

TOMAS CHEVALIER



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.

Tomas Chevalier

Samverkande sensorer

- Illustrerat exempel med hyperspektral kamera
och 3D-laserradar

Rapportnr/Report no	FOI-R--2325--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport User report
Utgivningsår/Year	2007
Antal sidor/Pages	19 p
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and Low Observables
Delområde Subcategory	42 Sensorer 42 Above surface Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance
Projektnr/Project no	E30842
Godkänd av/Approved by	Lena Klasén

Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI
Avdelningen för Sensorsystem
Box 1165
581 11 Linköping

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
1 Inledning	6
2 Sensorer	8
3 Mätdata	11
4 Dataanalys	15
5 Resultat	18
6 Referenser	19

Sammanfattning

De senaste åren har en förstärkt insats vidtagits på området samverkande sensorer. I samverkan mellan flera FM-projekt har resurser därför lagts på att undersöka metoder att kombinera data på en sensornära nivå.

Denna rapport beskriver en del av detta arbete där data från en hyperspektral kamera geometriskt kopplas till data från en laserskanner och hur mätdata härigenom kan kombineras och hyperspektral information visas i tre dimensioner. Genom att först genomföra en anomalidetektion på den hyperspektrala informationen, ges även en hänvisning till regioner intressanta för djupare analys.

Nyckelord: hyperspektral kamera, laserskanner, 3D-laserradar, samverkande sensorer, datafusion

Summary

During the recent years an enhanced effort has been put on combining sensor data. In cooperation with several projects financed from the Swedish Armed Forces, the project *Multi and hyper spectral surveillance* has been studying methods to combine data at a level close to the sensor.

This report describes a part of this effort where data from a hyper spectral camera has been connected to data from a laser scanner, and how data by this can be combined and hyper spectral data visualized in three dimensions. By first performing an anomaly detection on the hyper spectral data, data from the regions of interest can be passed on to further analysis.

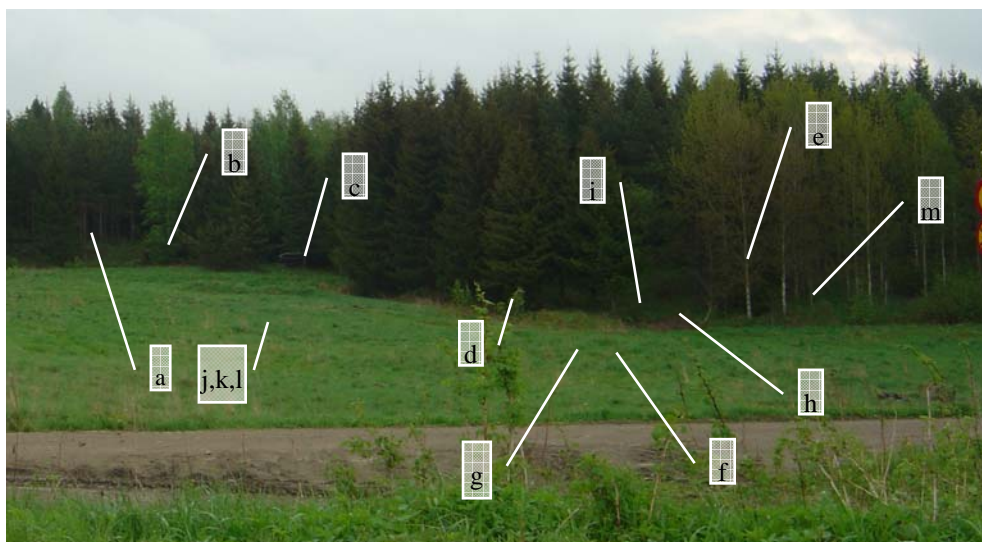
Keyword: hyper spectral camera, laser scanner, 3-D laser radar, combined sensor data, data fusion

1 Inledning

Som en del i försvarsmaktsprojektet *Multi- och hyperspektral spaning* (MuHS) genomfördes fältförsök på Prästtomta Skjutfält vid Kvarn den 23-24 maj 2006, se mätrapporten [1]. Målet med mätningarna var att registrera stillastående militära fordon av olika slag i terräng av skiftande karaktär för att skapa ett dataunderlag för studier av samverkande sensorer. Denna rapport beskriver i huvudsak försöket att kombinera skilda datatyper för att på ett lättolkat sätt kunna presentera data.

Scenen som inmättes bestod enligt Figur 1 av en skogsridå med såväl synliga som väl skylda mål. Målen bestod av Pbv401, T-72, tgb11, och olika typer av minor. Under mätningen testades en stor mängd målpositioner, enligt

Tabell 1. Instrumenten som nyttjades vid försöket var en hyperspektral kamera samt en laserskanner, se avsnitt 2.



Figur 1. Bilden visar den västra änden av skogen vid Ströplahult på Prästtomta skjutfält, scenen som användes vid mätningarna. Bokstäverna anger positioner där olika objekt placerades, se tabell 1. Avståndet mellan sensorerna och skogsridån var ca 100 m till höger och ca 140 m till vänster i bild.

Tabell 1. Tabellen beskriver hur målobjekten var placerade vid olika mätningar, under andra mätdagen. Tbg = terrängbil, pbv = pansarbandvagn, min = mina, gr = granat, kamo = kamouflagenät, pers = stående mansperson. Scenbeteckning på vertikal axel och målposition på horisontell axel. **Tgbx** är olika exemplar av **tgb11**, och **pbv** är en **pbv401**.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	Tid
1	tgb1	pbv	T72	tgb2	tgb3	min	gr							07:30
2	tgb1	pbv	T72		tgb3	min	gr	tgb2						09:35
3	tgb1	pbv	T72			min	gr	tgb2		tgb3				10:00
4	tgb1	pbv	T72			min	gr	tgb2			tgb3			10:30
5	tgb1	pbv	T72			min	gr	tgb2				tgb3		
6	tgb1	pbv	T72			min	gr		tgb2			tgb3		11:10
7	tgb1	pbv	T72				min+gr	tgb2			tgb3	kamo		11:40
8	tgb1	pbv	T72				min+gr	tgb2			tgb3	kamo+pers		12:30
9	tgb1	pbv	T72				min+gr	tgb2				kamo		12:55
10	tgb1	pbv	T72				min+gr	tgb2				kamo+pers		13:15
11		pbv	T72											13:40

2 Sensorer

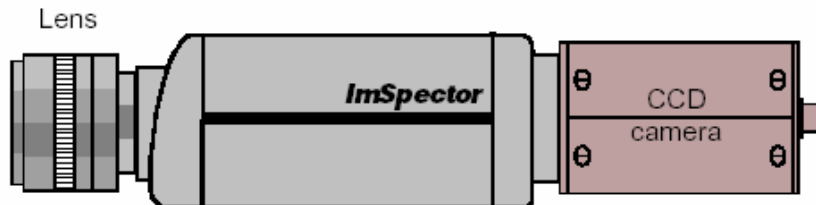
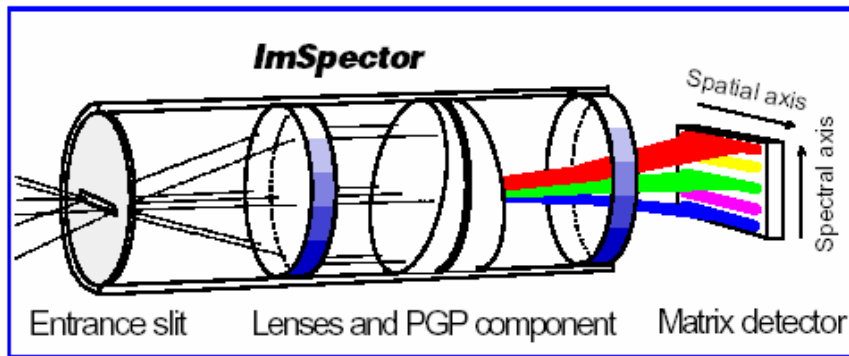
I huvudsak två sensorer användes under mätningarna, en hyperspektral kamera (*Imspec*) och en 3D-avbildande laserradar (*Optech ILRIS-3D*).

Imspec

Imspec är en hyperspektral sensor som är baserad på dispersiv teknik, och har spektral känslighet både i det visuella och det nära infraröda området. Spektralområdet är ca 391 – 961 nm. Med benämningen “hyperspektral” menas ett system som registrerar i smala band. En vanlig definition är att $\Delta\lambda/\lambda$ ska vara i storleksordningen 0.01, där $\Delta\lambda$ är den spektrala bandbredden och λ är aktuell våglängd. *Imspec* skiljer sig från en vanlig digitalkamera, vilken oftast lagrar information om tre visuella våglängdsband (rött, grönt och blått), i att den lagrar information om hundratals smala våglängdsband, och att den är känslig både i det visuella och det nära infraröda (ca 0.7 – 1 μm). Den registrerar en pixelrad i taget (en linje) där varje pixels spektrum återfinns i den andra dimensionen (figur 2). Registreringarna görs med en CCD-array. Den högsta spatiella upplösningen är 1024 pixlar och den högsta spektrala upplösningen är begränsad till 256 spektralband. Sammanslagning av pixlar (binning) ger ett förbättrat S/N-förhållande och även en högre bildhastighet. Binning i spatialled minskar dock den spatiella upplösningen och binning i spektralled minskar den spektrala upplösningen (och därmed antal tillgängliga spektralband). Vid design av en sensor får en avvägning göras av vad som blir mest effektivt. En utförligare beskrivning av hyperspektrala sensorer med dispersiv teknik finns i tidigare FOI-rapport [3].

En registrering med *Imspec* innehåller således den (1-dimensionella) spatiella informationen i den ena pixeldimensionen och den spektrala informationen i den andra. För att få 2-dimensionella bilder krävs med denna teknik ett skannande förfaringssätt. Antingen kan den interna spegeln utföra skanningen, eller så kan egenrörelsen, exempelvis i en lodtittande flygplansmontering, utföra skanningen. I dessa mätningar har den interna motoriserade spegeln utfört skanningen.

Några data om *Imspec*, med de inställningar som användes i försöket, visas i tabell 2.



Figur 2. Övre bilden visar en schematisk skiss av den dispersiva delen. Undre bilden visar sensorn med optik (fokallängd 23 mm, $F/\# = 2.4$), dispersiv del och CCD-array (ca 1 Mpx) [2]. ImSpec hade i mätningen dessutom en spegel monterad framför linsen.

Tabell 2. ImSpec, konfiguration under Kvarn-försöket

Antal spektralband	240
Spektral upplösning	ca 2.8 nm
Antal pixlar, en linje	512
Antal linjer/s	30 Hz
Bildstorlek, ett skan	197×512 pixlar
IFOV	ca 1 mrad
FOV (197x512)	ca 11.5° x 29.9°

Optech ILRIS-3D

Optech ILRIS-3D är en 3D-avbildande laserradar, även kallad laserskanner. I denna sitter en högpresterande laseravståndsmätare och mycket noggranna motoriserade speglar. Genom att skanna över scenen och i varje passerad punkt registrera avstånd och mängd reflekterat ljus, byggs en tredimensionell beskrivning av scenen upp.

Specifikationer

Laservåglängd:	1570 nm (NIR)
Synfält:	40° x 40°
Mätosäkerhet:	ca 1 cm i X-, Y- och Z-position (på 100 m avstånd)
Max spatiell täthet:	0,027 mrad mellan mätpunkterna
Max mätavstånd:	ca 500 m vid normal reflektans

Tiden för att registrera med ett skannade system såsom *Optech ILRIS-3D* är flera min. I ett framtida system kommer dock 2-dimensionella arrayer att användas, och då krymper registreringstiden till en bråkdel av en sekund.

Det bör noteras att det var en experimentell uppställning som användes i Kvarn, med hög upplösning på insamlade data för utvärdering i senare analyser. T.ex. kan ur tabell 2 utläsas att tiden för ett skan med Imspec är ca 6.5 s, men för en anomalidetektion kommer bara ett fåtal väl valda band att behöva användas och registreras, vilket kommer att korta tiden.

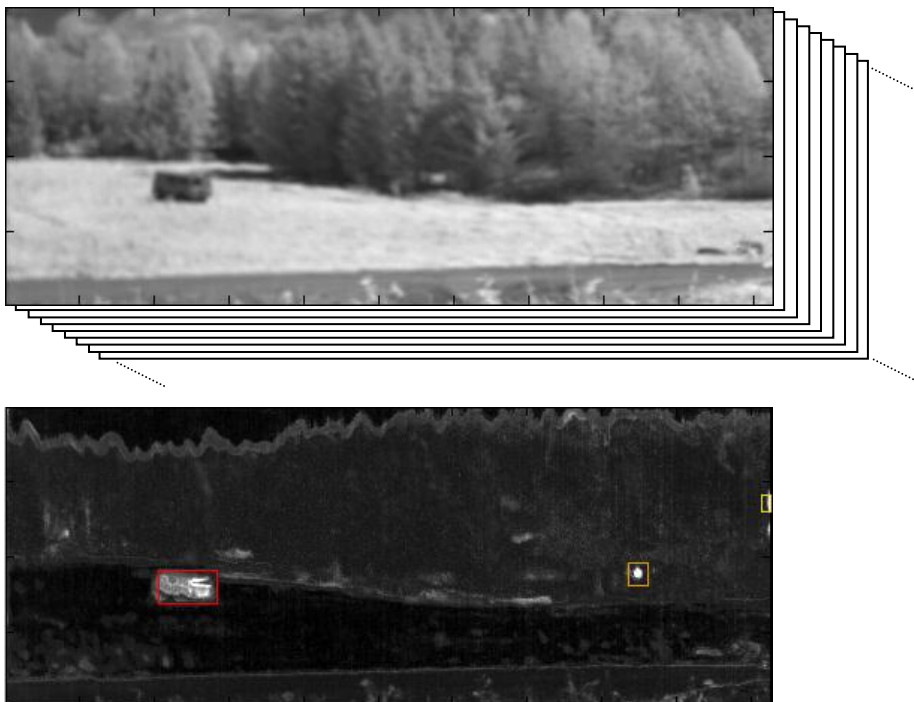
Förutom dessa två sensorer fanns även en vanlig visuell digitalkamera (5 Mpx) monterad på laserskannern. En bild på uppställningen med Imspec, Optech ILRIS-3D och den visuella kameran visas i figur 3.



Figur 3. Till vänster syns den hyperspektrala kameran Imspec med (uppifrån och ned) CCD-kamera, dispersiv del och den motoriserade spegeln. Till höger syns laserskannern Optech ILRIS-3D. Observera den digitala stillbildkameran som är monterad ovanpå laserskannern.

3 Mätdata

Dessa mätningar genererade data av två typer, hyperspektrala datamängder (Figur 4) och 3D-laserdata (Figur 6). Hyperspektrala data kan bestå av många, ibland uppåt 1000, våglängdsband fördelade över ett våglängdsintervall. Detta är svårt att visualisera men om varje pixelvärde översätts till en grånivå kan en plot av ett visst våglängdsband, på en monitor eller ett papper, se ut som ett svart-vitt fotografi, såsom den översta bilden i Figur 4 visar. Varje bildpunkt i en hyperspektral registrering innehåller med andra ord hundratals värden, som beskriver den spektralt högupplösta informationen. I denna datamängd kan man upptäcka onormala inslag, så kallade anomalier (se mer om anomalier i [4], [5], [6], [7]) på betydligt bättre sätt än i bilder från en vanlig kamera. Man kan exempelvis skilja på många typer av grönt, och därigenom har man en betydligt större möjlighet att skilja på militärgrön målarfärg och naturlig skog. Avvikelser uppträder som anomalier, som exempelvis i nedre delen av Figur 4, där de vita fläckarna tydligt visar var vi har dessa anomalier. Motsvarande färgfoto visas i Figur 5. Man ser i figur 4 att ett okamouflerat objekt har gett en mycket stark detektion även med en undanskymd placering.

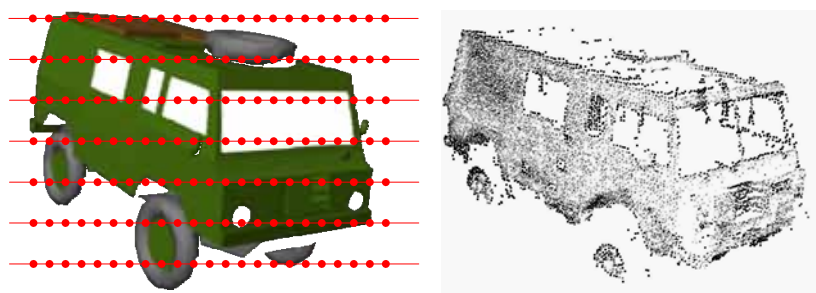


Figur 4. Den övre bilden visar ett NIR-våglängdsband på scen 8 (se tabell 1) registrerat med den hyperspektrala kameran. Kamerans optik var inte optimalt fokuserad vid registreringsstillfället och bilden är därför lite suddig. Den undre bilden visar en anomalidetektion; ju ljusare desto större avvikelse. Mest avvikande områden har markerats med fyrkanter (från vänster till höger): öppet placerad tgb3, civilklädd person stående 10-15 m in i skogen (bredvid ett kamouflagenät), vägskylt.

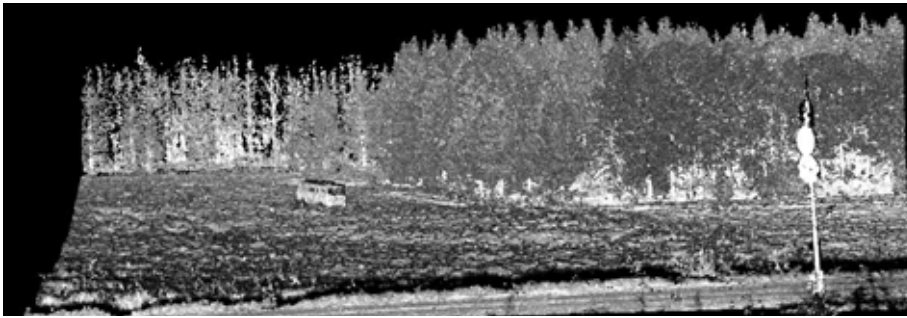


Figur 5. Ett färgfoto över vyn som analyserats i Figur 4.

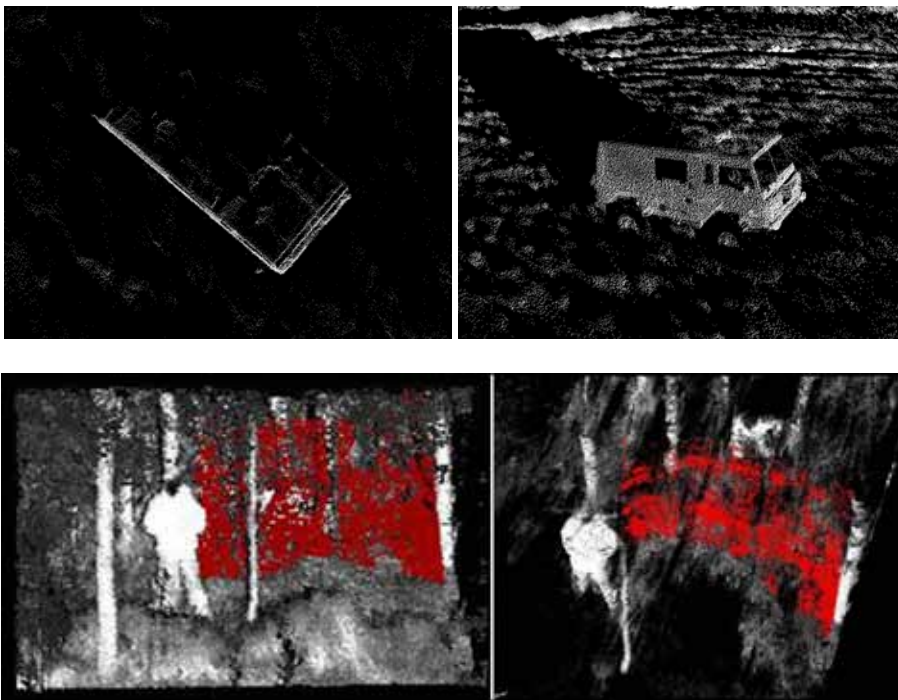
3D-laserdata består av en mängd mätriktningar och mätavstånd, se figur 6, och utgör det man brukar kalla ett punktmoln, med tredimensionella koordinater för varje mätpunkt. Eftersom data är tredimensionella kan detta punktmoln betraktas från valfritt håll vilket ger ett bra stöd för en betraktare/operatör. Färgläggningen består i detta steg av mängden reflekterat ljus i avståndsmätningen. Denna rapport visar senare hur man kan låta färgläggningen komma från annan sensor och på detta vis kombinera den tredimensionella styrkan från laserskannern med andra sensorers styrkor. Figur 7 visar motsvarande Figur 4 med fullt horisontellt synfält. Figur 8 visar förstoringar av två av anomalierna i figur 4. Figur 9 visar de uppmätta avstånden mellan sensorer och skogsbryn.



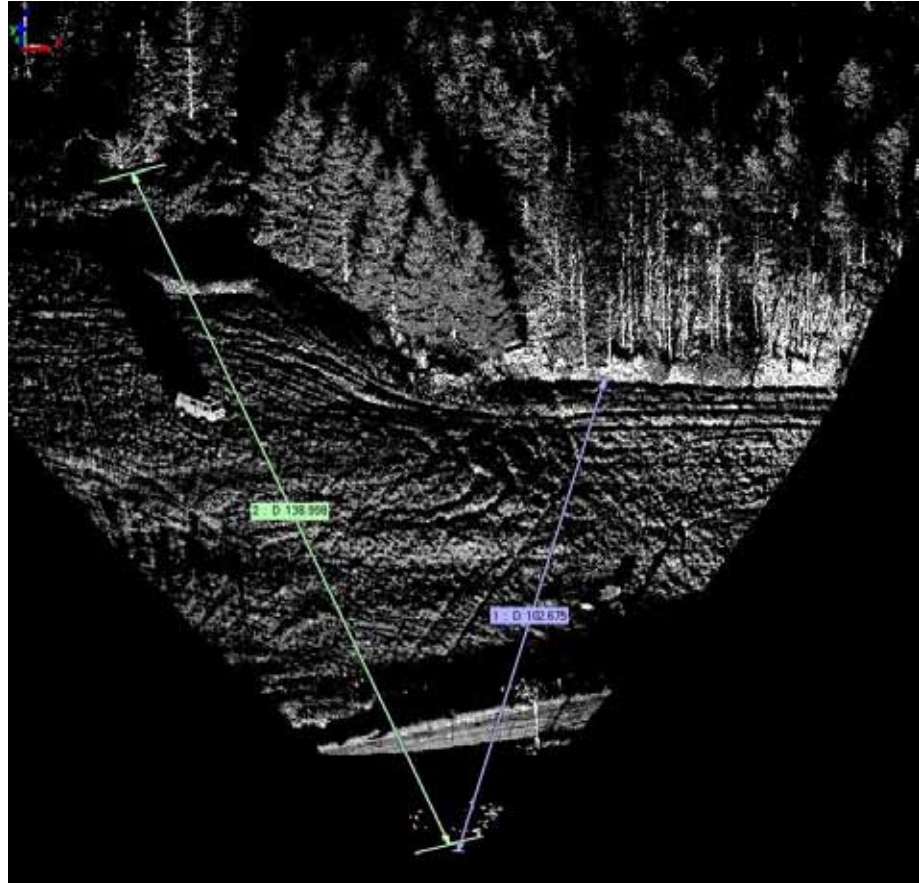
Figur 6. Data från laserskannern byggs upp av punkter som motsvarar en stor mängd enskilda avståndsmätningar (illustrerat t.v.). Resulterande punktmolnet (t.h.) kan vridas och vändas eftersom koordinaterna är globala x-, y- och z-koordinater i enheten meter. Färgen på respektive punkt motsvarar reflekterat ljus i laserskannern, där vitt betyder mycket reflekterad ljus. Notera att de svarta däcken saknas i mätdata eftersom de har så låg reflektans att de inte ger tillräckligt ljus tillbaka för att kunna registrera ett avstånd.



Figur 7. Data från laserskannern motsvarande Figur 4, med fullt horisontellt synfält.



Figur 8. Eftersom laserdata är tredimensionella är det möjligt att vrida på mätdata. Överst visas en förstoring av terrängbilen sedd uppifrån och från sidan. Nederst visas en förstoring av den stående personen bredvid kamouflagenätet (rödfärgat i bilden), sedd från sidan och uppifrån. Den vita fläcken som syns i övre delen av den högra bilden är en person som sitter på huk bakom kamouflagenätet.



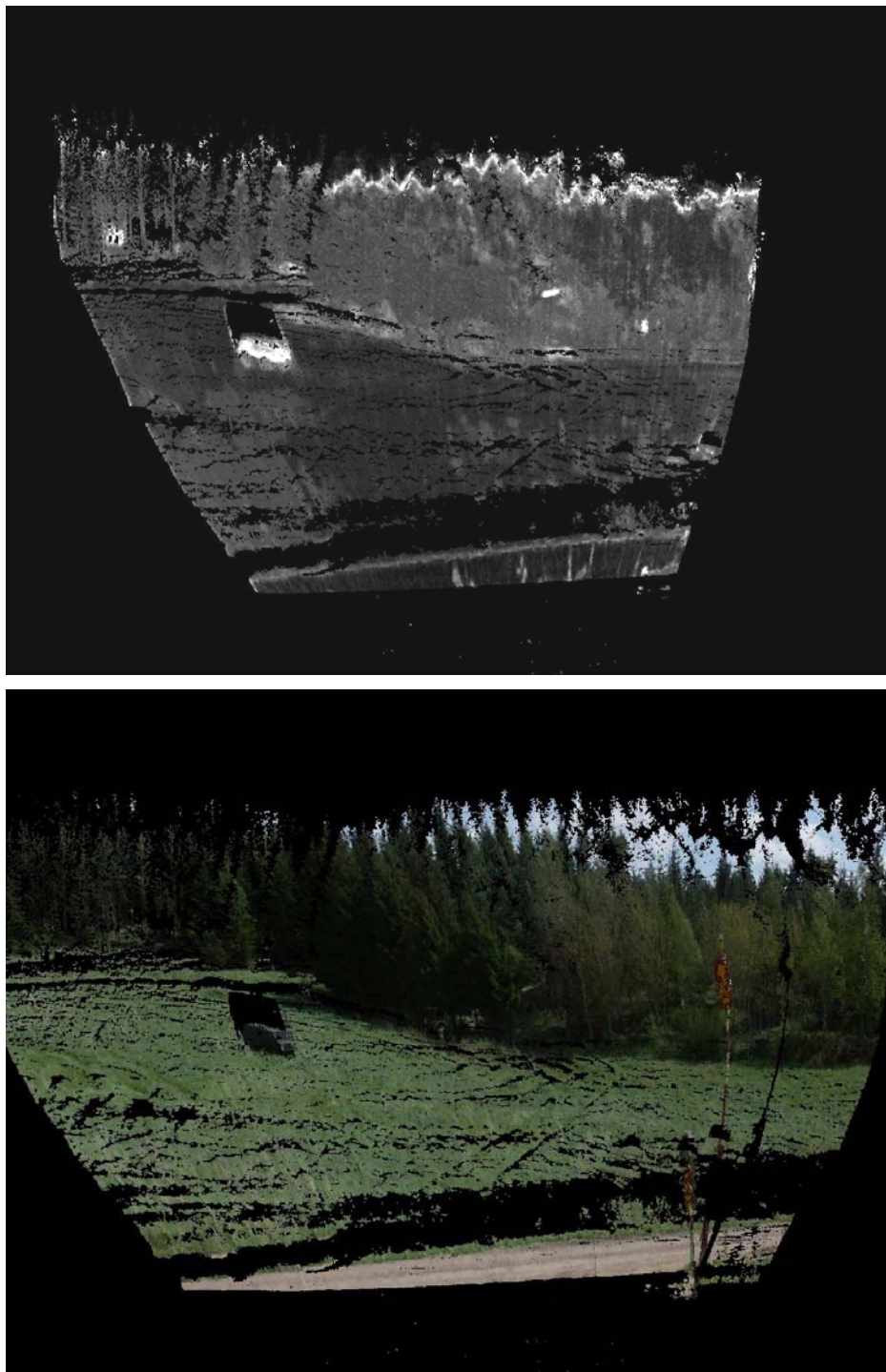
Figur 9. Data från laserskanner. Uppmätta avstånd: ca 139 m (vänster i bilden) och ca 103 m (höger i bilden)

4 Dataanalys

Sedan tidigare har dataanalys på enskilda datatyper visats, se exempelvis avsnitt 3. Där användes anomalidetektion i hyperspektrala data för att hitta områden i scenen som avviker från det normala. Som en naturlig följd av dessa upptäckter vill man detaljundersöka vissa avvikande regioner. Många högupplösta sensorer är tänkbara för detta och i dessa första försök har en laserskanner använts. Den är inte bara högupplöst, utan ger även den tredimensionella strukturen i scenen.

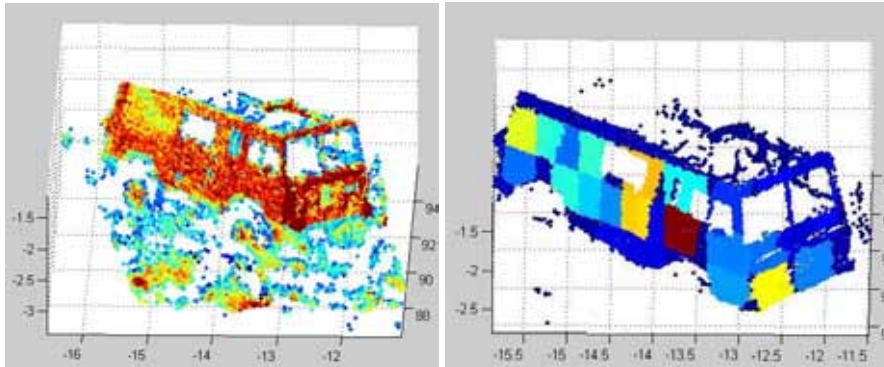
Strävan med detta arbete var att undersöka metoder för att kombinera data från de två sensorerna. För att konceptet ska fungera måste data registreras (sammanfogas) så att den geometriska kopplingen mellan sensorerna bestäms. Möjligheten till denna koppling har undersökts i [8] och [9], och har sedan förfinats till ett användbart verktyg. Den geometriska kopplingen är alltså det sätt som den ena datamängden ska korrigeras för att så bra som möjligt överlappa den andra datamängden. I vårt fall betyder det att vi söker den rotation på 3D-punktmolnet som ger samma betraktningsriktning som den hyperspektrala kameran, samt den skalning som gör att bilderna passar ihop.

När vi har denna koppling kan vi sammanväga informationen i varje bildpunkt, så att vi kan förstärka både visualisering och klassificering. I vårt exempel kan vi erhålla bilder som i figur 10 där vi färglagt 3D-data med hyperspektralt uppmätta anomalivärden (övre bilden) och RGB-värden från digitalkameran monterad ovanpå laserskannern (undre bilden). Denna datamängd kan alltså roteras och betraktas från valfri riktning. Notera att vi ser vissa defekter i kopplingen mellan data i trädtopparna, som råkat färgläggas av himlen. Detta arbete är första steget och kommande arbete går bland annat ut på att få igång en automatiskt förbättrande registrering av data.



Figur 10. Tredimensionella vridbara punktmoln färglagda med information från andra sensorer. Övre bilden är färglagd med anomalivärden från den hyperspektrala kameran och den undre färglagd med RGB-värden från digitalkameran som var monterad ovanpå laserskannern.

När dessa datamängder är kopplade till varandra kan man undersöka varje anomali (vita fläckar till vänster i figur 10) i 3D, enligt Figur 11, för att verifiera om det är hot eller inte. I den högra delen av figuren visas en signalbehandlingsmetod som hittar platta ytor i det tredimensionella punktmolnet. Man kan med liknande metoder sortera bort mark, träd, vegetation mm. För ytterligare exempel på 3D-bearbetningsmetoder hänvisas till [10].



Figur 11. För en av regionerna med högt anomalivärde i figur 10 visas till vänster korresponderande 3D-punktmängd. Röda punkter betyder en kraftig avvikelse från i naturen förekommande färger. Till höger visas resultatet av en efterföljande ytdetektor för att skilja på mål och bakgrund.

5 Resultat

Vi har visat att vi på ett tillfredsställande sätt kan koppla mätdata från sensorer av vitt skilda typer till varandra. Genom detta kan vi erhålla punkt-till-punkt-korrespondens mellan olika dataset och intressanta regioner som upptäckts med en sensor kan direkt hittas i andra dataset. Vi kan även redan innan detektionsmetoden kombinera data och härigenom få en kraftigt förstärkt upptäcktsförmåga.

Detta första arbete visar potentialen med att fusionera data på en sensornära nivå. Fortsatt arbete kommer att sträva mot fullt automatiserade metoder för registrering av data, samt mot framtagande av mer generella metoder att kombinera data från ett vidare spektra av sensorer.

6 Referenser

- [1] H. Larsson, P. Nilsson, T. Chevalier, and R. Persson, *Mätrapport samverkande sensorer Ströplahult Norra maj 2006*, FOI-D--0621--SE, (2006).
- [2] <http://www.specim.fi>
- [3] Ingmar Renhorn, *Modelling of imaging spectral sensors*, FOI-R--2118--SE, (November 2006)
- [4] J. Ahlberg and I. Renhorn, *Multi- and Hyperspectral Target and Anomaly Detection*, Scientific Report, FOI-R--1526--SE, (December 2004).
- [5] J. Ahlberg, I. Renhorn, T. Svensson, T. Winzell, and G. Carlsson, *Multispektrala IR- & EO-sensorer 2005*, FOI-R--1815--SE, (December 2005).
- [6] J. Ahlberg, *A Matlab Toolbox for Analysis of Multi/Hyperspectral Imagery*, Technical Report, FOI-R--1962--SE, (March 2006).
- [7] Oskar Brattberg, Jörgen Ahlberg, *Analysis of multispectral reconnaissance imagery for target detection and operator support*, FOI-S--2168--SE, (2006)
- [8] K. Chan, *Registration of 3-D laser radar data with hyperspectral imagery for target detection*, FOI, Linköping, Technical Report, FOI-R--2101--SE, (Nov 2006).
- [9] C. Freyhult, *Visualisation and detection using 3-D laser radar and hyperspectral sensor*, Technical Report, FOI-R--2125--SE, (Nov 2006).
- [10] T. Chevalier, P. Andersson, C. Grönwall, F. Gustafsson, J. Landgård, H. Larsson, D. Letalick, A. Linderhed, O. Steinvall, and G. Tolt, *Årsrapport 3D-laser 2005*, User Report, FOI-R--1807--SE, (Dec 2005).