

GUSTAV TOLT, PETER FOLLO, GUSTAV HAAPALAHTI



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Gustav Tolt, Peter Follo, Gustav Haapalahti

Omvärldsmodellering – årsrapport 2007

Titel	Omvärldsmodellering – årsrapport 2007
Title	Natural environment modeling – year report 2007
Rapportnr/Report no	FOI-R--2390--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport User report
Utgivningsår/Year	2007
Antal sidor/Pages	16 p
ISSN	
Kund/Customer	FM
Forskningsområde Programme area	2. Operationsanalys, modellering och simulering 2. Operational Research, Modelling and Simulation
Delområde Subcategory	21 Modellering och simulering 21 Modelling and Simulation
Projektnr/Project no	E3078
Godkänd av/Approved by	Jörgen Ahlberg

Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI
 Avdelningen för Sensorsystem
 Box 1165
 581 11 Linköping

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund – M&S och omvärldsmodeller	7
2 Basblock: omvärldsmodellering	8
2.1 Allmänt, dataförsörjning	8
2.2 Syfte och mål	8
2.3 Verksamhet 2007	9
2.3.1 Fusion av klassificeringsresultat	9
2.3.2 Mosaikverktyg	9
2.3.3 Vegetationshöjdsräkning med CARABAS-II	10
2.3.4 Hybridmodell för vegetationsområden	11
2.3.5 Förbättring av byggnadsmodeller mha spektral information	12
3 Omvärldsrelationer	13
3.1 Nationellt	13
3.2 Internationellt	13
4 Kunskapsöverföring och stöd	14
4.1 Kunskapsöverföring och stöd inom FoT	14
4.2 Kunskapsöverföring och stöd till FM/FMV (studier, avtappning, uppdrag)	14
4.3 Kunskapsöverföring och stöd, övrigt	14
5 Kvalitetssäkring	15
5.1 Uppsatser (konferensbidrag, tidskriftartiklar, etc)	15
5.2 Presentationer	15
5.3 Övriga inskickade bidrag	15
6 Referenser	16

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar verksamheten under 2007 för FoT-projektet Basblock: omvärldsmodellering 2007-2008. Projektet behandlar metod- och teknikutveckling avseende framställning av högupplösta omvärldsmodeller från olika typer av sensordata. Särskilt fokus sätts på att demonstrera och exemplifiera kedjan från sensordata till färdig omvärldsmodell.

Bland resultaten från 2007 märks främst:

- Förbättring av laserbaserad objektsklassificering genom kombination av flera olika klassificeringstekniker
- Utveckling av mosaikverktyg som möjliggör samutnyttjande av laser- och bilddata
- Förbättrad modellering av vegetationsområden för radarsimuleringsändamål
- Kompetensuppbyggnad avseende kompletterande och alternativa sensorer för omvärldsmodelleringsändamål
- Kompetensuppbyggnad avseende dataformat för 3d-objektsmodeller
- Deltagande i NATO-samarbete avseende modellering av urban terräng
- Kunskapsöverföring och stöd till verksamheter inom FOI och FM

Nyckelord: Syntetiska naturliga omgivningar, 3D-modeller, lidar, flygfoto, radar

Summary

This report summarizes the work during 2007 for the project Natural environment modeling 2007-2008. The project deals with development of methods and techniques for producing high-resolution environment models from different kinds of sensor data. Particular focus is on demonstrating and exemplifying the chain from sensor data to environment model.

The main results from 2007 are:

- Improvement of laser-based object classification through combination of several classification techniques
- Development of a mosaic tool that enables fusion of laser data and aerial imagery
- Improved modeling of vegetation areas for radar simulation purposes
- Competence development concerning complementing and alternative sensors for environment modeling purposes
- Competence development concerning data formats for 3-D object models
- Participation in NATO collaboration concerning modeling of urban terrain
- Knowledge transfer and support to activities within FOI and the Swedish Armed Forces

Keywords: Synthetic natural environment, 3-D models, lidar, aerial imagery, radar

1 Inledning

Denna årsrapport i form av en FOI-R-rapport syftar till att kort redovisa verksamheten under 2007 för FoT-projektet Basblock: omvärldsmodellering 2007-2008. Projektet tillhör FoT-område Modellering och Simulering (M&S).

Basblock: omvärldsmodellering 2007-2008 startade i januari 2007 och planeras att avslutas i december 2008. För information om tidigare projekt inom området hänvisas läsaren till t ex (Söderman m fl, 2006). Den övergripande introduktionen till projektet, dvs bakgrund, syfte, mål, etc, är i stort sett en repetition från tidigare rapporter för tidigare omvärldsmodelleringsprojekt. Läsare som är bekant med detta kan därför hoppa över dessa avsnitt.

1.1 Bakgrund – M&S och omvärldsmodeller

Modellering och Simulering (M&S) är ett område som allmänt anses komma att få en allt större betydelse för utvecklingen av framtidens försvarsmakt, t ex i FM transformation mot ett flexibelt insatsförsvar. Inom försvarsrelaterad modellering och simulering spelar modeller av den naturliga omgivningen, s k omvärldsmodeller, taktiska omvärldar eller syntetiska naturliga omgivningar (SNO), en central roll. De bildar den gemensamma ”spelplan” där de simulerade operationerna och interaktionerna äger rum. Beroende på syftet med simuleringen representerar omvärldsmodellen olika aspekter hos omgivningen för mark-, sjö-, och luftoperationer (ibland också rymd) tvärs hela spektrumet av tillämpningar (väpnad strid, fredsbevarande operationer, krishantering, osv). En omvärldsmodell kan representera en sann geografisk plats i världen (geospecifik), alternativt en typisk plats eller klass av platser i världen (geotypisk). Innehållet kan bestå av taktiskt relevanta naturliga egenskaper inom land-, sjö- och luftdomänerna, konstruerade objekt som byggnader, broar, vägar, osv samt karakteristika hos plattformar, t ex geometri och ytmaterial. Vidare kan också modeller för olika processer som vind, vattenflöden, nederbörd, erosion, etc, finnas samt växelverkan med simulerade enheter. Omfattningen och innehållet varierar mellan 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 och datorstyrda stridskrafter (Computer Generated Forces).

Förutsättningarna och möjligheterna att framställa, hantera och utnyttja omvärldsmodeller förändras dock ständigt av den snabba teknikutvecklingen i samhället, inte minst inom IT-området. Det uppstår och utvecklas därför kontinuerligt nya förväntningar och behov hos användarna. Önskemålen på allt mer komplexa omvärldsmodeller i termer av storlek, detaljrikedom, noggrannhet, realism, möjlighet till sensorfunktioner, hantering av vapenverkan, osv, kan därför förväntas öka i takt med teknikutvecklingen och den ökade användningen av M&S. Det är därför av stor vikt att metoder och tekniker för att framställa, hantera och utnyttja omvärldsmodeller ständigt utvecklas för att kunna möta dessa nya krav och önskemål.

Frågeställningarna ovan har i olika grad adresserats inom M&S-verksamheten vid FOI Avdelningen för Sensorsystem (förr Sorteknik) under de senaste åren. Verksamheten fokuseras på omvärldsmodeller som beskriver ”tillstånd” i den naturliga omvärlden, dvs modeller för egenskaper inom land-, sjö- och luftdomänerna. I det följande används begreppet ”omvärldsmodell” med denna avgränsning.

2 Basblock: omvärldsmodellering

2.1 Allmänt, dataförsörjning

Framställning av omvärldsmodeller för den naturliga omvärlden sker normalt genom bearbetning och integration av data som digitala kartor, höjddatabaser, flyg- och satellitbilder, objektmodeller (byggnader, fordon, broar, etc) och olika typer av materialdatabaser. Materialdatabaserna kan innehålla data som beskriver fysikaliska egenskaper som är relevanta för elektromagnetisk och akustisk vågutbredning (reflektion, dämpning, spridning, osv), egenskaper för mekanisk hållfasthet, värmeledning, osv. Dessa data är nödvändiga för att simulera t ex sensor- och sensor-nätfunktioner, vapenverkan, rök- och gasmoln eller spårbildning efter fordon, i den omvärld som beskrivs av omvärldsmodellen.

Teknikutvecklingen inom främst IT-området börjar nu nå en nivå där det är möjligt att med rimliga resurser hantera och utnyttja mycket komplexa omvärldsmodeller. De dataunderlag som hittills normalt använts för framställning av omvärldsmodeller inom FM-uppdrag kommer inte längre att vara tillräckliga för alla de typer modeller som efterfrågas. En oförändrad utveckling av försörjningen av dataunderlag kommer sannolikt att medföra svårighet att realisera efterfrågade modeller. Nya och alternativa sätt till dataförsörjning behöver därför undersökas och provas. Detta för att säkra den framtida försörjningen av dataunderlag till omvärldsmodellering inom FM verksamheter inom M&S-området.

En möjlighet med särskilt intressanta framtidsutsikter är att inom FM egen organisation kunna bearbeta och utnyttja data från egna (framtida) spaningsresurser. Metoder, tekniker och verktyg för att (snabbt) producera nya dataunderlag från olika typer av spaningsdata samt stödja integration med existerande dataunderlag är därför särskilt intressanta att utveckla, studera och prova. En sådan funktion skulle kunna medverka till att säkra försörjningen av data, eventuellt minska kostnaderna för framställning av omvärldsmodeller och dessutom skapa helt nya operativa möjligheter. Genom att använda spaningsdata kan aktuella och situationsanpassade taktiska omvärldsmodeller snabbt framställas, modeller som sedan kan användas operativt i uppdragsplanering, uppdragsträning, lägesbildsgenerering, verkansvärdering, M&S för beslutsstöd, osv.

2.2 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte är kompetensutveckling rörande omvärldsmodellering samt metod- och teknikutveckling avseende framställning av högupplösta omvärldsmodeller för modellering och simulering. Frågor rörande interoperabilitet och standardisering av dataunderlag för omvärldsmodeller är också av intresse.

Projektets mål är att utveckla ett slags demonstrator för att illustrera och förevisa kedjan från indata till omvärldsmodell ("proof of concept"), baserad på framtagna metoder.

Den långsiktiga nyttan för FM är kunskap om datakällor, metoder och verktyg för försörjning av dataunderlag till omvärldsmodellering samt metoder och tekniker för framställning av omvärldsmodeller. Detta hjälper FM att på ett effektivt sätt möta det växande behovet av allt större och mer komplexa omvärldsmodeller. Det skapar handlingsberedskap och möjlighet till vägval inom området omvärldsmodellering i utvecklingen av FM M&S-verksamhet.

Ett för FM viktigt mervärde som omvärldsmodelleringsverksamheten genom åren påvisat är förmågan att med en luftburen spaningsplattform extrahera detaljerad information om ett visst geografiskt område, något som t ex kan tjäna som stöd för NBG i samband med planering och genomförande av internationella insatser.

Erfarenheter och resultat (metoder, verktyg, demonstrator) från verksamheten bildar också underlag för analys av förutsättningar för framtida FoT-verksamhet, till exempel studier och utveckling av nätverksintegrerade system för snabb och automatisk framställning av situationsanpassade omvärldsmodeller från spaningsdata och annan tillgänglig geografisk information.

2.3 Verksamhet 2007

Verksamheten inom projektet Basblock: omvärldsmodellering 2007-2008 fokuserar på problematiken med snabb scenanalys för uppdaterad lägesinformation. Detta kräver en rad stödfunktioner såsom bl a att extrahera relevanta egenskaper ur tillgängliga sensordata. Projektets verksamhet 2007 har fokuserat på att samutnyttja data från olika informationskällor för att öka robustheten i egenskapsextraktionen, samt att förbättra 3d-modellerna för bl a visualiserings- och sensorsimuleringsändamål. Särskild tonvikt har lagts vid att förbättra möjligheterna till automatisk integration av olika typer av sensordata och framtagning av dataunderlag, i syfte att minska tiden från insamlande av data till färdig modell. Dessutom har relevanta databehandlingsmetoder från tidigare projekt (Söderman m fl., 2006) vidareutvecklats.

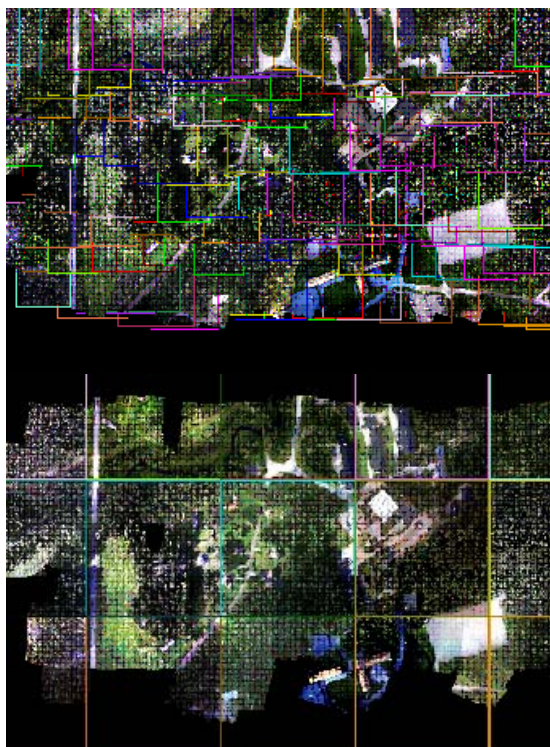
2.3.1 Fusion av klassificeringsresultat

Förmågan till extraktion av relevanta objekt i scenen har förbättrats så till vida att den i (Tolt m fl, 2006) presenterade tekniken för att kombinera utsagor från flera av varandra oberoende klassificeringsmetoder (s k *fusion*) har vidareutvecklats. Till exempel kan de olika laserdataklassificeringsmetoder som utvecklats inom ramen för tidigare omvärldsmodelleringsprojekt, och som alla bygger på olika uppfattningar om hur objekt i den aktuella scenen bör klassificeras, kombineras. Fusionsresultatet ger indikationer om klassificeringssäkerheten, t ex huruvida klassificeringsteknikerna ”är överens” eller inte. Osäkerheter kan då markeras, vilket gör att vidare behandling kan fokuseras på dessa.

2.3.2 Mosaikverktyg

För att t ex kunna samutnyttja flygbilder och laserdata krävs möjlighet att sammanfoga bilddata för ett visst geografiskt område till en s k *mosaik*. Det i utvecklingsmiljön IDL/ENVI existerande mosaikverktyget har en rad brister; bl a har man ingen kontroll över hur den spektrala informationen bearbetas. Inom ramen för projektet har därför ett mosaikverktyg utvecklats som integrerats i IDL/ENVI.

En viktig egenskap hos det nya mosaikverktyget är förmågan att utgående från en mängd överlappande bilder producera en ny uppsättning bilder som omsamlats till önskad upplösning (Figur 1). Typiskt har de ursprungliga bilderna mycket stort överlapp med varandra samt mycket hög spatiell upplösning varför omsamlingsfunktionen i praktiken ofta är nödvändig för att reducera mängden data att bearbeta.

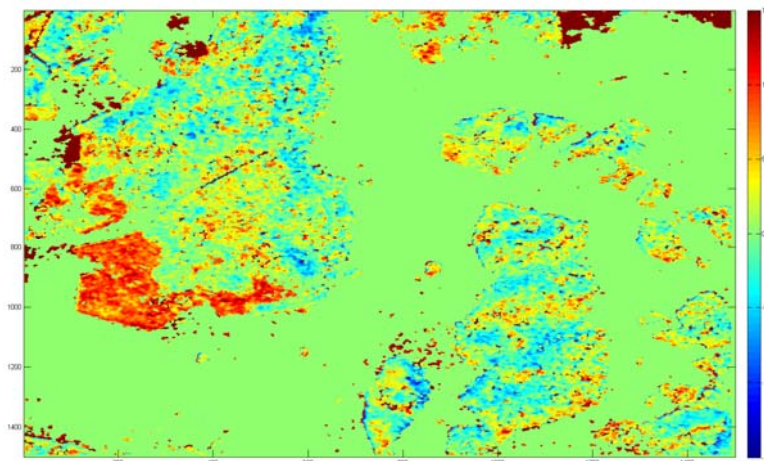


Figur 1. Överst: Bilden visar yttäckningen för resp bild i en uppsättning flygbilder över ett visst område. Nederst: Den ursprungliga uppsättningen flygbilder har slagits samman till en mindre mängd (kvadratiska) bilder som var och en svarar mot ett lika stort område med laserdata, vilket möjliggör automatiskt samutnyttjande av laser- och bilddata.

2.3.3 Vegetationshöjdsuppskattning från CARABAS-II-data

Som ett led i att undersöka potentialen i samutnyttjande av olika sensordata för scenanalysändamål har en inledande studie gjorts av möjligheterna att använda data från CARABAS-II-systemet (Hellsten m fl, 1996) för att uppskatta trädhöjd. De från radardata uppskattade höjdvärdena har jämförts med motsvarande värden från lidardata. Figur 2 visar avvikelser mellan den m h a CARABAS-II uppskattade trädhöjden och en laseruppmätt höjd. Störst avvikelser noteras för ung skog bestående av många små träd vars radarreflexer samverkar och således ser ut som högre än vad de egentligen är.

En slutsats så långt är att en höjdmodell från CARABAS-II-data med medelfel på ca 1,7m (vilket motsvarar <10% av den verkliga höjden) kan tas fram för skogsområden med höga, stora träd, och att CARABAS-II-systemets upplösning resulterar i en tämligen osäker höjdsuppskattning (medelfel 8,1m) för ung skog med många träd per upplösningcell. Framtida analys av data från det nyare LORA-systemet (Larsson, 2003) är intressant eftersom dess upplösning är högre. Detta minskar problematiken med många träd per upplösningcell som ung skog annars ger upphov till. Information om ungefärlig vegetationshöjd kan användas som indata i efterföljande databearbetningssteg, t ex detektion av enskilda träd från laserdata.



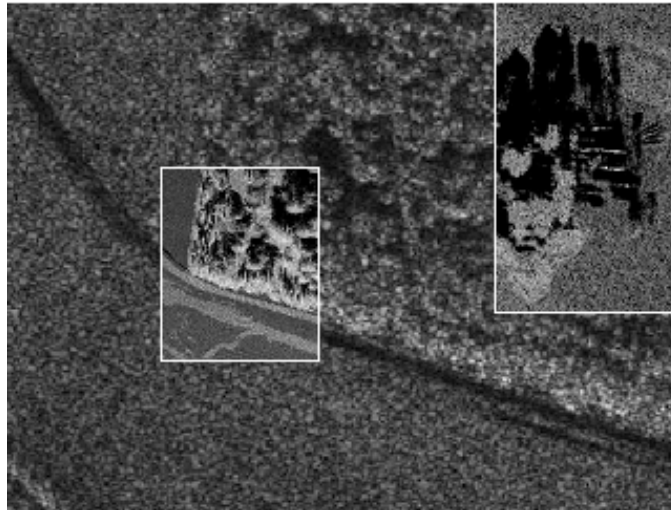
Figur 2. Felbild mellan den uppskattade trädhöjden från CARABAS och laseruppmätt höjd (radarhöjd-laserhöjd). Områden som inte klassats som skog och som därför inte beaktas är satt till 0 (grönt).

2.3.4 Hybridmodell för vegetationsområden

Genom att integrera två olika modelltyper för vegetationsområden kan en för sensorsimuleringsändamål effektivare representation av omvärlden erhållas. Detta sker genom att träd i skogskanten och kring gläntor automatiskt identifieras. I modellen representeras dessa sedan av högupplösta, detaljerade modeller, medan det inre av skogen ersätts med en mindre detaljrik höjdmodell som beskriver huvuddragen i skogens höjdstruktur (Figur 3). Denna typ av modell har lett till förbättringar vad gäller radarsimuleringar baserade på modellen (Figur 4).



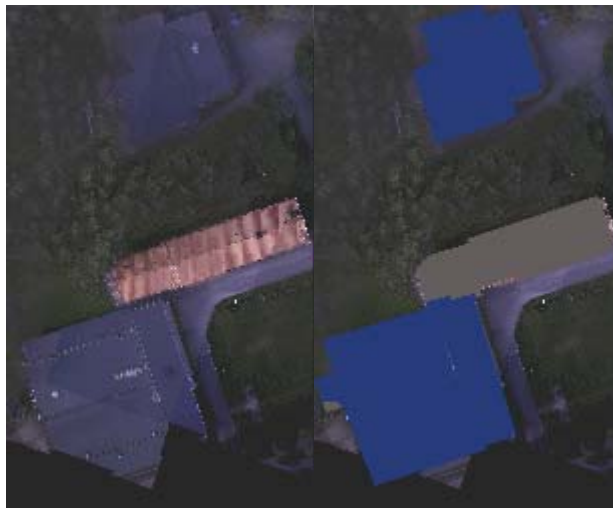
Figur 3. Bilden visar ett skogsparti runt vars kanter träd representeras av detaljerade modeller. Träd i det inre av skogen har ersatts av en mer lågupplöst modell som beskriver huvuddragen i skogens geometri.



Figur 4. Den stora bilden visar insamlade radardata. De infällda bilden till vänster visar simuleringsresultat med den nya metoden medan den högra bilden visar resultat med den gamla modellen (dock för ett annat geografiskt område!).

2.3.5 Förbättring av byggnadsmodeller mha spektral information

Tack vare den nya mosaikfunktionen kan nu från lidardata framtagna byggnadsmodeller associeras med spektrala data i form av t ex flygbilder. Detta är nödvändigt för bl a texturering av taken på extraherade byggnader (se exempel i Figur 5). Med anledning av begränsningar, såsom frånvaro av texturhantering, hos det nuvarande dataformatet för representation av byggnader har arbete med att hitta ett lämpligare dataformat (t ex COLLADA) inletts.



Figur 5. Vänster: Utsnitt ur en framtagen bildmosaik. Höger: Exempel från inledande arbete med samutnyttjande av laser- och bilddata för husmodellering. De genom laserdataanalys framtagna byggnaderna har här överlagrats bilddata och texturerats med en färg. Färgavvikelsen mellan byggnaderna i de båda bilderna är en effekt av det nuvarande dataformatet i byggnadsmodelleringssteget som kraftigt begränsar antalet husfärger.

3 Omvärldsrelationer

Nedan redovisas ett urval kontakter under 2007. Syftet är kunskapsutbyte, seminarier eller annan samverkan inom projektets intresseområde.

3.1 Nationellt

- *Markstridskolan Kvarn*
Goda kontakter finns med markstridskolan i Kvarn. Sedan flera år pågår ett samarbete kring att ta fram geografiskt underlag (kartor, 3D-modeller, etc) som kan användas för bl a träning, utbildning och studier samt i Markstridsskolans övriga utvecklingsarbete. För FOI finns också många vinster med ett sådant samarbete, t ex data över olika geografiska områden för utveckling och test av databearbetningsmetoder, återkoppling avseende själva modellerna (upplösning, detaljrikedom, naturtrogenhet, etc), FoU kring sensorer och sensorsystem, kommunikation, ledning och beslutstöd.
- *FORAN Remote Sensing AB*
Goda relationer finns med detta bolag som grundats av f d medlemmar i projektet. Genom kontakter med Foran RS möjliggörs bl a kunskapsutbyte och diskussioner kring eventuella framtida forskningsrelaterade samarbeten.
- *Högskolan i Skövde*
Under året har kontakter med Högskolan i Skövde etablerats. Syftet är att undersöka hur syntetiska omvärldar kan användas i krishanterings-simuleringssyfte, närmare bestämt som underlag till dataspel för träning av krishanteringspersonal.
- *SLU, Umeå*
Tillsammans med bl a Sveriges Lantbruksuniversitet planeras under slutet av 2007 en gemensam forskningsansökan till Naturvårdsverket avs. olika aspekter av lidar- och flygfotobaserad terrängkartering, vilket kommer stärka FOIs förmåga att möta FM behov inom området.
- *FLSC, FOI*
Ett antal gemensamma behov och önskemål beträffande omvärldsmodeller har identifierats, bl a avseende leverans av en 3D-modell av urban miljö till FLSC för användning/test i deras simulatormiljö.

3.2 Internationellt

- *NATO-grupp SET-118 "3D-Modeling of Urban Terrain"*
Projektgruppen medverkar i NATO-gruppen SET-118. Inom ramen för denna grupps arbete skall bl a en gemensam mätdatabas upprättas som sedan ska ligga till grund för diskussioner och kunskapsutbyte inom gruppen, avseende olika aspekter på modellering av urban miljö med olika typer av sensordata, bl a flygbilder, radar- och laserdata. Det första mötet hölls i Québec april 2007 det andra i Madrid oktober 2007.
- *NATO-grupp SET-132 "Imaging LADAR Technology & Algorithms For Tactical Applications"*
FOIs deltagande i denna grupp leder bl a till ökad tillgång till relevanta, från luften insamlade, laserdata. Detta möjliggör i sin tur jämförelse av och diskussion kring olika databearbetningstekniker för omvärldsmodelleringsändamål.

4 Kunskapsöverföring och stöd

Projektet bidrar med kunskap, metoder och särskilt framställda högupplösta omvärldsmodeller till andra FoT-projekt inom FOI. Detta gör det möjligt för dessa att genomföra mer realistiska och omfattande studier och utvecklingsarbeten. Försvarsmakten har som kund fått bättre och mer genomarbetade resultat samt många gånger också, tack vare möjligheten till realistisk 3D-visualisering av olika scenarion, förbättrad kommunikation och presentation av forskningsresultaten från FOI.

Nedan redovisas projektverksamheter inom och utanför FOI som erhållit stöd samt hjälp med utveckling av omvärldsmodeller för användande i den egna verksamheten under 2007.

4.1 Kunskapsöverföring och stöd inom FoT

- *SEMARK (FoT Sensorer och signaturanpassning)*
Under 2007 har medlemmar i projektgruppen medverkat med stöd, förbättringar, och modifieringar avseende geodataunderlag och omvärldsmodeller för sensorsimuleringar inom SEMARK. Stödet har främst bestått i underlag till tester av radarsignaturer från vegetationsområden.
- *Simuleringsbaserat beslutstöd i realtid (FoT Modellering och Simulering)*
Under 2007 har underlag avseende 2D-modeller (markprojektioner) av byggnader i Norrköping levererats till ovan nämnda projekt.
- *Optisk Signaturanalys (FoT Sensorer och signaturanpassning)*
Underlag avseende höjddata och byggnadsmodeller har levererats till ovan nämnda projekt, i syfte att stödja arbetet med texturering av byggnader. Dessutom förs en kontinuerlig dialog kring bl a framtida projektgemensamma forskningsfrågor, arbetsflöden och dataformat.

4.2 Kunskapsöverföring och stöd till FM/FMV (studier, avtappning, uppdrag)

- *MSS Kvarn*
En detaljerad digital 3D-modell för Kvarns skjutfält har tagits fram. Denna modell skall tjäna som underlag i Markstridsskolans simulatorsystem för trupp- och befälsutbildningar.

4.3 Kunskapsöverföring och stöd, övrigt

- *BioSAR (EDA-projekt)*
Som stöd för en utvärdering av radarbaserad skogsinventering inom EDA-projektet BioSAR har olika typer av terrängdata (härörande från databehandling av lidardata) tagits fram, bl a topografi och vegetationshöjd.

5 Kvalitetssäkring

Följande bidrag har presenterats under 2007:

5.1 Uppsatser (konferensbidrag, tidskriftartiklar, etc)

- Tolt G., Söderman U., Ahlberg S., *3D Urban Models from Laser Radar Data*, Urban Remote Sensing Joint Event, Paris, April 2007.

5.2 Presentationer

- Tolt G., *Syntetiska omgivningar för säkerhetstillämpningar*, SeMer Workshop, Kista, Mars 2007.
- Chevalier T., *Sensor Planning Supported By A High Resolution Environment Model*, presented at Defence Imagery 2007, London, UK, 18-20 Sept 2007.
 - o Särskild inbjudan

5.3 Övriga inskickade publikationer

- Tolt G., Brattberg O., Follo P., *Terrain classification using airborne lidar data and aerial imagery*, inskickat till ISPRS Congress, Beijing, 2008.
- Tolt G., *Automatic mapping and modeling using airborne sensor data*, inskickat till ITEC, Stockholm, 2008.

6 Referenser

Hellsten H., Ulander L.M.H., Gustavsson A., Larsson B., *Development of VHF CARABAS-II SAR*, Proc. of SPIE vol. 2747, Radar Sensor Technology, pp. 48-60, Orlando, FL, USA, 1996.

Larsson B., *Radarsystemteknik för bredbandsradar – slutrapport 2003*, FOI-R--1088--SE, December 2003.

Söderman U., Ahlberg S., Persson Å., Tolt G., *Omvärldsmodellering / Dynamisk Terräng - slutrapport*, FOI-R--2170--SE, December 2006.

Tolt G., Persson Å., Landgård J., Söderman U., *Segmentation and classification of airborne laser scanner data for ground and building detection*, Proc. of SPIE vol. 6214, Laser Radar Technology and Applications XI, Kissimmee, FL, USA, 2006.