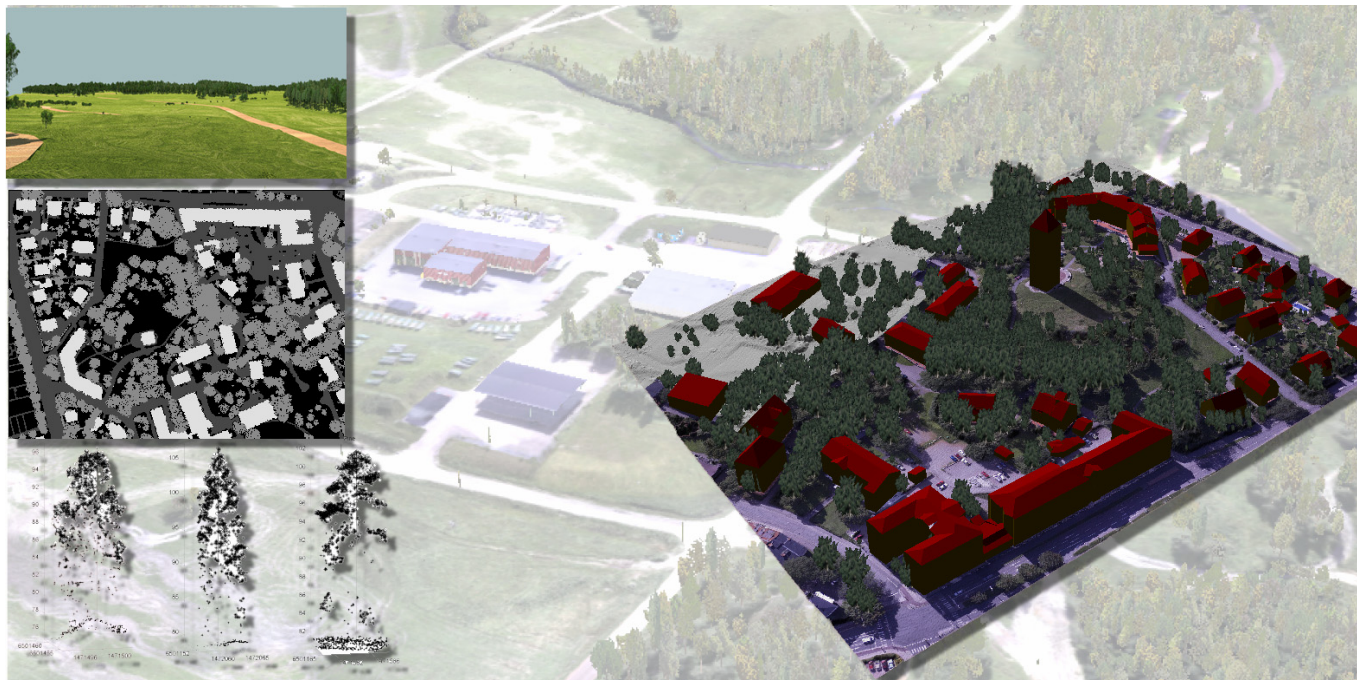


Simon Ahlberg, Magnus Elmqvist, Åsa Persson, Ulf Söderman

Metoder för framställning av högupplösta syntetiska omgivningar / omvärldsmodeller för sensorsimulering



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1110--SE

December 2003

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Simon Ahlberg, Magnus Elmqvist, Åsa Persson, Ulf Söderman

Metoder för framställning av högupplösta syntetiska omgivningar / omvärldsmodeller för sensorsimulering

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1110--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 2. Utformning av totalförsvaret	
	Månad, år December 2003	Projektnummer E3038/E3050
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 21 Modellering och simulering	
Författare/redaktör Simon Ahlberg Magnus Elmqvist Åsa Persson Ulf Söderman	Projektledare Simon Ahlberg	
	Godkänd av Svante Ödman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Metoder för framställning av högupplösta syntetiska omgivningar / omvärldsmodeller för sensorsimulering		
Sammanfattning (högst 200 ord) Modeller av den naturliga omgivningen, s.k. omvärldsmodeller eller Syntetiska Naturliga Omgivningar (SNO), har central roll i försvarsmaktsrelaterad MoS-verksamhet. De bildar den gemensamma "spelplan" där de simulerade operationerna och interaktionerna äger rum. Beroende på syftet med simuleringarna representerar SNO olika aspekter hos omgivningen för mark-, sjö-, och luftoperationer (ibland också rymd) tvärs hela spektrumet av tillämpningar (väpnad strid, fredsbevarande operationer, krishantering, osv). Projektet "Syntetiska omgivningar" har omfattat kompetensuppbyggnad avseende Syntetiska Naturliga Omgivningar (SNO), samt studier och utveckling av metoder och verktyg för konstruktion av högupplösta och detaljerade SNO. Ett nytt förslag till standard för SNO benämnt SEDRIS har studerats och vissa prov har genomförts. En demonstrator i form av en högupplöst SNO för visuell 3D-realtidsimulering har tagits fram med hjälp av utvecklade metoder. Projektet "Sensorsimulering" har omfattat kompetensuppbyggnad avseende SNO för sensorsimulering. Särskilt krav för att möjliggöra IR-sensorsimulering har studerats. Under verksamhetens gång har många framgångar och intressanta resultat nåtts. Metoder har utvecklats för att hantera de olika stegen i dataframtagningsprocessen som identifierats. Under projektets gång har allt fler tillämpningar och användningsområden för högupplösta omvärldsmodeller identifierats, både militära och civila.		
Nyckelord Omvärldsmodellering, laserradar, hög upplösning, standarder, SEDRIS, SNO, lägesbild, simulering, modellering, SBM, visualisering, särdragsextraktion, husrekonstruktion, markmodell, trädidentifiering, laser, lasermätning		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 78 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista Sekretess	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1110--SE	Report type Methodology report
	Research area code 2. Military Defence and Civil Emergency Planning	
	Month year December 2003	Project no. E3038/E3050
	Customers code 5. Contracted Research	
	Sub area code 21 Modelling and Simulation	
Author/s (editor/s) Simon Ahlberg Magnus Elmqvist Åsa Persson Ulf Söderman	Project manager Simon Ahlberg	
	Approved by Svante Ödman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Methods for producing high resolution synthetic environments / environment models for sensor simulation		
Abstract (not more than 200 words) Models of the natural environment, environment models or Synthetic Natural Environments (SNE) have a central part in the M&S activities of the Swedish Armed Forces. They form the common “playfield” where the simulated operations and interactions take place. Depending on the purpose, SNEs represent different environmental aspects for ground, sea and land operations (sometimes also space) across the whole spectrum of applications (armed combat, peace support operations, crisis management, etc.). The project “Synthetic Environments” has comprised of knowledge building concerning SNEs and studies and development of methods for constructing high resolution and detailed SNEs. A new standards proposal called SEDRIS has been studied and some tests have been implemented. A demonstrator in the form of a high resolution SNE for visual 3D realtime simulation has been produced using the developed methods. The project “Sensor Simulation” has comprised of knowledge building concerning SNEs for sensor simulation. Requirements for carrying out IR sensor simulation have been particularly studied. During the course of the activities, many successes and interesting results have been achieved. Methods have been developed to handle the different steps in the data production process. During the course of the project, even more applications for high resolution SNEs have been identified, both military and civilian.		
Keywords		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 78 p.	
Price acc. to pricelist Security classification		

INNEHÅLL

1	<u>INLEDNING</u>	9
1.1	PROJEKTEN	9
1.1.1	SYNTETISKA OMGIVNINGAR	9
1.1.2	SENSORSIMULERING	9
2	<u>OMVÄRLDSMODELLER</u>	11
2.1	ALLMÄNT	11
2.2	KONCEPTUELL MODELL AV SNO	12
2.3	SNO OCH INTEROPERABILITET	13
2.4	TILLÄMPNINGARS KRAV PÅ SNO	14
2.4.1	VISUALISERING OCH MEKANISK RÖRELSE	15
2.4.2	AUTOMATISKA RESONEMANG	16
2.4.3	NATURTROGENHET	16
2.5	FRAMTAGNING AV SNO	17
2.6	STANDARDS FÖR SNO	19
3	<u>HÖGUPPLÖSTA OMVÄRLDSMODELLER</u>	21
3.1	TILLÄMPNINGAR	21
3.2	DATAINSAMLING	23
3.2.1	DATA FRÅN LASERSKANNING	23
3.2.2	BILDER	26
3.3	INSAMLADE DATA	26
3.3.1	FRAMTIDA DATAINSAMLING	27
3.4	DATAORGANISATION	27
3.5	MARKESTIMERING	28
3.5.1	METODBESKRIVNING	28
3.5.2	FRAMTIDA ARBETE	30
3.5.3	PUBLIKATIONER	30
3.6	KLASSIFICERING	30
3.6.1	PÅGÅENDE ARBETE	32
3.6.2	FRAMTIDA ARBETE	33
3.6.3	PUBLIKATIONER	33
3.7	TRÄDIDENTIFIERING	34
3.7.1	PÅGÅENDE OCH FRAMTIDA ARBETE	36
3.7.2	PUBLIKATIONER	38
3.8	HUSREKONSTRUKTION	38
3.8.1	MODELLBASERAD METOD	38
3.8.2	GENERELL METOD	40
3.8.3	FRAMTIDA ARBETE	42
3.8.4	PUBLIKATIONER	43
4	<u>OMVÄRLDSMODELLER FÖR SENSORSIMULERING</u>	45

4.1	BAKGRUND	45
4.2	OMGIVNINGSMODELLER FÖR SENSORSIMULERING	45
4.3	VÄRDERING AV PROGRAMVARA FÖR SENSORSIMULERING	47
4.4	MATERIALSTYRD MODELLERING AV TERRÄNG	48
4.5	CAMEO-SIM	50
4.6	IR-TEXTURERING AV KVARNMODELL	50
5	<u>REPRESENTATION AV OMVÄRLDSMODELLER / STANDARDS</u>	<u>53</u>
5.1	SEDRIS	53
5.2	SAMARBETE FMV/FOI/GEOSE	55
6	<u>DEMONSTRATOR: HÖGUPPLÖST GEOSPECIFIK OMGIVNINGSMODELL</u>	<u>57</u>
6.1	GRUNDDATA	57
6.2	VERKTYG	57
6.3	DATABEHANDLING	57
6.3.1	MARKYTA	57
6.3.2	BYGGNADER	58
6.3.3	ENSKILDA TRÄD	59
6.3.4	VÄGAR OCH VATTENDRAG	60
6.3.5	ORTOREKTIFIERING OCH ORTOFOTOMOSAİK	61
6.3.6	OMVÄRLDSMODELLERING - RESULTAT	61
6.3.7	IR-ANPASSNING	62
7	<u>RESULTAT OCH KUNSKAPSÖVERFÖRING</u>	<u>63</u>
7.1	RESULTAT	63
7.2	PUBLIKATIONER	63
7.3	AVTAPPNING, STÖD	63
7.3.1	STÖD TILL ANDRA PROJEKT	63
7.3.2	STÖD INOM FM/FMV	66
7.4	SAMARBETE UOH	68
8	<u>SLUTSATSER OCH BEHOV AV FORTSATT ARBETE</u>	<u>71</u>
8.1	SLUTSATSER	71
8.1.1	HÖG UPPLÖSNING	71
8.1.2	AKTUELLA UNDERLAG	71
8.2	BEHOV AV FORTSATT ARBETE	71
8.2.1	OFULLSTÄNDIGA DATA - KVALITETSMÅTT	71
8.2.2	SENSORSIMULERING	71
8.2.3	VÄXELVERKAN	72
8.2.4	STANDARDS	72
8.2.5	AUTOMATISERING	72
8.3	SUMMERING	73
9	<u>REFERENSER</u>	<u>75</u>

10 BILAGOR

77

10.1.1	ARTIKLAR	77
10.1.2	KONFERENSBIDRAG	77
10.1.3	RAPPORTER	78

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar arbetet i projekten ”Syntetiska omgivningar” och ”Sensorsimulering” som drivits på FOI Sensorteknik, institutionen för lasersystem under åren 2001-2003. Arbetet har bedrivits inom FoT-område Modellering och simulering.

1.1 Projekten

De två projekten har genomförts med delvis gemensam personal vilket har underlättat kunskapsutbyte och har medfört ett fruktbart och ömsesidigt utbyte av kunskap och resultat. Problemställningar och lösningar i det ena projektet har direkt fångats upp och överförts och påverkat det andra projektet.

Den experimentella delen med återkommande tester och värderingar av olika metoder och verktyg har genomförts i samverkan mellan projekten. På så vis har experiment med framtagning av omvärldsmodeller resulterat i modeller som utnyttjas för test och utvärdering av såväl normal visuell realtidsvisualisering som IR-sensorsimulering.

1.1.1 Syntetiska Omgivningar

Projektet ”Syntetiska omgivningar” har omfattat kompetensuppbyggnad avseende Syntetiska Naturliga Omgivningar (SNO)¹, samt studier och utveckling av metoder och verktyg för konstruktion av högupplösta och detaljerade SNO. Ett nytt förslag till standard för SNO benämnt SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) har studerats och vissa prov har genomförts. En demonstrator i form av en högupplöst SNO för visuell 3D-realtidsimulering har tagits fram med hjälp av utvecklade metoder.

1.1.2 Sensorsimulering

Projektet ”Sensorsimulering” har omfattat kompetensuppbyggnad avseende SNO för sensorsimulering. Särskilt krav för att möjliggöra IR-sensorsimulering har studerats. Test och experiment har genomförts med kommersiella (COTS) produkter.

¹ Från engelskans Synthetic Natural Environment (SNE)

2 Omvärldsmodeller

2.1 Allmänt

Modeller av den naturliga omgivningen, s.k. omvärldsmodeller eller Syntetiska Naturliga Omgivningar (SNO), har central roll i försvarsmaktsrelaterad MoS-verksamhet. De bildar den gemensamma ”spelplan” där de simulerade operationerna och interaktionerna äger rum. Beroende på syftet med simuleringarna representerar SNO olika aspekter hos omgivningen för mark-, sjö-, och luftoperationer (ibland också rymd) tvärs hela spektrumet av tillämpningar (väpnad strid, fredsbevarande operationer, krishantering, o.s.v.). En SNO representerar ofta en sann geografisk plats i världen (en geo-specifik SNO), alternativt en typisk plats eller klass av platser i världen, (en geo-typisk SNO). Innehållet i en SNO utgörs av taktiskt avgörande naturliga egenskaper inom land, sjö och luftdomänerna, konstruerade objekt som byggnader, broar, vägar, o.s.v. samt yttre karakteristika hos plattformar, t ex geometri och ytmaterial. Omfattningen och innehållet i en modell varierar mellan de olika tillämpningar och med de funktioner som ska realiseras, t ex 3D-visualisering, simulering av sensorer och sensornätverk, bekämpning, spårbildning, gasutbredning, dygns- och årstidsvariationer, väder, datorstyrda (syntetiska) stridskrafter (Computer Generated Forces) o.s.v.

Följande är några exempel på definitioner av SNO som används på olika håll i världen. Inom SEDRIS-projektet i USA (SEDRIS = Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) som behandlar standardisering av SNO används följande definition (se www.sedris.org).

”As used in SEDRIS, the synthetic environment is the representation of the natural environment at a specific geographical location including the external features of the systems within the simulated space. Therefore, the synthetic environment includes the terrain, terrain features (both natural and man-made), 3-D models of vehicles, personnel, and certain terrain features, the ocean (both on and below the surface), the ocean bottom including features (both natural and man-made) on the ocean floor, the atmosphere including environmental phenomena, and near space. In addition, the synthetic environment includes the specific attributes of the environmental data as well as their relationships.”

I Storbritannien använder The National Advisory Council (NAC) for Synthetic Environments and Simulation, UK, (www.semb.co.uk) följande definition,

*“**Synthetic Natural Environment (SNE):** Models, simulations and equipment that can create the information required to induce the presence of the real [natural] world, including the weather, ground or sea surface and natural or artificial lighting.”*

Exempel på en tredje är (Birkel 1998),

”SNE – The representation of the physical world within which all models of military systems exist and interact. It includes both data and models representing the elements of the environment and their effects on military systems, and models of the impact of military systems on environmental variables (e.g. contrails, dust clouds from moving vehicles, spoil from combat engineering)”

2.2 Konceptuell modell av SNO

Från ett begreppsmässigt perspektiv kan innehållet i en SNO sägas bestå av tre grundläggande element: en representation av den aktuella omgivningen (tillstånd och fenomen), den inverkan omgivningen har på simulerade enheter och den påverkan som de simulerade enheterna har på omgivningen. P Birkel introducerade 1998 en konceptuell referensmodell för SNO baserat på detta innehåll (Birkel 1998). Denna har sedan använts och vidareutvecklats av andra inom MoS-området (Hummel & Blake, 2001). Modellen gör en uppdelning av innehållet i en SNO i två huvudgrupper:

I. Naturlig omgivning

Parametrar och modeller som beskriver den naturliga omvärlden. Innehållet delas upp i två delar: ett tillstånd samt interna processer.

A. Tillstånd

En stor mängd parametrar (data) vars värden beskriver ett (ögonblickligt) tillstånd i omvärlden. De olika parametrarna representerar många olika aspekter, t.ex. terrängtyper, 3D-modeller, väder, sjötillstånd, o.s.v. Parametrarna representerar såväl statiska som tidsvariabla och föränderliga betingelser i omvärlden.

B. Processer

Modeller som beskriver ”interna” fysikaliska processer i omvärlden som orsakar spatiella och tidsmässiga förändringar i omvärldstillståndet, t.ex. väder, dygns- och årstidsvariationer, vattennivå i floder, hav etc.

II. Växelverkan

En uppsättning modeller som beskriver olika typer av växelverkan mellan simulerade enheter och omvärlden. Modellerna kan delas in i två grupper baserat på vem som påverkar vad.

A. Omgivningseffekter

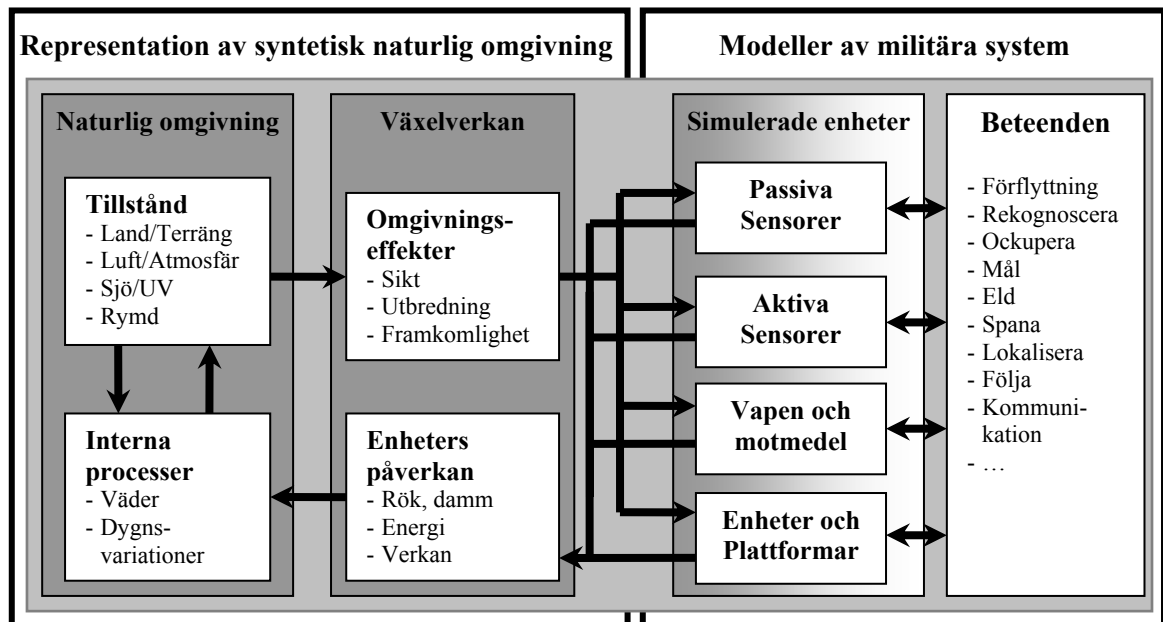
Modeller som beskriver olika effekter orsakade av omvärldens inverkan på simulerade enheter, t.ex. sensorer, vapen, farkoster, o.s.v. Exempel är

modeller för atmosfärstransmission (sikt) och modeller för framkomlighet som resultat av bärighet, friktion, vattendjup o.s.v.

B. Enheters påverkan

Modeller som beskriver olika typer påverkan som simulerade enheter (sensorer, vapen, farkoster, o.s.v.) har på omvärldstillståndet. Exempel är modeller för vapenverkan (krater, kulhål), spårbildning efter fordon, rökutveckling, o.s.v.

I Figur 1 illustreras den konceptuella modellen som också omfattar simulerade enheter och beteendebeskrivningar. Notera att modellen för SNO bara ger en begreppsmässig uppdelning av innehållet som inte nödvändigtvis behöver överensstämma med en faktisk implementation i en simulator.



Figur 1: SNO i större sammanhang.

2.3 SNO och interoperabilitet

En förutsättning för att kunna genomföra avancerade distribuerade simuleringar (ADS) där flera olika typer av deltagare samverkar, från mindre fristående simulatorer till stora simuleringsanläggningar, är att dessa kan interagera med varandra på ett för simuleringen effektivt och meningsfullt sätt. Förmågan till den här typen av meningsfull interaktion brukar benämnas interoperabilitet. Några exempel på internationellt använda definitioner av begreppet interoperabilitet ges nedan. Inom SEDRIS-projektet används följande definition, se www.sedris.org:

“Interoperability - 1: enables distributed heterogeneous simulation systems to be interactive so that a meaningful exercise may be conducted. 2: the ability of a model or simulation to provide services to and accept services from other models and simulations, and to use the services so exchanged to enable them

to operate effectively together. 3: two training systems interoperating to present a single training exercise in the same simulated space to a geographically dispersed audience.”

The National Advisory Council (NAC) for Synthetic Environments and Simulation, UK, (www.semb.co.uk) använder följande definition:

“Interoperability - *The ability of a model or simulation to provide services to and accept services from other models and simulations, and to use the services so exchanged to enable them to operate effectively together.*”

För att uppnå den eftersträlvade interoperabilitet krävs gemensamma synsätt och överenskommelser (standarder). När det gäller SNO så är det t.ex. nödvändigt att alla deltagare i en heterogen distribuerad simulering verkar i en och samma (gemensamma) syntetiska naturliga omgivning. Av flera olika skäl, t ex begränsningar i presentanda och andra kapaciteter, eller behov av särskilda representationer av omvärldsdata så behöver ofta olika deltagare använda lokala representationer av den gemensamma naturliga omgivningen. I en simulator för visuell simulering representeras vägar, byggnader osv normalt med hjälp av polygoner och texturer som beskriver objektens geometri och utseende, detta för att underlätta en realistisk visualisering av omvärlden. Det kan jämföras med den representation av samma objekt som en simulator för datorgenererade stridskrafter använder. Här representeras objekten istället med linjer, punkter eller andra symboler, (jämför med en karta), detta för att möjliggöra automatiska resonemang och beslut med hjälp av de beteendemodeller som driver enheterna under simuleringen. Olika användningsområden och tillämpningar innebär också olika kompromisser när det gäller vilka aspekter hos den komplexa naturliga omvärlden som ska modelleras och med vilken noggrannhet de ska modelleras.

Att uppnå interoperabilitet i distribuerade simuleringar kompliceras av alla dessa multipla, lokala och varierande representationer av en och samma SNO. Den interoperabilitet som faktiskt kan uppnås blir avhängig graden av korrelation mellan de lokala representationerna av den gemensamma syntetiska naturliga omgivningen. Förmågan att tillhandahålla multipla korrelerade SNO blir därför en förutsättning för utvecklingen av avancerad distribuerad simulering inom försvarsmaktens MoS-verksamhet. Det nu växande behovet av allt mer komplexa SNO adderar på svårigheten att konstruera dessa korrelerade SNO och accelererar därmed behovet av kunskap inom området omvärldsmodellering.

2.4 Tillämpningars krav på SNO

De många olika representationerna av SNO som förekommer inom försvarsrelaterad MoS är ett resultat av alla de krav som ställs från tillämpningarna. Ett exempel är krav från de modeller av militära system som ska ingå i simuleringen, dvs de enheter och system (plattformar, aktörer/enheter, ledningssystem, vapen, sensorer, motmedel anläggningar, kommunikationssystem, o.s.v.) och de beteendenmodeller (förflyttning, spaning, målföljning/inmätning, bekämpning, siktanalys, etc.) som återfinns i högra delen i Figur 1. Andra krav härrör från behov att realisera funktioner som

visualisering, mekanisk rörelse och automatiska resonemang samt från önskemål om den grad av naturtrogenhet som ska användas i simuleringen.

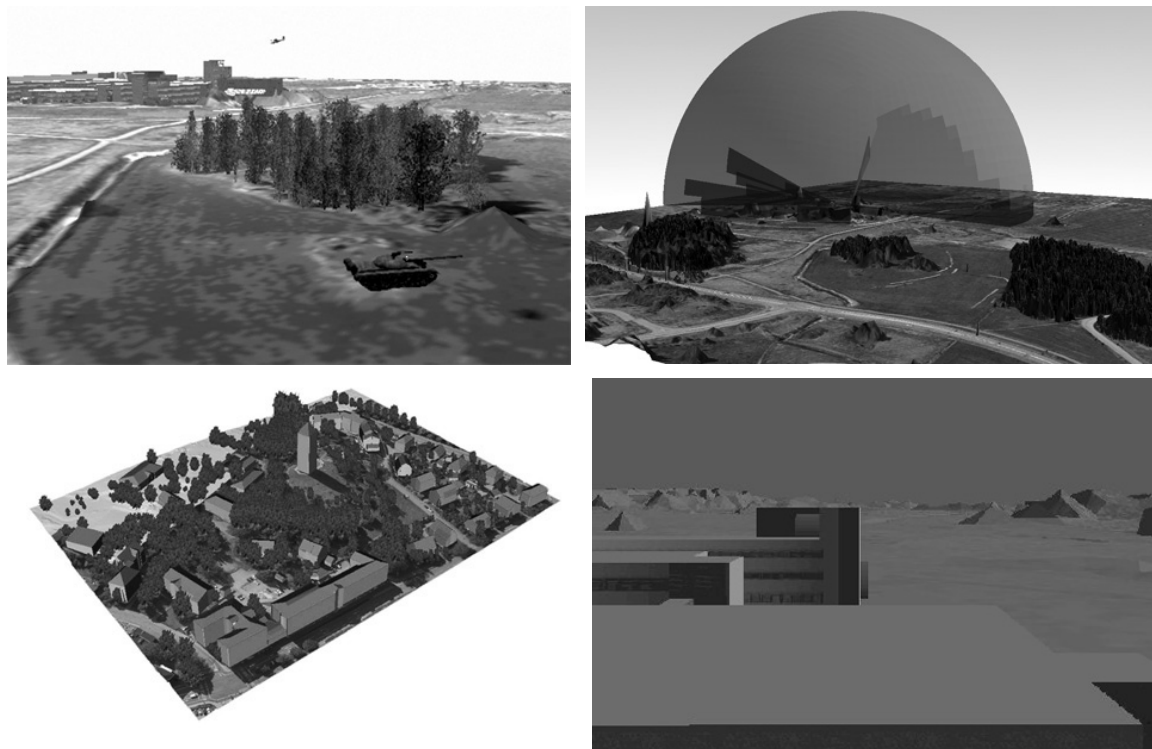
2.4.1 Visualisering och mekanisk rörelse

Beroende på tillämpningen kan en SNO behöva stödja olika former av 2D- och 3D-visualisering. I t.ex. en ledningssystemsimulator kan flera olika former av visualisering efterfrågas. Lägesbilden kan kräva 2D-kartpresentation med överlagrade symboler för mål och enheter eller 3D-vyer av landskapet med ikoner och "hotsfärer". För insatsplanering kan visuella 2D- och 3D-vyer av insatsområdet tillsammans med olika kartbilder vara önskvärda. Ett annat exempel är farkostsimulatorer för bl a utbildning och träning. Här används ofta 2D- och 3D-realtidsvisualisering (och ibland också mekanisk rörelse) för att skapa en situation som efterliknar den som en operatör erfar i en verklig farkost, vanligtvis en visuell 3D-vy av omgivningen och en eller flera 2D-vyer motsvarande de kartpresentationer och sensorbilder som finns på olika paneler och presentationssystem (t ex, head mounted displays).

För att stödja de olika behoven av visualisering behöver representationen av SNO ofta vara särskilt anpassad till tillämpningen. En bildgenerator för visuell Realtidsvisualisering kräver som indata en "geometrisk" modell av omgivningen uppbyggd av polygoner och texturer. Polygonerna är 2D-ylor och används för att beskriva geometrin hos objekt och landskap. Texturerna är 2D-bilder som applicerats på polygonerna för att skapa ett effektfullt och verklighetstroget visuellt intryck.

Om en sensor, t.ex. en IR-kamera, också behöver simuleras och IR-bilder visualiseras så måste ytterligare information representeras i den SNO som ska användas. Modellen kan utvidgas genom att extra attribut (temperatur, materielegenskaper som optisk reflektion och värmeledning) associeras med polygonerna och texturerna. Mer om detta finns i avsnittet om sensorsimulering (kapitel 4). Några exempel på 3D-visualisering av en SNO finns i Figur 2.

På liknande sätt kan en SNO också utvidgas till att stödja ett mekaniskt rörelsesystem i en farkostsimulator. För t.ex. en markfarkostsimulator kan polygoner och texturer i en SNO utvidgas med attribut som beskriver bärighet, friktion, fukt, o.s.v. Förutom att tillhandha lämpliga indata till rörelsemodeller och bildgenerering måste representationen av SNO i dessa fall också anpassas till särskilda prestandakrav. Om inte rörelsen och visualiseringen kan åstadkommas med tillräcklig korrelation, t.ex. på grund av tidsfördröjningar för dataåtkomst och beräkningar, kan simulatorsjuka (jämför sjösjuka) drabba operatören.



Figur 2: Exempel på syntetisk naturlig omgivning. (ö v) Visuell simulering, (ö h) hotsfärer, (n v) rekonstruerad stadsmodell, (n h) simulerad strålningsbild för IR-simulering.

2.4.2 Automatiska resonemang

Med automatiska resonemang baserade på SNO avses här funktioner som med hjälp av innehållet i SNO beräknar olika typer av resultat som påverkar och styr olika simulerade enheter. Det kan vara funktioner för att bestämma sikt och upptäckt för olika typer av sensorer, framkomlighet för olika farkoster i olika situationer, verkan av olika vapen, kommunikationsförmåga, o.s.v.

För att bestämma sikt och upptäckt finns en mängd olika algoritmer utvecklade. Många använder höjddata som beskriver terrängens topografi. Vissa använder sig också av objekt på terrängens yta som kan vara skymmande, t.ex. byggnader, träd, etc. Ytterligare mer sofistikerade metoder tar också hänsyn till atmosfär, väder, rök, o.s.v. Beroende på tillämpningen och behovet av noggrannhet i bestämningen av sikt och upptäckt kommer krav att ställas på vad som behöver representeras i en SNO.

På liknande sätt kommer övriga typer av automatiska resonemang också att ställa olika krav på innehållet i en SNO.

2.4.3 Naturltrogenhet

Representationen av SNO bestäms också av den grad av naturltrogenhet som efterfrågas i tillämpningen. Naturltrogenhetskravet kan dels in två delar, dels krav på upplösning och detaljrikedom och dels noggrannheten i avbildningen av den fysikaliska verkligheten.

2.4.3.1 Upplösning

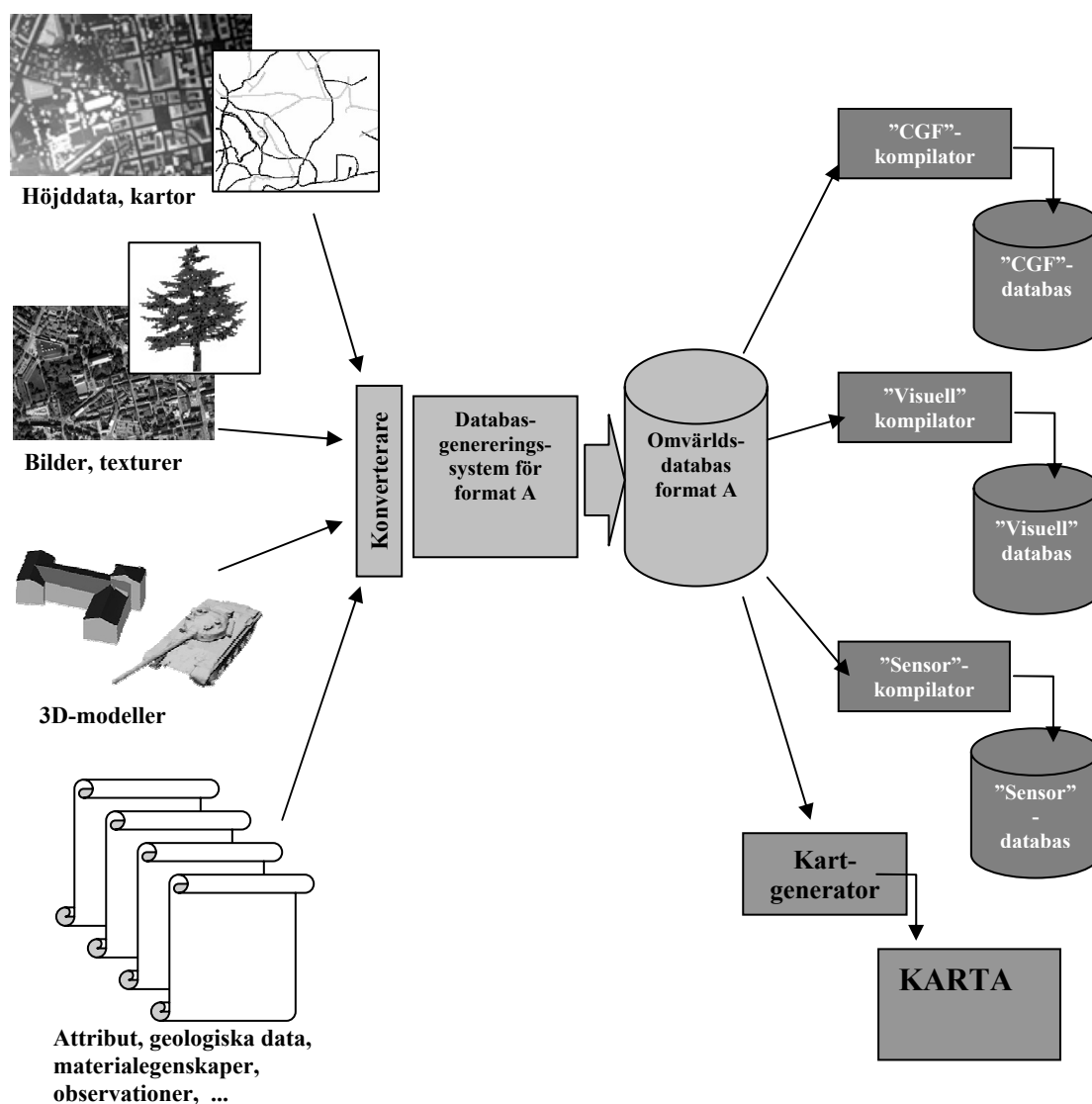
Kravet på upplösning varierar mycket mellan olika tillämpningar. I den ena extremen finns tillämpningar med SNO som representerar stora geografiska områden med en hög grad av generalisering, dvs låg upplösning och få detaljer. Ett exempel är luftförsvaret där flygande plattformar (flygplan, robotar o.s.v.) snabbt rör sig över stora ytor på relativt hög höjd. I den andra extremen finns tillämpningar där SNO istället representerar små lokala geografiska områden men med mycket hög upplösning och många detaljer. Ett exempel är strid i bebyggelse där avsuttna soldater genomför operation i och utanför enskilda byggnader. Tillämpningar som ställer stora krav på båda delarna, d.v.s. både stora områden och hög detaljrikedom, finns också och de ställer extra stora krav på SNO. Ett konkret exempel på detta är helikoptersimulatorer. Helikoptrar opererar över stora ytor och på låg höjd. Terrängens topografi utnyttjas ofta taktiskt vilket gör att en god upplösning krävs.

2.4.3.2 Noggrannhet

Kravet på noggrannhet i avbildning av den fysikaliska verkligheten varierar också mellan olika tillämpningar och medför olika krav på SNO. Krav på fysikaliskt exakta modeller återfinns t.ex. i MoS-tillämpningar för analys, värdering och utveckling av tekniska delsystem, t.ex. analys och värdering av signaturanpassningsåtgärder.

2.5 Framtagning av SNO

Framställning av SNO sker normalt genom bearbetning och integration av data som t.ex. digitala kartor, höjddatabaser, flyg- och satellitbilder, objektmodeller (byggnader, fordon, broar etc.) och olika typer av materialdatabaser (se Figur 3).



Figur 3: Framtagningsprocess för omgivningsmodeller.

De kart-, höjd- och bilddata som används idag är huvudsakligen av konventionella GIS-data med relativt låg detaljrikedom, till exempel Lantmäteriets Geografiska Sverigedata (GSD). Krävs högre detaljeringsgrad måste oftast helt nya data anskaffas. Objektmodeller kräver ofta separat modellering, företrädesvis manuellt baserat på CAD-underlag, ritningar eller fotografier. Materialdatabaserna, som kan innehålla data som beskriver fysikaliska egenskaper relevanta för elektromagnetisk och akustisk vågutbredning (reflektion, dämpning, spridning o.s.v.), egenskaper för mekanisk hållfasthet, värmeledning, osv, sammanställs från existerande (tabeller och dylikt) eller kommersiellt anskaffat material. I vissa fall kan egna mätningar vara nödvändiga för att få fram önskat material.

Projekten "Syntetiska omgivningar" och "Sensorsimulering" syftar till att öka kunskapen och utveckla nya metoder för att stödja försvarsmakten och möta efterfrågan på allt mer komplexa SNO.

2.6 Standarder för SNO

Standarder är av stor betydelse för att framtagna SNO och/eller delar därav ska kunna hanteras och distribueras på ett effektivt sätt. Vidare finns förhoppningen om att en högre grad av återbruk och enklare utbyte av data skulle också kunna erhållas, vilket skulle ge effektivitetsvinster både sett till tid och kostnader.

Ett förslag till en ny standard för SNO benämnd SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) bedöms kunna öppna för mer standardiserade framtagnings-, nyttjande- och underhållsprocesser och därmed bättre effektivitet. SEDRIS är för närvarande under granskning inom ISO (internationella standardiseringsorganisationen) och har bakom sig har ett mycket omfattande standardiseringsarbete inom främst det amerikanska försvaret lett av DMSO (Defense Modelling & Simulation Office, www.dmsomil.com).

En utförligare beskrivning av SEDRIS återfinns i kapitel 5.

3 Högupplösta omvärldsmodeller

Önskemål om mer detaljerade och högupplösta omvärldsmodeller än vad som är möjligt att producera med de normalt använda GSD finns inom flera försvarsrelaterade MoS-tillämpningar. Till exempel förbättrad omvärld för Stridsträningssanläggning (STA) och Besättningsträningssanläggning (BTA), spelplan för studien utveckling av markstrid i urban miljö, samt olika omvärldsmodeller för simulering inom olika FoT-projekt. Det här behovet kommer sannolikt att växa och bli allt större i framtiden.

För att kunna framställa detaljerade och högupplösta omvärldsmodeller måste nya och mer detaljerade dataunderlag först tas fram. Detta innebär datafångst och efterföljande bearbetning av insamlade rådata till lämpligt format.

Inom projekten har arbete genomförts för att från mätningar med högupplösande flygburen laserradar och högupplöst fotografering kunna generera detaljerade omgivningsmodeller. Nya metoder har utvecklats för att bearbeta laserdata i syfte att på sikt möjliggöra automatisk framställning av högupplösta omvärldsmodeller. Med framtagna metoder är det möjligt att modellera markytan, klassificera mark, vegetation och byggnader, separera enskilda träd och rekonstruera 3D-modeller av byggnaderna.

3.1 Tillämpningar

Högupplösta omvärldsmodeller har en mängd olika användningsområden. Om dataunderlag och omvärldsmodeller kan framställas snabbt kan ytterligare tillämpningar bli aktuella. Nedan redovisas ett antal potentiella användningsområden sorterade i dem fem huvudområden som anges i Försvarsmaktens inriktning för modellering och simulering.

- **Forskning och teknikutveckling**
Inom FoU finns flera områden där behovet av högupplösta omvärldsmodeller är stort, t.ex. MoS av radiovågutbredning i bebyggelse, signaturanpassning för markmål, målsökare, telekrigdueller, precisionsnavigering, o.s.v. Detaljerade omvärldsmodeller kan också användas för studier av människa-maskin-interaktion.
- **Analys och Studier**
För studier där ”spelplanen” är komplicerad, t.ex. strid i bebyggelse är detaljerade modeller av stort värde. Likaså för analys av enskilda förlopp i komplicerade miljöer.
- **Systemutveckling och materielanskaffning**
För värdering av olika designalternativ med användning av simulering krävs en realistisk representation av en verklig miljö. Detta kräver ofta hög geometrisk upplösning och en hög noggrannhet i avbildningen av den

fysikaliska verkligheten. Omgivningsmodellen bör också representera en verklig plats för att möjliggöra validering av simulering med faktiska mätdata.

- **Utbildning och träning**

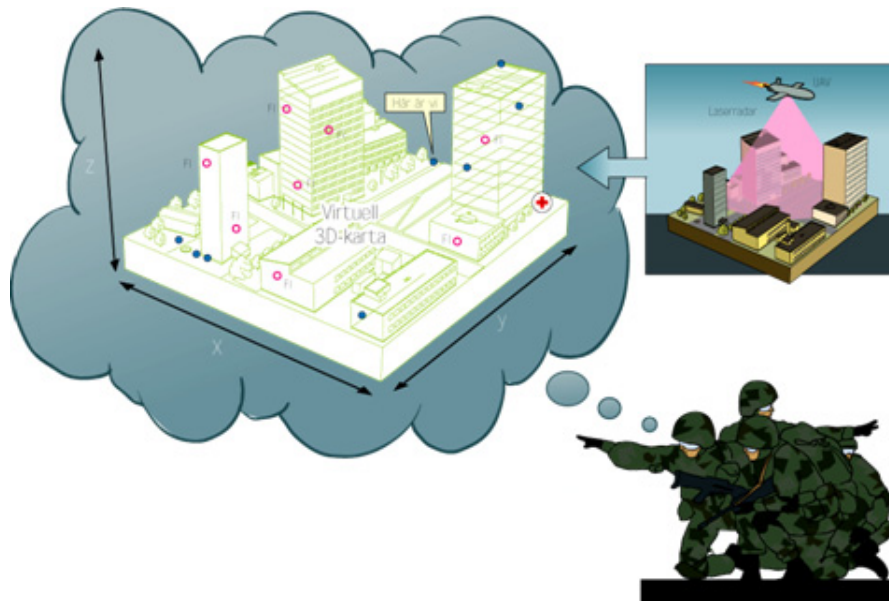
En verklighetstrogen representation av omgivningen är en viktig komponent i simuleringssystem för träning och utbildning, särskilt om systemen stödjer såväl simulerade som verkliga objekt. Högupplösta omvärldsmodeller är särskilt betydelsefulla för marknära scenarion, t.ex. för markfordon, avsuttan trupp, precisionsbekämpning i bebyggelse o.s.v. Om systemet vidare har funktioner för uppföljning av övningar kan omgivningsmodeller med en god överensstämmelse med den verkliga terrängen underlätta och förbättra bl.a. analysarbetet. Det blir möjligt att avgöra om och vilka detaljer i terrängen som kan ha påverka beslut eller beteenden.

- **Ledning och planering**

Detaljerade och aktuella 3D-modeller av insatsområdet ger helt nya möjligheter till en förbättrad lägesbild. Fusion av sensor- och annan underrättelseinformation underlättas och ger bättre resultat med hjälp av god miljökunskap. Kontinuerlig uppdatering av underrättelser i området kan snabbt visualiseras i omgivningsmodellen. Den höga upplösningen skapar nya möjligheter att planera sensorplacering, framryckningsvägar och observationsplatser. Kvalificerade och detaljerade analyser av terrängens inverkan på operationer kan också genomföras med högre tillförlitlighet än vad som tidigare har varit möjligt.

Snabb framtagning av situationsanpassade omgivningsmodeller ger vidare möjlighet att träna i en modell av insatsmiljön kort tid efter att data över området har samlats in. För att kunna planera uppdraget är det även möjligt att skapa en aktuell omgivningsmodell över insatsområdet som är fullt korrelerad med modellen som används för träning. På detta sätt blir det möjligt att koppla moment i träningssimuleringen med planering.

I ett framtida NBF kan snabbt framtagna modeller också komma att användas operativt som stöd för genomförande av insatser, se Figur 4.



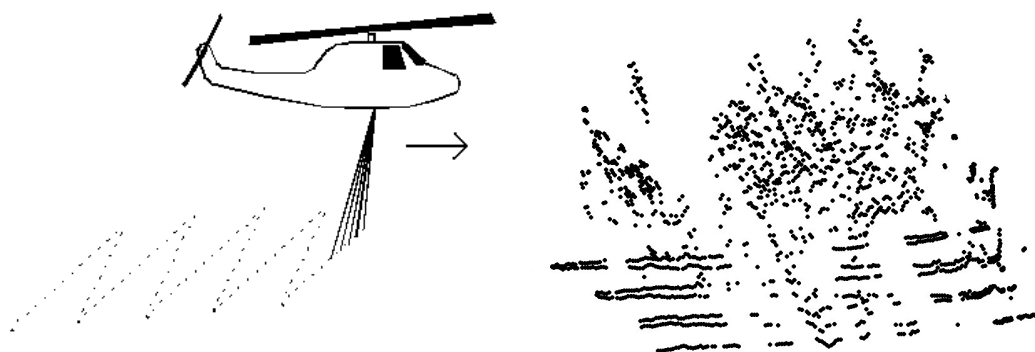
Figur 4: Med snabb (automatisk) framtagning av högupplösta omvärldsmodeller från spaningsdata kan kvalificerat stöd erhållas för planering och genomförande av insatser.

3.2 Datainsamling

Det finns många olika sätt att samla in grunddata på, alla med sina fördelar och nackdelar. Exempel på datainsamlingssystem är flygfotografering, satellitbilder eller radarsystem. Inom projektet har datainsamling skett med användning av laserskannersystem och flygfotografering.

3.2.1 Data från laserskanning

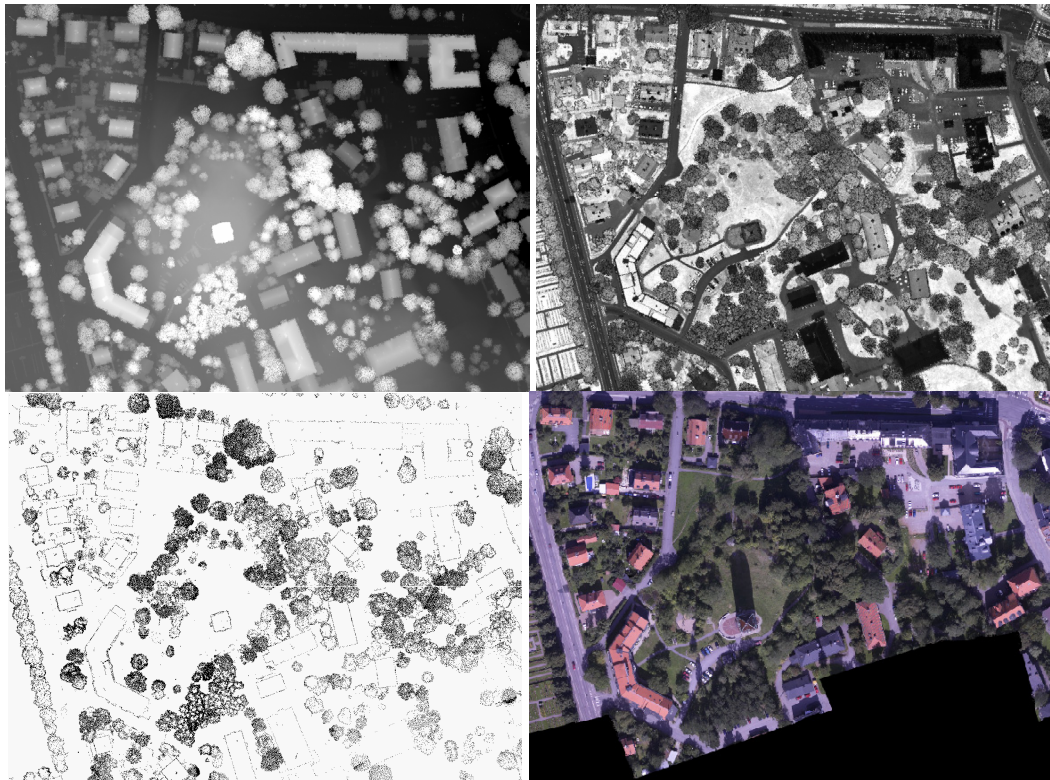
Ett system för flygburen laserskanning består av ett lasermätsystem, ett positions- och orienteringssystem och ett system för datalagring och övergripande styrning. Lasermätsystemet innehåller en laseravståndsmätare och en skanner, ofta i form av en spegel som avlänkar laserstrålen i svep tvärs flygfarkostens färdriktning. Då farkosten rör sig framåt bildas ett sick-sackmönster av lasermät punkter (se Figur 5). Positions- och orienteringssystemet består oftast av en av GPS-mottagare och ett tröghetsnavigeringssystem (INS).



Figur 5: Flygburen laserskanning.

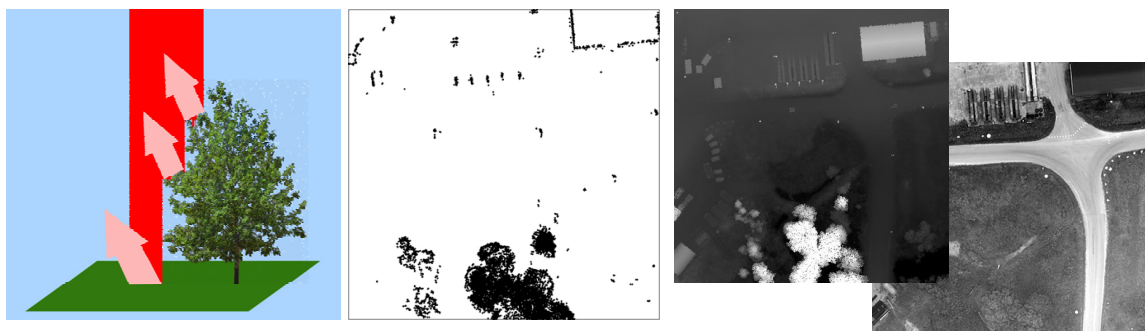
Laseravståndsmätaren mäter avståndet mellan systemet och den punkt i terrängen där laserpulsen reflekteras med genom att använda gångtiden, "time-of-flight". För varje mätpunkt beräknas sedan en lägeskoordinat med hjälp av avståndet, skannerläget, positionen och orienteringen. Lägesnoggrannheten är för de flesta system ungefär 10-20 cm i alla tre riktningarna.

Mätpunkterna kan ligga på markytan, uppe i vegetationen eller på något annat objekt. Mätningar kan ske mot alla slags objekt som reflekterar laserstrålning, t ex byggnader, träd, fordon, vägar, fält, o.s.v. (se Figur 6, ö v). Förutom avstånd kan många lasermätssystem också registrera intensiteten hos den reflekterade laserpulsen. Den här informationen kan användas för att skapa monokromatiska "bilder" över de uppmätta områdena (se Figur 6, ö h). Ytterligare en egenskap hos vissa system är förmågan att urskilja och spara multipla returer från en och samma laserpuls (se Figur 6, n v). Beroende på laserns divergens kommer pulsens "fotavtryck" (området som pulsen belyser och reflekteras ifrån) alltid att täcka en icke försumbar area, ofta i storleksordningen delar av eller hela m^2 . Multipla returer erhålls då olika delar av fotavtrycket reflekteras på olika höjdnivåer, se Figur 7. Fotavtrycket kan t ex "delas" av en takkant och den ena delen reflekteras på taket medan den andra träffar väggen eller marken nedanför. Intensitetsdata och multipla returer är två viktiga datakällor som tillsammans med höjddata kan användas som indata för segmentering och klassificering av laserdata.



Figur 6: (ö v) Höjddata. (ö h) Intensitetsdata. (n v) Multipla returur. (n h) Ortofotomosaik.

En avgörande faktor vid lasermätningar är reflektionsegenskaper hos material och ytor i terrängen och på andra objekt. Grova ytor brukar inte orsaka några problem. Faktum är att till och med helt svarta ytor för det mesta reflekterar tillräckligt med laserstrålning för att en signal ska kunna tas emot. Släta och skinande ytor å andra sidan kan orsaka problem eftersom laserpulsens inte alltid träffar ytorna med rätt vinkel mot ytans plan. I sådana fall blir reflektionen inte diffus och i många olika riktningar utan i det närmaste totalt med bara en riktning, ofta bort från mottagaren. Ett typiskt exempel är en blank och stilla vattenyta. En sådan måste sättas i rörelse för att ge tillräcklig reflektion.



Figur 7: Illustration av multipla returur: Princip, multipla returur, motsvarande höjddata och IR-bild.

3.2.2 Bilder

I många fall är flygbilder ett önskvärt komplement till laserdata. Flera laserskannersystem har idag utrustats med digitala kameror för samtidig fotografering och laserskanning.

Genom noggrann kalibrering kan loggade positions- och orienteringsdata användas för att bestämma position och orientering hos kameran för varje enskild bild. Med hjälp av dessa data och höjddata från lasermätningen kan georefererade ortofoton produceras mer eller mindre automatsikt. Ett exempel på en mosaik av mindre ortofoton illustreras i Figur 6, nederst till höger.

3.3 Insamlade data

För laserskanning och fotografering har det civila systemet Topeye använts. Detta system opereras av Topeye AB (www.topeye.com) som är ett svenskt företag som utför mätuppdrag över hela världen. Ursprungligen var Topeye ett system för enbart lasermätningar men har nyligen kompletterats med en digital kamera för flygfotografering.

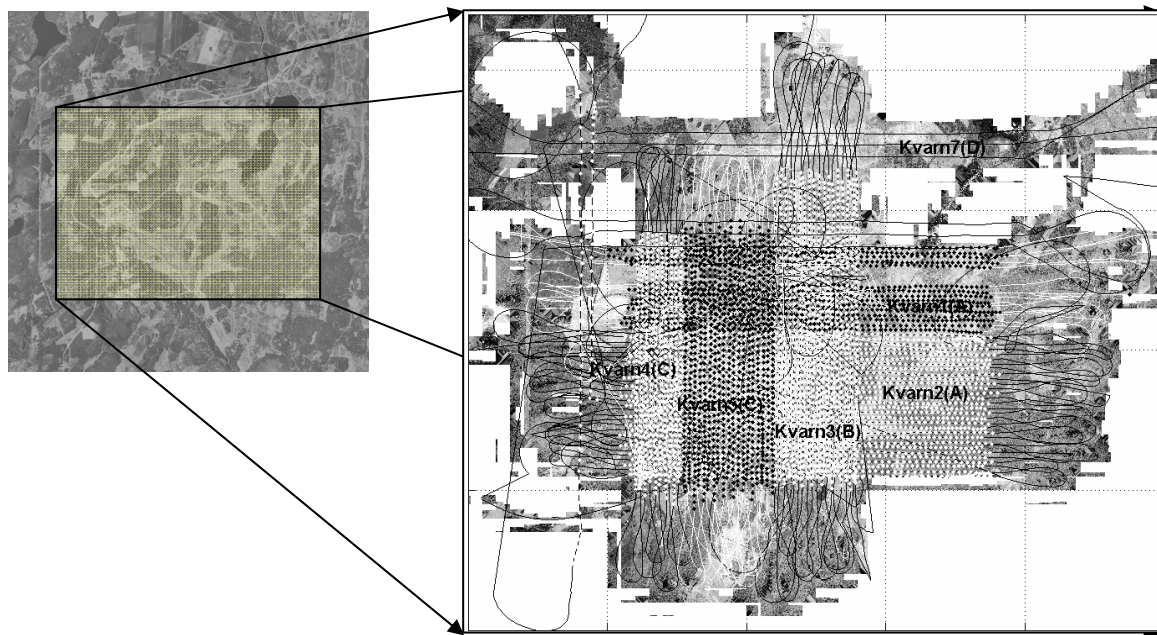
Topeyesystemet bärs vanligen av en helikopter. Det innehåller en spegelskanner som avlänkar laserpulserna tvärs flygriktningen och under normala förhållanden genereras ca 10 mätpunkter per m² eller mindre. Punkttätheten är beroende av hur flygningen sker (fart, höjd,...) och inställningar hos systemet (pulsrepetitionsfrekvens, skannerfrekvens, ...). Systemets yttäckning beror dels på formen på det område som ska mätas, önskad punkttäthet, överlapp mellan stråk, osv och kan variera mellan 0.5 km²/h och 40 km²/h,

Topeyesystemet kan idag utrustas med en Hasselbladskamera (555 ELD) med digitalt bakstycke eller en enklare Sonykamera. Som tillägg finns möjlighet att också utrusta systemet med en IR-kamera.

De data som används i projekten kommer från flera olika dataset vilka är insamlade mellan 1997 och 2001. De uppmätta områdena består av olika terrängtyper, t ex småbruten terräng vid Prästtomta skjutfält (Kvarn), stadsmiljö i Linköping City och kust och skärgårdsmiljö från Stockholms skärgård. Punkttätheten varierar mellan ca 5 upp till 15 punkter per m². Tabell 1 nedan visar de olika områden som mätts in. Figur 8 nedan visar flygstråkens fördelning från en mätning över Kvarn.

Område	År	Upplösning	Storlek	Sensorer
Kvarn	2001	16 p/m ²	Ca 3 x 3 km	Laser, Vis, IR
Linköping	2001	16 p/m ²	Ca 1 x 2 km	Laser, Vis, IR
FOI	2001	16 p/m ²	Ca 0.5 x 0.5 km	Laser
FOA	1998	16 p/m ²	Ca 1,8 x 1 km	Laser
Sthlm skärgård	2001	16 p/m ²	Ca 3,0 x 2 km	Laser, Vis
Tönnersjö	2002	16 p/m ²	Ca 1,0 x 1,0 km	Laser, Vis

Tabell 1: Förteckning över mätområden.



Figur 8: Stråkfördelning vid mätningar i Kvarn.

3.3.1 Framtida datainsamling

Dagens system för laserskanning är har relativt låg yttäckningsförmåga per tidsenhet, vilket gör att kostnaden blir hög per inmätt arealenhet. Framtida system antas använda s.k. array(matris)detektorer i stället för en enstaka detektor. I dessa system är mottagaren uppbyggd av en matris av avståndsmätare, vilket gör det möjligt att få en avstånds-”bild” för varje laserpuls. Dessa system kommer att väsentligt öka datainsamlingshastigheten och den rumsliga upplösningen hos data.

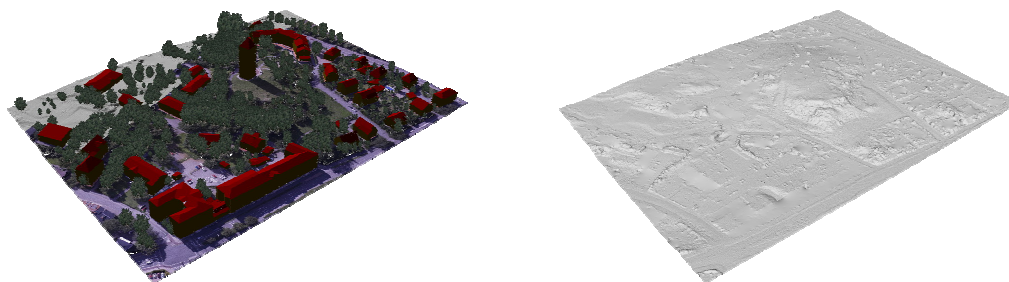
3.4 Dataorganisation

Insamlade data levereras i tidsordning, vilket rent geografiskt innebär att data levereras i sekvenser som motsvarar den väg som mätsystemet har färdats vid inmätningen. Önskvärt är hellre att data organiseras geografiskt snarare än baserat på tid. Vid mätningarna samlas även andra data in (se kapitel 3.2). Även dessa data organiseras geografiskt.

Då terräng inmäts med laserskannersystem blir den rumsliga punkttätheten mycket hög (från ca 16 punkter/m²). Att utföra beräkningar på hela dessa datamängder är resurskrävande. Därför delas data in i geografiskt separerade områden, vilka kan sammanfogas till större områden om så önskas. Typiskt är att data delas in i geografiska områden om 100m x 100m. Dessa områden, matriser, delas in i ”celler” vars storlek beror av punkttätheten i mätningarna, typiskt 25cm x 25cm. Varje inmätt laserpunkt som hamnar inom en sådan cell sparas. Ur detta kan sedan flera olika typer av matriser skapas, t. ex. ytmodeller (DSM, Digital Surface Models) som i Figur 6, där en matris innehåller det högsta höjdvärdet i varje cell, DSM_{max} (Figur 6 ö v) och en matris innehåller det minsta, DSM_{min} . Vidare sparas två matriser som innehåller intensitetsvärden för de höjdvärden som sparas i DSM_{max} respektive DSM_{min} (Figur 6 ö h). En matris som visar antalet multipla returerna som skett i varje cell sparas också (Figur 6 n v). De framtagna metoderna som redovisas i denna rapport använder dessa matriser som indata.

3.5 Markestimering

En metod för att modellera en markyta från laserradardata har utvecklats. Metoden är modellbaserad och bygger på en algoritm som anpassar en matematisk modell av en yta med ”fysikaliska” egenskaper till laserradardata. Inom bildbehandlings- och datorgrafikområdet brukar metoden benämnas *aktiva konturer*, ”snakes” eller ”*active shape models*”, och modellerna kan vara av olika dimensionalitet. I den implementerade metoden för markestimering består modellen av en tvådimensionell yta som representeras av en matris med höjdvärden. Modellen har också tilldelats egenskaper av elasticitet och böjlighet och beter sig, bildligt talat, som en gummiduk som klistras mot mätvärdena (Figur 9).

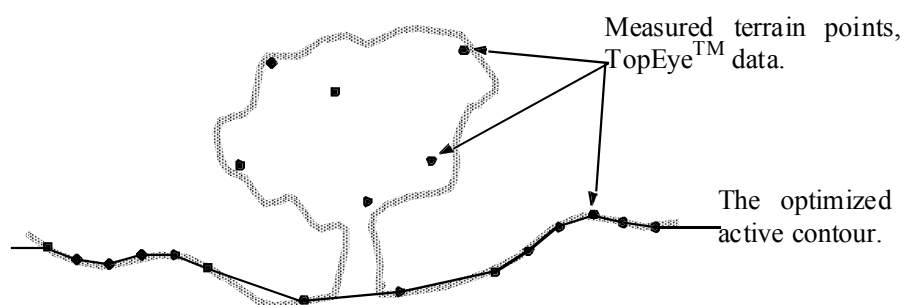


Figur 9. Vänster, DSM med ortofoto. Höger, modellerad markyta.

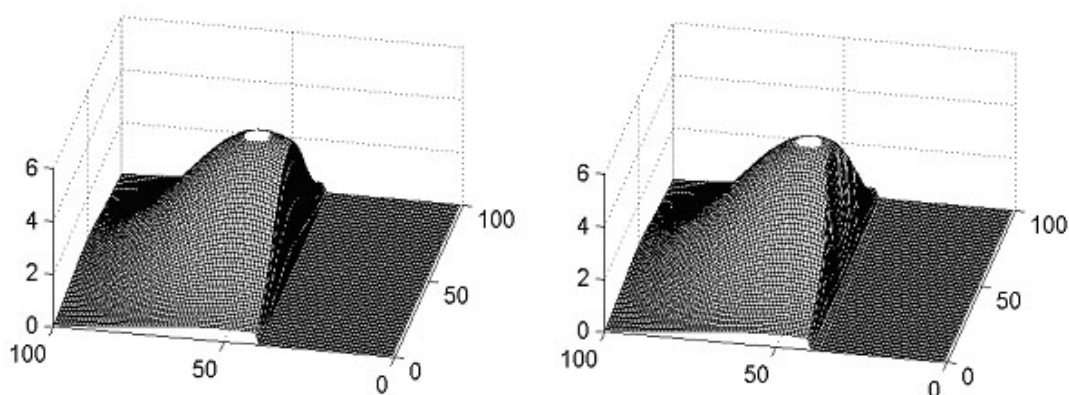
3.5.1 Metodbeskrivning

Ytmodellen är en diskret matematisk tvådimensionell yta i en tredimensionell omgivning. Ytans position beskrivs av höjdvärden i en matris och modellens form styrs av modellens fysikaliska beskrivning och en dragningskraft mellan mätpunkter och modellen. Den slutgiltiga estimeringen av markytan sker vid jämvikt mellan de interna krafterna i ytan, fjäder- och böjkrifter samt dragningskraften.

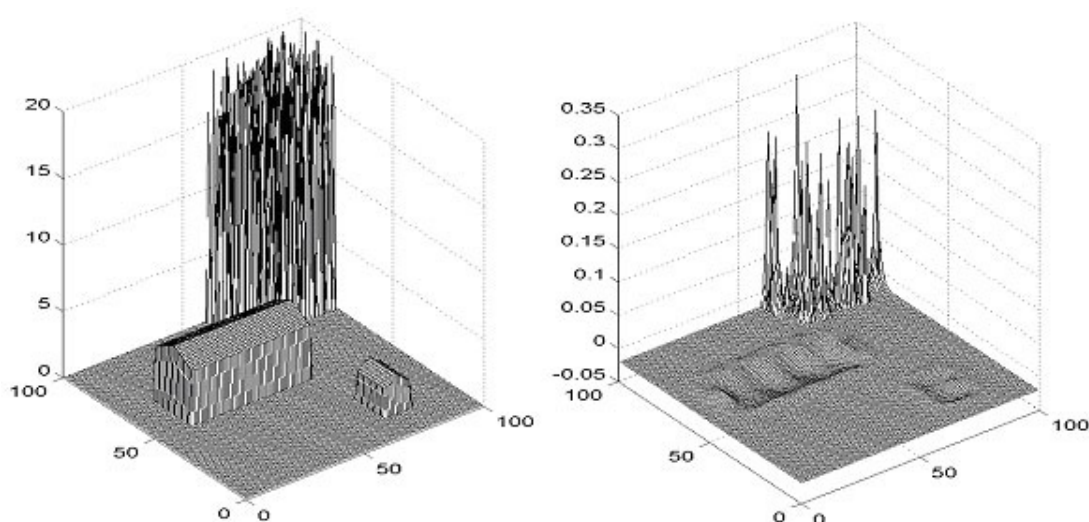
Anpassningen av modellen sker genom en iterativ process där kraften i varje punkt i modellen räknas ut genom summering av de interna krafterna i modellen och dragningskraften som är en funktion av avståndet mellan modellen och motsvarande mätpunkt. Därefter uppdateras modellens styrparametrar för att minimera summan av krafterna. Dragningskraften som styr hur modellen formas är stark i förhållande till de interna krafterna. Däremot är den kortverkande för att förhindra att modellen dras mot mätpunkter högre upp från exempelvis träd och byggnader. Detta skulle innebära att markmodellen bubblar upp under byggnader och i skog (se Figur 10). De interna krafterna i modellen är i denna implementation rena fjäderkrifter vilket gör att modellen lätt anpassar sig efter språng på marken (Figur 11), men detta innebär också att ingen utslätande effekt ges där mätdata är brusiga (se Figur 12 och Figur 13).



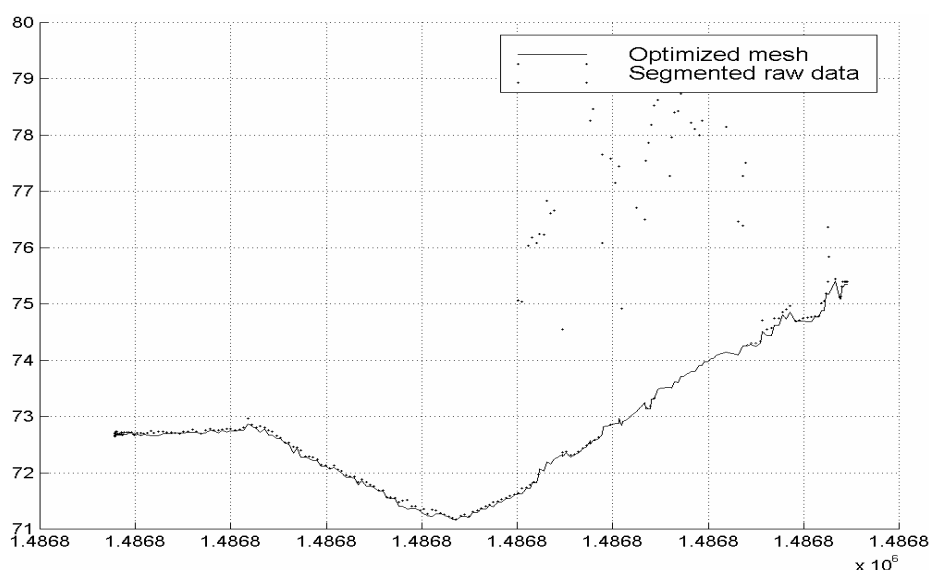
Figur 10. Ett tvärsnitt genom ett terrängavsnitt med mätpunkter markerade som svarta punkter. Eftersom dragningskraften snabbt avtar med avståndet känner modellen inte av mätpunkterna uppe i trädet utan de interna krafterna sträcker ut ytan mellan markpunkterna.



Figur 11. Vänster, syntetisk kulle med stup. Höger, den anpassade markmodellen, de interna krafterna låter modellen nästan helt anpassa sig till "stupet".



Figur 12. Vänster, syntetisk markyta med två hus och en rektangulär skog. Höger, den anpassade markmodellen, notera skalan på höjden. I "skogen" har mätvärden nära marken fångat upp modellen, under husen ses ett något böljande resultat.



Figur 13. Ett genomsnitt av mätdata och markmodellen från en del av en vägbanan och ett dike med träd.

3.5.2 Framtida arbete

Många nya uppslag har tillkommit under metodutvecklingsarbetet. Ett exempel är klassificeringsstödd markfiltrering, där en iterativ metod för markfiltrering skulle kunna göras med modifierade parametrar i modellen baserade på den klassificering som görs efter den initiala markfiltreringen. Till exempel är det möjligt att styva upp modellen på vägbanor för att undertrycka brus och att bättre filtrera bort fordon.

Ett annat exempel är möjlighet till användarinteraktion för att kunna sätta lokala egenskaper och att interaktivt kunna ”dra” i modellen.

Vidare utvecklingsmöjligheter gäller implementering av algoritmen till irreguljärt samplat dataset, rådata. Eftersom algoritmen är anpassad för att verka på data som är omsamlade till en reguljär matris lämpar den sig sämre till användning på glesare mätdata.

3.5.3 Publikationer

Mer detaljer om markfiltreringsalgoritmen finns i följande publikationer:

Elmqvist M.: “*Automatic Ground Modelling using Laser Radar Data*”. Master Thesis LiTH-ISY-EX-3036, Institutionen för systemteknik, Linköpings universitet, 2000.

Elmqvist M.: “*Ground Surface Estimation from Airborne Laser Scanner Data Using active Shape Models*”. Photogrammetric Computer Vision - ISPRS Commission III Symposium, volume XXXIV Part A, pages 114-118, 2002.

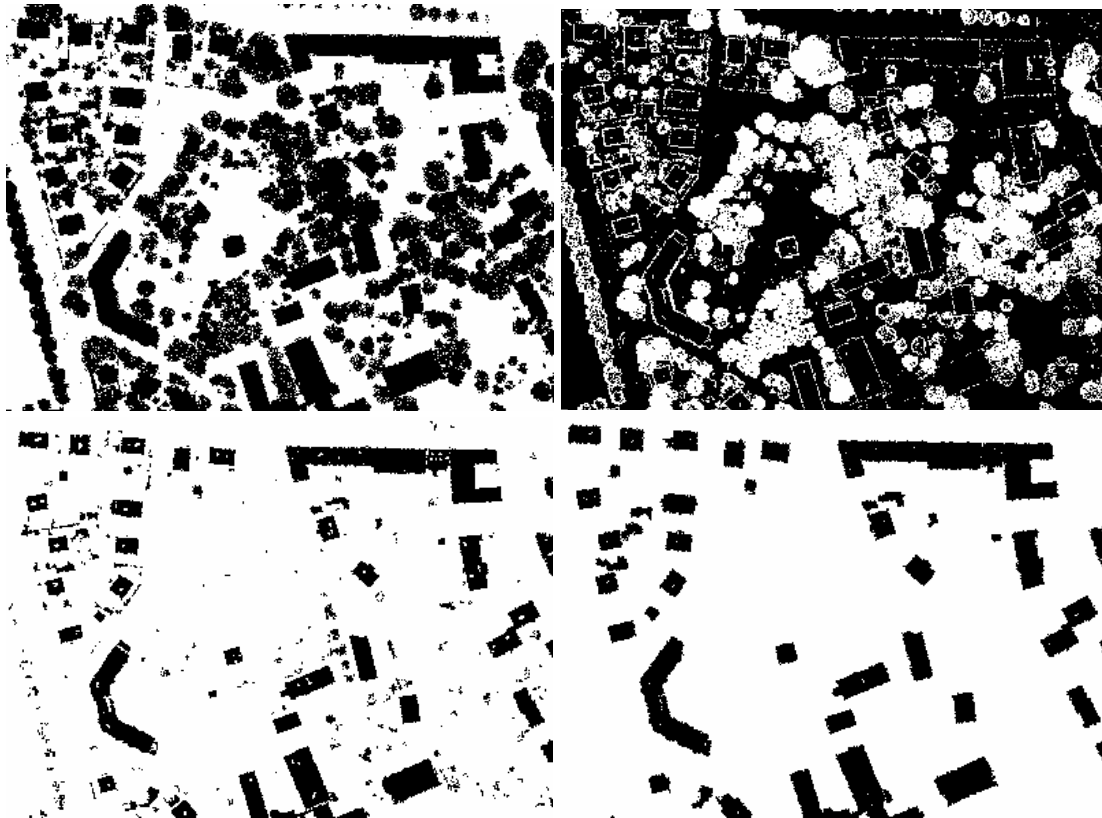
Brandin M., Hamrén R. “*Classification of Ground Objects Using Laser Radar Data.*” Master Thesis LiTH-ISY-EX-3372-2003, Linköping University, January 2003.

3.6 Klassificering

När punkterna som tillhör markytan har tagits fram kan en klassificering av resterade punkter ovanför marken göras. En metod som klassificerar vegetation och byggnader

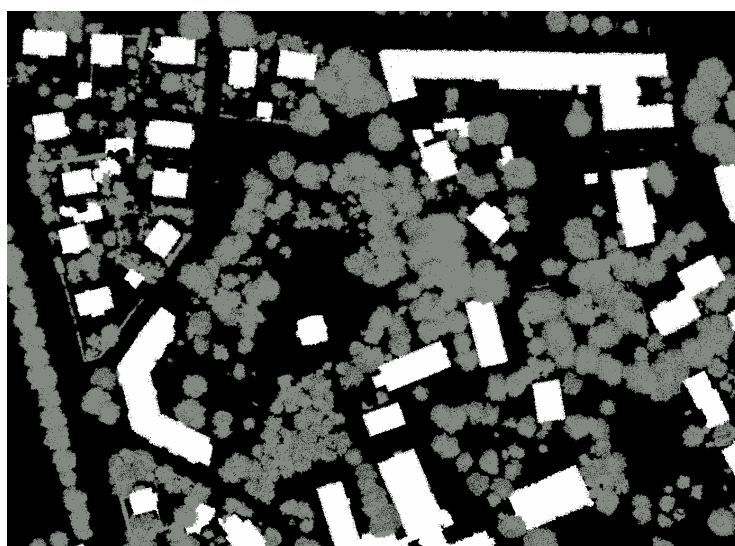
har tagits fram (Brandin & Hamrén 2003). För att separera byggnader och vegetation har mått baserade på objektens form och lokala variationer i höjd använts. Medan konstgjorda objekt så som byggnader oftast består av kontinuerliga, kompakta ytor som är avgränsade av långa, raka linjer har naturliga objekt som vegetation oregelbundna former och stora variationer i höjd.

En objektmask skapas där punkter som är mer än 2 m ovanför markytan sätts till 1 och resten 0 (Figur 14 ö v). Först görs en separering av objekt, d.v.s. grupper av sammansatta punkter, genom att utnyttja informationen från multipla returer. Eftersom multipla returer oftast förekommer i vegetation och kanter av byggnader (Figur 6 n v) och inte inom kompakta takytor kan mycket av vegetationen först filtreras bort. En mask av multipla returer skapas där punkter som har en eller flera returer sätts till 0 och resten 1 (Figur 14 ö h). Genom att multiplicera multipelreturmasken med objektmasken fås en separerad objektmask (Figur 14 n v) där mycket av vegetationen är bortfiltrerad eller åtminstone separerad från byggnaderna.



Figur 14. (ö v) Objektmask. (ö h) Multipelreturmask. (n v) Separerad objektmask. (n h) Objekt klassificerade som byggnader.

Objekten i Figur 14 n v klassificeras sedan genom att använda ett neuronnät. Varje objekt klassificeras som byggnad eller icke-byggnad beroende på objektets form och höjdvaryation. Figur 14 n h visar objekten som är klassificerade som byggnader. I nuvarande läge sätts resterande punkter över 2 m som vegetation. Figur 15 visar klassificeringsresultatet.



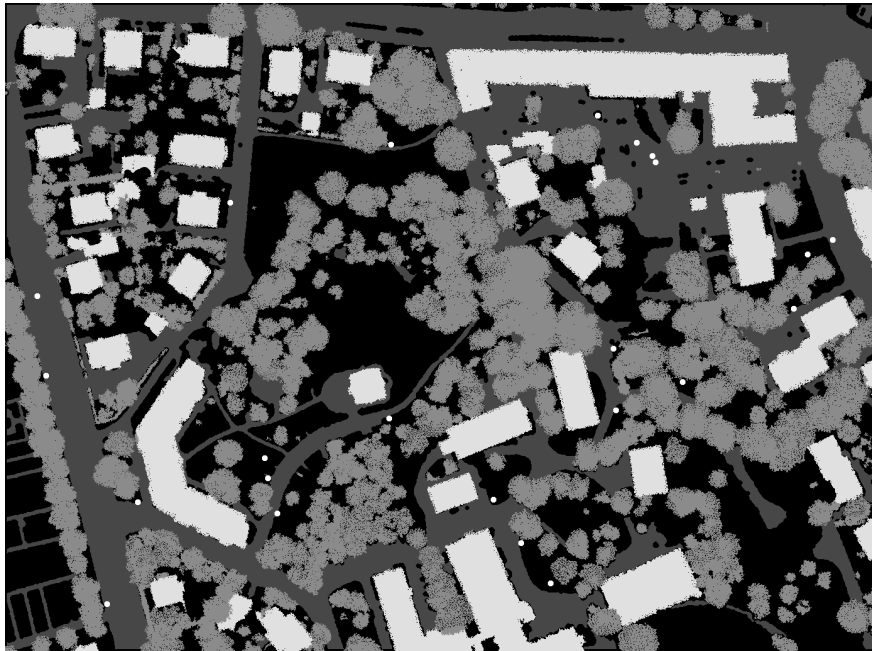
Figur 15. Klassificeringsresultat, mark (svart), byggnad (vit), vegetation (grå).

3.6.1 Pågående arbete

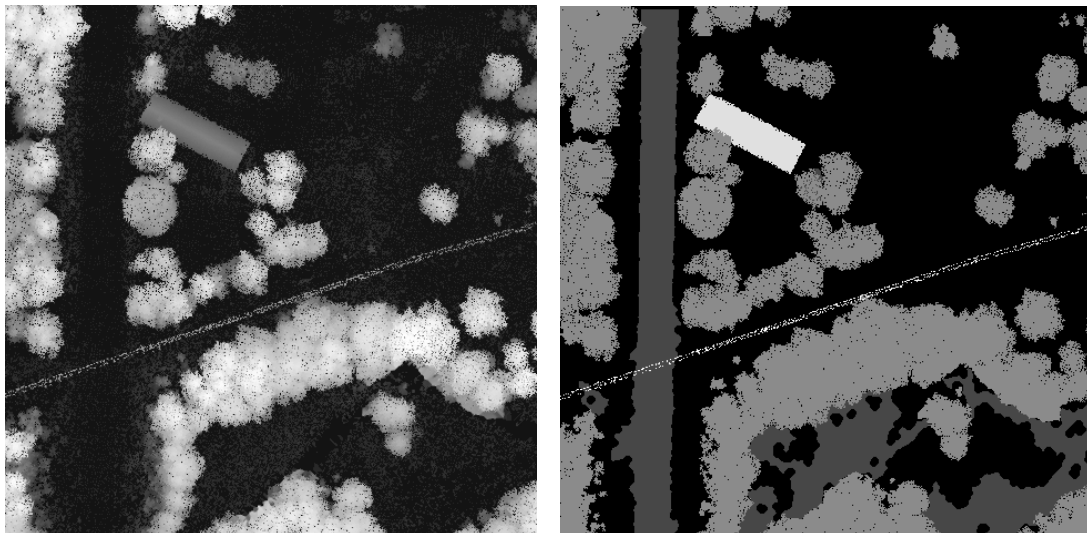
I pågående arbete har fler klasser inkluderats i klassificeringen. Kraftledningar, stolpar och gräs/icke-gräsområden är ytterligare klasser som har lagts till. Till att börja med klassificeras kraftledningar. Kraftledningar karakteriseras av att de hänger flera meter över marken i parallella linjära strukturer. Intensitetsvärdena hos en kraftledning är ofta lägre än för vegetation. Eftersom kraftledningar också är smala resulterar de ofta i multipla returerna vid skanningen. Baserat på denna information kan kraftledningar klassificeras.

Av resterande punkter som ligger mer än 2 m över markytan och som inte klassificerats som byggnad eller kraftledning görs en klassificering av stolpar. Denna klassificering baseras på att stolpar består av ett fåtal punkter som är högre än omgivande punkter. En korrelation görs med en kärna som matchar karaktistiken av en stolpe. Punkter med hög korrelation klassificeras som stolpar. Resterande oklassificerade punkter sätts som vegetation.

Vidare görs en separering av markpunkterna som gräs och icke-gräsområden. Klassificeringen baseras på intensitetsvärdena av punkterna. Icke gräsområden som t ex asfalt och grusvägar har ofta lägre reflektion än vegetation. Figur 16 visar klassificeringsresultatet över tidigare område Figur 17 visar klassificeringsresultatet från ett område i Kvarn.



Figur 16: Klassificering.



Figur 17. Höjddata (vänster), klassificering (höger). Vegetation (grå) , byggnad (ljus grå), stolpar (vit), gräsområde (svart) och icke-gräsområde (mörk grå), kraftledning (vit).

3.6.2 Framtida arbete

Framtida arbete består av att förbättra nuvarande klassificering. Även en utökning av antalet klasser kan ske. Nya klasser som kan inkluderas är t ex broar, järnvägar och vattenområden. Att även använda den ytterligare information som finns i flygbilderna för att förbättra klassificeringen vore intressant. Vidare arbete består också av att sammanlänka icke-gräsområdena för att extrahera ett vägnät.

3.6.3 Publikationer

Mer detaljer om klassificeringen finns i följande publikationer:

Persson Å.: "Extraction of individual trees using laser radar data", Scientific report, FOI-R-0236-SE, ISSN 1650-1942, 2001.

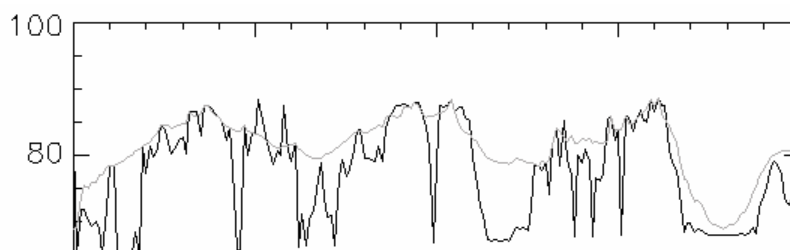
Brandin M., Hamrén R.: "Classification of Ground Objects Using Laser Radar Data." Master Thesis LITH-ISY-EX-3372-2003, Linköping University, January 2003.

Söderman U., Ahlberg S., "High Resolution Synthetic Natural Environments for Modeling and Simulation" in Proceedings of SAWMAS 2002, October 2002

3.7 Trädidentifiering

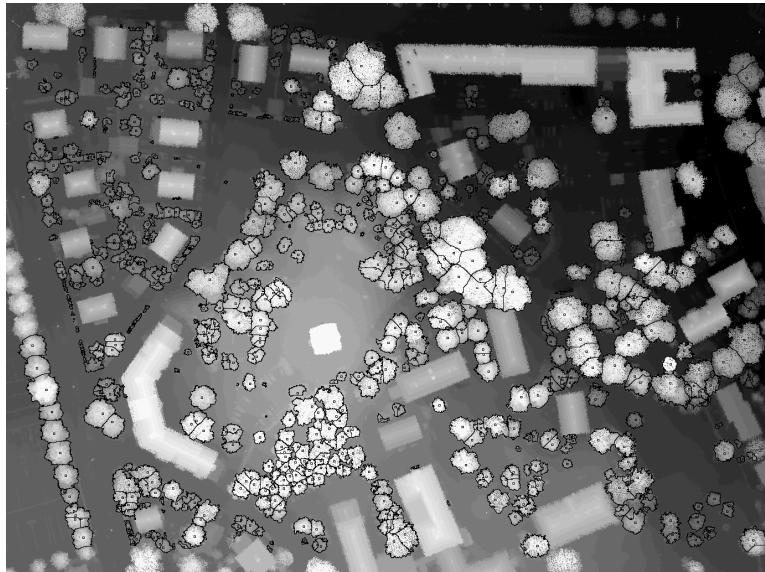
Efter att områden av vegetation har klassificerats kan en vidare extrahering av enskilda träd göras. En metod som detekterar enskilda träd har utvecklats där trädens position, höjd och kron diameter estimeras (Persson et al 2002). Metoden består av tre steg: 1) en ytmodell över träd kronorna skapas, 2) ytan utjämnas med olika skalor och 3) den mest lämpliga skalan i olika delar av bilden väljs.

Eftersom laserpulserna ofta penetrerar träd kronorna kan det finnas stora höjdvariationer inom enskilda träd vilket gör det svårt att separera träden från varandra. För att ta bort returerna inom träd kronorna används samma metod som för att uppskatta markytan, men nu appliceras algoritmen ovanifrån, för att skapa en ytmodell som följer den övre delen av träd kronorna (Figur 18).



Figur 18. Ytmodell (grå) applicerad ovanifrån på höjddata (svart).

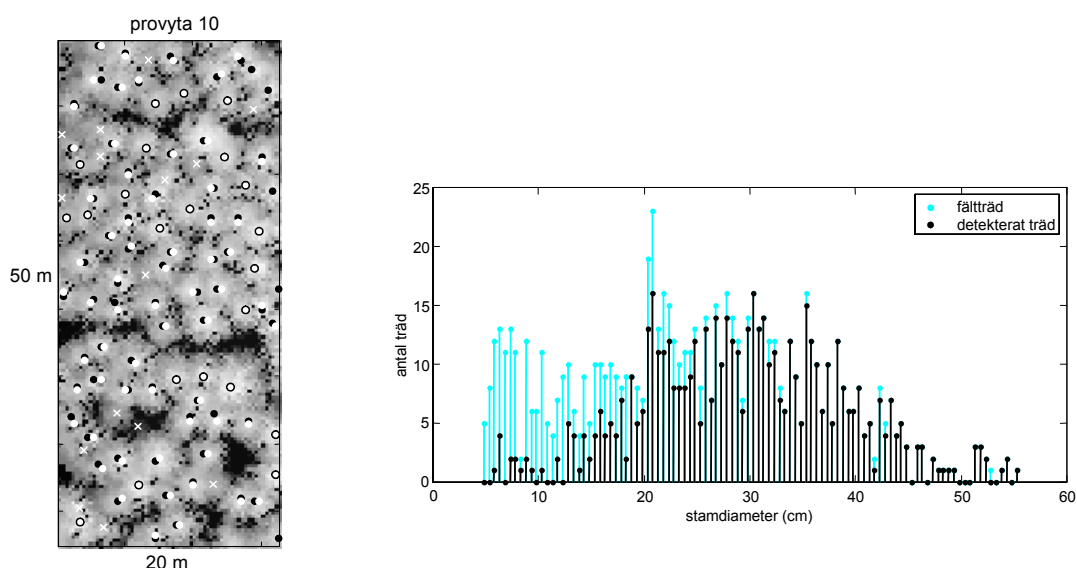
Processen för att detektera enskilda träd är baserad på att utjämna ytan och sedan estimerar position för varje träd genom att identifiera lokala höjdmaxima. För att eliminera höjdvariationer så att varje träd endast har ett maximum behöver en viss grad av utjämning göras beroende på trädets storlek. Eftersom trädets storlek varierar och inte är känd i förväg har tre olika skalor av utjämning använts. Valet av den mest lämpliga skalan i olika delar av bilden baseras på att anpassa en parabolisk yta till ytmodellen. Figur 19 visar de estimerade trädpositionerna och kronsegmenten över tidigare område.



Figur 19. Estimerade trädpositioner och kronsegment.

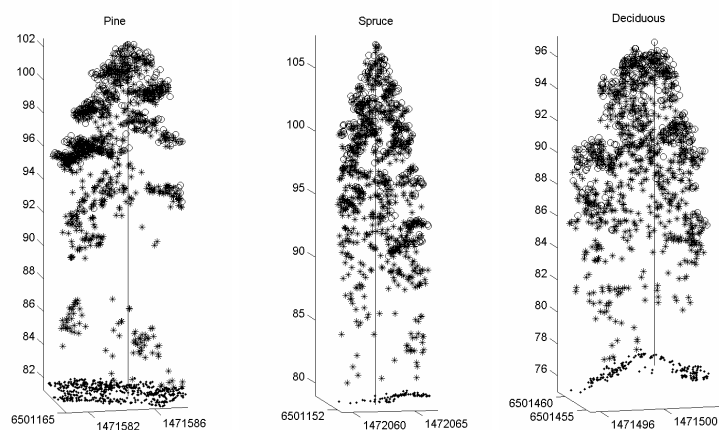
För varje detekterat träd estimeras trädhöjden och krondiametern. Det maximala höjdvärdet inom varje trädkrona väljs som trädets höjd och trädkronans area används för att beräkna krondiametern som om trädkronan har formen av en cirkel. Utöver trädhöjden och krondiametern kan fler variabler estimeras som är viktiga vid skogsinventering som t.ex. stamdiametern och stamvolymen.

Metoden har validerats i samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för skoglig resurshållning och geomatik. Algoritmen tillämpades på ett område (Remningstorp) där både laser- och fältmätningar utförts. Vid fältmätningarna har position, höjd, trädslag, kron- och stamdiameter mätts in manuellt för varje träd (>5 cm stamdiameter) på tolv utvalda provytor. Figur 20 vänster visar de automatiskt detekterade träden (svarta prickar) och de fältmätta träden (vita prickar) för en provyta. Resultatet visade att 71 % av träden detekterades korrekt, och de flesta träd som ej detekterades var små träd med en liten stamdiameter (se Figur 20 höger). Den genomsnittliga positionsskillnaden av de automatiskt detekterade träden och de manuellt inmätta träden från marken var 0,51 m. Trädhöjden och krondiametern kunde estimeras med ett fel på 0,63 m respektive 0,61 m. Eftersom de flesta stora träd detekterades kunde 91 % av den totala stamvolymen hittas.



Figur 20. Träddetekteringsresultat. (Vänster) Lasermätta träd (svarta prickar), fältmätta träd (vita prickar), lasermätt och fältmätt träd vid samma punkt (vit prick med svart kant) och ej detekterade träd (vita kryss). (Höger) Antal detekterade träd för olika stamdiametrar.

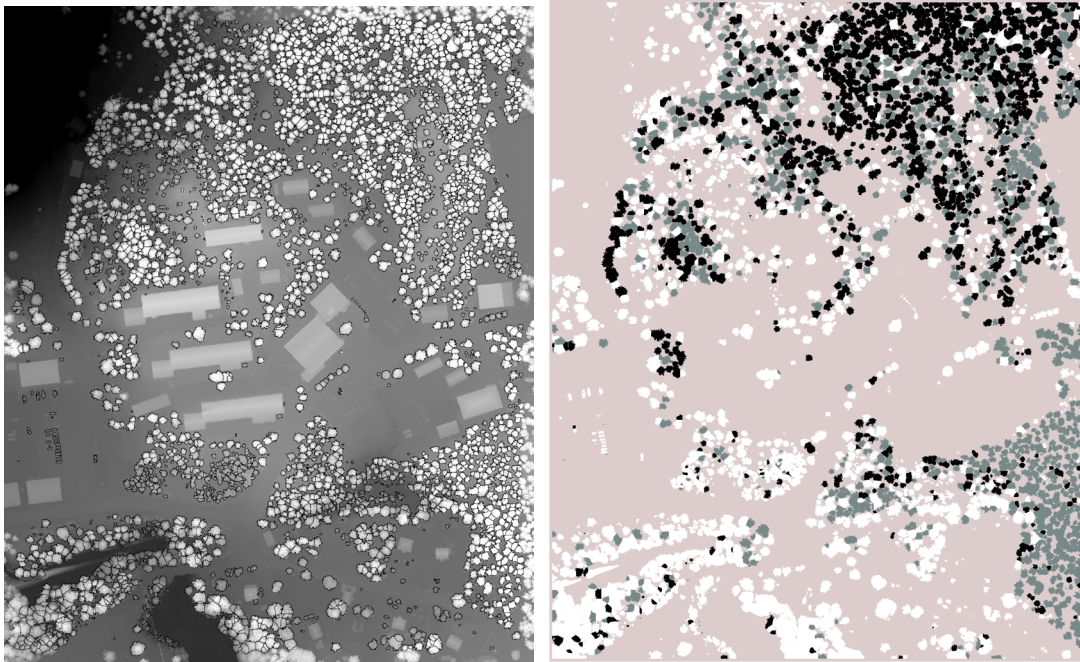
Vidare kan trädslaget på varje träd klassificeras genom att analysera alla laserspunkter som träffat inom ett kronsegment (Holmgren & Persson 2003). Figur 21 visar punktmolnen för en gran, tall och ett lövträd. Olika mått baserade på geometri, höjdfördelning, intensitet och andel laserspunkter av olika slag har extraherats för att separera de olika trädslagen. Resultatet från trädslagsklassificeringen validerades på de tolv provytorna som huvudsakligen bestod av tall och gran. Tall och gran kunde klassificeras med 95 % noggrannhet.



Figur 21. Laserpunkter från en tall, en gran och ett lövträd.

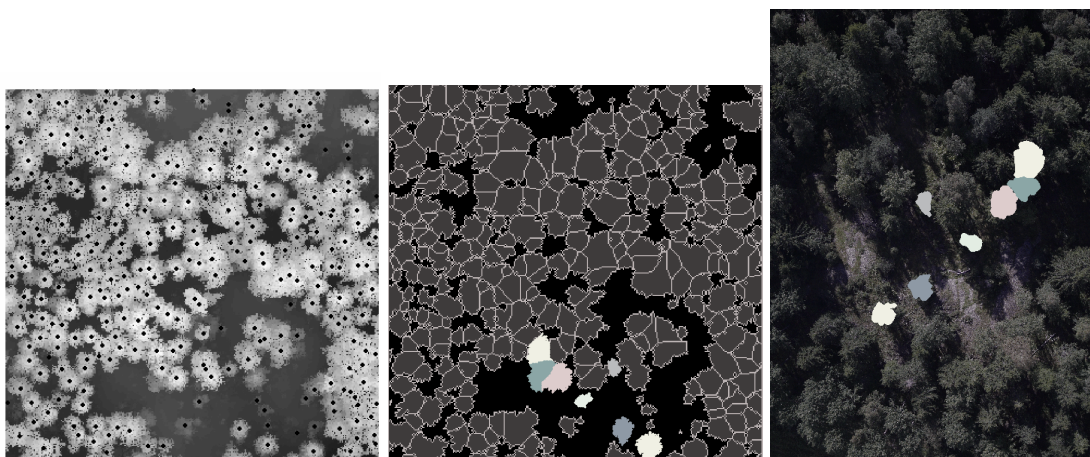
3.7.1 Pågående och framtida arbete

I pågående arbete har även lövträd inkluderats i klassificeringen. Inga fältmätningar av lövträd finns ännu för validering. Resultatet överens stämmer dock väl med visuell tolkning av flygbilderna över Kvarn. Figur 22 visar detekterade träd respektive trädslagsklassificering över ett område i Kvarn. I slutet av 2003 har ytterligare fältmätningar gjorts i Remningstorp som inkluderar provytor som domineras av lövträd.



Figur 22. (Vänster) Extraherade träd. (Höger) Trädslagsklassifiering: tall (grå), gran (svart), lövträd (vit).

Att förbättra trädslagsklassningen med hjälp av färgbilderna vore också intressant. Kamerapositionen och orienteringen för varje bild kan fås från GPS- och INS-data från lasermätssystemet. Eftersom det är svårt att modellera trädhöjden är det svårt att skapa ortofoton i skogsområden. För att undvika detta problem kan istället varje extraherat trädkronsegment mappas till motsvarande punkter i en flygbild. Mappningen bygger på samma process som när ortofoton skapas. I Figur 23 kan motsvarande kronsegment i en flygbild ses för några av de detekterade träden från laserdata. Extraherade kronsegment från flygbilder kan användas för att stödja trädslagsklassificeringen. Spatiell såväl som spektral information kan extraheras.



Figur 23. (Vänster) Detekterade träd markerade på höjddata. (Mitten) Estimerade kronsegment. (Höger) Motsvarande kronsegment i flygbild.

3.7.2 Publikationer

Mer detaljer om trädidentifieringen finns i följande publikationer:

Persson Å., 2001. "*Extraction of individual trees using laser radar data*", Scientific report, FOI-R-0236-SE, ISSN 1650-1942.

Smith G., Persson, Å., Holmgren, J., Hallberg, B. Fransson, J.E.S, Ulander, L.M.H, 2002. "*Forest stem volume estimation using high-resolution and SAR data*". In proceedings of the IGARSS 2002 Symposium, Toronto, Canada 24-28 June, pp. 2084-2086.

Persson Å., Holmgren, J. & Söderman, U. 2002. "*Detecting and measuring individual trees using airborne laser scanning*". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(9), pp. 925-932.

Holmgren, J. & Persson, Å. 2003. "*Identifying species of individual trees using airborne laser scanner*". Submitted.

Persson Å., Holmgren, J. & Söderman, U. 2003. "*Detection, measurements, and species classification of individual trees for forest inventory and visualization*". In proceedings of ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests 2003, Umeå, Sweden 3-4 September, pp. 222-233.

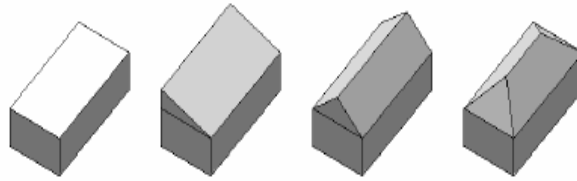
Nilsson M., Brandtberg, T., Hagner, O., Holmgren, J., Persson, Å., Steinvall, O., Sterner, H., Söderman, U. & Olsson, H., 2003. "*Laser scanning of forest resources – the Swedish experience*". In proceedings of ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests 2003, Umeå, Sweden 3-4 September, pp. 42-50.

3.8 Husrekonstruktion

Genom att använda de höjddata som klassificerats som byggnader kan 3D-modeller av husen rekonstrueras. Varje grupp av sammansatta punkter klassificerade som byggnader används som markplan vid byggnadsrekonstruktionen. Två olika metoder har utvecklats. Den första metoden är semiautomatisk och bygger på att dela upp markplanen i rektanglar och för varje rektangel estimeras taktypen med hjälp av olika geometriska byggnadsprimitiver. Den andra metoden är en mer generell och helt automatisk metod där plana taktyper och dess kanter estimeras.

3.8.1 Modellbaserad metod

Den modellbaserade husrekonstruktionsalgoritmen grundar sig på antagandet att en komplex byggnad kan delas i mindre, primitiva, element med rektangulär bottenyta (Figur 24). Genom att dela upp bottenytan av byggnaden i rektanglar och estimerat taket över varje rektangel med en byggnadsprimitiv är det möjligt att modellera komplexa byggnader.



Figur 24. Fyra byggnadsprimitiver med fyra olika taktyper. Från vänster, platt tak, pulpettak, gaveltak och sadeltak.

Algoritmen arbetar i följande steg:

- Uppdelning av byggnadens markplan i rektanglar
- Estimering av takytor i rektanglarna
- Val av byggnadsprimitiver
- Anpassning av primitiverna mot ytorna i rektangeln
- Sammanslagning av primitiverna till en byggnadsmodell

3.8.1.1 Uppdelning av byggnadens markplan

Segmenteringen av byggnadens markplan i rektanglar görs halvautomatiskt. Metoden är baserad på en *"active template"*-algoritm där användaren sätter en startpunkt för en rektangel som växer ut och anpassar sig efter kanterna på byggnadens markplan.

Processen görs om på de delar av markplanet som ligger utanför rektangeln till dess att hela huset finns representerat som rektanglar.

3.8.1.2 Estimering av takytor

För varje detekterat markplan (Figur 25 vänster) i klassificeringen används höjddata (Figur 25 mitten) för att extrahera plana ytor. Extrahering av plana ytor sker genom en klusterling av ytnormaler. För varje punkt inom ett markplan estimeras ytnormalen genom att anpassa ett plan (minsta kvadrat-anpassning) till punkten och dess närliggande punkt (9x9 område). En klusterling av ytnormalernas parametrar görs sedan och det största klustret med mest punkter används som första estimering av ett plans parametrar och vilka punkter som tillhör planet. En förbättrad estimering av vilka punkter som tillhör planet görs slutligen genom att använda en viktad minstakvadrat-anpassning. Dessa punkter formar ett segment. Denna klustringsprocess upprepas på de återstående icke-segmenterade punkterna inom markplanet. I Figur 25 höger kan segmenteringsresultatet av de olika takytorna ses.



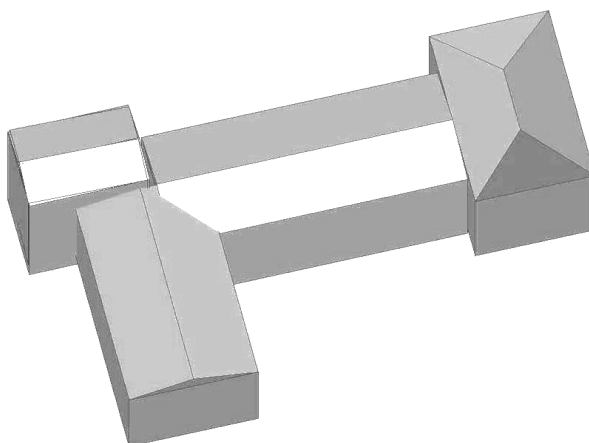
Figur 25. Vänster: Klassificerat byggnadsmarkplan. Mitten: Höjddata inom markplanet. Höger: Segmenterade taktytor.

3.8.1.3 Val och anpassning av byggnadsprimitiver

Efter att ytorna har estimerats väljs vilken byggnadsprimitiv som ska representera segmenten. I denna implementation har fyra primitiver använts, platt tak, pulpettak, gaveltak och sadeltak (Figur 24). Valet av primitiv görs automatiskt med hjälp av antalet delytor och riktningen på ytorna inom en rektangel. Primitiven anpassas sedan till ytorna i rektangeln genom att justera dess parametrar, storlek, höjd, takvinkel osv.

3.8.1.4 Sammanslagning av byggnadsprimitiver

Efter modelleringen av rektanglarna med byggnadsprimitiver fogas dessa samman till en husmodell (Figur 26).

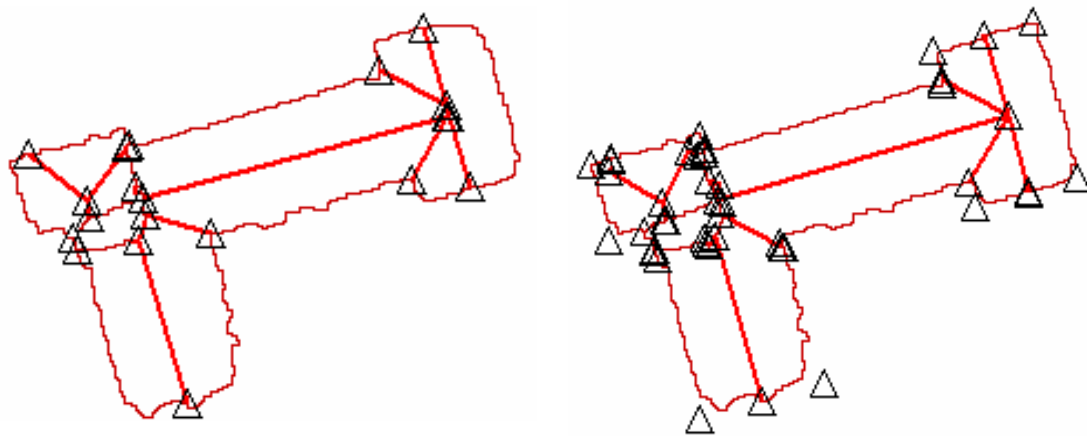


Figur 26. Sammansatt byggnadsmodell från modellbaserad algoritm.

3.8.2 Generell metod

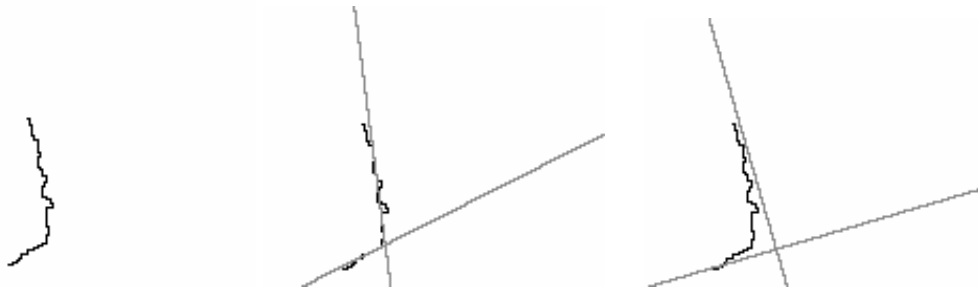
Den modellbaserade metodens användbarhet är begränsad av karaktären hos de byggnader som skall rekonstrueras. Regelbunden arkitektur och enkla husmoduler rekonstrueras lätt med denna version. Om arkitekturen får fler frihetsgrader, t. ex. vid krökta byggnader, krävs metoder för mer generaliserad husrekonstruktion. En sådan metod har utvecklats inom projekten och redogörs för i detta avsnitt.

Den generella metoden är en helt automatisk metod som ska kunna hantera alla typer av byggnader, t ex även byggnader med böjda väggar. Som i den tidigare modellbaserade metoden görs först en segmentering av plana takytor (Figur 25 höger). Efter att segmenteringen av takytorna gjorts kan sambandet mellan de olika ytorna definieras. Genom att följa kanten på varje taksegment kan så kallade 'topologiska punkter' först bestämmas. Topologiska punkter definieras som punkter där en takytas granne ändras (se trianglar i Figur 27 vänster). Varje kant mellan två topologiska punkter definieras sedan som antingen en skärningslinje, hopplinje eller både och. I de fall när man både har en skärningslinje och hopplinje läggs en ny topologisk punkt till som avgränsar linjerna. I Figur 27 vänster visas skärnings- (tjocka) och hopplinjerna.



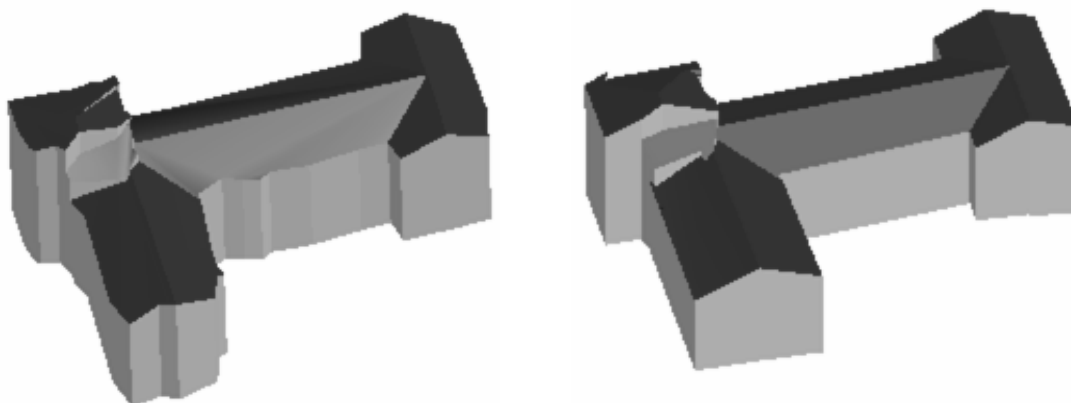
Figur 27. (Vänster) Topologiska punkter (trianglar), skärningslinjer (tjocka) och hopplinjer. (Höger) Alla topologiska punkter.

Sist behöver topologiska punkter längs hopplinjerna (t ex byggnadens ytterkanter) estimeras. Som Figur 27 vänster och Figur 28 vänster visar är dessa kanter brusiga och kan vara svåra att modellera. Linjer estimeras (med användning av 2D Hough-transformen) längs dessa kanter (Figur 28 mitten). Riktningen på linjerna justeras sedan enligt takets lutning modulo 90° (Figur 28 höger). Skärningspunkterna av de estimerade linjerna används som ytterligare topologiska punkter (Figur 27 höger).



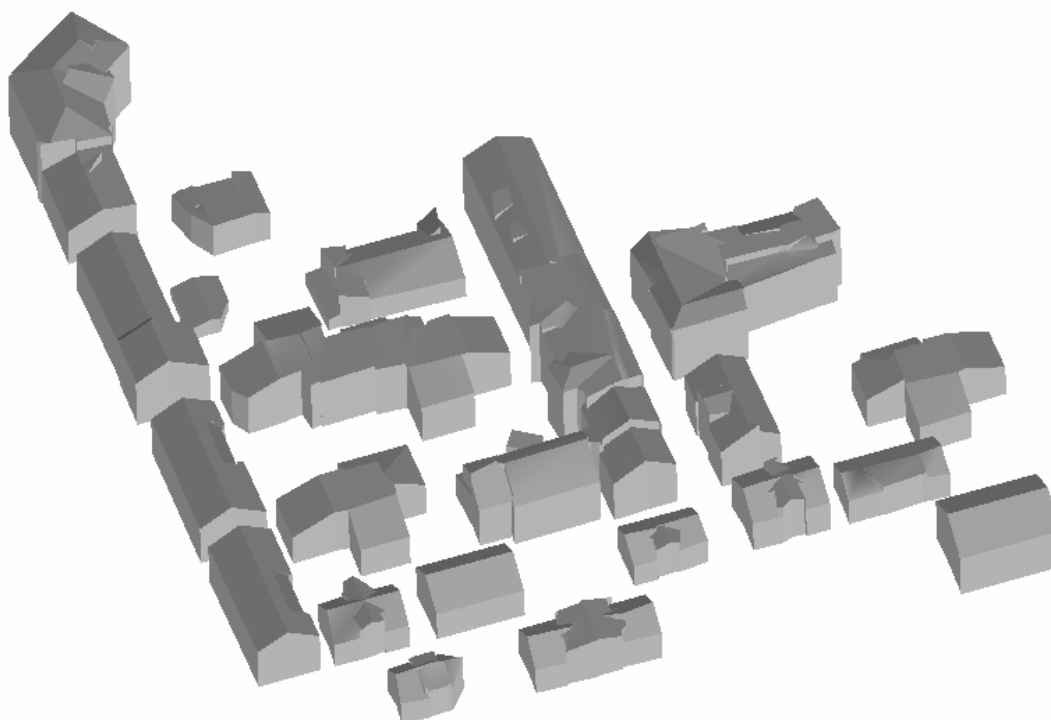
Figur 28. (Vänster) Hopplinje. (Mitten) Estimerade linjer. (Höger) Justerade estimerade linjer.

Med hjälp av dessa topologiska punkter och de tidigare definierade topologiska punkterna kan en 3D modell av byggnaden skapas (Figur 29 höger). Figur 29 vänster visar 3D-modellen när punkter estimeras direkt längs kanterna utan att först estimerar linjer. Taket av modellen skapas av de segmenterade plana ytorna. Höjdvärdet av en punkt erhålls från planets höjdvärde vid punkten. Mellan varje par av två punkter längs hopplinjer sätts väggsegment in.



Figur 29. Genererad 3D-modell från den generella byggnadsrekonstruktionsmetoden. Högra bilden visar motsvarande modell med estimerade kantlinjer.

I Figur 30 visas resultatet av tillämpning av den generella metoden på ett område i Linköping city.



Figur 30. Byggnader rekonstruerade med den generella metoden.

3.8.3 Framtida arbete

Den modellbaserade algoritmen som delar upp markplanet i rektanglar resulterar i visuellt fina byggnader med parallella väggar. För vanliga byggnader med rektangulära markplan passar denna metod bra. Mer komplexa byggnader med t ex icke-parallella eller böjda väggar kommer dock inte att bli korrekt modellerade. Eftersom det också finns en mängd olika taktyper är det också svårt att modellera dessa med hjälp av primitiver (se övre vänstra och högra delen av 3D-modellen i Figur 26). Den generella metoden har tagits fram för att kunna hantera alla typer av

byggnader. Denna metod ger mer korrekta men inte lika regelbundna modeller. Speciellt är det hopplinjerna, som ytterkanten av väggarna, som är svåra att modellera. Fortsatt arbete består av att förbättra modelleringen av dessa kanter. Även informationen från flygbilder skulle kunna användas för att förbättra modelleringen av kanterna.

3.8.4 Publikationer

Mer detaljer om husrekonstruktionsmetoderna finns i följande publikationer:

Gabrielsson, N.: "*Segmentation and Reconstruction of Buildings Using Laser Radar Data*". LITH-ISY-EX3144, Linköping Institute of Technology, Linköping University, Sweden.

Söderman U., Ahlberg S., "*High Resolution Synthetic Natural Environments for Modeling and Simulation*" in Proceedings of SAWMAS 2002, October 2002

4 Omvärldsmodeller för sensorsimulering

För simulering av sensorer såsom IR, radar, akustiska sensorer och laser måste omgivningsmodellen vara så beskaffad att den kan generera korrekta stimuli till de sensormodeller som simuleras. För att uppnå ökad interoperabilitet och en "fair fight" mellan olika typer av simuleringar, t. ex. simuleringar av sensorer som verkar i olika våglängdsband, krävs att det måste existera en korrelerad vy av omgivningen sedd från olika sensorer. Detta kräver att omvärldsmodellen inte endast skall vara anpassad för rent visuell simulering, utan att omvärldsmodellen även innehåller parametrar som beskriver de i modellen ingående materialen, såsom värmeledning och reflektionsegenskaper, hållfasthet, etc. För simulering av t. ex. elektrooptiska system måste även hänsyn tas till atmosfärsförhållanden, temperatur och väder.

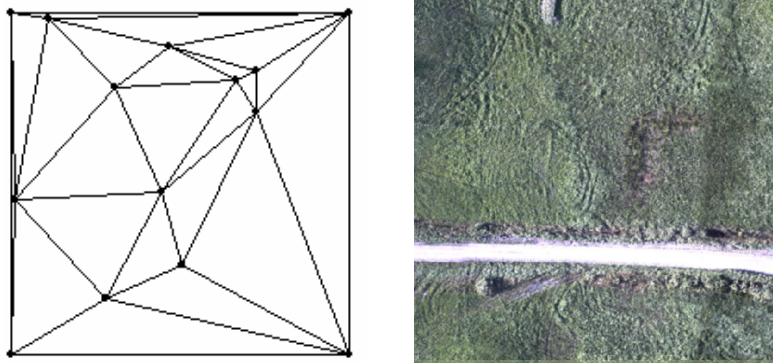
4.1 Bakgrund

Projektet Sensorsimulering i syntetiska omvärldar har behandlat problemet med att skapa omvärldsmodeller som förutom att kunna användas för simulering i det visuella våglängdsbandet även innehåller beskrivningar av de i modellerna ingående materialen samt omgivningen, t. ex. atmosfär, väder och temperatur. Dessa utökade modeller har sedan använts för att generera indata till sensorsimuleringsfunktioner.

Inledande värdering av verktyg för sensorsimulering har skett mot data från riktiga sensorer upptagna i verklig miljö. Vid FOI sorteknik finns idag goda mätresurser för datainsamling från verkliga sensorer, såväl inom IR och laser, som inom radarområdet.

4.2 Omgivningsmodeller för sensorsimulering

Då en omgivningsmodell ska genereras skapas först en ytmodell, vanligen bestående av en mängd trianglar (polygoner), som approximerar markytan (se Figur 31 vänster). Själva trianguleringen sker i två steg. Först utses ett antal punkter i höjddata som anses viktiga efter något specificerat mått, t. ex. för att minimera höjdfelet jämför med den mest noggranna modellen. Hur många punkter som används kan bestämmas av tex. en polygonbudget, eller så används så många punkter som det krävs för att uppfylla en angiven feltolerans i approximationen. För att bestämma den mängd punkter som uppfyller kraven krävs ett antal iterationer. När sedan denna process är slutförd används dessa punkter i trianguleringen, se Figur 31 vänster. Resultatet av en sådan triangulering kallas TIN (Triangulated Irregular Network).



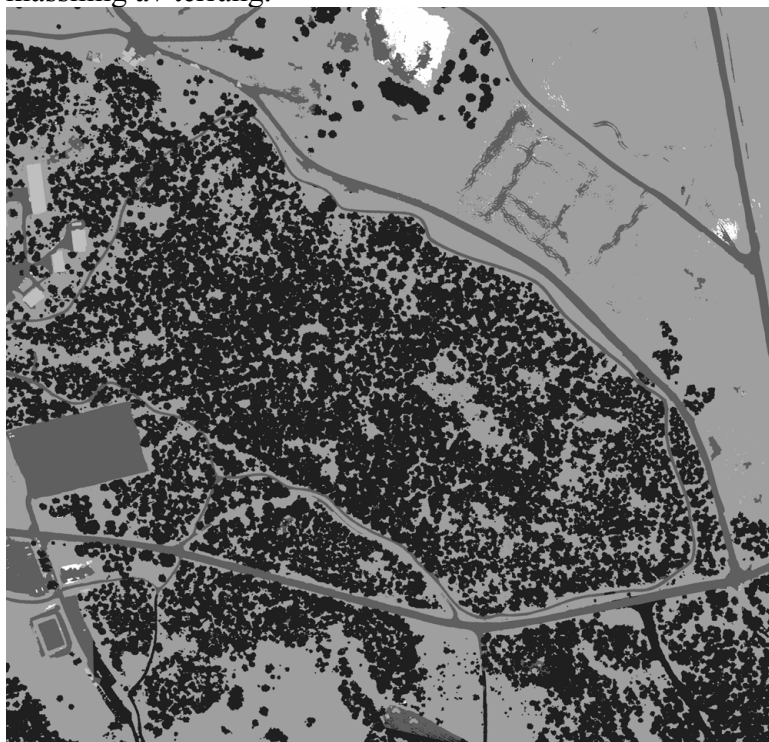
Figur 31: (Vänster) Triangulering av höjddata. (Höger) Visuell textur med väg och undervegetation.

För att öka realismen i modellen läggs bilder, texturer, på den genererade ytmodellen (se Figur 31 höger). I många fall är det inte nödvändigt att detaljerna i bilden har någon koppling till polygonerna i den underliggande ytmodellen så länge ytmodellen approximerar markytan tillräckligt bra.

För att skapa en SNO för simulering av sensorer är däremot kopplingen mellan textur och triangulering i ytmodellen av stor vikt. Terrängmodellen måste utökas till att innehålla en beskrivning av de material som ingår i scenen. Texturen används för att det där är lätt att särskilja olika terrängtyper från varandra. Kopplingen mellan textur och material görs genom att associera bildpunkter i texturen till ett material som den bildpunkten antas bestå av. Information om varje material lagras i en separat databas innehållande uppgifter om värmeledningsförmåga, sammansättning, elektromagnetiska egenskaper o.s.v.

Temperaturen för en polygon beräknas ofta per nod. Denna temperatur interpoleras sedan över polygonens yta. Om då denna polygon består av flera material kommer gränsen mellan dessa material att bli mindre distinkt. Detta gäller även om samma nod är del av flera olika materialklassade polygoner. Därför måste en materialklassning av den geospecifika texturen ske. Denna klassning kan sedan användas för att styra trianguleringen så att den stämmer överens med gränserna för de olika materialen.

Materialindelningen sker med användning av programvara för fjärranalys. För att öka konfidensen i materialklassningen kan multipla datakällor (RGB-bilder, IR-bilder, hyperspektrala bilder, intensitetsbilder och den terrängtypsklassning som erhållits vid särdragsidentifieringen i laserdata) användas. Figur 32 nedan visar ett exempel på klassning av terräng.

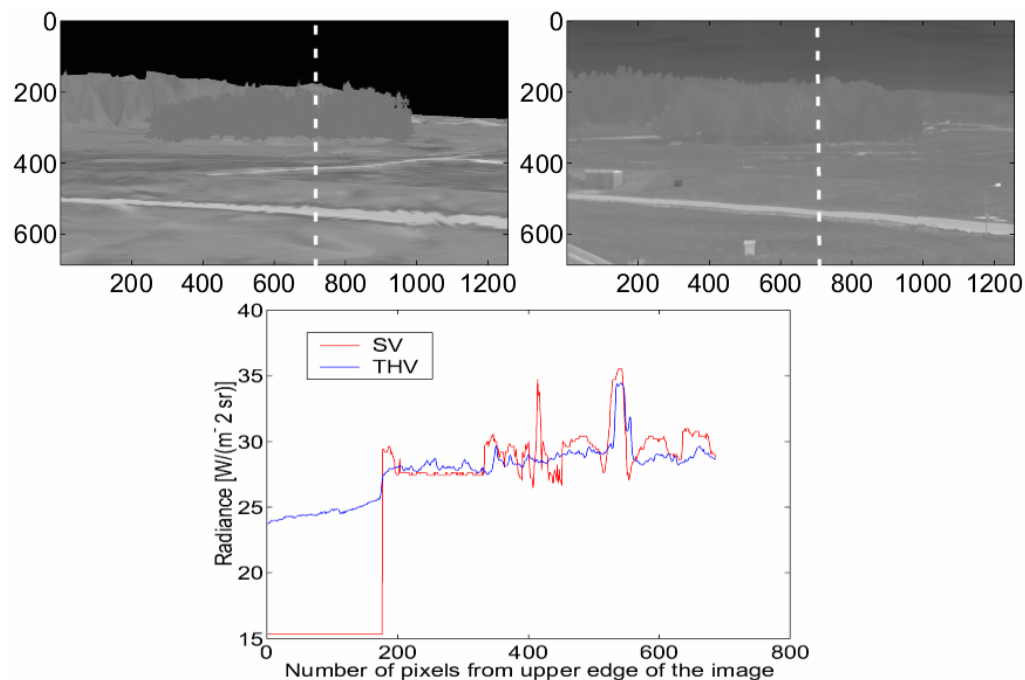


Figur 32: Klassning av terrängområde.

4.3 Värdering av programvara för sensorsimulering

Projektet har i samarbete med andra projekt genomfört värdering av verktyg för realtidssimulering av IR-scener. Metodik har utvecklats för att jämföra resultatet från simulering av sensoranpassade scener med verkliga mätningar över motsvarande område. Resultatet från jämförelserna kan t. ex. användas för bedömningar om var och när verktygen är lämpliga att använda för sensorsimulering samt under vilka villkor.

Verktyget som utvärderades var SensorVision, en påbyggnadsmodul till realtidsvisualiseringsverktyget Vega från Multigen-Paradigm, inc. (www.multigen-paradigm.com). SensorVision använder sig av en realtidsanpassad approximation av den radiometriska ekvationen och producerar kvantitativa strålningsbilder av scener, d.v.s. strålning in i en sensor. Målet med momentet var att utröna vid vilka förutsättningar som SensorVision kan vara lämpligt att använda för generering av scener för simulering av sensorer.



Figur 33: Resultat från värdering av verktyg för sensorsimulering.

SensorVision beräknar den radians som detekteras av en IR-sensor i ett givet spektralband. I valideringen undersöktes den radiometriska korrektheten i SensorVision för långvågig IR-strålning, 8-12 μm . Värderingsdatabasen består av uppmätt radians för en referensterräng söder om FOI-komplexet i Linköping (den s.k. dungen). Indata till Sensorvision väljs så att atmosfärsförhållanden, materialdata för terrängen, tidpunkt, sensors position m.m., motsvarar de som rådde vid det aktuella mättillfället. Den geometriska modell som använts för terrängen utgörs av en triangulering av höjddata som uppmäts med laserradar. En flygbild har draperats på terrängmodellen. Utgående från denna flygbild har en materialassociation skapats. Materialen som används kommer från SensorVisions medföljande materialdatabas.

Olika analysmetoder har tagits fram. Figur 33 ovan visar ett exempel på en sådan metod, jämförelse mellan specifika bildlinjer i den simulerade respektive uppmätta bilden. Diagrammet i figuren visar överensstämmelsen i intensitet längs en bildlinje. I detta experiment tas ej hänsyn till simulering av himlen.

Resultatet visar att den största skillnaden i medelvärde för ett område var ca 7%, vilket ej är försumbart, men troligen är godtagbart i många tillämpningar, till exempel för att generera ett realistiskt bakgrundsklotter. Det gick ej att utröna vilken av SensorVisions interna processer som bidrog mest till denna avvikelse. Däremot troliggjorde värderingen att resultaten kunde förbättras avsevärt om material databasen hade utökats till att även innehålla faktiska uppmätta materialparametrar från den aktuella scenen i stället för att använda SensorVisions inbyggda (standard-) materialdatabas. Med kunskap om de approximationer som gjorts i SensorVision får användaren själv bedöma om resultaten är godtagbara för tillämpningen.

För mer information om detta arbete hänvisas till (Bernhardsson 2001).

4.4 Materialstyrd modellering av terräng

Då en geospecifik textur appliceras på en ytmodell i form av en TIN framtagen med standardalgoritmer finns risken att övergångar mellan olika material i texturen ej återspeglas i den underliggande trianguleringen av markytan.

Eftersom Sensorvision associerar termiska materialegenskaper per hörn i varje triangel behöver särskild hänsyn tas till hur trianguleringen ser ut i områden med olika material och stora temperaturvariationer. Ett sådant område kan vara i gränsen mellan asfaltväg och gräs. Om hänsyn inte tas till sådana områden i trianguleringen kan en triangel sträcka sig över en väg så att alla tre hörnen associeras med gräs. Det innebär att vägen helt ”försvinner” i den triangeln i den resulterande IR-bilden. Ett avbrott i vägen uppstår. Artefakter som dessa är naturligtvis oacceptabla i en simulering. Problemet kan undvikas om en vektorfil/graf anger var det finns vägar. Hur denna graf skapas är olika, man kan tänka sig att man tar informationen från ett flygfoto, från Lantmäteriets databaser eller genom att analysera laserdata. Genom att ange var vägar finns kan trianguleringen styras så att den tar hänsyn till detta. Problemet är givetvis inte specifikt för vägar utan är synonymt för alla områden där materialvariationerna är stora inom en liten yta.

Experiment har genomförts för att skapa distinkta gränser mellan olika terrängföreteelser och terrängklasser och för att skapa ”dubbla noder”, en nod för varje material, där så behövs. Med hjälp av detta är det möjligt att tvinga terränggenereringsverktyget att skapa en artificiell gräns mellan terrängklasser, vilket underlättar vid generering av SNO för simuleringsmodeller som använder temperaturberäkningar per nod.

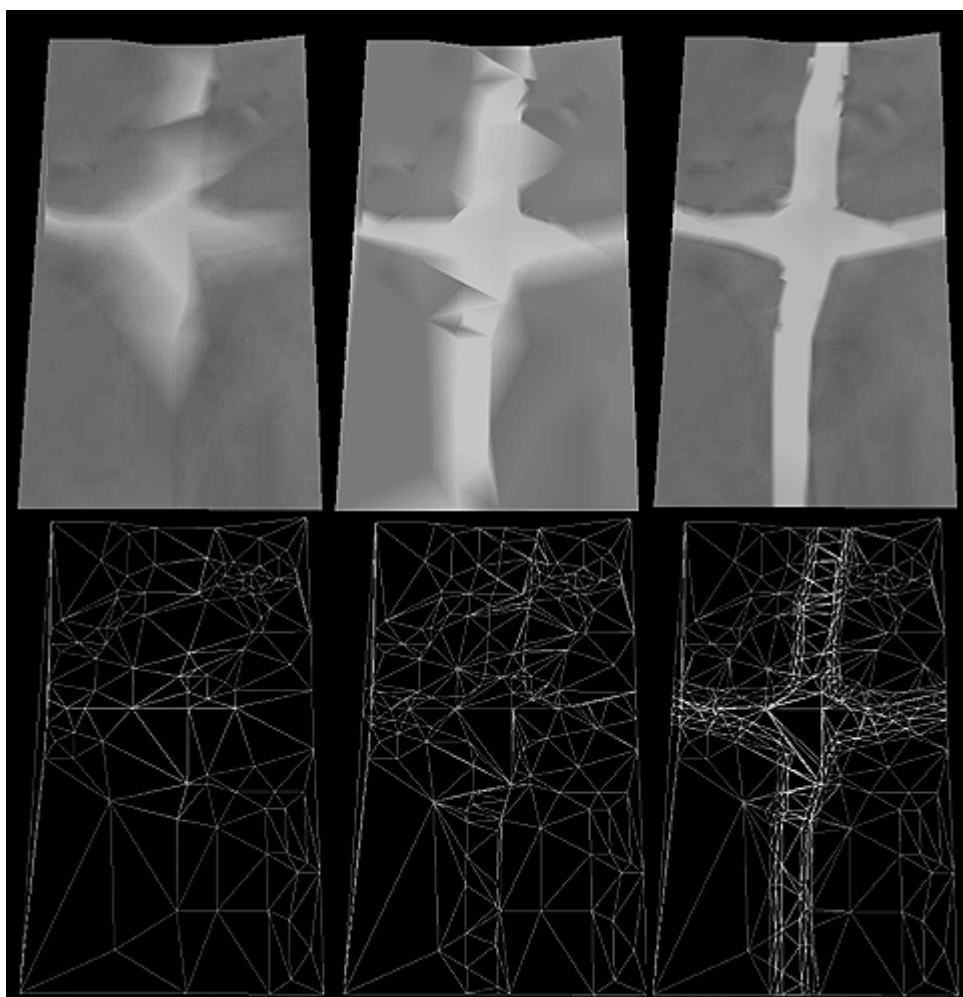


Figur 34: Effekter av kompensation för randeffekter mellan material.

Metoderna definierar till vilken grad gränsen mellan material skall skapas. Detta åstadkoms genom att antingen skapa en enkel eller dubbel rand längs med terrängklasser. En dubbel rand ger upphov till ett högre antal polygoner i den resulterande terrängmodellen, men resultatet är en radikalt förbättrat resultat avseende genereringen av radiansbilder för t.ex. simulering av IR-sensorer (se Figur 34).

Denna metod lämpar sig då materialklassningen har gjorts utgående från geospecifika bilder (t.ex. flygfoton) och inte geotypiska texturer (representativa texturer, ej geografiskt bundna, t.ex. "gräs"). Ett alternativ är att generera separata polygonmängder för de olika materialklasserna och sedan lägga samman dessa polygoner till en total markyta. Figur 34 illustrerar skillnaderna vid användning av dubbel rand jämfört med om trianguleringen ej har styrts.

Övre högra bilden visar resultat från IR-simulering av korsningen i övre vänstra bilden. Här finns inget band med trianglar i övergången mellan väg och gräs. Det syns tydligt hur vägen bryts av långa trianglar som sträcker sig från gräs in över vägen. Nedre vänstra bilden visar hur en enkel inre rand har använts. Detta ger ett enkelt band med extra trianglar vid vägkanten. Nederst till höger visas hur dubbel rand, en inre och en yttre, har använts. Detta ger två band med extra trianglar vid vägkanterna. Dessa tre exempel illustreras tydligt i Figur 35 nedan.



Figur 35: Effekt av dubbel rand på TIN-modell.

4.5 Cameo-Sim

Cameo-Sim är ett annat verktyg som studerats. Det är ett fysikaliskt baserat scensimuleringsverktyg utvecklat av InSys ltd (www.insys.co.uk). Det är ett verktyg som använder strålföljningsmetoder och radiosity för att beräkna t. ex. den termiska interaktionen mellan olika objekt och strålningen från scener i godtyckliga våglängdsband med hänsyn tagen till materialegenskaper och atmosfäreffekter. Då Cameosim ej är bundet till att generera bilder i realtid (som t. ex. SensorVision) ges möjlighet till betydligt större beräkningsnoggrannhet. Cameosim har även större möjligheter att använda sig av fraktala (beräknade) texturer för att göra det möjligt att simulera t. ex. gräs.

Inom projekten har arbete bedrivits för att skapa en omgivningsmodell för användning i Cameo-sim för att beräkna en IR-scen. För mer information om Cameo-Sim hänvisas till (Hermansson et al. 2003)

4.6 IR-texturering av Kvarnmodell

Beroende på tillämpningen behöver olika detaljerade omvärldsmodeller göras. För tillämpningar som kräver ett realistiskt bakgrundsklotter och realistiska mål/bakgrundsnivåer är det möjligt att generera omvärldsmodeller där texturen är

genererad från data från den sensor som skall simuleras, t. ex. en IR-sensor, på både mark, vegetation, byggnader och andra objekt. En sådan anpassning ger en avbildning av verkligheten som överensstämmer med den tidpunkt och de väder- och atmosfärstillstånd som gällde vid inmätningstillfället. Denna typ av modell är dock användbar för t. ex. generering av anflygningsförlopp och målföljning/målsökning, eftersom de ger ett realistiskt bakgrundsklotter.

I Figur 36 nedan visas en flygbildmosaik med över 2000 IR-bilder över försöksområdet i Kvarn. Denna mosaik kan användas som marktextur vid generering av en statisk IR-modell av Kvarn.



Figur 36: Ortofotomosaik av IR-bilder.

Nedanstående figur (Figur 37) illustrerar exempel på träd som har materialklassats, varefter radiansbilder har räknats fram givet de atmosfärsförhållanden som rådde vid mätningarna.



Figur 37: Träd (visuella modeller) och framräknade radiansbilder.

Vidare har utvalda objekt, t.ex. byggnader, avbildats med IR-kamera för att kunna skapa IR-representationer av dessa objekt. De statiska IR-bilderna draperas som textur. Figur 38 nedan illustrerar användningen av visuell textur och motsvarande IR-texturer på en byggnad.



Figur 38: Byggnad med visuella texturer och IR-texturer.

I Figur 39 visas en vy från omvärldsmodellen av Kvarn med IR-textur och IR-texturerade objekt och träd. IR-texturen på marken har en upplösning på ca 20 cm/pixel.



Figur 39: Vy från IR-texturerad omvärldsmodell av Kvarn.

Denna modell har använts i flera andra FoT-projekt för enkel IR-scengenerering, t.ex. i projekt inom FoT-områdena Sensorer över ytan och Telekrig.

5 Representation av omvärldsmodeller / Standarder

Standarder är av betydelse för att framtagna omvärldsmodeller och/eller delar därav ska kunna hanteras och distribueras på ett effektivt sätt. Idag finns många olika sätt att lagra och hantera data och fler möjligheter kommer säkert att skapas i och med teknikutvecklingen. De många skilda framtagningssätten leder dock ofta till onödigt dubbelarbete. Med en mer samordnad och standardiserad framtagnings-, försörjnings- och underhållsprocess samt en standard för informationshantering skulle en bättre effektivitet kunna uppnås. En högre grad av återbruk och enklare utbyte av data skulle också kunna erhållas, vilket skulle ge effektivitetsvinster både sett till tid och kostnader.

I FM nya inriktning kommer också samverkan och interoperabilitet i fredsbevarande operationer inom organisationer som FN, NATO och PfP att öka i betydelse. Området Modellering och simulering kommer att ha en nyckelroll för att kunna stärka insatsberedskapen och interoperabilitetsgraden med andra länders fredsbevarande styrkor. Det krävs dock att man från FM sida kan anpassa sig till och utnyttja de standarder (såväl militära som industriella de facto-standarder) som våra allierade och samverkanspartner väljer.

Olika tillämpningar kräver ofta olika representation av omvärlden. GIS-tillämpningar använder ofta vektor- och rasterrepresentation av (vanligen) 2D-karaktär. GIS-världen har de facto-standardiserats till att använda sig av ESRI Shape-format för vektorrepresentation och ofta GeoTiff för raster. Dessa format är dock ej lämpade för realtidstillämpningar eller 3D, utan används snarare för visualisering eller datautbyte. Simuleringsområdet har de facto-standardiserats till att använda OpenFlight för att representera omvärlden. OpenFlight är ett polygonbaserat runtime-format för visuell simulering. Det saknar däremot stöd för materialegenskaper, vilket krävs för att kunna genomföra simulering av sensorer i dessa modeller. Om en simulering som använder OpenFlight skall innefatta simulering av sensorer krävs separata databaser för material, väder, atmosfär, hav osv.

5.1 SEDRIS

SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) är ett system för representation och utbyte av omgivningsdata som är tänkt att kunna fylla alla behov av omgivningsinformation, antingen det rör sig om data för GIS-tillämpningar eller för simuleringar. SEDRIS är ett förslag till standard för att kunna representera omgivningsdata, antingen omgivningen är verklig, geospecifik, geotypisk eller rent fiktiv.

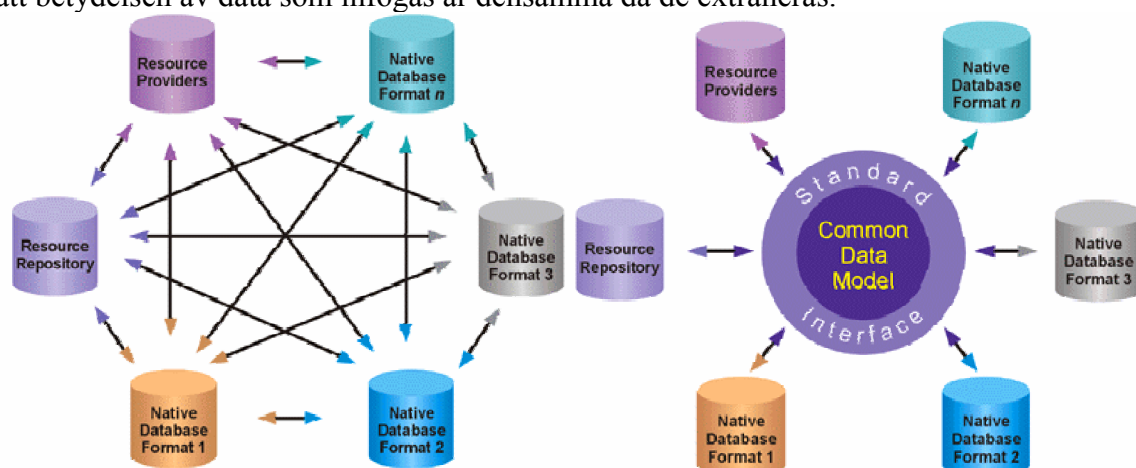
SEDRIS omfattar alla omgivningsaspekter, såsom mark, sjö, undervatten, luft och rymd. Tanken är att SEDRIS skall vara ett oberoende dataöverföringssystem där omgivningsdata är entydigt representerade. Från detta system skall det vara möjligt att för olika tillämpningar extrahera nödvändig information. Data skall vara representerade på ett sådant sätt att betydelsen av data i systemet skall vara entydig. Detta för att underlätta interoperabilitet mellan olika tillämpningar. Målsättningen med SEDRIS är att alla deltagare i t.ex. en distribuerad simulering kan dela en gemensam beskrivning av den aktuella omgivningen.

SEDRIS ska inte enbart vara tillgängligt för området modellering och simulering, utan även för andra områden som har behov att representera data. Detta kan t.ex. innefatta meteorologi, geologi, GIS och ledningssystem. Om det är möjligt att alla områden kan representera sina data på en gemensam form görs möjligheten till utbyte större, vilket i många fall eliminerar dubbelarbete eller kostsam utveckling av särskilda system för datakonvertering.

SEDRIS har två nyckelaspekter: representation av data samt ett system för entydigt utbyte av data. I specifikationen ingår fem nyckelkomponenter:

- En modell för datarepresentation (DRM)
- En specifikation för kodning av omgivningsdata (EDCS)
- En rumslig referensmodell (SRM)
- Ett överföringsformat (STF)
- Ett gränssnitt (API)
- Verktyg och hjälpmedel (SEDRIS Tools)

SEDRIS skall fungera som ett nav (se Figur 40 till höger) från vilket olika tillämpningar extraherar och utbyter sina omgivningsdata. Navets (SEDRIS) gränssnitt och dess interna datamodell är entydigt definierade för att försäkra sig om att betydelsen av data som infogas är densamma då de extraheras.



Figur 40: Hur SEDRIS fungerar. Elimineras punkt-till-punkt-konverteringar.

Tack vare denna lösning undviks kostsamma punkt-till-punkt-konverteringar och ett merarbete då fler heterogena system vill använda samma omvärldssystem i en distribuerad simulering (som i Figur 40 till vänster). Med SEDRIS behöver således endast konverteringsvägar mellan det egna verktygets representation och SEDRIS framställas för att kunna ta del av en simulerings omgivningsbeskrivning och på så sätt öka möjligheterna till interoperabilitet.

Inom projektet har en kontinuerlig bevakning av SEDRIS pågått. Kontakter har etablerats med SEDRIS Core Team. Seminarier och kurser för intresserade inom FM, FMV och industrin har genomförts.

I nuläget har Sverige intagit en avvaktande och observerande position vad beträffar SEDRIS. Utvecklingen inom standardiseringsarbetet följs, då det kan tänkas innebära en mindre risk för finansiärer och projektledare att använda sig av standardiserade

system vid definition av gränssytor mellan verksamheter som använder sig av omvärldsinformation. SEDRIS är det längsta någon har kommit avseende detta

5.2 Samarbete FMV/FOI/GeoSE

Arbetet med SEDRIS har i projektet genomförts i form av en studie i samverkan mellan FOI, FMV och GeoSE avseende representation av svenska geodata (GSD) kontra SEDRIS. Studien avsåg att undersöka möjligheterna att uttrycka svenska geodata enligt SEDRIS (EDCS) för att underlätta interoperabilitet och datautbyte vid samarbete med internationella parter.

Resultatet av arbetet gav en överblick av läget inom svensk försörjning av omgivningsdata i relation till omvärlden. I och med utökat internationellt samarbete och den snabba tekniska utvecklingen kommer behovet av omgivningsdata att öka inom många områden, både i uttryck av kvalitet och också kvantitet. Till detta följer behovet av ökat utbyte av omgivningsdata, såväl mellan områden som nationellt och internationellt. Till omgivningsdata hör, förutom rena geografiska data, även information om egenskaper hos material och atmosfär. Detta medför ett behov av ett kraftfullt sätt att beskriva omgivningsinformation och en högre grad av samordning, vilket även skulle leda till ett större återbruk av omgivningsdata och därmed reducerade kostnader. Ett möjligt sätt att skapa en enad och områdesoberoende omvärldsbeskrivning vore att använda sig av SEDRIS. SEDRIS är som tidigare nämnts på väg att bli en ISO-standard, och både NATO och DoD ger stöd för denna standard. Detta gör att det även skulle underlätta för Sveriges internationella samarbete i egenskap av Pfp-land om SEDRIS användes.

Vidare resultat av arbetet var en ansats till översättning mellan svenska geografiska data till EDCS (Environmental Data Coding Specification, en delteknologi i SEDRIS). Svenska geodata (GSD) har en annan uppbyggnad än EDCS, varför det ibland kan finnas flera alternativa sätt att uttrycka en företeelse från GSD till EDCS. Detta kan leda till inkonskvent hantering av geografiska data och risken finns att interoperabilitets hindras då representationen är entydig. Därför krävs en auktoritativ avbildning mellan GSD och EDCS som skall gälla vid all översättning. Denna bör stadfästas av en myndighet, t.ex. FMV.

Vidare skapades en terrängmodell över norra Stockholm baserat på denna översättning. Denna modell överfördes sedan till SEDRIS-format varefter den jämfördes med motsvarande modell för realtidsvisualisering för att undersöka om det fanns skillnader mellan de olika versionerna av terrängmodellen.

Vidare gav samarbetet en analys om att det krävs ett antal åtgärder för att kunna använda SEDRIS i Sverige. De flesta åtgärderna pekar på behovet av utbildning av kravställare och styrning vid framställning av kravspecifikationer. Vidare bör arvet av redan befintliga omgivningsdata kunna hanteras med hjälp av en auktoritativ avbildning till SEDRIS. Vidare gav arbetet att det bör uprättas en form av FM-övergripande struktur för handhavande, registrering och återbruk av omgivningsinformation. Det bör även informeras om vad användande av SEDRIS innebär ur producent- och användarsynpunkt.

För mer information om SEDRIS hänvisas till (Ahlberg, 2000). Ytterligare detaljer om samarbetet FMV/FOI/GeoSE finns (Ahlberg & Astell, 2002).

6 Demonstrator: Högupplöst geospecifik omgivningsmodell

I projekten har en demonstrator i form av en högupplöst geospecifik omgivningsmodell utvecklats. Syftet var att demonstrera användning av de i projektet utvecklade metoderna för att skapa underlag för framtagning av en omgivningsmodell för visuell simulering. Omgivningsmodellen som tagits fram avbildar en verklig plats, en liten del vid Kvarn på av Prästtomta skjutfält några mil nordväst om Linköping. Omvärldmodellen har även genererats i en statisk IR-version.

6.1 Grunddata

Grunddata bestod av terräng inmätt med skannande flygburet laserradarsystem samt högupplösta flygbilder (visuella och IR). För ett omgivande område utanför det i detalj uppmätta området användes höjddata från Lantmäteriets höjddatabank samt flygfoton.

6.2 Verktyg

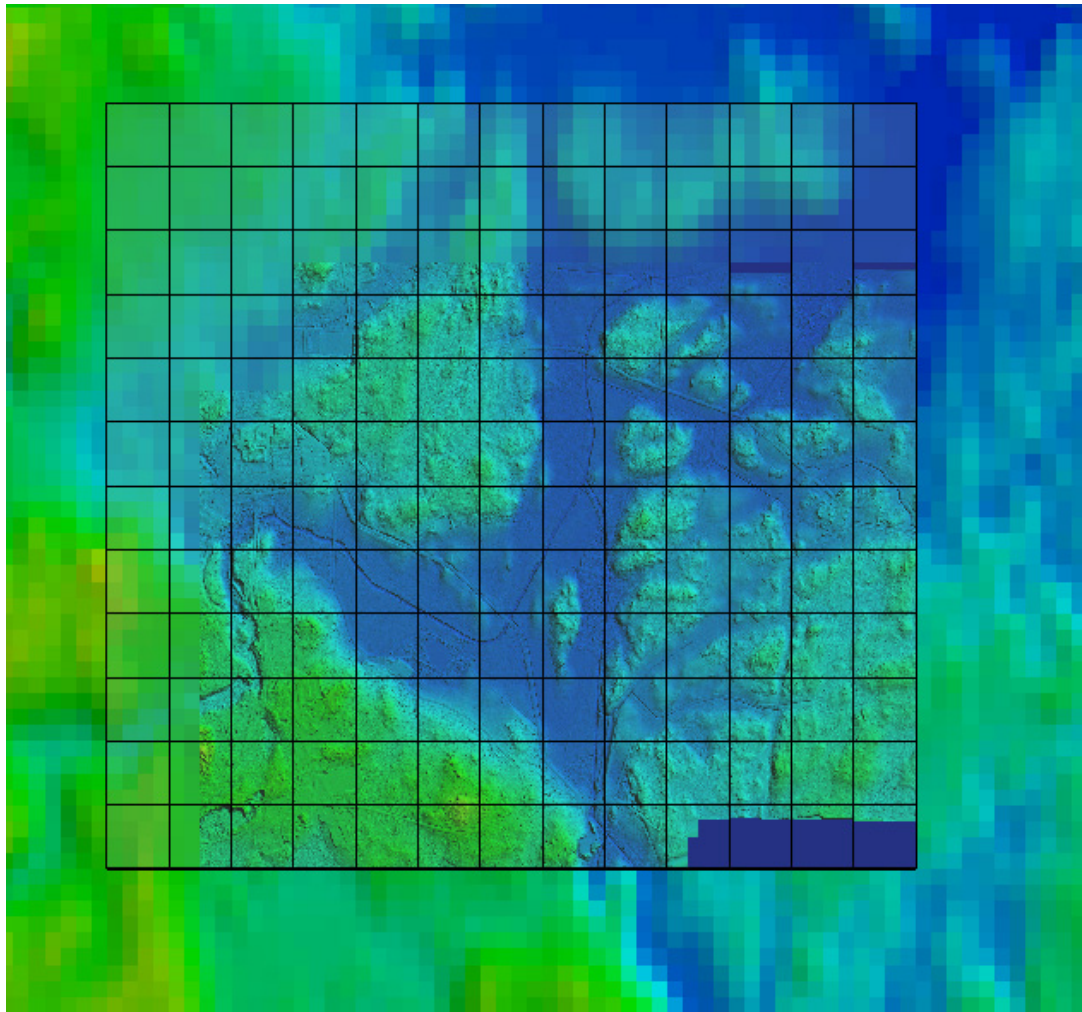
Det finns en mängd kommersiella verktyg för generering av omvärldsdata-baser. I detta exempel användes TerraVista Pro Builder från Terrain Experts (www.terrex.com).

6.3 Databehandling

För visuell simulering krävs ofta att bildgeneratorsystemet har en god visuell uppdateringshastighet. Detta kräver att den omvärldsmodell som skall användas måste reduceras så att inte sensordata används direkt. Detta skulle ge en alltför komplex modell. I stället måste datamängden reduceras. Detta sker t.ex. genom att den ursprungliga markytan approximeras med användning av triangulering, enskilda träd byts ut mot enklare modeller och byggnader ersätts med 3D/CAD-representationer.

6.3.1 Markyta

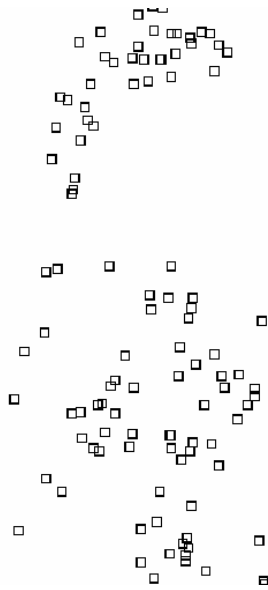
Figur 41 nedan visar det område som har modellerats (rutnätet). Det centrala området består av en högupplöst markmodell som har tagits fram med den i projektet utvecklade metoden för att skatta markytan, se kapitel 3.5. Denna har sedan integrerats i höjddata från lantmäteriet (50m-upplösning). Skillnaden i upplösning syns tydligt i figuren.



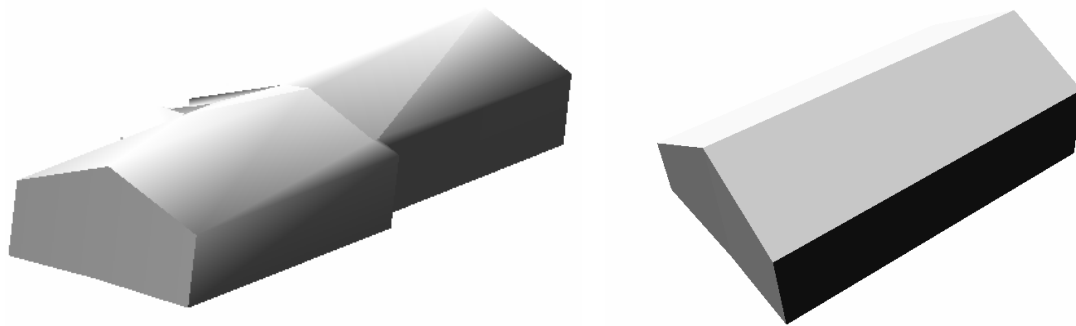
Figur 41: Höjdmodeller som indata.

6.3.2 Byggnader

Genom analys och klassificering av laserdata kunde byggnader i området extraheras och rekonstrueras som 3D-modeller, se kapitel 3.8. 3D-modellerna lagrades som separata filer. Som underlag för framtagning av omgivningsmodellen representerades byggnadsinformationen som vektordata (Shape-filer), i detta fall som ett punktlager med associerade attribut, se Figur 42. Punkterna anger position för respektive husmodell och i ett av attributen anges filnamnet för 3D-modellen. Exempel på 3D-modeller av byggnader visas i Figur 43.



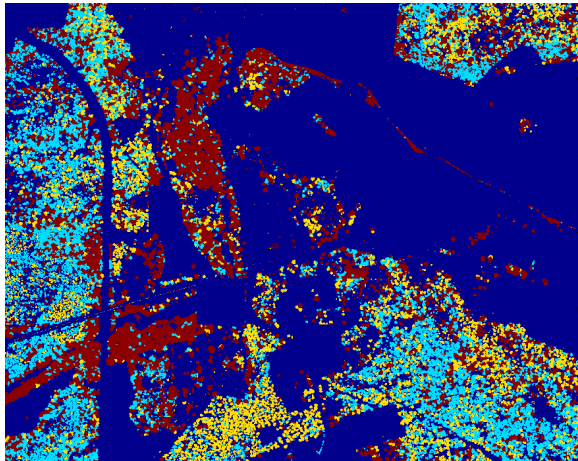
Figur 42: Punktskikt som markerar enskilda byggnader.



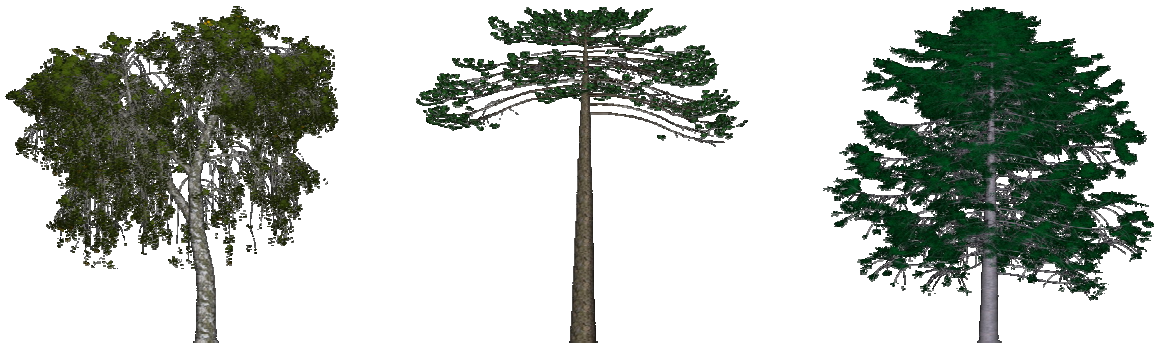
Figur 43: Automatiskt rekonstruerade byggnader i form av 3D/CAD-modeller.

6.3.3 Enskilda träd

Genom användning av tidigare beskrivna metoder detekterades enskilda träd och egenskaper som position, höjd, kronbredd och trädslag (tall, gran, lövträd) skattas. Denna information representerades sedan som vektordata (Shape-fil) i form av ett punktlager med attribut. Modeller av träden producerades i för ändamålet specifika verktyg. I området har ca 260000 enskilda träd detekterats. Figur 44 visar exempel på detekterade träd i Kvarn-området som har trädslagsklassificerats.



Figur 44: Detekterade och klassificerade träd i Kvarn-området.



Figur 45: Trädmodeller.

6.3.4 Vägar och vattendrag

För att möjliggöra användning av automatiska funktioner för generering av vägbanor i verktyget TerraVista skapades en vektorrepresentation av vägarna i Kvarn-området. Detta sker manuellt då automatiska metoder för vektorisering av vägar genom analys och klassning av sensordata ännu inte utvecklats. Som grunddata användes intensitetsdata och höjddata från lasermätning och högupplösta flygbilder. Den höga upplösningen i dessa indata gör det möjligt att också bestämma bredden hos de vektoriserade företeelserna med stor noggrannhet. Figur 46 nedan illustrerar vektoriserade vägar och vattendrag i området.



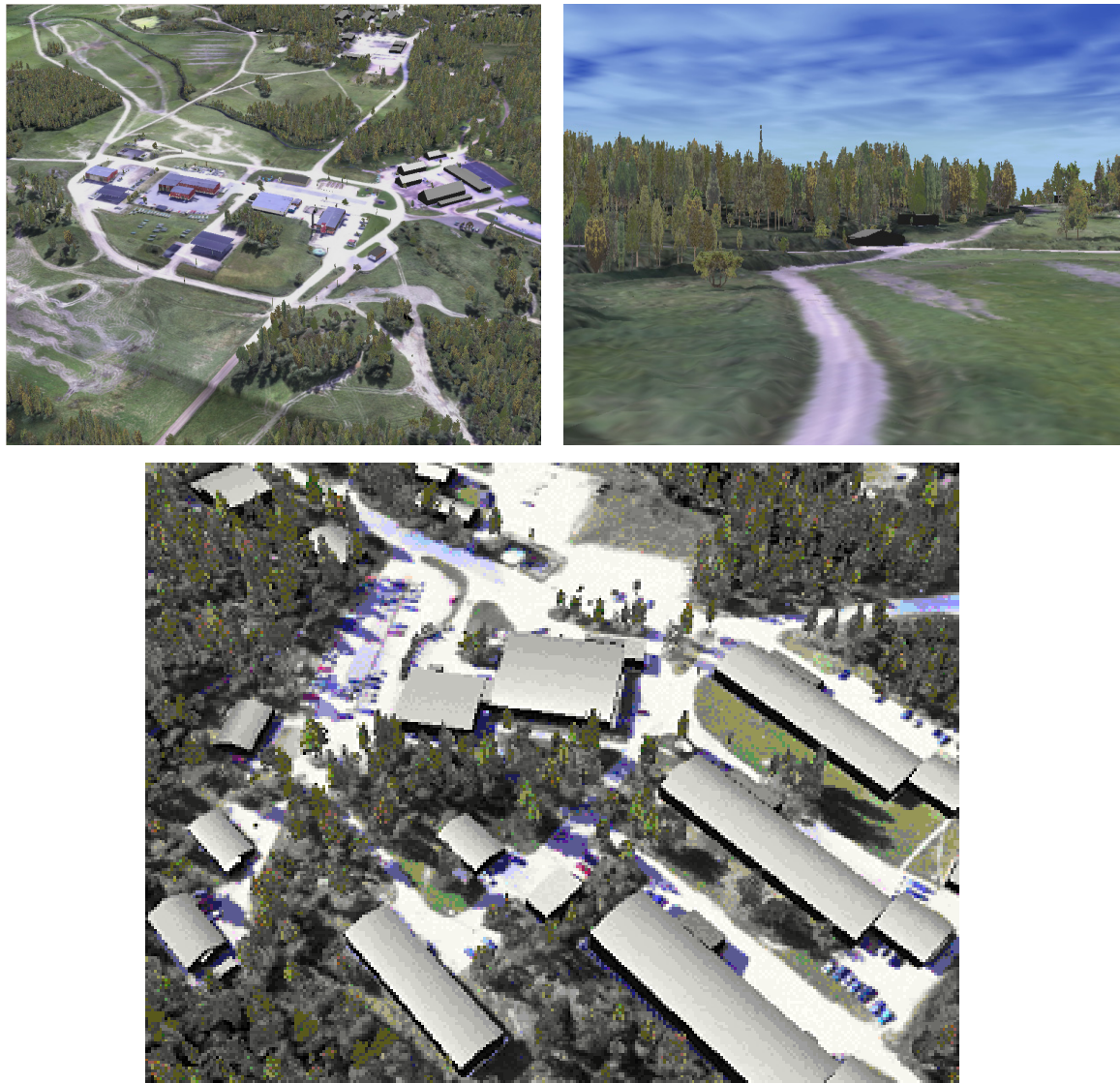
Figur 46: Vektorbild över del av Kvarn som visar vägar och vattendrag.

6.3.5 Ortorektifiering och ortofotomosaik

Ortorektifiering och georeferering av de enskilda flygbilderna görs med användning av kameradata (position och orientering) för varje bild samt med den högupplösta ytmodell som genererats från laserradardata. De enskilda bilderna sätts sedan samman till en mosaik över området.

6.3.6 Omvärldsmodellering - resultat

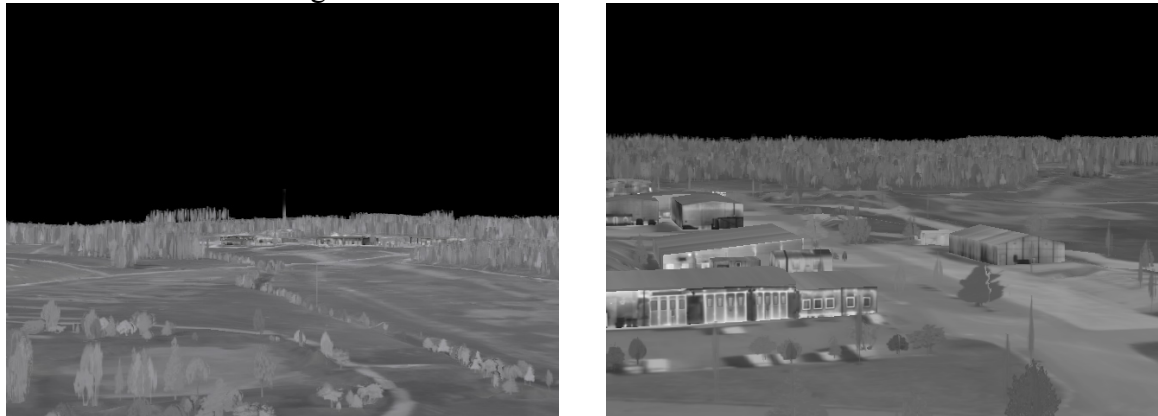
I verktyget TerraVista specificerades de önskade egenskaperna för den omvärldsmodell som ska genereras. Här specificerades också vilka underlag som finns och hur dessa ska användas, den detaljerade markmodellen, de mindre detaljerade omgivande höjddata, positioner och modeller för byggnader, positioner, storlek och modeller för träd, vektordata för vägar samt flygbildstexturen. För träden instruerades TerraVista att för varje träd hämta en trädmodell av rätt slags träd, skala modellen till rätt storlek och sedan placera ut den på rätt position. För byggnaderna hämtades respektive byggnadsmodell direkt och placerades på rätt position. Den genererade omvärldsmodellen som är avsedd för visuell simulering illustreras i Figur 47.



Figur 47: Vyer från visuell modell av Kvarn.

6.3.7 IR-anpassning

IR-bilderna ortorektifierades också och sammanfogades i en mosaik över området. Denna användes som textur för att framställa en IR-modell över området. En del byggnader mättes in separat med IR-kamera varefter dessa bilder används som texturer för byggnadernas vertikala sidor. Trädmodellernas visuella texturer associerades med material och IR-sensorsimulering användes för att generera IR-texturer av träden, vilken sedan applicerades på trädmodellerna. Den IR-anpassade modellen illustreras i Figur 48



Figur 48: Vyer från IR-texturerad modell av Kvarn.

7 Resultat och kunskapsöverföring

Projekten har mött ett stort intresse inom och utanför FOI. Resultaten har presenterats på ett stort antal konferenser, föredrag och i vetenskapliga tidskrifter. Myndigheter såväl som Försvarmakten har efterfrågat stöd från verksamheten.

7.1 Resultat

Resultat från projekten finns i form av nya metoder för behandling och analys av data från laserradar, integrationsmetoder för visualisering och generering av omvärldsmodeller, kompetensöverföring i form av rapporter, presentationer och publikationer.

7.2 Publikationer

Resultat från projekten i form av tidskriftsartiklar, konferensbidrag, presentationer och seminarier redovisas i avsnitt 10.

7.3 Avtappning, stöd

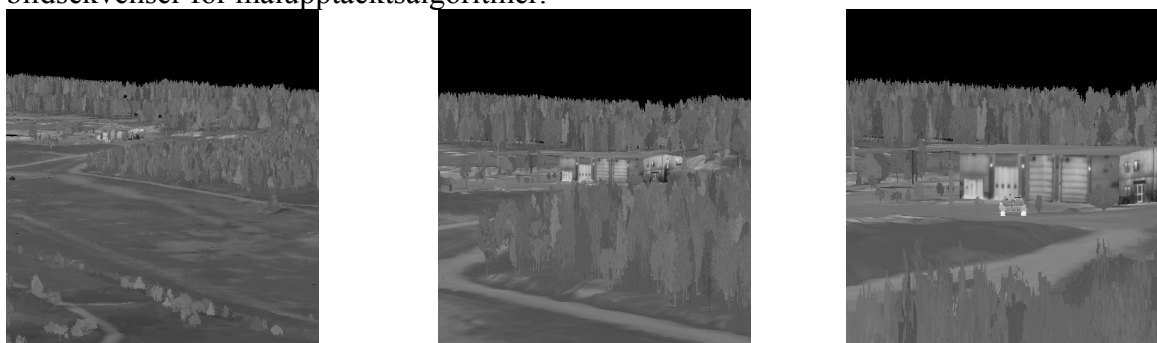
Resultat och erfarenheter från projekten har efterfrågats inom många verksamheter inom såväl FOI som Försvarmakten och andra myndigheter. Följande avsnitt visar några exempel på det stöd som getts.

7.3.1 Stöd till andra projekt

Resultat från projekten har efterfrågats av en mängd projekt inom FOIs FoT-verksamhet. Dessa uppdrag redogörs för nedan.

7.3.1.1 SIREOS

Inom SIREOS (projekt inom strategiska forskningskärnor vid FOI) används högupplösta terrängmodeller med IR-textur för att generera bildsekvenser vid anflygningsförlopp mot mål i terrängen. Dessa bildsekvenser används för att stimulera målsökar- och målföljaralgoritmer. Figur 49 nedan visar exempel på bilder ur bildsekvenser för målupptäcktsalgoritmer.

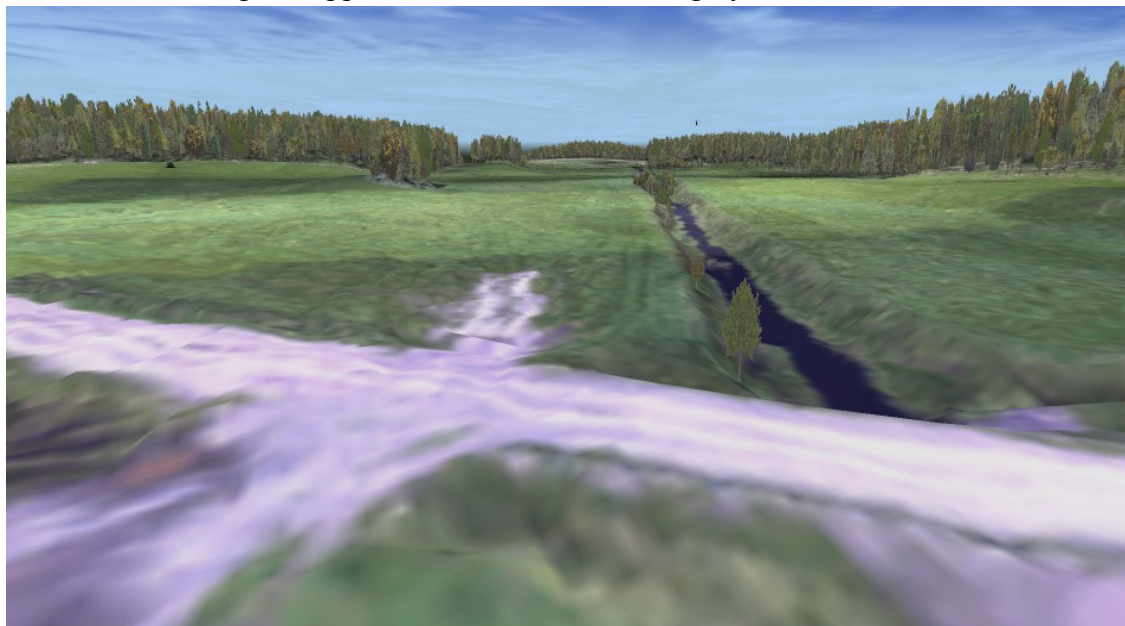


Figur 49: Vyer från IR-texturerad modell av Kvarn där även målobjekt har lagts in.

7.3.1.2 MOSART / Interaktiva adaptiva marksensornät (IAM)

För simulering av akustiska sensornät skapades en topografisk terrängmodell för att genomföra simulering av akustisk vågutbredning. Modellen representerar ett område i Kvarn, vilket gör det möjligt att genomföra mätningar i området för att validera och

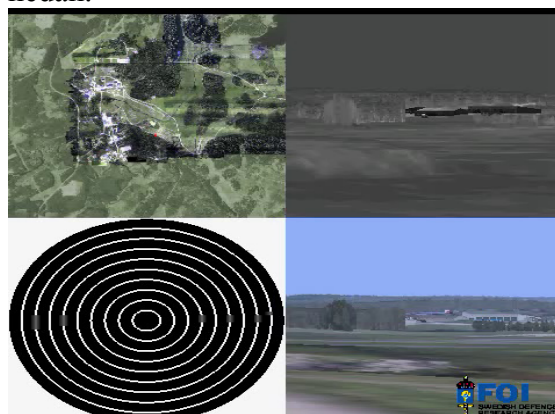
verifiera simuleringsresultatet. En visuell modell över samma område skapades för att illustrera simuleringsförloppet i ett realtidsvisualiseringssystem.



Figur 50: Område för simulering för akustiskt marksensornät.

7.3.1.3 Telekrig

Omvärldsmodeller har skapats för användning i simulering av telekrigstillämpningar och för simulering av hotdueller. Modellerna som skapades för dessa ändamål baserades på data från laserradar, men hade mer lågupplöst schematisk vegetation i form av 3D-volymer. Modellerna skapades med både visuell och IR-textur. Vidare skapades en grov modell över området att användas som översiktsvy, se Figur 51 nedan.



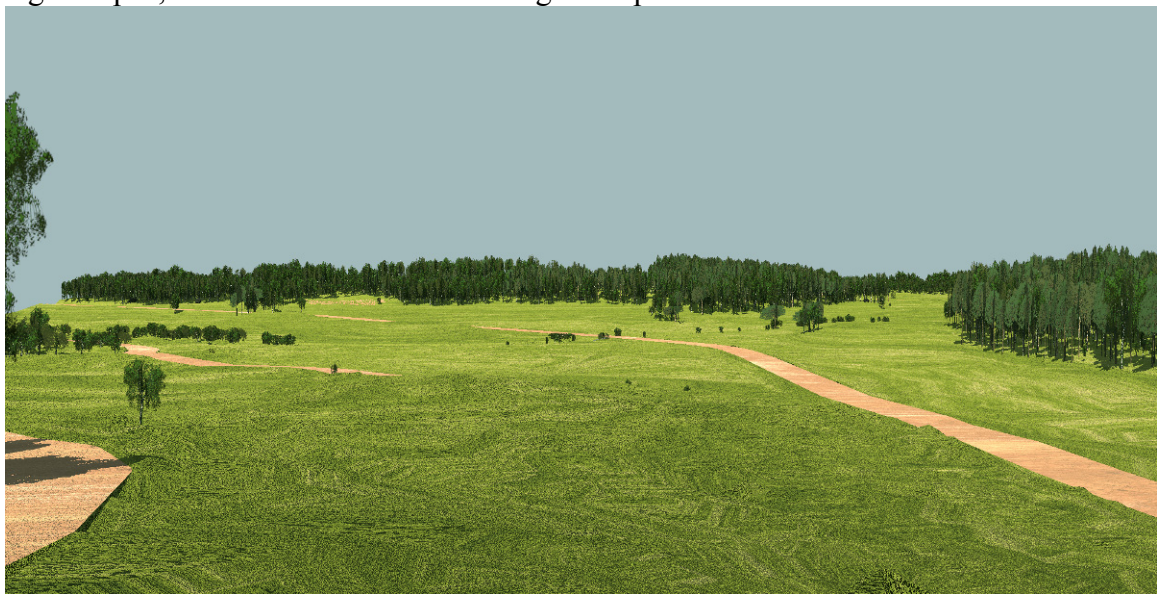
Figur 51: Vy från simuleringssystem för telekrig. Tre versioner av omvärldsmodellen används. Illustration: Lars Tydén.

7.3.1.4 Optiska signaturer / WEAG-Thales

I samband med de internationella multi- och hyperspektrala mätkampanjerna i Kvarn i maj 2003 skapades en högupplöst omvärldsmodell över det aktuella området. Området innehöll tre målområden som modellerades med särskilt hög upplösning.

Materialparametrar som uppmätts under mätkampanjen infördes i modellen för att kunna återskapa de förhållanden som rådde. Detta för att skapa indata för noggrann beräkning av strålningsbilder i olika våglängdsband med hjälp av Cameo-sim. Dessa bilder skall sedan valideras mot de faktiska mätdata som samlades in under mätkampanjen. Vidare skall simuleringar av de olika mätsystemen genomföras i omvärldsmodellen. Figur 52 och Figur 53 nedan visar vyer från mätområdet. I den simulerade bilden har varje träd placerats på rätt plats och med korrekt trädslag.

Upplösningen i terrängytan är ca 1 m . De ingående terrängklasserna och objekten i modellen har associerats med materialegenskaper. Gräsytorna är procedurrellt framräknade i CameoSim för att kunna ge ett realistiskt klotter vid beräkning av t. ex. IR-bilder. Den visuella bilden visar målområdet sett från en av mätplatserna. Bilden är tagen i april, varför det ännu inte finns några löv på lövträden.



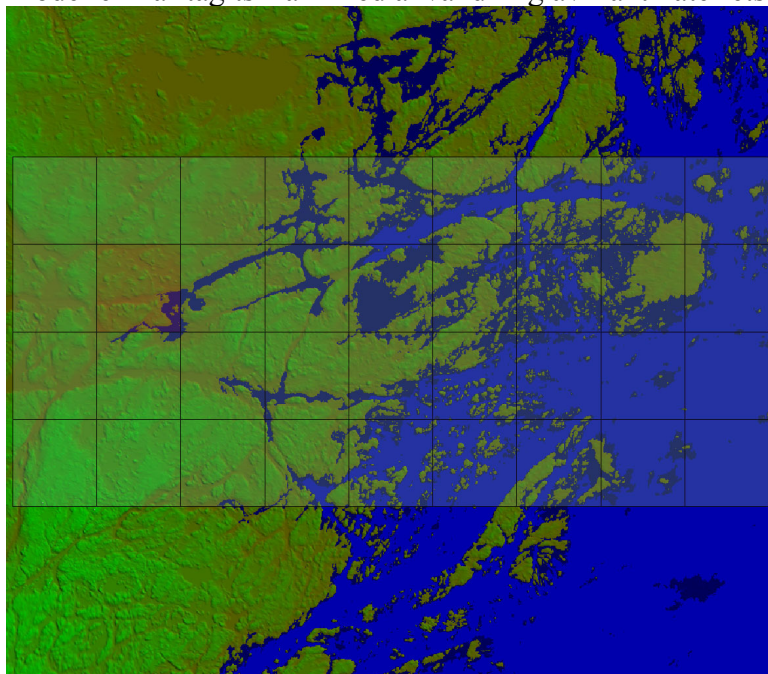
Figur 52: Vy över målområdet från mätplatsen. Simulerad bild.



Figur 53: Vy över målområdet från mätplatsen. Fotografi.

7.3.1.5 Informationsfusion

Projektet har bidragit med stöd till projektet ”Informationsfusion i det framtida nätverksbaserade försvaret” i form av specialanpassade omvärldsmodeller över en del av Roslagen (se Figur 54 nedan) med Norrtälje och Kapellskär som centrala delar. Modellen har tagits fram med användning av Lantmäteriets grunddata.



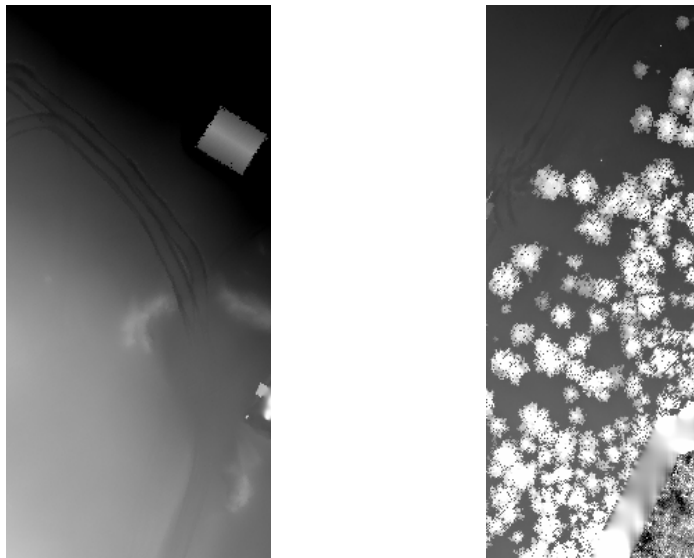
Figur 54: Modellerat område för projekt Informationsfusion.

7.3.2 Stöd inom FM/FMV

Avtappning och stöd har också efterfrågats i ett antal projekt inom Försvarmakten och FMV.

7.3.2.1 BONUS

Högupplösta terrängmodeller baserade på data från flygburen laserradar har använts inom BONUS-projektet (FMV/Bofors Defence). Ytmodeller över ett antal mindre områden har skapats som underlag för simulering av BONUS-systemet (se Figur 55). Både vinter- och sommarscenarier har mätts in och behandlats.

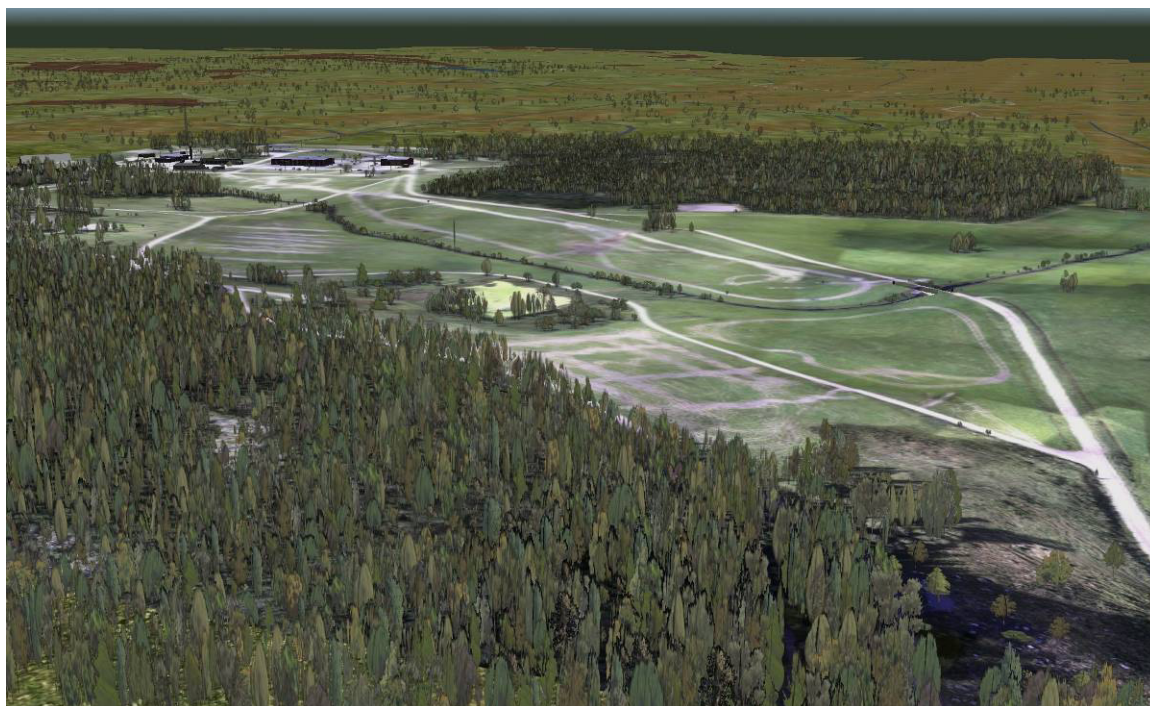


Figur 55: Exempel på lasermätdata från snötäckta områden.

7.3.2.2 BTA (Besättningsträningsanläggning MSS Skövde)

Besättningsträningsanläggningen (BTA) är ett system för att träna stridsvagnsbesättningar (Strv122) i olika roller. Det visuella systemet uppdateras 2003 och i samband med detta undersöks möjligheterna till avsevärt mer högupplösta omgivningsmodeller. Omvärldsmodeller över ett 25km x 25km stort område har skapats med användning av tillgängliga geodata (GSD) från Lantmäteriverket. Till dessa har infogats ett högupplöst område (1m punkttäthet i DEM, högupplöst textur (18 cm/pixel), enskilda träd och byggnader) om ca 1,5km x 1,5km. Denna kombinerade modell illustrerar skillnaden mellan att skapa terrängmodeller baserade på dagens tillgängliga data (GSD) jämfört med det underlag som erhålls med mer högupplösande sensorer och automatisk företeelseextraktion. Figur 56 nedan visar den del av BTA-modellen där det högupplösta området är infällt i den omgivningsmodell som genererats utgående från GSD. I bilden ses tydligt skillnaden i texturupplösning, detaljrikedom och trädtäthet, trots att trädtätheten hos den automatgenererade vegetationen i GSD-området har varit hög. Omgivningsmodellen skall utvärderas i BTA under 2004.

Med den mer högupplösta modellen ges helt andra möjligheter till simulering av (bland annat) markfordon och avsutten trupp. Modellen används även som indata för generering av terränginformation för syntetiska stridskrafter.



Figur 56: Skillnad mellan högupplöst område baserat på lasermätningar och terrängmodell genererad med GSD.

7.3.2.3 Stöd vid utveckling av SIB-anläggning MSS Kvarn

En markmodell som tagits fram inom projektet har använts vid projektering av en ny SIB/MOUT-anläggning på MSS Kvarn. Med hjälp av de noggranna höjdmodellerna och korrelationen med den verkliga terrängern var det möjligt att snabbt kunna visualisera riskområden för olika konfigurationer av byggnader för att kunna diskutera och värdera utformningen av anläggningen.



7.4 Samarbete UoH

Under projektets gång har ett gott samarbete byggts upp med Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå (SLU), institutionen för skoglig analys och

resurshushållning. I samverkan med SLU har de framtagna metoderna för detektion av enskilda träd och skattning av olika parametrar validerats. SLU har bidragit med sensordata från flygburen laserskanning samt manuellt inhämtade fältdata från olika försöksområden. FOI har bearbetat data och utvärdering har skett gemensamt. Resultatet har dokumenterats i ett antal tidskriftsartiklar (Persson & Holmgren 2003, Persson, Holmgren & Söderman 2002) och olika föredrag. En doktorand på SLU har även delvis handledts av Ulf Söderman. Disputation skedde i september 2003.

8 Slutsatser och behov av fortsatt arbete

8.1 Slutsatser

Under verksamhetens gång har många framgångar och intressanta resultat nåtts. Metoder har utvecklats för att hantera de olika stegen i dataframtagningsprocessen som identifierats. Under projektets gång har allt fler tillämpningar och användningsområden för högupplösta omvärldsmodeller identifierats, både militära och civila. Projektet har visat att framtagning av högupplösta omvärldsmodeller i sig är ett komplext problem som behöver brytas ner i separat analyserade delproblem.

8.1.1 Hög upplösning

Tillgång till högupplöst omgivningsinformation ger nya möjligheter för många tillämpningar, till exempel inom ledningssystem, träningssystem eller vid forskning och systemutveckling. Högupplösta data ger nya möjligheter till att kunna genomföra noggrann siktlinjes- och riskområdesanalys.

8.1.2 Aktuella underlag

Att snabbt kunna använda aktuella och uppdaterade underlag är av stor vikt för framtidens ledningssystem och beslutsstödssystem, t.ex. taktisk kartering. För planering av insatser i obekant terräng är tillgången till aktuella data av stor vikt, särskilt i föränderliga omgivningar som t.ex. urbana miljöer.

8.2 Behov av fortsatt arbete

Under arbetet har behov av vidare forskning och utveckling identifierats. Några av dessa redovisas i följande avsnitt.

8.2.1 Ofullständiga data - kvalitetsmått

Beroende på egenskaper och tillgängligheten hos samverkande sensorer i nätverket i ett framtida NBF kan den geografiska information som samlas in vara mer eller mindre fullständig. Detta kräver en form av kvalitetsmått hos dessa data för att tillämpningen skall kunna ange ett tillförlitlighetsmått vid användning av data.

8.2.2 Sensorsimulering

Det nya försvarets sensorsystem kommer att bestå av en mängd olika sensorer, t. ex. radar, IR, laser, kameror eller akustiska sensorer. För att stödja utvecklingen mot NBF kommer behovet av realistisk sensorsimulering att öka. MoS av sensorer behövs med mer eller mindre krav på naturtrogenhet för t ex konceptstudier i tidiga faser, stöd för utveckling av data och informationsfusion inom LedsystT, för sensorfunktioner i utbildning och träning, studier inom telekrig och signaturanpassning, o.s.v.

En framtida välutvecklad SBM-process som styr materielförsörjningen i alla dess faser är i högsta grad beroende av omvärldsmodeller i vilka det är möjligt att simulera sensorer eller system av sensorer. Omvärldsmodeller för sensorsimulering är således ett mycket viktigt område för att SBM skall kunna realiseras.

8.2.3 Växelverkan

Förändringar i omvärlden, t.ex. kratrar efter krevader, uppvärmning av terräng i närheten av värmekällor (fordon), spårbildning, rök etc. måste kunna representeras i framtidens simulatorer. Dessa är nödvändiga inslag i framtida simuleringssystem om realismen skall kunna ökas. Möjligheterna till simulering av olika former av växelverkan mellan objekt och representationen av omvärlden har hittills varit begränsade. Ofta har simulering av t.ex. vapenverkan skett genom att det för varje objektmodell har funnits några olika ”tillstånd” för t.ex. hur skadat objektet är. Dessa tillstånd har sedan bytts beroende på grad av förstörelse, etc. För att kunna uppnå nya effekter och ge största möjliga frihet till t.ex. vägval (spårbildning), val av godtyckliga mål, kraterbildning måste hanteringen av växelverkan och förändringar i terrängen ske på ett helt nytt sätt.

Att hantera växelverkan generellt är resurskrävande, och samtidigt är det av största vikt att all växelverkan uppfattas på samma sätt i alla simuleringssystem, till exempel i en distribuerad simulering, annars äventyras interoperabiliteten och en ”fair fight”. Detta ställer nya krav på omvärldsmodelleringen, ökar behovet av kompetensuppbyggnad och nya forskningsinsatser inom flera områden.

För att kunna simulera verkan av t.ex. vapen eller fältarbeten behöver omgivningsmodellerna utökas med information om beskaffenhet, material och struktur hos de i modellen ingående objekten och terrängen samt modeller för de former av växelverkan som förekommer. Idag begränsas verkanssimulering ofta till stegvisa förbestämda deformationsmodeller för enskilda objekt. Framtidens simuleringssystem måste ge utrymme för mer generell verksanssimulering.

Ett annat exempel är väder som har stor inverkan på genomförande av insatser och därför behöver tas hänsyn till vid simuleringar. Påverkan i form av t.ex. nederbörd och vind kan exempelvis påverka sikt, markbeskaffenhet och framkomlighet.

8.2.4 Standarder

Standarder för omvärldsmodeller är av stor betydelse för möjligheten att uppnå en hög grad av interoperabilitet. De är också av stor betydelse för hur modellerna ska kunna hanteras och distribueras på ett effektivt sätt samt för möjligheten till återbruk. Det finns därför ett stort behov av att kunskapen om standarder och standardisering av omvärldsmodeller utvecklas samt att den internationella utvecklings följs noga, inte minst utvecklingen inom SEDRIS.

8.2.5 Automatisering

En effektivare och i högre grad automatiserad process för att utveckla omvärldsmodeller allt efter behov skulle kunna spara stora resurser. Att snabbt kunna producera aktuella omvärldsmodeller ställer dock höga krav på framtagningsprocessen från insamling av data till tillämpningsspecifik modell. För att tidsåtgången för denna process skall minskas krävs att de ingående processtegen anpassas för automatisering, t.ex. att de minimerar manuell parametersättning. Vidare måste huvudprocessen vara beskriven på ett generellt sätt så att det är möjligt att realisera denna som ett autonomt system. Att formalisera processbeskrivningen och

den konceptuella modellen av omvärlden är ett område som behöver behandlas i vidare arbete.

8.3 Summering

Verksamheten inom omvärldsmodellering och omvärldsmodeller för sensorsimulering har utvecklats stort under de år som projekten pågått. Projektet har visat vilka möjligheter som finns för att med dagens sensorer framställa högupplösta syntetiska omgivningar för tillämpningar inom bland annat träning, ledning, simulering, systemutveckling, analys och studier. Intresset för verksamheten har vuxit, såväl inom FoT-organisationen som inom övriga FM/FMV samt hos myndigheter. Många nya metoder och tekniker har utvecklats, men det finns fortfarande behov av utveckling och forskningsinsatser inom dessa nya och viktiga områden.

9 Referenser

Birkel Paul A., "*The SNE Conceptual Reference Model*", In Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop, September 1998, 98F-SIW-018

Hummel J., Blake D., "*What Constitutes a Verified and Validated Environment Representation?*", In Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop, September 2001, 01F-SIW-083

Brandin M & Hamrén R. "*Classification of Ground Objects Using Laser Radar Data*". Master Thesis LITH-ISY-EX-3372-2003, Linköping University, January 2003.

Smith G., Persson, Å., Holmgren, J., Hallberg, B. Fransson, J.E.S, Ulander, L.M.H, 2002. "*Forest stem volume estimation using high-resolution and SAR data*". In proceeding of the IGARSS 2002 Symposium, Toronto, Canada 24-28 June, pp. 2084-2086.

Berhardsson E, "*Initial Validation of SensorVision – a Program for Real-time IR Simulations*", FOI-R--0083--SE.

Hermansson P., Hjelm A., Lindell R., Nelsson C., Persson A., Sjökvist S., Winzell T., "*Benchmarking and validation of IR signature programs SensorVision, CameoSim and RadThermIR*", FOI-R--0952--SE

Ahlberg S. & Astell S., "*Bilaga Milstolpsrapport för syntetisk omgivning AO 569479*," FMV Funktion 18400:48516/02, 2002

10 Bilagor

I detta kapitel redogörs för de publikationer, konferensbidrag och rapporter som producerats under projektens gång.

10.1.1 Artiklar

- Holmgren J., Persson Å.: "*Identifying Species of Individual Trees Using Airborne Laser Scanner*", Remote Sensing of Environment, 2003. Submitted.
- Holmgren J., Persson Å., Söderman U.: "*Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner*," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 68, pp. 925-932, 2002.

10.1.2 Konferensbidrag

- Persson Å., Holmgren, J., Söderman, U.: "*Detection, measurements, and species classification of individual trees for forest inventory and visualization*". In proceedings of ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests 2003, Umeå, Sweden 3-4 September, pp. 222-233.
- Nilsson M., Brandtberg, T., Hagner, O., Holmgren, J., Persson, Å., Steinvall, O., Sterner, H., Söderman, U., Olsson, H.: "*Laser scanning of forest resources – the Swedish experience*". In proceedings of ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests 2003, Umeå, Sweden 3-4 September, pp. 42-50.
- Söderman U., Ahlberg S.: "*Högupplösta omvärldsmodeller för nya behov och nya möjligheter inom ledning*", CIMI (Civil & Militär beredskap), Enköping, Sverige, 2003.
- Ahlberg S., Astell S.: "*From Swedish Environmental Information to SEDRIS – a Necessary Transition for Future Interoperability?*", European Simulation Interoperability Workshop 2003, Stockholm, Sweden.
- Elmquist M.: "*Ground Surface Estimation from Airborne Laser Scanner Data Using active Shape Models*". Photogrammetric Computer Vision - ISPRS Commission III Symposium, volume XXXIV Part A, pages 114-118.
- Elmquist M.: "*Ground Estimation from Laser Radar Data using Deformable Models*" presented at OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models 1-3 March 2001.
- Ahlberg S., Söderman U.: "*From Environment Data Collection to High Resolution Synthetic Natural Environments*", Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference, Orlando, Florida, USA, 2002.
- Ahlberg S.: "*Towards Automatic Reconstruction of Application Specific Synthetic Environments*", in Proceedings of the Eighth International Conference on Distributed Multimedia Systems, San Francisco, California, USA, 2002, pp. 668-672.
- Ahlberg S., "Transforming Swedish Geoinfo", MSG Conference on NATO-PfP/Industry/National - Modelling and Simulation Partnerships, Paris, France, 2002.
- Persson Å., Smith G., Holmgren J., Hallberg B., Fransson J. and Ulander L. M.: "*Forest Stem Volume Estimation Using High-Resolution Lidar and SAR*"

Data", International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canada, 2002.

- Söderman U., Ahlberg S.: "*High Resolution Synthetic Natural Environments for Modeling and Simulation*", Swedish-American Workshop on Modeling and Simulation, Orlando, Florida, USA, 2002.
- Söderman U., Persson Å.: "*Ongoing Research at FOI and Expected Development of the Laser Scanning Technology*", presentation at Workshop about Laser Scanning of Forests, Umeå, Sweden, 2002.

10.1.3 Rapporter

- Ahlberg S., Elmqvist M., Persson Å., Söderman U.: "*Syntetiska omgivningar och sensorsimulering - Verksamhetsrapporter 2002*", FOI-MEMO-02-3059, 2002
- Ahlberg S., Astell S.: "*Bilaga Milstolpsrapport för syntetisk omgivning AO 569479*", FMV Funktion 18400:48516/02, 2002
- Persson Å.: "*Extraction of Individual Trees Using Laser Radar Data*", FOI-R--0236--SE, 2001.
- Ahlberg S., Elmqvist M., Hermansson P., Jacobsson J., Persson Å., Söderman U.: "*Syntetiska omgivningar och Sensorsimulering - Verksamhetsrapporter 2001*". FOI-R--0292--SE, 2001.
- Bernhardsson E.: "*Initial Validation of SensorVision – a Program for Real-time IR Simulations*", FOI-R--0083--SE.
- Ahlberg S., "*SEDRIS, Syntetiska omgivningar, standarder och tekniker*", FOA-R--00-01733-202--SE, 2000.

