) för att hitta gränserna för sensorer (avseende pixelupplösning, turbulenspåverkan etc.) och vad operatören kan uppfatta i bild för fortsatta beslut i sitt agerande. Vi kommer att fortsätta undersöka både signalbehandlingsmetoder och undersöka marknaden för lasersensorsystem för att användaren ska tillgodose sig informationen på bästa sätt. Vårt fokus kommer att ligga på sensorsystem där UAV:er används som mätplattform.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 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, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se