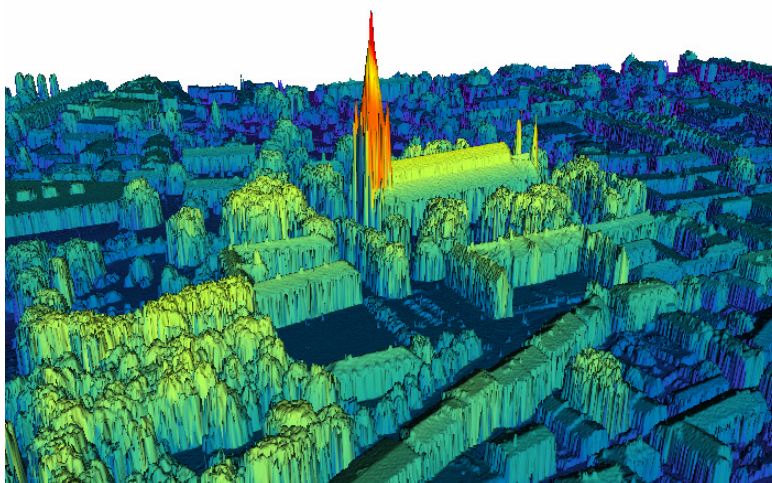
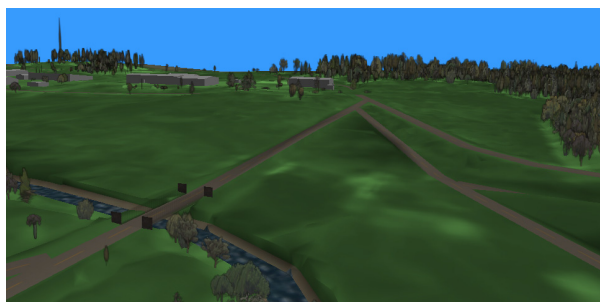


Simon Ahlberg, Magnus Elmqvist, Patrik Hermansson, Johan Jacobsson,
Åsa Persson, Ulf Söderman

Syntetiska omgivningar och Sensorsimulering - Verksamhetsrapporter 2001



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--0292--SE

December 2001

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Simon Ahlberg, Magnus Elmqvist, Patrik Hermansson, Johan Jacobsson,
Åsa Persson, Ulf Söderman

Syntetiska omgivningar och Sensorsimulering - Verksamhetsrapporter 2001

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0292--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 2. Operationsanalys, Modellering och simulering	
	Månad, år December 2001	Projektnummer E3038, E3849
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 21 Modellering och simulering	
Författare/redaktör Simon Ahlberg Magnus Elmqvist Patrik Hermansson Johan Jacobsson Åsa Persson Ulf Söderman	Projektledare Simon Ahlberg	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Simon Ahlberg	
Rapportens titel Syntetiska omgivningar och Sensorsimulering – Verksamhetsrapporter 2001		
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna rapport sammanfattar det inledande årets verksamhet för både projekt Syntetiska omgivningar och projekt Sensorsimulering. Målet är att presentera metoder för automatisk framtagning av simuleringsmodeller baserade på sensordata, i detta fallet en laserradar. Vidare diskuteras behovet av högupplöst terräng- och omgivningsdata i planerings-, lednings- och analyssystem. Behovet av sensorkorrekt simulering behandlas i samband med virtuella prototyper, taktikträning och SBA.		
Nyckelord Terrängmodell, simulering, modellering, automatisk, signalbehandling, sensorsimulering, visualisering, ledningssystem		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 27 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--0292--SE	Report type Technical report
	Research area code 2. Operations Analysis, Modelling and Simulation	
	Month year December 2001	Project no. E3038, E3849
	Customers code 5. Contracted Research	
	Sub area code 21 Modelling and Simulation	
Author/s (editor/s) Simon Ahlberg Magnus Elmqvist Patrik Hermansson Johan Jacobsson Åsa Persson Ulf Söderman	Project manager Simon Ahlberg	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible Simon Ahlberg	
Report title (In translation) Synthetic Environments and Sensor Simulation - Progress Reports 2001		
Abstract (not more than 200 words) This report describes the progress made during the initial year of the projects Synthetic Environments and Sensor simulation. The aim of the project is to develop methods for automatic construction of terrain models based on sensor data, in this case data from laser radar. Moreover, the need for high resolution terrain data in mission planning, command and control and review and analysis systems is discussed. The need for accurate sensor simulation in tactical simulations, virtual prototypes and SBA is also discussed.		
Keywords terrain model, simulation, modelling, automatic, signal processing, sensor simulation, visualisation, C4ISR systems		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 27 p.	
	Price acc. to pricelist Security classification	

Innehållsförteckning

Bakgrund	7
Syfte	7
Mål	8
Högupplösta omgivningar	8
Problemställning	9
Datainsamling	9
Snabb visualisering, ledningssystem	9
Automatisk framtagning av omgivningsmodeller	11
Problemställning	11
Initial databehandling	12
Framtagning av markyta	12
Segmentering och klassificering	13
Identifiering och estimering av vegetation	13
Metodframtagning	13
Kvalitetssäkring av metoder	14
Identifiering och estimering av byggnader	15
Framtagning av simuleringsmodell	15
Integrering av terrängyta	15
Integrering av vegetation	16
Integrering av byggnader	16
Resultat	17
Objektmodellering	17
Problemställning	17
Metod	17
Sensorsimulering	19
Problemställning	19
Validering av sensorsimuleringsverktyg	19
SEDRIS	22
Kompetensutveckling	23
Kompetensförmedling	23
Vidare arbete	24
Arbetsprocess och automatisering	24
Materialansättning	24
Automatisk materialklassning	24
Förbättrad estimering av markyta	24
Fler vegetations- och byggnadsparametrar	25
Förbättrad generering av byggnader	25
Systemintegration	25
Referenser	27

Bakgrund

Denna rapport sammanfattar verksamheten inom projekten Syntetiska omgivningar och Sensorsimulering år 2001.

Syntetiska omgivningar (SO) är ett stort område av central betydelse för M&S inom Försvarmakten (FM). Omgivningsmodellering förknippas allmänt med stora kostnader men också med stor potential för såväl återanvändning som samarbete såväl nationellt som internationellt. En fungerande FoU-verksamhet inom området SO kan stödja FM att på ett effektivt sätt möta det växande behovet av allt större och mer komplexa SO. Kraven från användarna kan förväntas öka vad gäller noggrannhet och naturtrogenhet i avbildningen samt möjlighet till realistiska sensorfunktioner. Detta samtidigt som den tillgängliga tiden att konstruera omgivningsmodellerna i många fall också måste bli kortare. Kompetensuppbyggnad avseende nya standarder som t ex SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification)¹ är också viktig för FM. SEDRIS är under utveckling i USA och bedöms öppna för mer standardiserade framtagnings-, nyttjande- och underhållsprocesser och därmed bättre effektivitet. För FM:s inriktning mot internationella fredsbevarande operationer kan SEDRIS tillsammans med HLA/DIS komma spela en viktig roll för att stärka insatsberedskapen och interoperabilitetsgraden med andra länders fredsbevarande styrkor.

Sensorsimulering är ett viktigt område och en förutsättning för många M&S-tillämpningar inom FM, t ex materielförsörjning (signaturanpassning, sensornätverk, utformning av UAV-system, mm, träning och utbildning (mörkerflygning i helikoptersimulator, mm), FoU (datafusion, duellstudier, mm), osv.

En fungerande FoU-verksamhet inom området sensorsimulering kan stödja FM att på möta det växande behovet av större och mer komplexa M&S-tillämpningar. Kraven från användarna kan förväntas öka vad gäller realism och noggrannhet i simulerade sensorfunktioner.

Positiva samverkans effekter kan uppnås, bl a en påskyndad utveckling och införande av M&S för signaturprediktion och signaturanpassning inom främst IR-området, en mer omfattande och tidigare färdigställd sensorsimuleringsmiljö för forskning kring signalbehandling för rörliga elektrooptiska sensorer (läs: sensorer på UAV), värdefullt kompetenstillskott och sannolikt påbörjad uppbyggnad av simuleringsmiljö för multisensor- och datafusionsforskning.

Syfte

Projektet Syntetiska omgivningar omfattar kompetensuppbyggnad och en mindre demonstrator. Syftet är att etablera FoU-verksamhet inom området syntetiska omgivningar. Verksamheten organiseras kring utvecklingen av en mindre demonstrator i form av en syntetisk omgivning innehållande en terrängmodell och ett antal objektmodeller. Metoder och verktyg för konstruktion av omgivningsmodeller med hög upplösning ska studeras och provas. Behov av FoU-insatser ska identifieras. Särskilt metoder och tekniker för effektiv framställning av omgivningsmodeller. Den nya standarden SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification) ska studeras och testas. Vidare ska kunskap och erfarenheter spridas inom FM, övriga myndigheter och organisationer samt industrin.

Vad beträffar sensorsimulering omfattar projektet kompetensuppbyggnad och utveckling av en mindre demonstrator för IR-sensorsimulering i en högupplöst syntetisk omgivning mha COTS. Vidare ska möjligheterna till radarsensorsimulering i samma syntetiska omgivning studeras. Syftet är att etablera FoU-verksamhet inom

området sensorsimulering i syntetiska omgivningar. Verksamheten organiseras kring utvecklingen av demonstratorn. Metoder, tekniker och verktyg för att utöka syntetiska omgivningar med relevanta fysikaliska attribut (material- och atmosfärsegenskaper) ska studeras och provas. Behov av FoU-insatser inom området ska identifieras. Vidare ska också kunskap och erfarenheter spridas inom FM, övriga myndigheter och organisationer samt industrin.

Inledande verifiering och validering av sensorsimulering ska ske mot data från riktiga sensorer upptagna i verklig miljö. Vid FOI sensorteknik finns idag goda mätresurser för datainsamling från riktiga sensorer såväl inom IR- som radarområdet.

Mål

Högupplösta omgivningsmodeller har många tillämpningsområden. Att i ett ledningssystem kunna presentera situationen i 3D i stället för traditionell 2D medför stora fördelar. Genom att i detalj visualisera ett område gör det möjligt att planera framryckning t ex genom en urban miljö eller för att planera trädtoppsnära anflygning i ett oroligt område.

Situation 1

Det har uppstått en begränsad konflikt i en del av världen. Situationen tenderar att eskalera, varför det beslutas om en insats i detta område. Insatsen kommer att ske med luftlandsättning av trupp. Den geografiska informationen som finns tillgänglig är osäker och inaktuell.

En spanings-UAV utrustad med en högupplösande sensor skickas in över området för att skanna av det. Informationen matas till ledningssystemet för situationsvisualisering. Den högupplösta omgivningsmodellen i ledningssystemet kompletteras fortlöpande med underrättelser om hot i form av fientliga förband, radar och luftvärn för att planera framryckning. Samtidigt automatgenereras en simulatormodell över det aktuella området. Denna modell används sedan i olika träningssimulatorer, t ex för helikopter och trupp, för att insatsstyrkorna ska kunna träna i en omgivning som är så lik den faktiska terrängen som möjligt.

Situation 2

En virtuell prototyp av en robot ska utprovas i en simulatormodell. Ett geografiskt testområde definieras, varefter data över området samlas in med en högupplösande sensor. Utgående från dessa data skapas en omgivningsmodell som anpassas till egenskaperna hos den prototyp som ska simuleras: är det en IR-sensor ges omgivningsmodellen även korrekta materialegenskaper, är det en TV-sensor kläs omgivningsmodellen med en korrekt visuell textur. Omgivningsmodellen testas och valideras, varefter simuleringen av prototypen genomförs och utvärderas.

Situation 3

En genomförd övning skall utvärderas. Alla tillgängliga data om övningen loggas i ett analysverktyg. En sensor samlar sedan in data över det aktuella området varefter en högupplöst omgivningsmodell genereras. Denna omgivningsmodell införs i analysverktyget och modeller av aktörerna i övningen placeras i omgivningen. Då övningen spelas upp är det möjligt att utröna om omgivningen har inverkan på beslut och manövrer.

Högupplösta omgivningar

Kravet på högupplösta data för simulering och visualisering av omgivningen ökar. Det nya försvarets inriktning på verkan i urban miljö är en tillämpning där kravet på noggrann modellering av omgivningen är framträdande.

Problemställning

Arbetet med att ta fram omgivningsmodeller för olika tillämpningar, antingen det är för presentation eller analys i ett ledningssystem eller för visualiseringsändamål i en träningssimulator, är både tids- och resurskrävande och innebär därför en stor kostnad. På FOI bedrivs forskning för att ta fram metoder för automatisk produktion av högupplösta omgivningsmodeller utgående från de mest högupplösande system som existerar idag, dvs laserradar.

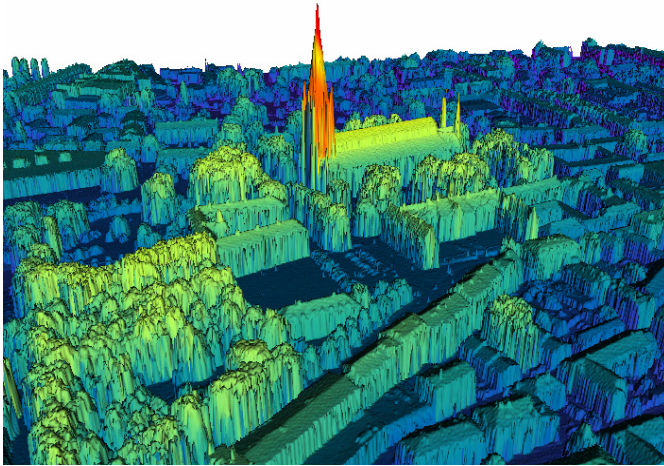
Datainsamling

Det finns en mängd sätt att samla in höjd- och omgivningsdata på. Genom att analysera flygfoton eller satellitbilder är det möjligt att på fotogrammetrisk väg beräkna markens profil. Användning av radar är ett annat sätt. Radar ger god yttäckning per tidsenhet, men den rumsliga upplösningen i data är ofta inte tillräcklig. Med det använda lasersystemet är det möjligt att erhålla en rumslig upplösning på upp till 16 mätpunkter per m².

Liksom i en tidigare mätkampanj (1998) användes mätsystemet TopEye² från TopEye AB för datainsamling. Mätningar gjordes över delar av Stockholms skärgård, Prästtomta skjutfält / Kvarn, Linköping city samt området kring FOI Linköping.

Snabb visualisering, ledningssystem

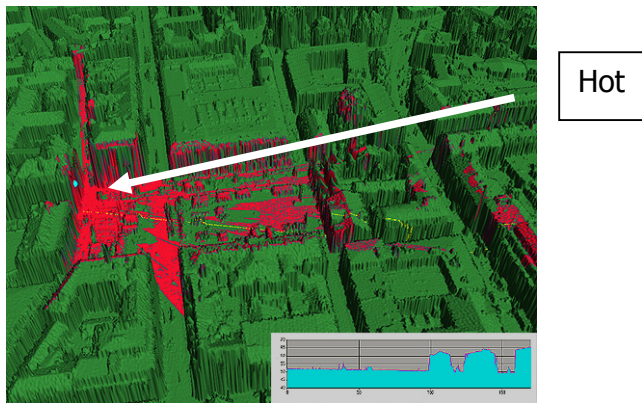
Att använda högupplösta terrängmodeller för snabb visualisering (Rapid Visualisation) i 3D ger ett nytt medium för befäl, ledare och analytiker. Så fort data har insamlats är det möjligt att placera sig på valfri punkt eller att generera noggranna och realistiska överflygningar eller stillbilder av varje givet läge. Militär personal får nu möjlighet att genomföra 3D-genomflygningar och gående övningar innan ett uppdrag. Varje buske, träd, byggnad, kraftledning, lyktstolpe och skylt i staden är representerade i terrängdata.



Figur 1: Visualisering av högupplöst terrängmodell (Linköpings domkyrka).

Strid i bebyggelse

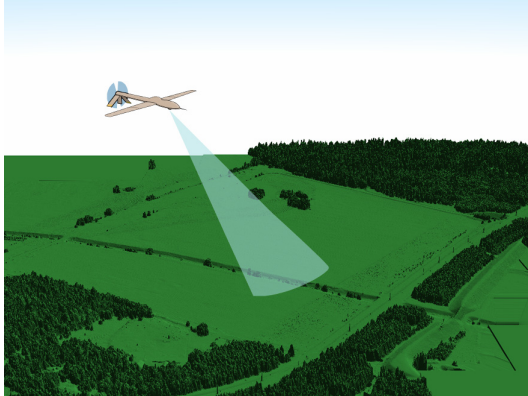
Introduktionen av strid i bebyggelse i utländska miljöer introducerar en distinkt nackdel för insatsstyrkor. Genom att använda högupplöst terrängdata erhålls den nödvändiga precision för att göra extremt noggranna siktlinjes- och siktvolymberäkningar som är direkt avgörande för bedömning av skyl och skydd, markbaserad framryckningsplanering, landsättnings- och landningszonval och övriga tillfällen då sårbarhet vid upptäckt måste utredas.



Figur 2: Siktlinje / hotvisualisering i högupplöst urban miljö.

Precisionsnavigering

Många målsökande missilsystem kräver högupplöst terräng för att utföra terrängkorrelation och slutlig målinmätning under flygning. Tiden och resurserna för att samla in dessa data har varit problematiskt i årtionden. Framtida taktiska avbildningssystem kommer obevekligen att dra nytta av den nuvarande teknologin.



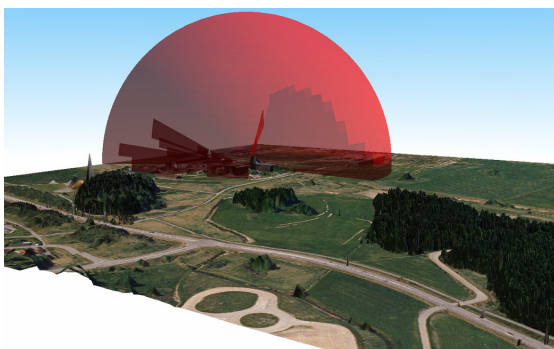
Figur 3: Precisionsnavigering i högupplöst terrängmodell.

Skadebedömning

Högupplöst terräng ger den nödvändiga noggrannheten och tredje dimensionen som behövs för både militär och civil skadebedömning. För militärt bruk kan skada bedömas genom att analysera strukturer i 3D för att bedöma verkan av en vapeninsats. Detta har historiskt sett varit förbehållet tolkning av bildanalys. Möjligen viktigare är tillämpningen att bedöma skada i det civila såsom effekten av översvämningar. Noggranna simuleringar kan utföras över en hel stad för att bedöma skadans utsträckning och de begränsningsfaktorer som krävs för att mota en sådan händelse. Sådan teknologi ger behövlig information till katastrofhjälpsinsatser.

Uppdragsplanering

Ökningen av automatiserad teknologi för spaning, övervakning och mindetektion har lyft behovet av högupplöst terräng för att stödja systemens uppdragsplaneringsfunktioner. Dessa system utnyttjar terrängen för att bygga tänkbara färdvägar för att minimera omplanering i händelse av att ej forcerbara hinder kan dyka upp under ett uppdrag. Genom att placera hot i den högupplösta terrängen är det även möjligt att bilda sig en uppfattning om hotens karaktär och exakta utbredning och baserat på detta planera inflygnings- eller framryckningsvägar.



Figur 4: Hotvisualisering med hjälp av volymer.

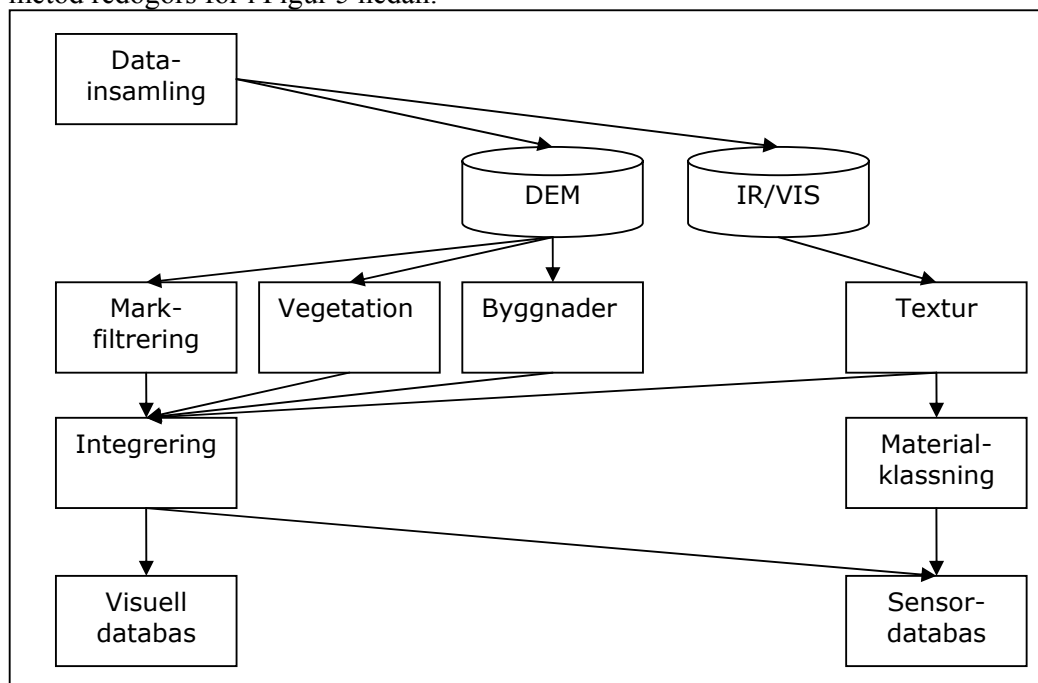
Konsekvensbedömning

Risken för att terrorister ska använda kemiska eller biologiska vapen har snabbt ökat insatserna för att bättre modellera hot i en urban miljö. Till skillnad från andra discipliner är livstiden för ett terrordåd mätt i minuter och timmar. Därför behövs det stora lagringsplatser för högupplösta data innan någon händelse skulle inträffa. Det är högst troligt att konsekvenshanteringsprogram kommer att börja hävda vikten av urbana terrängdata till den noggrannhet som laserskanning ger.

Automatisk framtagning av omgivningsmodeller

Problemställning

Att skapa en omgivningsmodell från laserradardata innebär flera steg. En ansats till metod redogörs för i Figur 5 nedan.



Figur 5: Process för automatisk framtagning av terrängmodell.

I nuvarande konfiguration består insamlade data från det helikopterburna mätsystemet av högupplösta laserradardata, högupplösta digitala fotografier samt IR-information. Laserradardata bearbetas sedan för att kunna extrahera vegetation, markprofil och byggnader. Texturerna, dvs. de digitala fotografierna och IR-informationen, används

för textursättning och materialklassificering då omgivningsmodellen ska anpassas för sensorsimulering. Dessa metoder redogörs för senare i rapporten.

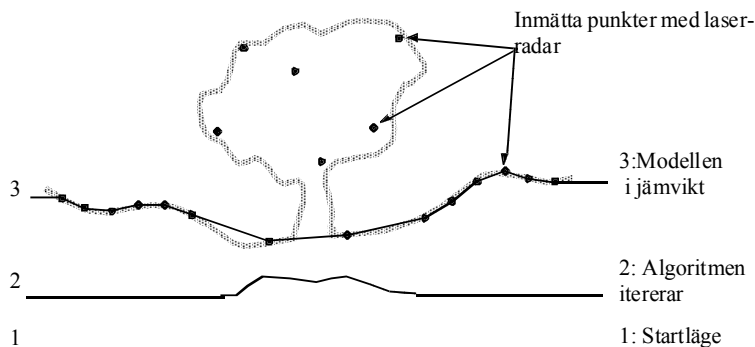
Initial databehandling

För att underlätta databehandlingen görs en initial rumslig sortering av data. Detta för att det ska vara möjligt att på ett hanterbart sätt kombinera data från olika källor och för att konstruera skräddarsydda omgivningsmodeller med specificerade dimensioner.

Framtagning av markyta

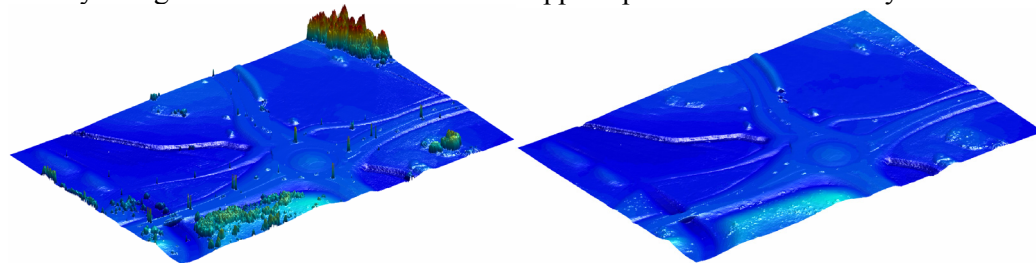
Algoritmen för markestimering är en aktiv deformerbar modell. Den bygger på teorin kring aktiva konturer, populärt kallat Snakes.

Den aktiva deformerbara modellen kan liknas vid en gummiduk med ställbar elasticitet och styvhet. Man låter laserradardatat bilda ett potentialfält som verkar med krafter på gummiduken. Kraften som påverkar modellen gör att den tänjs ut till att likna marken. Algoritmen är en process som iterativt minimerar modellens energi. Varje datapunkt försöker påverka modellen med en attraktionskraft, denna kraft har kort räckvidd och eftersom modellens startläge är under den lägsta inmätta punkten kommer modellen till att börja med endast påverkas av de lägsta punkterna. I första skedet läggs en svag flytkraft på modellen för att den ska hjälpas att komma närmare målet. Figur 6 nedan visar principen för hur algoritmen verkar i ett snitt genom terrängen.



Figur 6: Princip för algoritm för markframtagning.

Startläget för modellen är under lägsta inmätta punkten. Modellen påverkas initialt av en svag flytkraft som får den att sträva uppåt. När ytan närmar sig marken börjar attraktionskraften att verka, och modellen klistras mot marken. Modellens elasticitet och styvhet gör att den hindras att sträckas upp till punkter ovanför markytan.



Figur 7: Illustration filtreringsalgoritmer, före och efter filtrering. Buskar, träd och lyktstolpar elimineras, endast markytan blir kvar.

Metoderna har presenterats i ett bidrag till *OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models 1-3 March 2001* kallat *Ground Estimation from Laser Radar Data using Deformable*

Models. Vidare har metoderna presenterats på *ISPRS Workshop: Land Surface Mapping and Characterization using Laser Altimetry* i Annapolis, USA i oktober. Delft University of Technology har på sin avdelning för geodesi haft bland annat dessa markfiltreringsalgoritmer som underlag för jämförelser. För mer information om metoderna hänvisas till rapport³.

Segmentering och klassificering

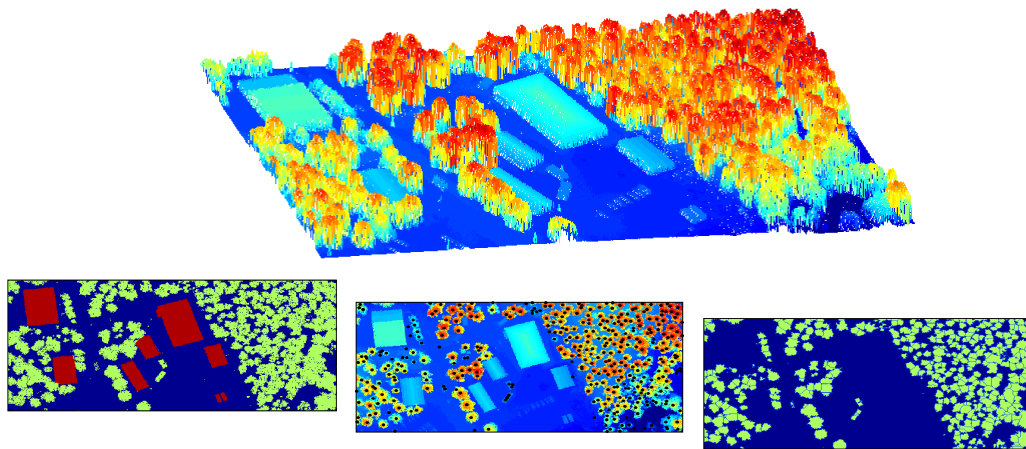
Då den rena marken har estimerats erhålls även en datamängd som inte innehåller punkter som klassificerats som mark. Dessa kan utnyttjas för vidare analyser. De nuvarande algoritmerna klassificerar datapunkterna över marken som vegetation eller byggnader (dvs. ”övrigt”). Denna klassificering är baserad på texturmått av lokala variationer i höjd.

Identifiering och estimering av vegetation

Vid framställning av 3D-modeller av landskap från laserradardata är det önskvärt att automatiskt kunna identifiera olika objekt som till exempel byggnader, träd och vägar från mätdata.

Metodframtagning

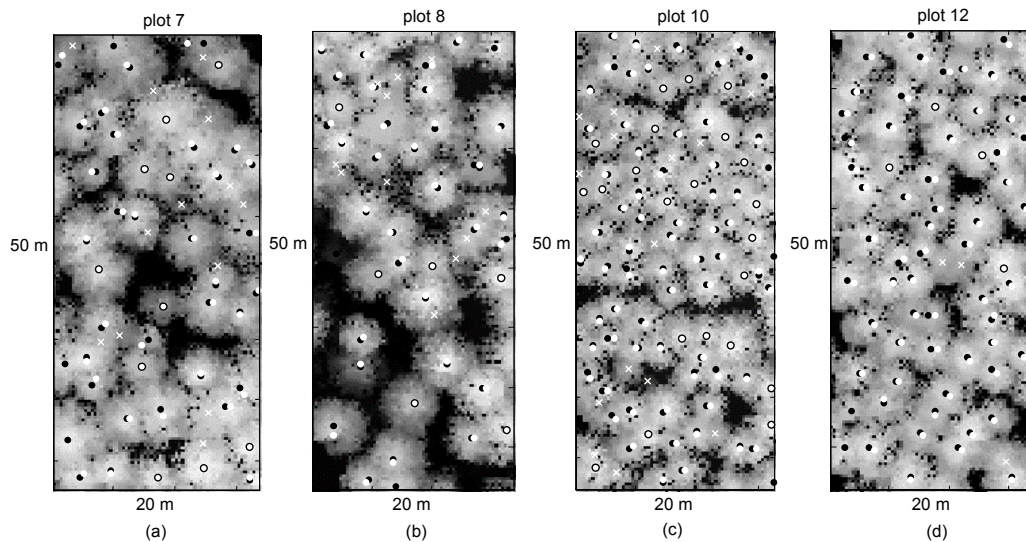
En algoritm har tagits fram för att detektera enskilda träd från laserradardata. För varje detekterat träd estimeras positionen, trädhöjden och krondiametern. Algoritmen består av två delar. Först klassificeras datapunkterna över marken som vegetation eller byggnader. Klassificeringen är baserad på texturmått av lokala variationer i höjd. Enskilda träd segmenteras sedan i de identifierade områdena av vegetation. Metoden för att identifiera enskilda träd är baserad på att lågpasfiltrera bilden och positionen av träden estimeras genom att identifiera lokala höjdmaximum. Eftersom laserstrålen kan penetrera vegetation kan det uppstå stora variationer i höjd inom enskilda träd vilket gör det svårt att skilja träden från varandra. Först tas skotten som träffat inom trädkronorna bort genom att lägga på en yta uppifrån så att ytan följer den yttre delen av trädkronorna. För att få bort höjdvariationer inom enskilda trädkronor så varje träd har ett enskilt maximum måste en viss skala av utjämning användas beroende på storleken av träden. Olika skalor används vid lågpasfiltreringen och valet av lämplig skala i olika delar av bilden baseras på att anpassa en parabolisk yta till höjdvärdena. Dessa metoder har presenterats i en rapport: *Extraction of Individual Trees using Laser Radar Data*⁴. Vidare har metoderna presenterats i ett bidrag till *ISPRS Workshop: Land Surface Mapping and Characterization using Laser Altimetry* i Annapolis, USA i oktober.



Figur 8: Klassificering och estimering av position och storlek hos vegetation.

Kvalitetssäkring av metoder

En verifiering av metoden har gjorts i samarbete med Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå, där de automatiskt detekterade träden jämförs med resultat från manuella fältmätningar. Resultatet visade att de flesta stora träden detekterades. De flesta träd som inte hittades var dolda träd med en liten stamdiameter som inte syns uppifrån. Medelskillnaden mellan de estimerade positionerna av träd och de fältmätta stampositionerna var 0,51m. Trädhöjden och krondiametern kunde skattas med ett standardfel på 0,63 m respektive 0,61 m. Detta har dokumenterats och lämnats som bidrag till *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* och kallas *Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner with different beam sizes*.

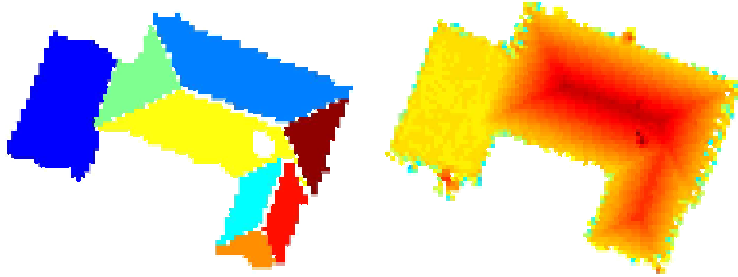


Figurerna ovan visar uppskattade positioner jämförda med fältmätningar. (a) 42/55 träd detekterade. (b) 37/48 träd detekterade. (c) 86/101 träd detekterade. (d) 59/62 träd detekterade. • = automatiskt estimerade trädpositioner, o = fältmätta stampositioner, x = ej detekterade träd, och • = svart och vitt märke på samma pixel.

Identifiering och estimering av byggnader

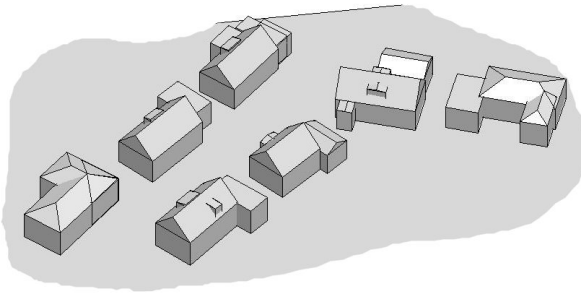
För många tillämpningar är det av stor vikt att kunna extrahera information om byggnader och andra strukturer. Högupplösta data från laserradar ger förutsättningar för att detta skall kunna vara möjligt.

Eftersom datapunkter som är skilda från mark är identifierade i och med terrängfiltreringen ges möjlighet till mer detaljerad klassificering av resterande data. Vid estimering av vegetation isoleras de punkter som tillhör vegetationsklassen. Återstoden måste då klassificeras med avseende på byggnader och andra strukturer. Den höga upplösningen i data gör det även möjligt att med hög precision estimerar byggnaders utbredning.



Figur 9: Segmenterad byggnad.

Under året har ansatser gjorts för att identifiera metoder för att automatiskt kunna detektera och estimerar utbredning och form hos byggnader utgående från laserradardata. Initiala prover har utförts för att kunna skatta byggnadsspecifika parametrar såsom dimensioner, höjder, byggnads- och taktyper. Denna information har sedan legat som grund för generering av geometriska byggnadsprimitiver. Figur 10 nedan visar ett antal byggnader konstruerade med sådana primitiver. Mer arbete kommer att koncentreras på denna problematik under följande år.



Figur 10: Byggnader rekonstruerade av byggnadsprimitiver.

Framtagning av simuleringsmodell

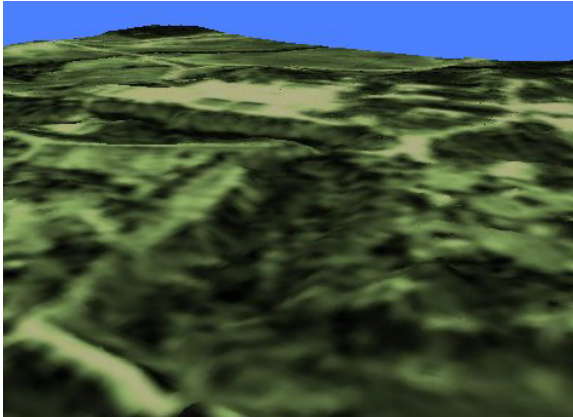
Ett mål med verksamheten är att ta fram metoder för automatisk generering av omgivningsmodeller för simulatorer. Dessa omgivningsmodeller skall representera en sann geografisk plats. Med hjälp av de metoder som presenterats tidigare är det möjligt att producera de omgivningskomponenter som är nödvändiga.

För att integrera de olika terrängkomponenterna i en omgivningsmodell används terrängmodelleringsverktyget Terra Vista från Terrex⁵.

Integrering av terrängyta

Då omgivningsmodellen skall användas i realtids- och träningssimulatorer är kravet på geometrisk korrekthet högt, vilket gör att större delen av polygonbudgeten bör läggas på att markytan ska representeras så noggrant som möjligt. Träd och andra

objekt kan representeras med modeller som är mer anpassade för realtidssimulering, t ex korslagda textursatta polygoner eller billboards. Den högupplösta markmodellen överförs till en polygoniserad representation i Terra Vista.



Figur 11: Markmodell med textur.

Integrering av vegetation

Eftersom varje träd i och med den inledande signalbehandlingen har identifierats och parametersatts med avseende på position, höjd och bredd är det möjligt att styra genereringen av vegetation i Terra Vista. Modeller av träd anpassade för realtidssimulering (t ex billboards eller korslagda statiska textursatta polygoner) placeras ut på de positioner som indikeras av resultatet av vegetationsidentifieringen. På sikt skall det även vara möjligt att exakt styra vilket träd som ska befinna sig på positionen. Mer om detta i kapitlet om planerat arbete senare i denna rapport.



Figur 12: Markmodell med vegetation. Alla trädparametrar är framtagna ur laserradardata. Högra bilden visar ca 35 000 enskilda träd.

Integrering av byggnader

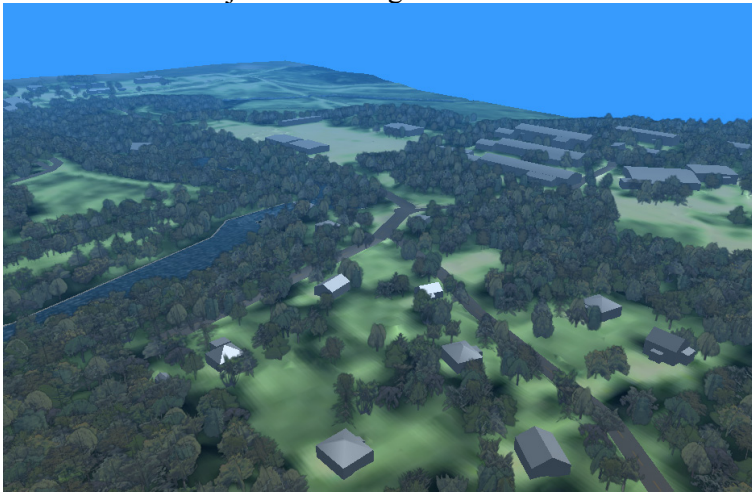
Genom att använda de metoder som i den inledande ansatsen tagits fram för att extrahera byggnader och estimeras deras utbredning är det möjligt att på korrekta positioner placera 3D-modeller av de i omgivningen förekommande byggnaderna.



Figur 13: En automatiskt extraherad och rekonstruerad byggnad.

Resultat

Slutligen integreras kulturella egenskaper såsom vägar och vattendrag i form av vektordata. Då alla ingående terrängkomponenter har definierats kan resultatet se ut enligt Figur 14 nedan. Bilden visar en delvy av en framtagna principdemonstrator över Prästtomta skjutfält i Östergötland.



Figur 14: Automatiskt genererad terrängmodell för simulering (Prästtomta skjutfält).

Objektmodellering

I projektet ingår även experiment med att ur data från en markbunden (terrester) laserradar rekonstruera geometrin hos objekt, t ex byggnader och fordon.

Problemställning

En fråga som arbetet skulle svara på var när gränsen går för när det blir mer lönsamt att bygga en ny objektmodell än genom att återskapa den från mätdata.

Metod

Då ett objekt mäts in placeras laserscannern på ett antal olika positioner runt objektet. Positionerna väljs med viss överlapp samtidigt som antalet positioner är tillräckligt för att objektet skall täckas helt. Alternativt kan objektet roteras och laserscannern vara fixerad.

Laserscannern fungerar som en avståndsmätare med optiskt avlänkbar stråle.

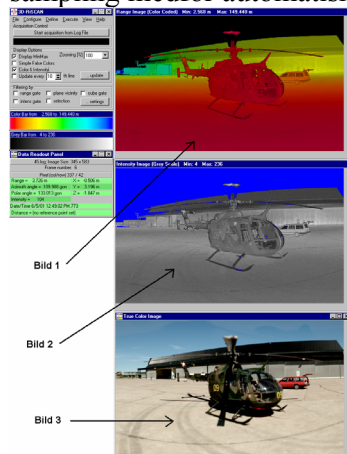
Resultatet som erhålls är ett punktmoln med avståndsvärden från en mätposition.

Dessa är i sig inte tillräckliga för att kunna representera ett objekt. Punktmolnen från olika mätpositioner sätts ihop så att de bildar en volym. Givet denna volym är det möjligt att anpassa ytor till delmängder av punkter.



Figur 15: Olika vyer från laserskanning av HKP9.

Det är svårt att helt automatisera genereringen av 3D-modeller. Generellt kan dock sägas att inmätningen av objektet är helt avgörande för hur väl man kommer att lyckas. För att minska bruset i mätningarna är det lämpligt att medelvärdesbilda över flera vyer tagna från samma position. Problemet att väja vyer såväl till antal som till position är väldigt beroende av objektet som ska konstrueras. Mätningarna kräver planering och ofta tvingas man att göra kompletterande mätningar. Varje mätning måste ha någon överlappning i andra mätningar för att det ska vara möjligt att konstruera en 3D-modell. En tät sampling av ytan är viktig för konstruktionen ska lyckas. Vad som menas med tät sampling beror på ytornas krökningsradie. En tätare sampling medför automatiskt att tiden för varje mätning.



Figur 16: Vy från scannerprogramvara.

En lämplig arbetsmetodik är att man vid en första inmätning begränsar sig till ett fåtal vyer och utifrån dessa konstruerar en modell. Nya mätningar kan sedan göras med erfarenhet från de problem som uppstått vid modellbyggandet. De nya mätningarna kan sedan förbättras, dels genom nya positioner för vyerna men också genom att preparera objektet. Prepareringen kan bestå av övertäckning av delar som inte ska vara med men också av t.ex. målning av dåligt reflekterande ytor.

Systemet lämpar sig bäst för att konstruera 3D-modeller utifrån relativt stora objekt. Typiska objekt är fordon, hus och liknande föremål i verklig skala. Systemet kräver varken beröring eller nära åtkomst av objektet. Att mätningarna är icke berörande är speciellt viktigt om objektet är ömtåligt eller deformeras vid beröring. Skanning med laser är en snabb metod för att samla in vyer. Systemet har en relativt dålig noggrannhet vid korta avstånd i jämförelse med t.ex. metoder som bygger på optisk triangulering, vilket gör att detaljer är svåra att rekonstruera. Om objektet består av

material som absorberar laserns våglängd är det inte möjligt att göra avståndsmätningar med lasern utan att först preparera objektet. Tekniken är tillämpbar för att konstruera modeller av större objekt med inte alltför små detaljer. Objekten kan placeras in i landskapsmodeller alternativt virtuella stadsmiljöer för att användas t.ex. vid planering av nybyggnation. Modellerna kan även användas för att simulera mätningar mot verkliga objekt, t.ex. radar eller lasermätningar. Visualisering är ett annat område där 3D-modeller används. Visualisering innebär att man utifrån 3D-modeller extraherar tvådimensionella bilder som kan användas t.ex. som dokumentation av ett byggprojekt.

Sensorsimulering

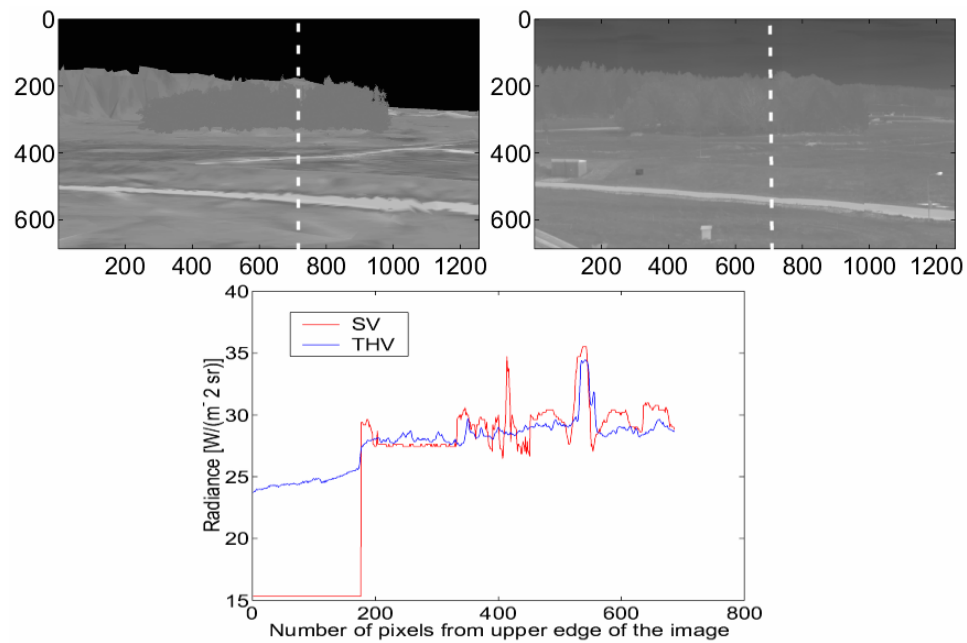
Problemställning

Den ständiga prestandaökningen på hårdvaruområdet gör att det är möjligt att ställa allt högre krav på tillämpningarna. Ett sådant exempel på tillämpning är sensorsimulering. Trots att det vanligaste användningsområdet är simulering inom det visuella våglängdsbandet är det möjligt att simulera valfritt våglängdsband, t ex IR. Tidigare räckte det att de simulerade IR-scenerna såg någorlunda ut för att t ex kunna simulera en observatör som använder NV-goggles. I det fallet en sensor ska simuleras, t ex en målsökare, ställs betydligt högre krav på omgivningsmodellen, inte bara sett till geometri och material utan även till atmosfärsförhållanden.

Validering av sensorsimuleringsverktyg

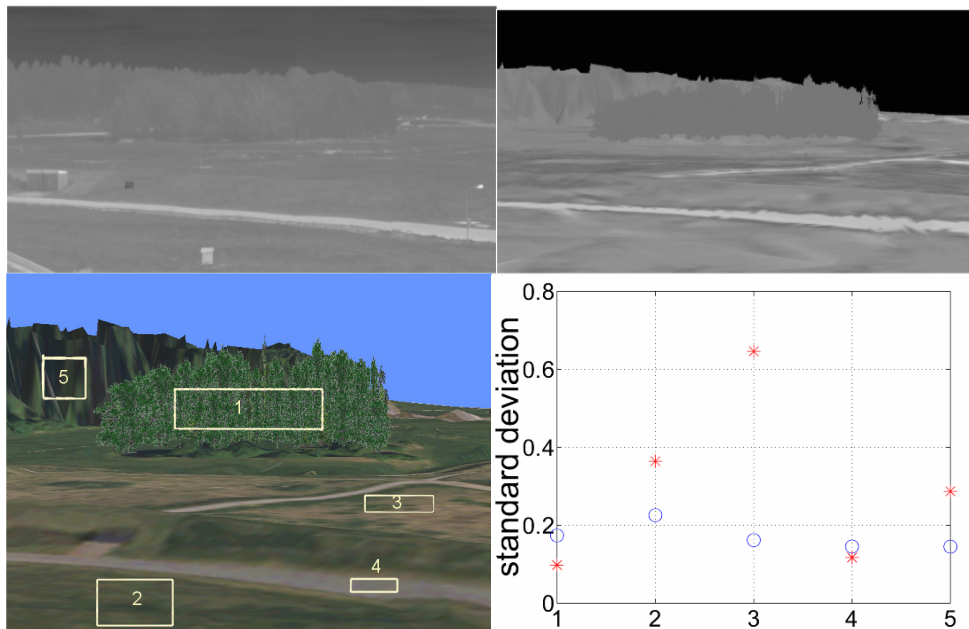
Det finns numera ett antal kommersiella verktyg som simulerar sensorer. Under år 2001 genomfördes en inledande validering av simuleringsprogramvaran Sensorvision vilket sammanställdes i en rapport⁶. Sensorvision är ett kommersiellt mjukvarupaket utvecklat av MultiGen-Paradigm Inc.⁷, som används tillsammans med visualiseringsprogrammet Vega för att simulera infrarödscener i realtid. Genom att jämföra det simulerade resultatet med data från befintliga mätningar är det möjligt att göra både kvalitativ och kvantitativ analys av verktygets prestanda. Sensorvision beräknar den radians som detekteras av en IR-sensor i ett givet spektralband. I valideringen undersöktes den radiometrisk korrektheten i Sensorvision för långvågig IR-strålning, 8-12 μm . Valideringsdatabasen består av uppmätt radians för en referensterräng söder om FOI (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 uppmätts med laserradar.

I Figur 17 nedan visas en jämförelse mellan med Sensorvision beräknad radians (vänstra bilden) och uppmätt radians (högra bilden). I den undre bilden visas beräknad och uppmätt radians längs den vertikala, streckade linjen som syns i de övre bilderna. Vid jämförelse av medelvärden för vissa områden i bilderna visar det sig att avvikelserna från mätdata var 3-7.5%. Ett stort antal felkällor i simuleringen kan vara orsak till sådana avvikelser. Osäkerheter och fel i indata är en källa till felet i den beräknade radiansen. Förenklingar och approximationer i de radiometrisk och termiska modellerna är också bidragande felkällor.



Figur 17: Vertikal jämförelsemetod.

En annan metod lokaliserar ett antal nyckelområden i de båda bilderna och jämför dessa med avseende på ett antal statistiska mått. Ett av resultaten visas i Figur 18 nedan.



Figur 18: Avvikelser i specifika områden.

Under valideringsarbetet noterades det att valet av triangulering av terrängen kan ha relativt stor inverkan på simuleringsresultatet. Orsaken till detta är bl.a. att Sensorvision beräknar temperaturen i en triangel genom att interpolera mellan temperaturerna i triangelns hörn. Temperaturen i hörnen bestäms bl.a. av vilka material (materialdata) som hörnpunkterna associeras med. Följden av detta är att den

spatiella upplösningen i temperatur bestäms av triangelarnas storlek och att man därför måste ha en finare triangulering (mindre trianglar) i områden där temperaturen varierar kraftigt. Ett exempel på sådant område är övergången mellan en asfältväg och ett gräsbevuxet dike. Resultaten från simuleringar av IR-scener i sensorvision bestäms alltså inte enbart av hur väl trianguleringen approximerar terrängens geometri (höjddata) utan också av hur väl trianguleringen är anpassad till terrängens temperaturvariationer (materialvariationer). Förfining av trianguleringen kan göras för hand i lämpligt CAD-verktyg men är mycket tidskrävande och därför har ett arbete på att utveckla en mer systematisk och automatiserad process påbörjats.

Höjddata som kommer från laserradar är i matrisform med mycket hög spatial upplösning, upp till 10 mätpunkter per kvadratmeter. Av höjddata ska ett rent terrängskal genereras dvs. att träd och byggnader först filtrerats bort. Terrängskalet skapas genom att höjddata trianguleras. Eftersom upplösningen är så hög i höjddata skapar detaljrikedomen redundans om terräng ses från avstånd, detta motiverar att en approximation av verklig höjddata skapas. Den datareduktion som approximationen ger är önskvärd för att möta kravet på visualisering i realtid. Själva trianguleringen sker i två steg. Först utses ett antal noder i höjddata som anses viktiga efter något specificerat mått. Hur många noder som används kan bestämmas av tex. en polygonbudget, eller så tar man med de antalet noder som är nödvändigt för att uppfylla en angiven feltolerans i approximationen. När den iterativa processen att välja viktiga noder är klar används de i trianguleringen. Eftersom Sensorvision sätter termiska materialegenskaper per hörn i varje triangel måste särskild hänsyn tas till hur trianguleringen ser ut i områden med stora temperaturvariationer. Ett sådant område kan vara i gränsen mellan asfältväg och gräs. Om hänsyn inte tas till sådana områden kan en triangel sträcka sig över en väg så att alla tre hörnen får gräsegenskaper. Det innebär att vägen helt försvinner i den triangeln. 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 eller från lantmäteriets databaser. Genom att ange var vägar finns kan man styra trianguleringen så att den tar hänsyn till detta. Problemet är givetvis inte specifikt för vägar utan är synonymt för alla områden där temperaturvariationerna är stora inom en liten yta.

Triangulering sker i programvaran Terra Vista från Terrex inc. Som indata ges höjddata och vektorfiler/graffer med information om var tex. vägar finns i terrängen. Terra Vista tar denna information och integrerar vektordata med höjddata. Detta innebär att man lägger ett tvång på trianguleringen där man talar om att vissa kanter och hörn måste finnas med i den slutgiltiga trianguleringen. Tyvärr är detta inte tillräckligt för att undvika problemet i områden med stora temperaturskillnader. Anledningen är att Sensorvision interpolerar temperaturen mellan triangelns tre hörn. Om en triangel har två hörn med en temperatur och ett tredje hörn med en annan temperatur så kommer temperaturövergången mellan dessa två områden sträcka sig över hela triangeln. En sådan övergångstriangel måste vara väldigt liten i förhållande till områdena om en skarp kant vill uppnås. Om övergångstriangelarna i väg/gräs exemplet är för stora leder det till att vägkanter får ett sågtandsliknande utseende, se Figur 20. Genom att lägga ett smalt band med trianglar i området där övergången mellan olika material sker kan en skarp kant skapas. Problemet är således identifierat och lösningsansatser har tagits fram.



Figur 19: Originalbild (korsning).



Figur 20: IR-simulering av korsningen i bild 1. 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.



Figur 21: Enkel inre rand har använts. Ger ett enkelt band med extra trianglar vid vägkanten.



Figur 22: Dubbel rand, en inre och en yttre har använts. Ger två band med extra trianglar vid vägkanterna.

SEDRIS

Inom projektet fortgår en kontinuerlig bevakning av SEDRIS, ett förslag till standard för att kunna representera omgivningsdata, vare sig omgivningen den är verklig, geospecifik, geotypisk eller rent fiktiv. SEDRIS har två nyckelaspekter: representation av data samt ett system för entydigt utbyte av data. I specifikationen ingår fem nyckelkomponenter:

- En modell för datarepresentation
- En specifikation för kodning av omgivningsdata
- En rumslig referensmodell
- Ett överföringsformat
- Ett gränssnitt
- Verktyg och hjälpmedel

SEDRIS ska inte enbart vara tillgängligt för modellerings- och simuleringsdisciplinerna, utan för alla discipliner som har behov att representera sina data. Detta kan t ex innefatta meteorologi, geologi, GIS och ledningssystem. Om det är möjligt att alla discipliner kan representera sina data på en gemensam form görs

möjligheten till utbyte större, vilket i många fall eliminerar dubbelarbete eller kostsam konvertering.

Under året har planerad verksamhet inom SEDRIS-området bedrivits: utvecklingen har bevakats och kontaktnätet har breddats både nationellt och internationellt. Information om SEDRIS har förmedlats vid demonstrationer, föredrag och seminarier. I samarbete med FMV har en introduktionskurs i SEDRIS hållits, med kursledare från SEDRIS Core Team och deltagare från Försvarmakten, industrin, FOI, FMV och GEO SE.

Kompetensutveckling

Projektgruppen har fortlöpande under året ägnat sig åt kompetensutveckling. Nedan presenteras en del av den utbildning som gruppen eller delar av gruppen genomgått.

- Flight and Ground Vehicle Simulation Update, Binghamton, USA
- Image Generator Design, Binghamton, USA
- Vega, Dallas, USA
- Vega Sensor Products, Dallas, USA
- ERDAS Imagine, Stockholm
- SEDRIS Technical Conference, Lake Tahoe, USA
- Kurs i SEDRIS, FMV, Stockholm

Kompetensförmedling

Under året har projektgruppen förmedlat sina kunskaper och erfarenheter på en rad sätt. Ett urval presenteras nedan.

- Examensarbeten
 - *Tredimensionell modellering med laserskanner*, LTH Examensarbete 2001:E21
 - *Segmentation and Reconstruction of Buildings using Laser Radar Data*, LITH-ISY-EX-1344
- Rapporter
 - *Extraction of Individual Trees using Laser Radar Data*, FOI-R--0236--SE
 - *Initial Validation of Sensor Vision, a Program for Real-Time IR Simulations*, FOI-R--0083--SE
- Konferensbidrag
 - *Ground Estimation from Laser Radar Data using Deformable Models* på *OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models 1-3 March 2001*.
 - *Terrain Modelling and Analysis using Laser Radar Data* på *ISPRS Workshop: Land Surface Mapping and Characterization using Laser Altimetry*
- Vetenskapliga artiklar
 - *Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner with different beam sizes* i *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*
- Demonstrationer (urval)
 - Försvarsministerbesök FOI oktober
 - FOI Resultatkonferens 2001
- Föredrag
 - YS Ny

- LedsystT
- FoRMA
- SEDRIS

Till FOI resultatkonferens 2001 skapades två posters samt informationsblad. Vid besök har det hållits ett flertal demonstrationer av projektets verksamhet, bl a i samband med försvarsministerns FOI-besök i oktober. Medlemmar i projektgruppen har även anlitats som sakkunniga i bl a FoRMA-studien, LedsystT och YS Ny. Till FoRMA-studien har även systemspelkort för system för insamling av högupplösta omgivningsdata, syntetiska omgivningar och sensorsimulering producerats. Simon Ahlberg har hållit ett seminarium om SEDRIS och geodataförsörjning inom försvarsmakten. I samverkan med FMV har en tredagarskurs i SEDRIS arrangerats med kursledare från SEDRIS Core Team i USA.

Vidare arbete

Denna rapport sammanfattar projektets inledande år. Många frågeställningar har lyfts under denna tid, varför de följande åren bland annat kommer att ägnas åt att lösa dessa.

Arbetsprocess och automatisering

Ett antal nyckelmoment i processen har identifierats. Till dessa kommer ett antal interimsteg för att preparera data inför nästa moment. Detta har hittills skett med provisoriska lösningar, men målet är att dessa formateringssteg skall integreras i nyckelmomenten. Genom att minska antalet steg ökar också möjligheterna till automatisering av processen.

Materialansättning

De automatiskt framtagna omgivningsmodellerna är i sina grundutföranden inte acceptabla ur sensorsimuleringssynpunkt. Detta beror på att verktyget för sensorsimulering utför materialansättningen på nodnivå. Om en stor polygon (triangel) har noder i två olika material kommer dess materialegenskaperna i noderna interpoleras över polygonens yta, vilket resulterar i lågpasfiltrering av materialegenskaper och dålig kontrast i gränssytor. Det krävs skarpare gränser mellan olika materialtyper i klassificeringen, vilket ställer nya krav på hur terrängytans polygoner genereras. Detta problem är identifierat och metoder är under utveckling för att eliminera det.

Automatisk materialklassning

En stor del av arbetet går åt till att för hand klassificera de i omgivningsmodellen ingående materialen. I terränggenereringsprocessen genereras nya texturer för varje gång som terrängen genereras, vilket gör att materialklassningen till stor del måste göras om för varje förändring som görs i modelleringsverktyget. Detta är inte acceptabelt för ett automatiskt system. Materialansättningen bör ske i samband med terränggenerering, exempelvis genom att ett klassificeringsschema appliceras på de visuella texturerna. Detta borde gå att lösa genom att skapa en plugin (eller genom att vänta på en senare version av modelleringsverktyget där sensorfunktionalitet har utlovats).

Förbättrad estimering av markyta

Den nuvarande algoritmen för estimering av markyta fungerar ibland inte tillfredsställande för områden innehållande detaljer med stor rumslig utbredning

såsom stora byggnader eller i urbana områden där antalet faktiska markpunkter är litet.

Fler vegetations- och byggnadsparametrar

Det nuvarande systemet för insamling av data är utrustat med flera sensorer. Genom att utnyttja den fusionerade informationen från dessa sensorer är det troligen möjligt att extrahera vidare information om vegetationen, såsom art hos växtlighet, markbeskaffenhet, material i byggnader, mer exakt utbredning hos kulturella detaljer osv.

Förbättrad generering av byggnader

Den nuvarande metoden för att generera byggnader skapar byggnader som saknar textur. Det format på vilket modellerna exporteras från estimeringsmodulen saknar stöd för texturer, vilket gör att ett ytterligare steg behöver introduceras för att texturer ska kunna appliceras. Om textur önskas måste den appliceras för hand, vilket i fallet med många automatgenererade husmodeller blir mycket tidskrävande. Därför krävs det nya metoder för att automatiskt infoga texturer i modellerna.

Systemintegration

Under året har det visats hur omgivningsmodeller kan tas fram automatiskt från sensordata. De resultat som producerats under året har rönt stort intresse då de har visats på konferenser och demonstrationer, både som enskilda tekniker och ur systemperspektiv. Något som påtalats vid flertalet tillfällen är att det krävs att denna teknik integreras i någon form av system för att dess fulla potential kan belysas. De system eller tillämpningar som kan tänkas behöva denna typ av omgivningsmodeller är exempelvis:

- Planeringsverktyg
- Ledningssystem
- Sensordimensionering för radiokommunikation
- Analyssystem och utvärderingsverktyg
- Fordonssimulatorer och truppträningsanläggningar
- Helikoptersimulatorer / taktiksimulatorer

Referenser

¹ SEDRIS: <http://www.sedris.org/>

² TopEye: <http://www.topeye.com/>

³ Elmqvist M, *Automatic Ground Modelling using Laser Radar Data*, LiTH-ISY-EX-3061.

⁴ Persson Å, *Extraction of Individual Trees using Laser Radar Data*, FOI-R--0236--SE.

⁵ Terrex, <http://www.terrex.com/>

⁶ Berhardsson E, *Initial Validation of SensorVision – a Program for Real-time IR Simulations*, FOI-R--0083--SE.

⁷ MultiGen-Paradigm, <http://www.multigen-paradigm.com/>