



3D omvärldsmodeller och geodata – behov, teknik och möjligheter

Slutrapport för projektet Omvärldsmodellering 2009-2011

GUSTAV TOLT, PETER FOLLO, TORBJÖRN HÄRJE



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



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Informationssystem
Box 1165
581 11 Linköping

Tel: 013-37 80 00
Fax: 013-37 81 00

www.foi.se

FOI-R--3351--SE Användarrapport
ISSN 1650-1942 December 2011

Informationssystem

Gustav Tolt, Peter Follo, Torbjörn Härje

3D omvärldsmodeller och geodata – behov, teknik och möjligheter

Slutrapport för projektet Omvärldsmodellering 2009-2011

Titel	3D omvärldsmodeller och geodata – behov, teknik och möjligheter
Title	3D Synthetic Natural Environments – needs, technology and opportunities
Rapportnr/Report no	FOI-R--3351--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	42 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E53355
Godkänd av/Approved by	

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	Box 1165
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projektet Omvärldsmodellering 2009-2011. Projektets huvudsyfte har varit att identifiera områden med stor utvecklingspotential där FoU-insatser bedöms särskilt relevanta för ökat nyttiggörande av 3D-omvärldsmodeller och geodata för FM. Till skillnad från tidigare projekt inom området har tyngdpunkten inte längre varit på utveckling av signalbehandlingstekniker, utan på hur existerande och kommande tekniska landvinningar inom området kan utnyttjas så effektivt som möjligt för att stödja FM. Grunden för arbetet är en inventering av behov och möjligheter för omvärldsmodeller som genomfördes 2009, via enkätsvar och samtal med intressenter inom FM, FMV och FOI, liksom deltagande i NATO-gruppen SET-118 ("3D Modelling of Urban Terrain"). Tillsammans med existerande FoU-verksamhet och tekniska utvecklingstrender, har detta lett fram till att tre områden bedömts särskilt relevanta och dessa beskrivs nedan.

Ett område rör *interoperabilitet*, både vad gäller teknik för distribution av geodata och nya 3D-datamodeller. Sammankoppling av flera simulatorsystem (t ex inom Nationellt Träningsnätverk, NTN), kräver en teknisk infrastruktur som möjliggör flexibel hantering av geografiskt underlag. För att stötta FM i sådana frågor har projektet påbörjat en implementation av en databas/server-plattform för geodataförsörjning som huvudsakligen använder OGC-standards. Allt fler kartmotorer, ledningssystem och GIS-program stödjer dessa. Plattformen kommer till en början främst nyttjas internt inom FOIs M&S-verksamhet men ambitionen är att kunna nyttiggöra såväl kompetens som teknik inom ramen för NTN eller FMV SGIF (Snabb Geografisk Informationsförsörjning). En annan aspekt på interoperabilitet är nya, semantiskt berikade 3D-datamodeller, som på senare år vunnit popularitet för "3D-GIS". Dessa frågor kommer att utgöra huvudfokus för projektets verksamhet 2012.

En annan frågeställning handlar om teknik för *kartering i ett insatsområde*, att skapa geodata och 3D-modeller mha enkla fordonsburna sensorer. Ett mindre fältförsök genomfördes i Eksjö 2010 tillsammans med personal från Ing 2 och ett antal sensorprojekt på FOI i syfte att få till stånd kontakt med personal inom FMs Geosupportgrupper (GeoSG) och därigenom få insikt i FMs behov knutna till området, samt låta FMs personal som arbetar med geodata ta del av forskningsresultat från FOI.

Det tredje området rör *kvalitet och nytta* för 3D-modeller. Tekniken för att framställa modeller är idag så mogen att användarna bör kunna ställa tydligare krav utifrån modellens tänkta användningsområde. Nyckeln här är ökad samverkan mellan FM, FMV och FOI och utveckling av en metodik för att hantera dessa frågor. En rad kvalitetsmått har föreslagits i litteraturen, men arbetssätt för att klargöra vilka som är relevanta för 3D-modeller i olika FM-tillämpningar kvarstår att ta fram.

Nyckelord: Omvärldsmodeller, 3D, semantik, tillämpningar, simulering, geodataförsörjning, OGC-standards,

Summary

This report summarizes the project Synthetic Natural Environments 2009-2011. The main purpose of the project has been to find areas of great potential for further development, where R&D efforts are considered particularly relevant for increasing the benefit of 3D synthetic natural environment models (SNE) for the Swedish Armed Forces (SwAF). As opposed to previous projects in this area, the emphasis has no longer been on development of signal processing techniques, but rather on how existing and coming technical achievements in the field can be used as efficiently as possible to support SwAF. The basis of this work is a survey on needs and opportunities regarding SNE conducted in 2009, through enquiries, discussions with representatives from SwAF, the Swedish Defence Materiel Administration (FMV) and FOI, as well as participation in the NATO group SET-118 ("3D Modelling of Urban Terrain"). Together with existing R&D activities and technical development trends, this has resulted in three areas being identified as particularly relevant, summarized below.

One area concerns interoperability, both in terms of technology for distribution of geospatial data and new 3D data models. Connecting multiple simulator systems (e.g. within the Swedish National Training Network, NTN) requires a technical infrastructure that allows for flexible handling of geographical content. In order to support SwAF in such matters, the SNE project has initiated work on implementation of a database/server platform for geospatial data distribution, based as far as possible on OGC standards. The initial use of the platform is mainly internal use at FOI, but the goal is to exploit its capabilities within NTN and other SwAF activities involving GIS. Another interoperability aspect is new, semantically enriched 3D data models that have gained popularity for "3D GIS". Interoperability issues will be the main focus for the project's work in 2012.

Another issue concerns sensor technology tools for mapping in a mission area, to create geographical data and 3D models with simple vehicle-mounted sensors. A small field trial was conducted in Eksjö, Sweden 2010 together with personnel from the Göta Engineers (Ing 2) and a number of sensor-oriented projects at FOI, the goal being to establish contact with the Geo Support Groups and to gain insight in the needs of SwAF, and to let GIS personnel within SwAF take part of results from R&D projects.

The third area concerns quality aspects of 3D models. Today, techniques for creating models are so mature that the users of the models could formulate more distinct requirements with respect to the intended use of the models. The key here is an increased collaboration between SwAF, FMV and FOI and the development of a methodology to address such questions. A number of quality measures have been suggested in the literature, but an approach to clarify which measures are relevant for 3D models in SwAF-related applications remains to be developed.

Keywords: Synthetic Natural Environments, 3D, semantics, applications, simulation, geospatial data distribution, OGC standards

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Om projektet.....	7
1.3	Rapportens upplägg.....	7
2	3D omvärldsmodeller	9
2.1	Omvärldsmodeller och geografiska data	9
2.2	Begreppet "3D"	9
3	Utveckling och trender	11
3.1	3D-mätningar	11
3.2	Automatiserad 3D-analys.....	11
3.3	Semantiska 3D-modeller.....	13
3.3.1	CityGML	14
3.3.2	Tillämpningar av semantiska 3D-modeller.....	15
3.4	Webbtjänster	20
4	Behov och möjligheter	22
4.1	Kartering i insatsområden	22
4.2	När och hur gör "3D" skillnad?	23
4.3	Kvalitetsaspekter på 3D data	24
4.4	Geodatadistribution	24
4.5	3D-modeller för analys och simuleringar	25
4.6	Signalbehandling, datafusion	26
5	FOIs geoserverprototyp	27
5.1	Data på servern.....	28
5.2	Gränssnitt och standarder.....	29
5.3	Exempel	30
5.4	Fortsättning	31
6	Slutsatser och vägen framåt	33
6.1	Utvecklingsspår	33
6.1.1	Interoperabilitet för ökat mervärde av 3D-modeller	33
6.1.2	Kvalitet och nytta.....	33
6.1.3	Signalbehandling och datafusion	34
6.2	Projektets inriktning 2012.....	34

7	Vision: 3D för internationella insatser	36
8	Samverkan och kompetensspridning	38
8.1	Kontakter med FM och FMV	38
8.2	Stöd till andra projekt	38
8.3	NATO SET-118	38
8.4	Övriga kontakter	39
9	Referenser	40

1 Inledning

Den här rapporten sammanfattar FoT-projektet Omvärldsmodellering 2009-2011.

1.1 Bakgrund

En central ingrediens i tidigare projekt inom området var att demonstrera hur man utgående från endast 3D sensordata kan framställa olika typer av geografisk data, t ex markyta, trädlager och byggnadsmodeller, som sedan kan användas i olika tillämpningar. Eftersom 3D-mättekniken då var långt ifrån lika utvecklad som idag krävdes forskning om grundläggande signalbehandling för att kunna visa detta.

Läget idag är emellertid ett helt annat än för tio år sedan. Marknaden för såväl mätningar som signalbehandlingsprodukter och 3D-modelleringsverktyg har formligen exploderat och utvecklingen drivs framåt av starka kommersiella intressen inte minst inom navigerings- och söktjänster. Mot denna bakgrund sökte projektet en ny inriktning inför 2009, för att bättre kunna tillvarata FMs intressen framöver och utgöra en brygga mellan den snabba tekniska utvecklingen å ena sidan och FMs behov, krav och ambitioner å den andra.

1.2 Om projektet

Projektets mål har varit att inventera behov och möjligheter avseende försörjning och användning av 3D-omvärldsmodeller och geografisk information för olika försvarstillämpningar, samt utifrån detta sedan identifiera frågeställningar som bedöms särskilt relevanta för fortsatta FoU-satsningar. Dessutom bedrivs kompetensutveckling avseende metoder, tekniker och verktyg för försörjning och framställning av geografisk information och 3D omvärldsmodeller, i syfte att bibehålla och stärka FOI som en nod för kunskap inom området.

För FM innebär detta ökat kunnande om försörjning och användning av 3D geografisk information i t ex olika former av simuleringstillämpningar, vilket stödjer FMs förmågor och ger ökade möjligheter att identifiera och lösa problem inom området.

Behov och möjligheter har diskuterats med slutanvändare av olika typer av geografisk information inom FM, vilket hjälper till att föra forskningen och tillämpningarna närmare varandra.

Dessutom har projektet bidragit till kanalisering av forskningsresultat rörande 3D-modeller från FOI till FM och därigenom bidragit till att höja FMs kunskap om användning av 3D-modeller.

1.3 Rapportens upplägg

Den här rapporten syftar till att belysa omvärldsmodelleringsområdet från flera olika håll, för att därigenom försöka ge en så komplett bild som möjligt. Rapporten fokuserar främst på 3D-modeller, eftersom det är där utvecklingen går fortast och nya tillämpningar växer fram.

I kapitel 2 ges först en introduktion till området, där central begrepp definieras. Sedan, i kapitel 3, följer en litteraturöversikt av den senaste forskningen och teknikutvecklingen beträffande att skapa, representera och distribuera 3D-modeller, samt exempel på hur nya tillämpningar följer i spåren av den nya tekniken.

Därefter beskrivs ett antal frågeställningar i kapitel 4 som vi bedömt som särskilt relevanta för FM att gå vidare med, baserat på en kombination av FM behov, forsknings- och teknikläget samt pågående FoU-aktiviteter. Kapitel 5 beskriver det

interoperabilitetsfrämjande arbete som bedrivits inom projektet med att upprätta en infrastruktur för klient-server-baserad geodatadistribution. I kapitel 6 diskuteras förslag till fortsatt arbete.

I kapitel 7 presenteras en visionär idéskiss för hur FM i olika avseenden och i större omfattning än idag skulle kunna nyttiggöra sig FoU-resultat baserade på 3D/terrängdata i samband med en internationell insats.

Slutligen ges i kapitel 8 en sammanfattning av projektets aktiviteter och kopplingar till andra verksamheter, såsom projekt och studier som adresserar några av de ämnen som den här rapporten tar upp.

2 3D omvärldsmodeller

I det här kapitlet ges en kort introduktion till omvärldsmodeller samt en diskussion kring det i sammanhanget centrala begreppet ”3D”.

2.1 Omvärldsmodeller och geografiska data

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 en gemensam ”spelplan” där simulerade operationer och interaktioner äger rum. Det grundläggande innehållet i modellerna är olika typer av relevanta element från den naturliga omgivningen, geografisk information, såsom markmodeller (topografi), konstruerade objekt (t ex byggnader, broar och vägar), samt karakteristika för dessa (t ex geometri och ytmaterial).

Vidare kan också texturer i form av visuella foton inkluderas i modellen för att öka realismen och ge användare av modellerna en ökad närvarokänsla eller förståelse för det aktuella terrängavsnittet. Den faktiska omfattningen och innehållet i modellerna varierar mellan olika tillämpningar och med de funktioner som ska realiseras, t ex 3D-visualisering, simulering av sensorer och sensornätverk, bekämpning, spårbildning, gasspridning, dygns- och årstidsvariationer och datorstyrda stridskrafter (Computer Generated Forces).

Framställning av omvärldsmodeller för den naturliga omvärlden sker normalt genom integration av *geografiska data* (”geodata”) såsom 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 sensornätfunktioner, vapenverkan, rök- och gasmoln eller spårbildning efter fordon, i den omvärld som beskrivs av modellen. Vidare kan förhållanden mellan objekt i terrängen beskrivas, s k *topologisk* information.

Under det senaste decenniet har förutsättningarna för att framställa omvärldsmodeller förbättrats avsevärt. Inte minst har tidigare omvärldsmodelleringsprojekt inom M&S-verksamheten på FOI bidragit till förbättrade möjligheter inom detta område. Mycket av den geografiska information som ligger till grund för 3D-modellerna kan idag extraheras snabbt och med en hög grad av automatisering ur sensordata eller erhållas från någon leverantör. Förutsättningarna förbättras dessutom kontinuerligt i och med den snabba teknikutvecklingen i samhället, både avseende sensorer för datainsamling och IT-teknik för databearbetning. Teknikutvecklingen börjar nu nå en nivå där det är möjligt att med rimliga resurser hantera och utnyttja realistiska och komplexa omvärldsmodeller. Nya behov och förväntningar hos medborgare avseende bl a 3D-modeller och visualisering har lett till ett växande antal tjänsteleverantörer och produkter relaterade till geografisk informationsförsörjning och 3D-modellering.

2.2 Begreppet ”3D”

I den här rapporten har vi medvetet valt ett generöst synsätt på detta och ser ”3D” som data som visar hur scenens geometri varierar i rummets alla tre dimensioner. Detta för att inte begränsa diskussionerna med användare och andra för mycket. Man skulle annars, på goda matematiska grunder, låta bli att inkludera markmodeller eftersom de i egentligen är en rent tvådimensionell funktion, $z(x,y)$. En sådan höjdbild brukar betecknas ”2,5D”, just för att tydliggöra att det skalära funktionsvärdet z representerar avstånd/höjd.

Begreppet ”3D” är idag vanligt förekommande och ger ofta upphov till oklarheter och missförstånd. Tolkningen av begreppet tenderar att variera från person till person beroende

på tillämpning och bakgrund. Dessutom förekommer ibland begrepp som "2,75D" eller "2,85D" som indikerar att data inte begränsas till ett höjdvärde i en viss position (x,y) men som samtidigt signalerar att det inte är frågan om "full 3D". Det senare kommer i fråga först när man har möjlighet att beskriva godtyckliga geometrier. Med "full 3D" kan man t ex naturligt representera överhäng, broar, viadukter, utskjutande balkonger, etc.

Under arbetet inom projektet har vi identifierat några olika perspektiv på hur "3D-begreppet" betraktas:

Presentation: En 3D-aspekt handlar om hur data presenteras. 3D data visualiseras idag företrädesvis på någon typ av i grunden 2D bildskärm. För att ge känslan av den tredje dimensionen kan man antingen använda stereoskopisk teknik, lägga till perspektiveffekter eller terrängskuggning, variera storleken på symboler utifrån vilket avstånd de befinner sig på, eller göra virtuella flygningar i data.

Överensstämmelse med verkligheten: För vissa innebär 3D att man faktiskt *vet* något om ett objekts 3D geometri och att det är först när man har mätt in eller observerat objektet (från alla håll) som man kan tala om 3D. Ju mindre mätdata om objekten, desto mer måste man förlita sig på antaganden om hur de brukar se ut.

Dataformat: Andra associerar direkt till särskilda dataformat när 3D kommer på tal, utan att reflektera över vad 3D-modellen representerar eller om en 2D representation skulle fungera lika bra som en 3D-modell. Om man t ex utgår från en 2D byggnadspolygon med ett höjdvärde och gör en 3D-modell av detta ("skolådemodell"), har man visserligen fått en 3D-modell, men den innehåller ändå inte ny information.

Matematisk representation: En person med ett matematiskt betraktelsesätt talar kanske inte gärna om företeelser som 3D om de går att beskriva som t ex 2D funktioner. Som nämnts ovan är en höjdbild matematiskt just inget annat än en 2D funktion $z(x,y)$. Och ett rastergrid med fler än ett höjdvärde i varje pixel kan ibland uttryckas som en vektorvärd 2D funktion.

3 Utveckling och trender

Utvecklingen på geoområdet går snabbt och drivs främst av kommersiella krafter. De största landvinningarna sker inom 3D-området, dit en mycket stor del av forskningen och programvaruutvecklingen dedicerats. Det är också 3D-området som ser de flesta nya tillämpningarna växa fram. Det är därför viktigt att bevaka området så att FMs behov kan matchas mot existerande eller kommande teknik.

Det här kapitlet syftar till att ge en översikt av "state-of-the-art" inom 3D-området och belysa de trender som där finns. Det är mot en sådan bakgrund som nya FoU-satsningar måste värderas.

3.1 3D-mätningar

De senaste årens snabba utveckling inom sensorteknikområdet gör att det idag finns en lång rad system och aktörer som erbjuder möjlighet till insamling av högupplösta 3D-data. Insamlingen sker enligt en aktiv (laser) eller passiv (kamera) mätprincip. Lasersystemens prestanda har nu nått en sådan nivå att vissa används operativt i insatsområden, bl a Irak och Afghanistan¹, där de används för att producera höjddata med sub-meterupplösning.

I andra änden av skalan finns idag handhållna "3D-kameror", bl a från Mantis Vision² som t ex kan användas för 3D karteringsmätningar i inomhusmiljöer. Tekniken är i princip densamma som den som avståndskameran Microsoft Kinect bygger på.

Pollefeys m fl [30] beskriver ett annat system (än så länge på forskningsstadiet), som i realtid ska kunna skapa 3D-datapunkter från video. En stereokamerabaserad teknik har föreslagits av Gurram m fl [12] och Micusik och Kosecka [27] föreslår en metod för att extrahera 3D-punkter från panoramabilder.

Det finns idag flera kommersiellt tillgängliga tekniker för att skapa noggranna och högupplösta 3D-punktmoln från kamerabilder ("structure from motion") och här märks t ex produkterna

- GeoSynth3 (Vexcel)
- EarthMine4
- Rapid 3D Mapping⁵ (Saab)

Andra liknande produkter, men med fokus på höjdmodeller på rasterform snarare än 3D punktskurar har tagits fram av bl a 2d3⁶ i Storbritannien och SimActive⁷ i Kanada.

Sammanfattningsvis ger en internationell utblick vid handen att tekniken har mognat betydligt bara de senaste två-tre åren vad gäller automatiserad 3D-mätteknik. Detta gäller såväl dyrare lösningar, t ex fordonsburna lasersystem, som billigare, t ex 3D-kameror för hemmabruk och möjligheter att skapa 3D-punkter från stillbilder tagna med en vanlig kamera.

3.2 Automatiserad 3D-analys

När man samlat in 3D-data vidtar problemet att segmentera dessa, att dela upp punktmolnen i meningsfulla beståndsdelar och att attributsätta dessa så att de kan

¹ http://www.agc.army.mil/fact_sheet/Buckeye_factsheet.pdf

² <http://www.mantis-vision.com/>

³ <http://www.vexcel.com/geospatial/geosynth/>

⁴ <http://www.earthmine.com/index>

⁵ Isaksson, Borg och Haglund, *3D rapid mapping*, SPIE Vol. 6946, 2008

⁶ <http://www.2d3.com/>

⁷ <http://www.simactive.com/>

användas i olika tillämpningar. För att analysen av de oftast enorma 3D-datamängderna som det är frågan om ska bli effektiv krävs i praktiken mjukvaruverktyg för åtminstone delar av analyskedjan. De senaste åren har ett antal kommersiella programvaror utvecklats, bl a:

- E3De⁸ (ITT VIS)
- VG4D SmartLiDAR Analyzer Pro⁹ (Virtual Geomatics)
- LIDAR/Feature Analyst¹⁰ (Overwatch)
- TLiD¹¹ (Tiltan)
- Lidar Box¹² (INPHO)
- LIDAR Fusion Tool Suite¹³ (Quantum3D)
- TerraScan¹⁴ (Terrasolid)
- ALPS¹⁵ (USGS)
- MARS¹⁶ (Merrick & Company)
- LP360¹⁷ (QCoherent)
- Quick Terrain Modeler¹⁸ (Applied Imagery)
- SOCET SET¹⁹ (BAE Systems)
- LPS/ERDAS IMAGINE Suite²⁰ (ERDAS)
- EdgeWise²¹ (ClearEdge 3D)

Sammantaget kan man säga att dagens kommersiella programvaror erbjuder i princip samma funktioner som forskningsplattformarna (bland annat FOIs) gjorde för några år sedan, men de erbjuder bättre beräkningsprestanda, smidigare lösningar för att hantera stora datamängder samt stödjer import av och export till flera format. Problemen som verktygen huvudsakligen är ämnade för är topografistimering (markmodellering), klassificering av objekt och rekonstruktion av 3D-byggnaders huvudsakliga geometri utifrån lidardata och/eller stereofoton.

Mer avancerade uppgifter såsom detaljerad modellering av särskilda objekt (trappor, pelare, etc) eller automatisk igenkänning av fönster, dörrar, etc, är fortfarande på forskningsstadiet. I [28] presenteras en metod för att utifrån enskilda bilder av byggnadsfasader automatiskt känna igen fönster och dörrar samt genom regelstyrd modellering göra en 3D-modell. Även om själva principen är intressant baseras metoden på att hitta symmetrier, vilket i praktiken kräver flera rader av fönster för att ge bra resultat, dvs stora byggnader. Mer undersökning krävs därför för att klarlägga dess relevans för FMs behov.

⁸ <http://www.ittvis.com/language/en-US/ProductsServices/E3De.aspx>

⁹ <http://www.virtualgeomatics.com/solutions.html>

¹⁰ http://www.overwatch.com/products/geospatial_main.php

¹¹ <http://www.tiltan-se.co.il/>

¹² http://www.inpho.de/index.php?seite=lidar_pro

¹³ http://www.quantum3d.com/solutions/real-time/synthetic/lidar_fusion_tool_suite.html

¹⁴ <http://www.terrasolid.fi/en/products/terrascan>

¹⁵ <http://ngom.usgs.gov/dsp/tech/alps/>

¹⁶ <http://www.merrick.com/index.php/geospatial/services-gss/mars-software>

¹⁷ <http://www.qcoherent.com/products/index.html>

¹⁸ <http://www.appliedimagery.com/>

¹⁹ <http://www.socetgxp.com/content/products/socet-set>

²⁰ <http://www.erdas.com/products.aspx>

²¹ <http://www.clearedge3d.com/>

Automatisk anpassning av olika geometriska former till 3D mätdata är ett hett forskningsområde. Det senaste decenniet har fokus varit på plana ytor eftersom det ofta handlat om att hitta och beskriva (plana) taksegment för byggnader utifrån data från flygburen laserskanning. På senare tid, i takt med att tekniken för att mäta noggrant i 3D har utvecklats och utrustning för detta blivit billigare och smidigare, har mer komplicerade geometriska former börjat studeras, t ex cylindrar, trappor, fönster och dörrar. Olika metoder för anpassning av geometriska former har föreslagits av bl a Ullrich och Fellner [36], Schmittwilken och Plümer [32]. Schnabel m fl [33] baserar sin metod för automatisk 3D-modellering på grafmatchning; primitiva former grupperas enligt regler så att t ex återkommande/periodiska primitiver leder till bättre segmentering, plus att man får en hierarkisk indelning av objekten som modelleras (balkonger förväntas t ex återfinnas endast på väggar och vindsfönster endast på tak).

I [3] presenteras en intressant metod för segmentering av texturerade (färgsatta) 3D-data som automatiskt delar upp stora 3D-punktmängder i segment och hittar ytor, t ex husfasader och träd. Metoden bygger på att en yta definieras på ett lämpligt sätt (storlek, krökning, etc) så att relevanta ytor detekteras. Dessutom presenteras en metod för fusion av data insamlade från marken och från luften så att en mer heltäckande bild av omgivningen erhålls.

Jenke m fl adresserar i [16] en central fråga i automatisk 3D-modellering: hur man går från inmätta punkter till sammanhängande ytor, s k "meshing". Detta är ett långt ifrån triviale problem där den stora svårigheten ligger i att avgöra till vilken yta en viss punkt hör. Den föreslagna lösningen sägs vara robust mot brus i data samt kunna hantera båda långsamma och snabba spatiella förändringar (dvs både plana ytor och hörn).

Det finns således ett flertal kandidater för automatiserad framställning av 3D-modeller, och för att stödja FM att ta fram relevant geografiskt underlag med känd kvalitet utifrån 3D-data krävs kunskap om vilka av dessa som är bäst lämpade för att ingå i en produktionsmiljö. Det finns idag ingen objektiv måttstock ("benchmark") med vars hjälp de olika programvarornas prestanda kan jämföras. I forskarvärlden genomförs med jämna mellanrum översikter och jämförelser av olika dataanalysmetoder, och det är rimligt att anta att även kommersiella metoder kommer att dyka upp i sådana jämförelser.

Det börjar även komma verktyg för generering av *geotypisk* terräng. Sådana verktyg importerar vanligen grunddata (t ex vektordata och höjdmodeller) och fyller sedan i med olika typer av objekt enligt vissa regler. Det kanske mest spännande verktyget för detta just nu är CityEngine²² som tagits fram av Procedural och köpts av ESRI 2011.

3.3 Semantiska 3D-modeller

Något förenklat kan man göra en uppdelning av 3D-modeller baserat på det huvudsakliga användningsområdet: grafik/visualisering, geografisk informationshantering eller konstruktion/anläggning. Inom dessa grupper finns en lång rad olika dataformat som ofta är skräddarsydda för en särskild tillämpning. I grafitillämpningar är syftet med 3D-modellen att rendera bilder för en användare som själv bildar sig en uppfattning hur terrängen är beskaffad utifrån bilderna. För de sistnämnda krävs emellertid *semantik*.

Semantiska 3D-modeller har kommit de senaste åren som ett svar på ett behov att gifta ihop traditionella (2D) geografiska informationssystem (GIS) med 3D-modeller. Istället för att göra analyser i 2D och använda 3D t ex bara för visualisering fanns önskemål om ett integrerat ramverk med plats för information från båda domänerna. Dessutom finns starka ekonomiska incitament för samverkan inom geoområdet, vilket leder till ett tydligt behov av portabla 3D-modeller som kan utbytas mellan organisationer, kommuner, etc utan att betydelsen av data går förlorad. För detta krävs semantik och ontologier som

²² <http://www.procedural.com/cityengine/features/2010.html>

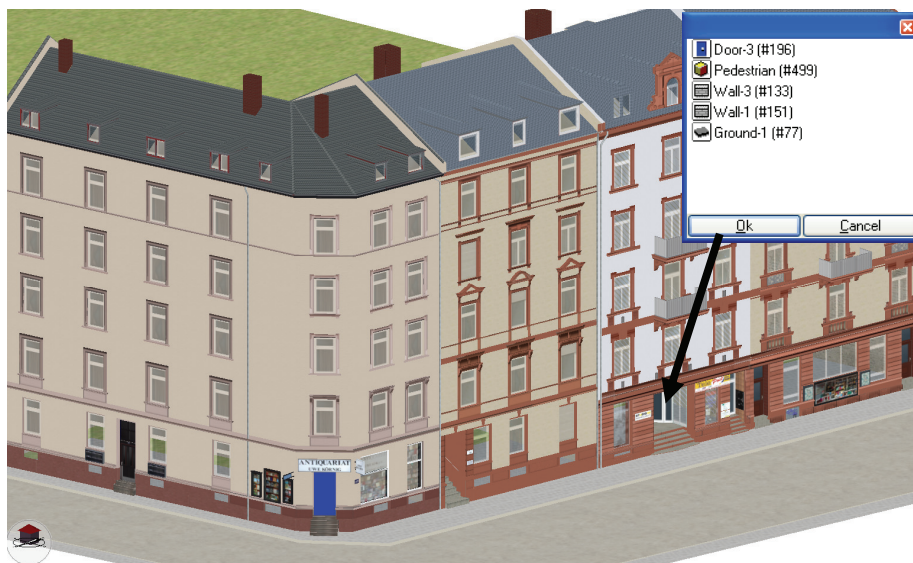
specificerar vad objekt representerar, hur de kan/får användas och hur de hänger samman (topologi) [41].

3.3.1 CityGML

Ett antal initiativ togs på 00-talet för att ta fram möjliga kandidater till semantiska datamodeller, och ur dessa har CityGML (City Geography Markup Language) kommit. CityGML är en datamodell implementerad som ett XML-baserat filformat i form av ett applikationsschema för GML 3.1.1. Syftet med CityGML är att hantera objekt som återfinns i stadsmiljöer såsom byggnader, vägar, vegetation och vattendrag samt göra det möjligt att utbyta dessa stadsmodeller mellan olika applikationer för ökad interoperabilitet. Såvitt vi vet är CityGML idag den enda standardiserade datamodellen för stadsmodeller.

Det som skiljer CityGML från tidigare 3D-standarder, exempelvis X3D och GeoVRML, som använts för att visualisera byggnader etc, är att CityGML inte fokuserar på effektiv visualisering utan istället syftar till att ordna data på ett strukturerat sätt, inklusive semantik och topologi utöver de ”vanliga” geometri samt utseende (Kolbe, 2011). Varje geometrisk beståndsdel associeras med en semantisk beskrivning. Denna aspekt gör CityGML intressant som lagringsformat (”back-end”-data) i ”3D-GIS”-system, t ex för kommuner och myndigheter.

Exempel på CityGML-modeller visas i Figur 1 och Figur 2. Figur 3 illustrerar hur CityGML stödjer flera detaljnivåer, som alla kan associeras med olika former och grad av geometri och semantik och rätt nivå i en viss tillämpning kan väljas därefter.

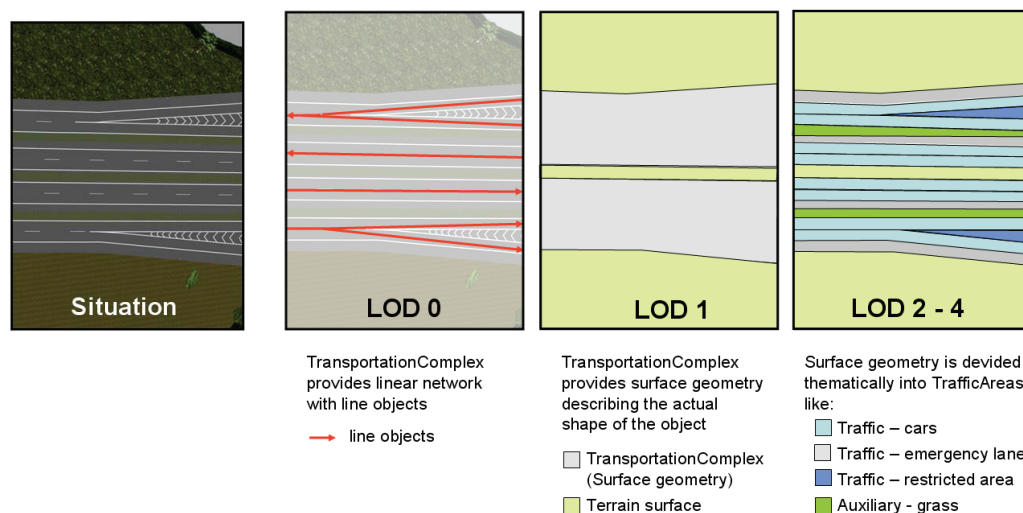


Figur 1. Visualisering av CityGML-modell (data från maila-push gmbH). Den infällda rutan visar semantiken som finns för objekten vid pilen (även de som ligger i bakgrunden och därför inte syns i visualiseringen).



Figur 2. CityGML-modell över staden Rotterdam, inklusive 190000 byggnader texturerade med hjälp av snedbilder. (Bild från Blom, Sweden)

En ny version av CityGML (version 1.1) är under färdigställande²³ hösten 2011. Nytt i version 1.1 är bl a att broar och underjordiska objekt såsom tunnlar nu finns med som dedicerade objekt.



Figur 3. CityGML stödjer flera detaljnivåer, som alla kan associeras med olika former och grad av geometri och semantik. Den mest relevanta detaljnivån kan sedan väljas beroende på tillämpning. Bilder från [29] (källa: Rheinmetall Defence Electronics).

3.3.2 Tillämpningar av semantiska 3D-modeller

Krishantering

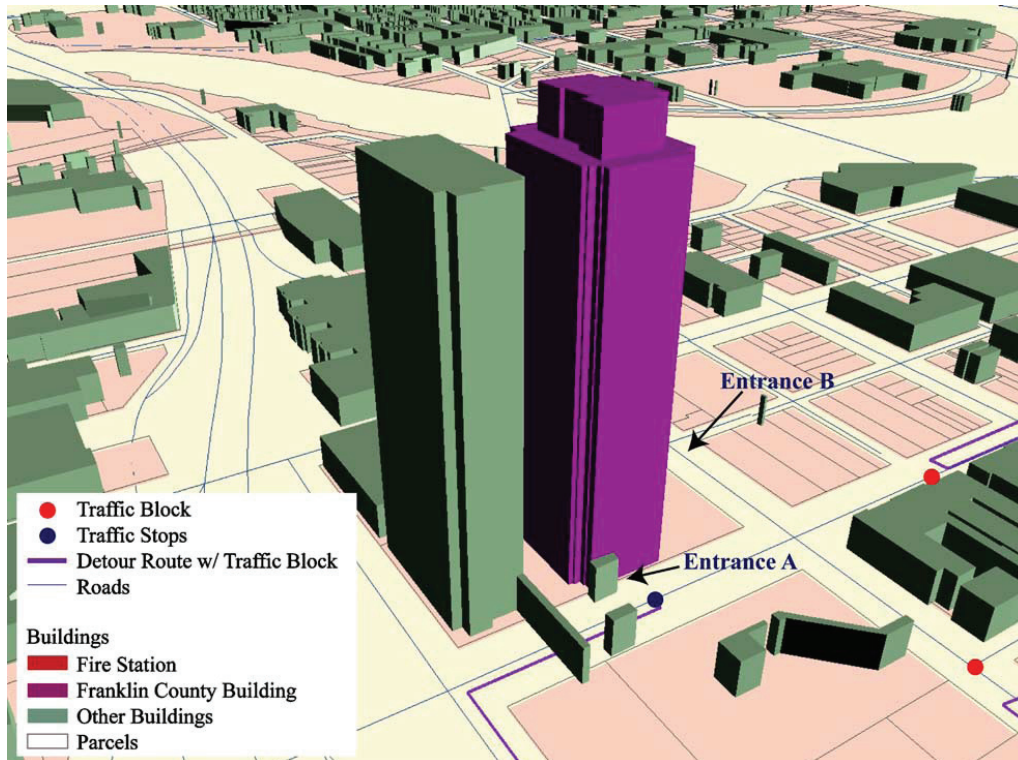
Forskning kring metoder för effektivare krishantering tog fart ordentligt efter attackerna i USA 11 sept 2001. Det saknades bl a verktyg för att representera omvärlden och analysera uppkomna krissituationer på ett effektivt sätt. Man insåg bl a att det var svårt att använda 2D underlag för byggnader (våningsplan) i scenarion som i högsta grad inbegrep alla tre dimensionerna (t ex utrymning av höghus)

²³ <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/82>

Några fördelar med att använda semantiska 3D-modeller identifierades 2005 av Kwan och Lee [41]. Bilderna nedan (Figur 4 och Figur 5) visar exempel där 3D-modeller använts för optimal ruttplanering i en krissituation. 3D byggnadsmodeller används tillsammans med mer traditionell GIS-information för att identifiera möjliga in- och utgångar till den aktuella byggnaden, givet bivillkor som uppträder i form av blockerade passager och trafik hinder.



Figur 4. Bilden visar den kortaste vägen mellan en brandstation och ett katastrofområde. (Bild från Kwan och Lee, 2005))

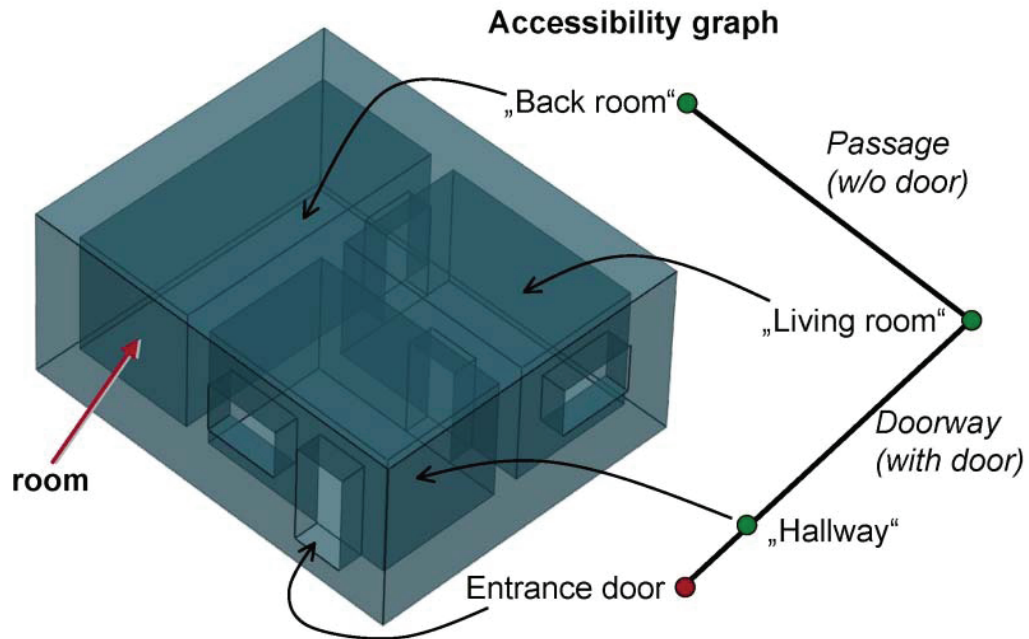


Figur 5. Information om byggnaden och det aktuella läget utanför densamma leder till att två möjliga ingångar kan identifieras. (Från Kwan och Lee, 2005)

I [30] föreslår Park m fl ett hjälpmedel för utrymning av byggnader i form ett verktyg som räknar ut optimala utrymningsvägar utifrån den aktuella situationen. Den grundläggande idén är att beroende på hur krissituationen utvecklas, t ex hur branden eller röken sprids och hur antalet människor varierar över tid i byggnaden, så varierar den bästa utrymningsvägen. I samband med detta kan byggnaden beskrivas som ett nätverk där noder tilldelas egenskaper som t ex maximal eller förväntad flödes hastighet (t ex hur många människor som kan förväntas ta sig nerför en viss trappa eller genom en viss dörr per tidsenhet). Ett distribuerat system för simulering av utrymning av byggnader i ett krisscenario, DBES, beskrivs i [6]. Simuleringen är multiagentbaserad och både räddningsarbetare och personer i behov av undsättning simuleras, liksom ett nätverk av sensorer som känner av var folk befinner sig. och kommunikation mellan noder i simuleringen sker mha HLA.

Van Erp m fl. [37] tror att räddningsledare i framtiden kommer att börja använda fyrdimensionella lösningar (3D+tid) i stället för dagens 2D-system. Detta för att kunna prova hypoteser och pröva alternativa planer i en dynamisk miljö. Fler exempel och diskussioner kring 3D-modeller för krishantering finns i t ex [13].

Ett exempel på en byggnads topologi visas i Figur 6.



Figur 6. Exempel på topologi för inomhusmiljöer. Bilder från [29] (grafik: IGG Uni Bonn)

Inom OGC Web Services – Phase 4 Demonstration²⁴ har bl a visats hur attributsatta 3D-modeller tillsammans med webbtjänster kan användas i krishanteringssyfte för att skapa en lägesbild och göra analyser och sökningar. 3D-modellen kan här ses som ett slags hybrid mellan ”vanliga” 3D-modeller (geometri och textur) och GIS-skikt som används i t ex ArcGIS för olika typer av analyser.

Mer semantik ger bättre visuella 3D-modeller

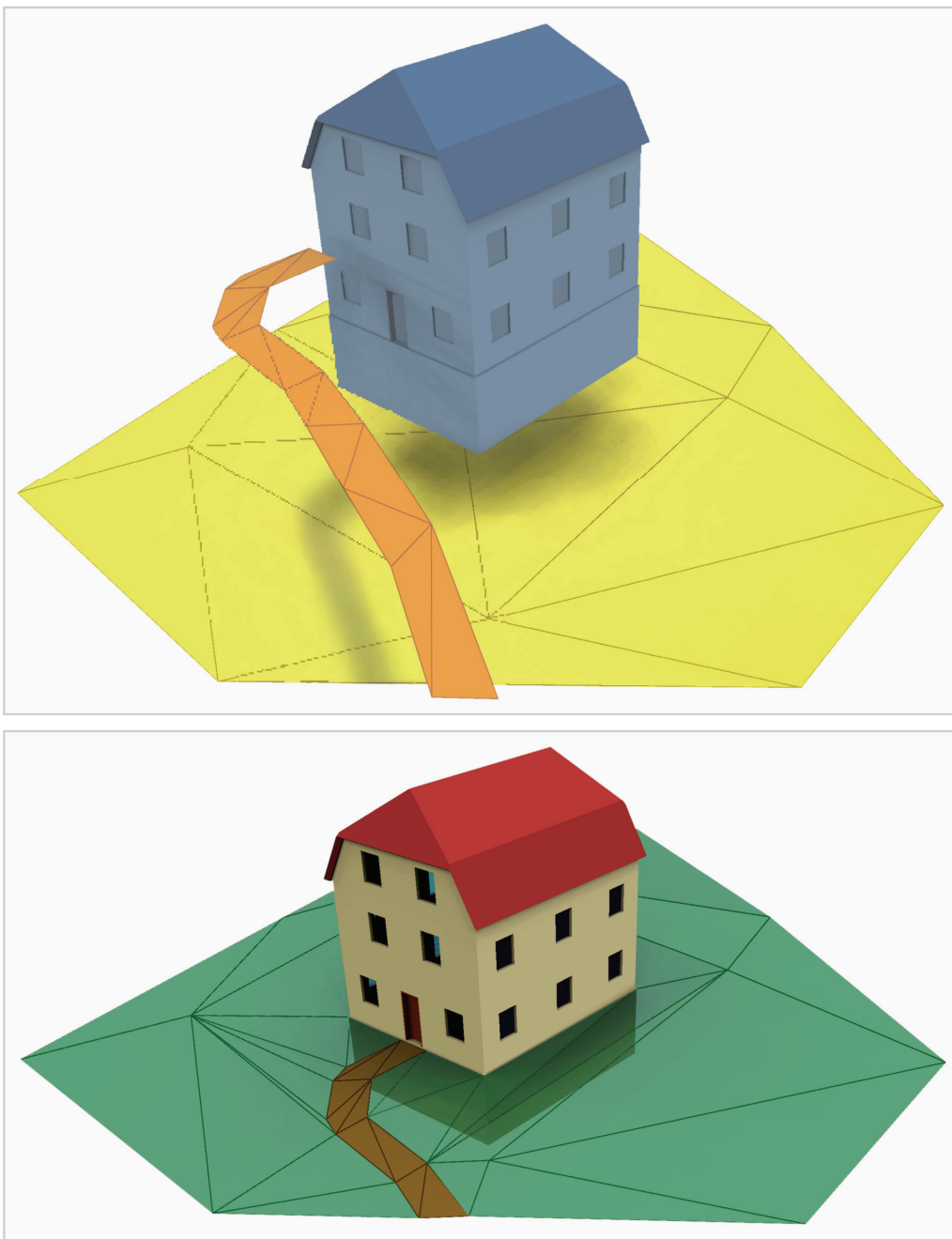
För att göra 3D omvärldsmodeller idag används ofta geografiska data från olika källor som integreras till en sammanhängande 3D-modell, mha av något slags programvara. Markytan kanske erhållits från en nationell laserkartering, byggnadsmodeller har kommit från lokala existerande kartor, och flygfoton, vägnät och markklassning distribuerats via andra kanaler, osv. Givet alla dessa beståndsdelar krävs sedan en strategi för hur de ska fogas samman till en enhetlig och realistisk slutgiltig modell. Ju mer kunskap man har, desto bättre kan modellen bli. Stadler och Kolbe [34] menar att utifrån endast geometrisk information, dvs utan (känd) semantik, så går det inte att göra detta automatiskt. Med information om vilka *typer* av objekt som geometrierna representerar kan man dock göra en första strategi. Exempel på detta är t ex att, utifrån kunskap om att ett kurvsegment representerar ”väg”, platta till markmodellen och falskfärga flygbilderna gråa där vägen löper. Eller att förlänga byggnadernas väggar så att det inte bildas hål mellan byggnaderna och markytan, utgåendet från antagandet om att byggnaden står på marken. Med rikare och mer detaljerad semantisk beskrivning av de olika ingående datamängderna och relationerna mellan objekt kan bättre strategier utvecklas vilket leder till bättre 3D-modeller. Ju mer detaljerade och heterogena data som ska kombineras till en, säg, visuell 3D-modell, desto viktigare är det att semantiken finns beskriven i data och inte lämnas till godtycke.

Interoperabilitet

För att kunna göra bedömningar och analyser kopplade till en verklig miljö krävs en modell som beskriver vilka egenskaper i miljön som påverkar utfallet i den aktuella tillämpningen samt hur denna påverkan sker. Det kan t ex handla om bullerberäkningar, ruttplanering, trafiksimulering, analys av energiförbrukning, siktfältsanalys, riskbedömning, krishantering, osv. Alla sådana modeller kan associeras med en *ontologi*

²⁴ <http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ows-4>

som beskriver den aktuella domänen och alla dess ingående koncept, storheter och relationer. Problem uppstår när flera olika modeller och datakällor ska integreras eftersom de kan ha vitt skilda sätt att beskriva och använda miljön på.



Figur 7. För att göra verklighetstroga visuella 3D-modeller utifrån en kombination av olika typer av geodata krävs regler. Ofta räcker det långt med beprövad kunskap, som t ex att vägar oftast går på marken (nedre bilden) och inte svävar fritt i luften (övre bilden), att källaren på en byggnad ligger under marknivå (nedre bilden), etc. Ju mer komplexa data som ska integreras, desto viktigare att den semantiska informationen inkluderas i själva data.

Lemmens [23] listar i sin forskning ett antal centrala aspekter av semantisk interoperabilitet inom geområdet och föreslår lösningar bl a i form av en ontologi för geoinformation och geotjänster baserad på ISO- och OGC-standarder.

Métral m fl [26] visar exempel på hur man genom att matcha en semantiskt berikad 3D-stadsmodells ontologi (i det här fallet CityGMLs) med andra modellers ontologier kan

samutnyttja modellerna och därigenom göra analyser som annars inte vore möjliga att genomföra, samt åtnjuta en högre grad av återanvändning och mervärde av modellerna

Semantiska modeller som t ex CityGML är inte i första hand ämnade för visualisering och kan därför upplevas som onödigt tunga i tillämpningar som kräver detta. Mao m fl [25] visar dock hur man genom att koppla en CityGML-modell till en X3D-modell (format för 3D-visualisering) i en trädstruktur ("CityTree") kan få realtidsprestanda för visualiseringen.

Inom COST²⁵ (ett europeiskt ramverk för mellanstatlig samordning av nationellt bekostad forskning) finns ett initiativ kallat "Semantic enrichment of 3D city models for sustainable urban development"²⁶. Ett syfte är att genom ett ontologibaserat angreppssätt förbättra möjligheterna att använda 3D-stadsmodeller tillsammans med modeller för olika typer av bedömningar.

3.4 Webbtjänster

I det gamla invasionsförsvaret sågs ofta geografiska data som något fixt, färdigt och tillgängligt. Man hade god tid på sig att ta fram det kartunderlag man ansåg sig behöva och dessutom möjlighet att distribuera materialet till alla som behövde. Sedan dess har det emellertid blivit allt tydligare att den hittillsvarande geodataförsörjningen hade brister avseende flexibilitet och produktionsmetoder för att kunna möta de behov av geografiska data som uppstod t ex i samband med en mission utanför Sveriges gränser tillsammans med andra nationer.

De senaste åren har sett en snabb utveckling beträffande möjligheterna att tillgodogöra sig geodata via olika former av webbtjänster. I kölvattnet av EUs INSPIRE-direktiv publiceras t ex allt mer data via Lantmäterietso Geodataportal, och allt fler datorsystem, bl a FMs GIS- och ledningssystem, stödjer dessa. Detta växande nätverk av tjänster möjliggör effektivare geodataförsörjning då användare i princip kan ta del av data i sin webbläsare och inte behöver installera produktspecifika verktyg eller spara alla data lokalt på sin dator.

Ökad tillgång till olika typer av högupplösta geodata möjliggör också allt mer avancerade och detaljerade beräkningar utifrån 3D-data (avsnitt 4.5) och även resultatet av sådana beräkningar kan publiceras som tjänster. Till exempel skulle man kunna ha en dedicerad beräkningsserver som genomför tunga beräkningar, säg siktfältsanalys i full 3D, och som efter begäran via en tjänst levererar resultatet som ett GIS-lager som en operatör kan visa i en enkel klient, t ex en "smartphone".

Värt att notera i sammanhanget är att en infrastruktur baserad på webbtjänster inte nödvändigtvis kräver internetförbindelse mellan två fysiskt åtskilda datorer (klient och server), utan att man mycket väl kan ha klient och server på samma dator. Till exempel kan en kartklient på en dator hämta bilder eller kartdata från en central server om förbindelsen så tillåter, och annars hämta data från en server på samma dator eller använda tidigare sparad ("cachad") data. Vi tror generellt att system designade med denna form av flexibilitet i åtanke blir mer användbara och spridda, inte minst för att alltmer geografiska data görs tillgängliga i form av webbtjänster och att allt fler programvaror stödjer dem.

Nedan ges exempel på hur åtkomst och publicering av georelaterad information kan ske via standardiserade webbtjänster som tagits fram av Open Geospatial Consortium (OGC).

WMS – kartbildstjänst, standard i de flesta GIS, ledningssystem och i Geodataportalen, inga data utan bara bilder

WFS – används för att distribuera vektordata, t ex shapefiler och CityGML från servern till klienten. **WFS-T** (T=Transitional) tillåter klienten att uppdatera innehållet på servern.

²⁵ <http://www.cost.esf.org>

²⁶ http://www.cost.esf.org/domains_actions/tud/Actions/TU0801

WCS – för överföring av regelbundna (raster)data, t ex höjddata, flygbilder, etc. En skillnad mot WMS är att WCS är till för att distribuera data snarare än omskalade och visualiseringsanpassade bild av data (WMS). För närvarande används WCS huvudsakligen för 1D och 2D data, men diskussioner pågår om att utvidga WCS till att hantara data i fler dimensioner (3D och 4D)²⁷.

W3DS – för att distribuera en scenograf för ett utvalt geografiskt område istället för själva modellen. Data exporteras då t ex som 3D-visualiseringsformatet VRML eller det nyare X3D som kan användas för 3D-visualisering av data.

WTS – Web Terrain Service och **VPWS** – Viewpoint Web Service, är till för att distribuera 2D-projektioner av en 3D-modell, dvs det som en virtuell kamera ser av 3D-modellen. Servern renderar en bild som sedan skickas till klienten.

CW/S – en katalogtjänst ("metatjänst") genom vilken man tar reda på vad en viss server kan erbjuda för tjänster

WPS – databearbetningstjänst, t ex skillnadsdetektion, siktfältsberäkningar, bildregistrering, etc.

SOS, SPS – tjänster för specifikation och överföring av georefererade sensordata. Ingår tillsammans med andra tjänster i ramverket Sensor Web Enablement, SWE.

Konsortiet OGC brukar med jämna mellanrum genomföra demonstrationer som visar hur deras standarder kan nyttjas och kombineras för att lösa olika uppgifter. Nästa fas är OWS-8 då bl a nästa version av nedladdningstjänsten WCS (2.0) ska testas/demonstreras.

Det i september 2011 startade EU FP7-projektet EarthServer²⁸ avser att erbjuda öppna och flexibla dataåtkomst- och analysmetoder baserade på WCS och WCPS. Målet är att använda klient-server-teknik som är skalbar upp till peta/exa-nivå (1 exabyte = 1 EB = 1000 PB = 1000000 TB). Projektet omfattar 10 partners plus ESA och NASA.

NASA använder WCPS för sin "SensorWeb toolbox" [24] som hjälper användare runt om i världen att få organiserad och skräddarsydd tillgång till dataströmmar från flera olika sensorer från exempelvis satelliter, samt erbjuder webbaserade beräkningstjänster (t ex klassificering) baserade på dessa data.

Företaget The Carbon Project²⁹ erbjuder en webbaserad tjänst för synkronisering av geodata mellan plattformar. Deras CarbonCloud Sync tjänst som en brygga mellan tjänster från ESRI, GeoServer, Intergraph och andra och erbjuder OGC-baserad teknologi där klienter kan producera data, skicka den till en server mha WFS-T, varpå data synkroniseras mellan inblandade system och kommuniceras ut till andra klienter.

²⁷ <http://geoserver.org/display/GEOS/Multidimensional+WCS>

²⁸ <http://www.earthserver.eu/>

²⁹ http://www.thecarbonproject.com/Products/carboncloudsync_tech.php

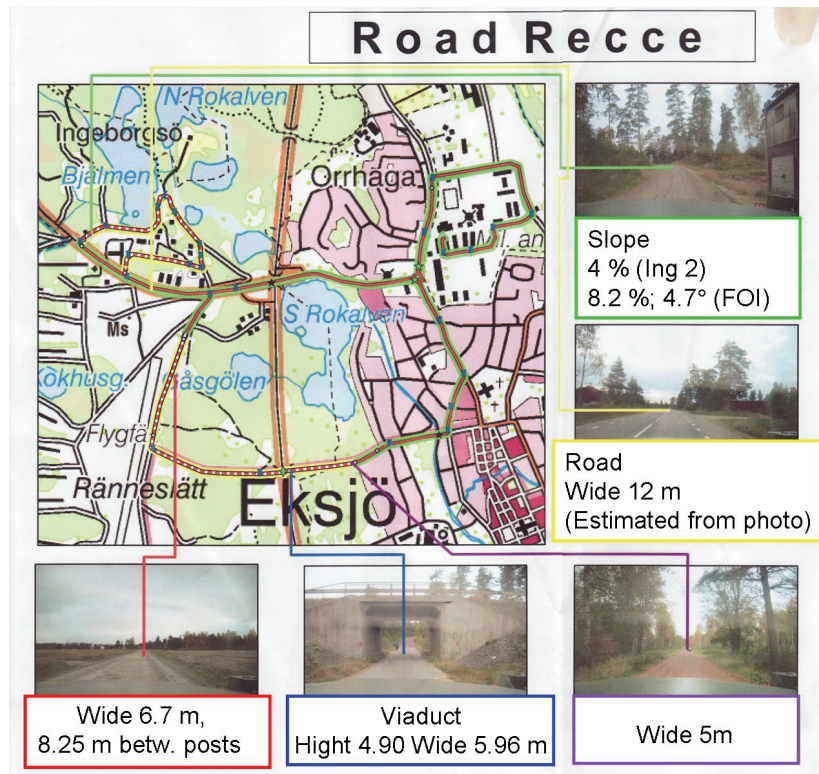
4 Behov och möjligheter

I det här kapitlet beskrivs de frågeställningar som identifierats som mest relevanta för fortsatt FoU-verksamhet. Sammanställningen baseras på en enkätundersökning genomförd 2009, deltagande i NATO-gruppen SET-118 samt seminarier, möten och telefonsamtal med flera representanter från FM, FOI och FMV.

4.1 Kartering i insatsområden

För närvarande är mätningar med olika flygburna sensorer den primära datainsamlingsprocessen för att skapa 3D-omvärldsmodeller, i kombination med befintligt kartmaterial. Laserskanning, flygfotografering, SAR och satellitbilder är de vanligaste exemplen. Automatiserade analysverktyg (avsnitt 3.2) kan sedan nyttjas för att förädla de insamlade data till geografiska data – markhöjd, byggnader, vegetation, vägar, etc. Emellertid begränsar flyghöjden hur noggranna mätningar som går att göra från luften. En bros dimensions eller typ, väglutning, vägbeläggning och annat kan vara mycket svårt att bestämma med tillräckligt god kvalitet från långa avstånd.

Därför har detta projekt haft inledande dialog med personal på Ing2 om hur alternativa, fordonsmonterade mätsystem kan användas för att komplettera befintliga data i fält. Fokus har varit på små, enkla och billiga sensorer som kontrast till de större, dyrare och komplexa system som vanligtvis används för flygburna mätningar. Ett mindre fältförsök i Eksjö [22] genomfördes under 2010 i samverkan med personal knutna till Geosupportgrupperna på Ing 2. Tillsammans med personal från ett antal andra FOI-projekt genomfördes en begränsande datainsamling med ett multisensorsystem bestående av ett stereokamerasystem, laserkamera, accelerometer, GPS och tröghetsnavigeringssystem. Syftet var att i kontakt med potentiella användare diskutera behov och metoder rörande vidareutveckling av omvärldsmodelleringskonceptet, t ex att extrahera missionsspecifika objektsattribut och -geometrier som komplement till de traditionella (markhöjd, vegetation, byggnader) och att dessutom undersöka hur man skulle kunna göra detta med enkla(re) sensorer snarare än komplicerade och dedicerade karteringssystem. Denna mätkampanj och vidare möten med Geo SG gav tillfällen att diskutera med FM-personal hur FoT-verksamhet skulle kunna överföras till FM/Geosupportgrupperna, t ex vilken information som önskas, hur datainsamlingen kan och bör gå till, vad som bör automatiseras, och hur information representeras och lagras för att göras sökbar. Figur 8 visar en kartbild över området där försöket genomfördes, samt exempel på några nyckelobjekt med tillhörande attribut av det slag som geosupportgrupper kan tänkas samla in i ett insatsområde och för vilket de önskar olika former av sensorstöd.



Figur 8. Kartbild från mätningarna i Eksjö oktober 2010, tillsammans med några exempel på relevanta objektsattribut, t ex vägbredd, lutning, bredd, etc.

Exempel på relevanta attribut är t ex väglutning, vägkvalitet, vägbredd, höjd/bredd på tunnlar, hinder längs/på vägen, siktförhållanden, etc. Kunskapen om objekten kan sedan användas i samband med planering av operationer, "mission rehearsal" eller i andra tillämpningar.

4.2 När och hur gör "3D" skillnad?

Det talas idag ofta om att samhället står inför en "3D-revolution", där kartor, navigationstjänster, 3D-displayer, 3D-kameror, mm, tillsammans bidrar till ett ökat intresse för och exponering gentemot 3D-området. Något tillspetsat kan man kanske säga att inom 3D-området är fortfarande "wow-faktorn" över teknikens möjligheter ett starkt säljargument. *Men var och på vilket sätt gör 3D verkligen skillnad?* Uppväger eventuella fördelar med 3D de merkostnader för teknisk utrustning, utbildning, tillgång till högupplösta data, etc, som kan följa? Att undersöka i vilka tillämpningar olika former av 3D-modeller faktiskt bidrar till att uppgifter kan lösas effektivare är därför av stor vikt, så att FoU-resurser kan läggas där de gör störst nytta.

Eftersom terrängens geometri är 3D har en 3D representation per definition bättre förutsättningar att representera den jämfört med en 2D modell. Detta blir påtagligt i mer komplexa miljöer såsom städer, där tunnlar, broar, och inte minst byggnader med flera våningsplan gör den tredje dimensionen högst påtaglig. Om utvecklingen av system och dataformat för geografiska data skulle börja om från noll idag är det svårt att tänka sig att man skulle välja något annat än 3D representation av sådana miljöer. Och i vissa tillämpningar, inte minst fysikaliskt grundade simuleringar och analyser såsom signatur- eller flödesberäkningar eller ruttplanering i byggnader, är nyttan med en 3D representation uppenbar. Den tredje dimensionen behövs för att fånga de aspekter av miljön som krävs för att slutresultatet ska bli rättvisande. Men i andra fall är poängen inte alls lika stor eller uppenbar, särskilt inte i fall då data presenteras för en användare som själv står för analysen i syfte att lösa en specifik uppgift. I ett sådant läge spelar flera faktorer då in, bl a

komplexiteten hos uppgiften som ska lösas, vilken vana användaren har av 3D respektive 2D data, hur data visualiseras och inte minst huruvida det verkligen finns underliggande 3D information att exploatera. Kanske är användaren mer behjälpt av att titta på vanliga fotografier av den aktuella miljön för att fatta rätt beslut än att betrakta en 3D-modell? Olika aspekter av den här problematiken adresseras i [10], där en slutsats var att 3D var bättre i vissa situationer, medan 2D var att föredra i andra. Liknande slutsatser drogs i FoT-projektet Tekniskt Beslutstöd (TeBe) 2005 (se t ex [21]).

4.3 Kvalitetsaspekter på 3D data

I takt med att de tekniska förutsättningarna för att skapa olika typer av 3D-omvärldsmodeller blir allt bättre och modellerna kan användas i fler tillämpningar kommer det att bli allt viktigare att studera *kvalitetsaspekter*, ur bl a kostnads- och säkerhetsperspektiv. En 3D-omvärldsmodell är aldrig helt perfekt, och om en modell ska användas skarpt är det synnerligen viktigt att ha kunskap om vad den representerar väl respektive mindre väl, på det att man kan värdera resultatet av analyser och beräkningar utifrån modellen. Vilka data ligger till grund för modellen och vad har de för begränsningar? Vilka förenklingar görs längs signalbehandlingskedjan och hur påverkar dessa slutresultats kvaliteten?

Problemställningen kan exemplifieras med tillämpningen siktlinjesanalys, som ofta lyfts fram som ett användningsområde där nyttan med högupplöst, detaljerad 3D-data är påtaglig. Snart sagt varje GIS eller ledningssystem som hanterar höjddata erbjuder idag någon form av möjlighet att uppskatta siktlinjer mellan olika punkter i terrängen. Idag lider emellertid sådana algoritmer ofta av brister som begränsar den praktiska tillämpningen. Det kan t ex handla om att algoritmerna arbetar med datarepresentationer som inte förmår göra 3D-mätdata rättvisa (t ex höjddata i rasterformat), eller att analysen inte tar hänsyn till egenskaper hos objekt i terrängen, t ex att träd ofta inte är helt ogenomträngliga.

Med ökad fokus på kvalitetsanalys av 3D-modeller, något som hittills varit eftersatt, skulle resultatet i fler tillämpningar kunna bli mer användbart. Även om beräkningarna i sig av praktiska skäl (t ex begränsad spatiell upplösning) sällan kan stämma perfekt överens med verkligheten kan kvalitetsanalysen tydliggöra vari begränsningarna ligger, så att användaren kan ta hänsyn till detta i sin värdering av resultatet. I fallet siktfältsanalys, ur vilka aspekter skiljer sig modellen från verkligheten? Vet man huruvida objekt mindre än vissa dimensioner missats i datainsamlingen eller filtrerats bort i senare steg, och hur påverkar det resultatet? Är kanske höjdskattningsarna osäkrare i vissa områden i scenen jämfört med andra?

I litteraturen har en lång rad olika kvalitetsmått för geografiska data, däribland höjddata, föreslagits. De representerar t ex höjdskattningsnoggrannhet, variationer i mätadatensitet i det aktuella området, avstånd till närmaste mätvärde, skillnader mellan mätningar i samma område (repetierbarhet), spatiell upplösning, etc. Många kvalitetsutvärderingsverktyg står med andra ord till förfogande, men saknas gör metoder för att matcha dessa mot FM-tillämpningar och metoder för att utvärdera en viss typ av indata gentemot kraven som tillämpningarna ställer. I vissa användningsområden kanske det är viktigt med en god genomsnittligt noggrannhet i höjd, medan det i andra kanske är viktigare med god precision och förmåga att se små detaljer.

4.4 Geodatadistribution

Ett annat område som hittills varit nedprioriterat, men där de potentiella nu vinsterna är stora inte minst tack vare den starka internationella utvecklingen, rör distribution av geografiska data. Bristen på effektiva metoder och system för att dela data mellan användare är idag ett hinder för att få maximal effekt och spridning av geodata och leder till ineffektiva vägar runt problemet, t ex att respektive användare tar fram eller köper sitt

eget geodata i stället för att samverka med andra eller att man undviker att studera nya geografiska områden utan håller sig till dem man redan har.

I takt med att tekniken utvecklas och det blir allt lättare att samla in geografiska data ökar också mängden information som måste dokumenteras, analyseras och distribueras. Tidigare kunde det kanske räcka med lösa hårddiskar och Excel-ark för att hålla reda på informationen. Så är inte fallet längre; då hela städer karteras på några timmar från luften blir det enorma mängder rådata.

En annan faktor är de stora tidsvinster man kan göra om man vinnlägger sig om en bra geodatinfrastruktur. Detta blir högst påtagligt i situationer där flera system/simulatorer samverkar kring ett scenario där geodata inte är statiskt utan genomgår (spelade eller verkliga) förändringar. Är det inte möjligt att modifiera geodata och distribuera uppdaterat material till noderna i (simulerings)nätverket kommer detta sannolikt att begränsa realismen i övningen/simuleringen och i förlängningen kanske även trovärdigheten till systemet. Vi noterar att dessa frågor studeras och diskuteras inom Nationellt Träningsnätverk (NTN).

Vi bedömer nyckeln till mycket av detta är en hög grad av *automation* och *interoperabilitet*. Nyckeln till detta i sin tur är att använda standarder som möjliggör inte bara att mjukvaror kan kommunicera med varandra på ett transparent sätt, utan även att organisationer både inom och utom landet kan göra detta. Utvecklingen sker dock i huvudsak inom den civila arenan och är inte alltid tillfyllest för militära tillämpningar. För militära tillämpningar har datamodellen SEDRIS föreslagits som ett möjligt svar på frågan om hur simuleringstillämpningar kan kommunicera geodata mellan varandra. Även dataformatet CDB (Common Database Format) har förts fram som en tänkbar kandidat. SEDRIS växte fram som en kandidat på 90-talet då i stort sett inga andra, civila motsvarigheter fanns. Inte minst därför finns det anledning att vidare studera hur SEDRIS står sig idag och om det fortfarande är relevant för de tillämpningar som FM ser växa fram.

4.5 3D-modeller för analys och simuleringar

Redan idag ett flertal verksamheter på bl a FOI som nyttjar olika typer av geodata för beräkningar, t ex framställning av olika typer av syntetiska sensordata och värdering av sensorsystem, telekrig, vindfältberäkningar och simulering av gasutsläpp, riskbedömning (Transferprojektet SWERISK), simulering av syntetiska aktörer, etc. Tillsammans med andra, nya tillämpningar (se t ex avsnitt 3.3.2) visar de på nyttan med olika slags beräkningar utgående från 3D-modeller. Nya användningsområden tillkommer ständigt, och stora vinster ligger i att knyta samman och effektivisera användningen av sådana modeller, så att synergieffekter kan uppstå och olika M&S-resurser samverka för att lösa en mer komplex uppgift.

Detta aktualiserar flera frågor. Dels frågor kring att distribuera data på ett effektivt sätt mellan beräknings- och simuleringsnoder (avsnitt 4.4), och dels frågor kring kvalitetsanalys av modeller (avsnitt 4.2). Men ytterligare en central aspekt är att använda datamodeller som förmår representera den för tillämpningen relevanta informationen – metadata, attribut, relationer mellan objekt, semantik, etc. Sådana attribut är oftast betydligt viktigare än modellens visuella kvalitet. Hittills har ofta respektive forskningsprojekt själv byggt upp sin egen skräddarsydd samling geodata. Begränsningarna med ett sådant arbetssätt visar sig när projektet ifråga t ex vill studera ett nytt geografiskt område eller samverka med andra verksamheter. Olika tillämpningar ställer naturligtvis olika krav angående vilka metadata/attribut som är relevanta, men poängen är att de skulle kunna *utgå ifrån samma grundmodell*. En sådan lösning möjliggör ökad effektivitet, eftersom ”grundmodeller” kan delas mellan verksamheter, representerat på ett flexibelt och portabelt format som utformats för att hantera attribut (t ex OGC-standarderna CityGML), och som tillhandahålls genom en serverlösning.

4.6 Signalbehandling, datafusion

Ett annat hett område är fusion av olika datakällor i syfte att framställa en bättre slutprodukt. Datafusion är generellt idag en stark trend inom sensorområdet. Sensorspecifik forskning under flera år undersökt hur väl lämpade olika tekniker är för olika uppgifter vilket gett god kunskap om respektive sensortekniks för- och nackdelar och ett naturligt och kostnadseffektivt sätt att förbättra resultaten är ofta att utnyttja fler sensorer. Inom geoområdet är det idag snarare regel än undantag att flera kompletterande tekniker nyttjas för att framställa ett bra (2D) kartunderlag: höjdmätningar, flygbilder, satellitbilder, etc.

Inom det betydligt mindre mogna 3D-området finns dock fortfarande en hel del kvar att göra beträffande fusion. 3D-modeller kan framställas utifrån olika typer av data. Lasermätningar ger t ex hög avståndsnoggrannhet och möjlighet att "se igenom" vegetation, medan passiv teknik ger högre spatiell upplösning och dessutom färgvärden i varje punkt. Såväl laser- som passiv teknik har studerats ingående var för sig men kombinationen av dessa på sensordatanivå har det inte. Idag ses de båda teknikerna snarare som konkurrenter än som komplement. En anledning till detta är sannolikt de starka kommersiella intressen som ligger bakom detta; man marknadsför hellre sin egen produkt än undersöker ev. vinster med att kombinera ens data med andra.

Det finns dock anledning att misstänka att detta kan komma att ändras. Inom ramen för Lantmäteriets framtagande av ny nationell höjdmodell kommer Sverige inom några år att vara laserskannat. Dessa data kommer att utgöra en bas som "alla" har tillgång till och att förhålla sig till.

Ett annat intressant spår är att kombinera data från flygburna och markbundna system, t ex laserskannrar och kameror placerade på fordon, vilket ger en mer heltäckande data av det aktuella terrängavsnittet, byggnaden, etc, vilket i sin tur leder till att man kan göra mer realistiska modeller.

5 FOIs geoserverprototyp

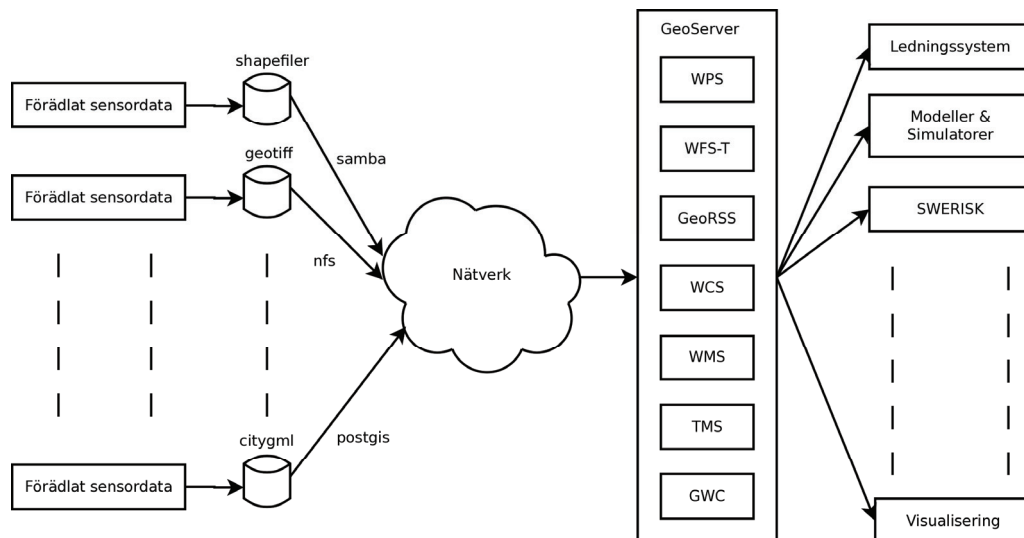
Den tekniska utvecklingen avseende geodatadistribution går snabbt och en av de tydligaste trenderna är tjänstebaserade lösningar som gör det enkelt att hitta, visa och ladda ner data. För att påvisa nyttan med den nya tekniken har arbete med en plattform för distribuering av geografisk information påbörjats inom projektet. Visionen är att ta fram en plattform för att demonstrera hela kedjan från sensordatainhämtning/analys till användning av attributsatta data för M&S-tillämpningar och ledningssystem, såväl civilt som militärt. Ambitionen är att plattformen skall kunna tjäna som utvecklingsplattform för vidareutveckling av befintliga standarder och mjukvaror och effektivisera användningen av geografiska data och 3D-modeller, i första hand internt FOI men plattformen skulle i delar eller sin helhet även kunna göras tillgänglig via Geodataportalen³⁰ eller kopplas mot t ex NTN eller FMV SGIF (Snabb Geografisk Informationsförsörjning). Med hjälp av servern kan 3D-omvärldsmodeller och geodata som FOI under flera år tagit fram inom olika projekt, i kombination med data från t ex Lantmäteriet och kommuner, göras åtkomliga för användare inom FM, FMV och FOI och på så sätt ökas mervärdet av dessa.

Plattformen baseras så långt det är möjligt på öppen mjukvara och befintliga (och kommande) öppna standarder från OGC (Open Geospatial Consortium), för att kunna vara kompatibel med moderna kartmotorer och GIS. I sin nuvarande form kan plattformen leverera delar av de data som tagits fram inom tidigare omvärldsmodelleringsprojekt: träd med attribut (position, höjd, bredd, typ), höjdmodeller och flygfoton. Basen i prototypen är GeoServer (se Figur 9).

Genom att publicera ett antal heterogena datakällor genom GeoServer fås ett homogent interface via OGC-standarder till data. Detta ger flera fördelar:

- Dataägaren har fortfarande kontroll över datadistributionen, såtillvida att han/hon på ett enkelt sätt kan hålla data ajour utan att slutanvändarnas klientprogram behöver ändras.
- Slutanvändarna kan prenumerera på uppdateringar från plattformen och välja om de vill ladda ner data på nytt. Denna teknik skulle kunna användas för att få s.k. dynamisk terräng i ett system av simulatorer där någon form av åverkan görs i terrängen som andra simulatorer kan ha nytta av. Exempel på sådan åverkan kan vara hjulspår, krevader eller fällda träd.
- Slutanvändarna får även ett homogent gränssnitt mot data och kan enkelt byta till andra datakällor publicerade via standarderna.
- Systemet kan kombinera lager från olika källor och upplösningar. Exempelvis kan ett lager med lågupplösta flyg- eller satellitbilder kombineras med högupplösta bilder för att underlätta orientering av området vid exempelvis briefing.
- Plattformen ”cacher” även geodata vilket avlastar producenterna av geodata om samma data efterfrågas flera gånger.
- Plattformen hjälper även till att konvertera mellan olika projektioner, en dataproducent kan tillhandahålla data i SWEREF99 medan en slutanvändare efterfrågar samma data i WGS84 och plattformen konverterar däremellan.

³⁰ <http://www.geodata.se/sv/Geodataportalen---geodatabase/>



Figur 9. Basen i prototypen är GeoServer. Genom att publicera ett antal heterogena datakällor genom GeoServer fås ett homogent interface till data som följer OGC-standarder.

5.1 Data på servern

För att ha en bas att utgå ifrån samt göra prestandatester med har servern idag bestyckats med bland annat vektordata från OpenStreetMap (globalt), Norrköping kommuns baskartor (bl a vägar, byggnader, lyktstolpar), lantmäteriets terrängkarta (gröna kartan) samt enskilda träd och markklassning som FOI har tagit fram med hjälp av egenutvecklade metoder. OSM lagras i en PostGIS-databas medan övriga data lagras i shapefiler med tillhörande attributfil. Data fylls på ständigt, servern har i dagsläget en krypterad raid-10 disk om 4TB, tänkt att användas till bakgrundsdata.

En stor mängd rasterdata finns i form av bilder: NASAs BMNG ("Blue Marble") från januari till december 2004 (visuella satellitbilder över jorden med 500 meters pixlar), flygfoton med 10 cm upplösning täckande från Kvarns skjutfält ned till Borensberg (ett område om ca 3 km²) och ett ortofoto av Norrköping. En annan rasterprodukt på servern är en markmodell för Norrköping (1 m upplösning), framtagen med FOIs signalbehandlingsmetoder.

Servern innehåller även Lantmäteriets fastighetskarta, lagrad i shape format. Detta format går både att använda som grund för WFS- och WMS-tjänsterna (se avsnitt 5.2), där WFS servas som rådata där klienten själv ansvarar för korrekt rendering av datan, samt som WMS där tjänsten rendera bilder som vanligtvis draperas över terrängen av klienten. Fastighetskartans innehåll är uppdelat i följande skikt.

- Fastighets- och administrativ indelning
- Bebyggelse
- Vägar och järnvägar
- Markdata
- Kraftledningar
- Hydrografi
- Naturvård
- Fornlämningar
- Militära områden

Skikten består av punkter, linjer eller polygonlager samt tillhörande text.

5.2 Gränssnitt och standarder

Geoserver stödjer i dagsläget (bl a) följande protokoll:

Web Map Service (WMS): WMS renderar *bilder* över ett av klienten definierat område i syfte att visualisera data för en användare. För att kunna använda de bilder som renderas av tjänsten måste man veta vad det är för grunddata som tjänsten använder sig av, efter t.ex. shapefiler kan renderas med valfri stil och därför inte alls behöver överensstämna med grunddata.

Om grunddatat är av karaktären *täckningsdata* över någon domän måste servern ha möjligheten att göra de interpolationsberäkningar som behövs vid omskalning och projektion med en acceptabel metod samt kunna återlämna detta på ett ickeförstörande ("lossless") bildformat för att data som återlämnas inte skall vara förvrängd. När det är viktigt att korrekta värden återfås bör man använda en WCS-tjänst (se nedan), men eftersom WMS-protokollet är något enklare att hantera klientmässigt så används även WMS för att hämta sådana data, främst då höjddata.

Beträffande höjddata brukar klienterna behöva data i något format som kan levereras i en kanal med gråskala, till skillnad från vanliga bilder (trekanalig färgdata). Det är visserligen helt upp till klienten att tolka det data som erhålls, men generellt använder sig WMS-tjänsterna av olika former av interpolationer när grunddatat omskalas och omprojiceras. Detta medför att en färgbilds olika kanaler blandas på ett ickeinjärt sätt och blir alltså felaktigt om man skulle välja att se bilden som ett heltal eller flyttal, vars värde representerar något form av fysikalisk företeelse.

GeoServer klarar av att leverera "lossless png" och "tiff" som enkanalig gråskala, men dessa är dock endast 16 bitars och kan därför representera ett tal mellan 0 och 65535 (dessa format kan endast hantera absolutvärden i heltal). För att kunna utföra detta måste även originaldata vara av något av dessa format.

Web Feature Service (WFS): WFS medger att klienten kan hämta *vektordata* från servern, och dessa data är inkapslade i GML (Geography Markup Language). Språket beskriver geometrier och features, dessa bygger upp både faktiska data och *semantiken* i de data servern levererar.

Det är helt upp till klienten hur de mottagna data används, och eftersom det är rådata så kan den användas både för visualisering och för *beräkningar*. I och med möjligheten att få ut semantisk information från det hämtade materialet medför att klienten har mycket bättre möjligheter att behandla informationen på ett för klienten användbart sätt, jämfört med WMS som mest används för att presentera visuell information.

Web Coverage Service (WCS): WCS erbjuder möjlighet att leverera uppmätta värden eller data på matrisform. Exempelvis är höjddata på rasterformat (en matris med värden) väldigt lämpligt att leverera via WCS, där då varje värde i matrisen representerar höjden på en geografisk position.

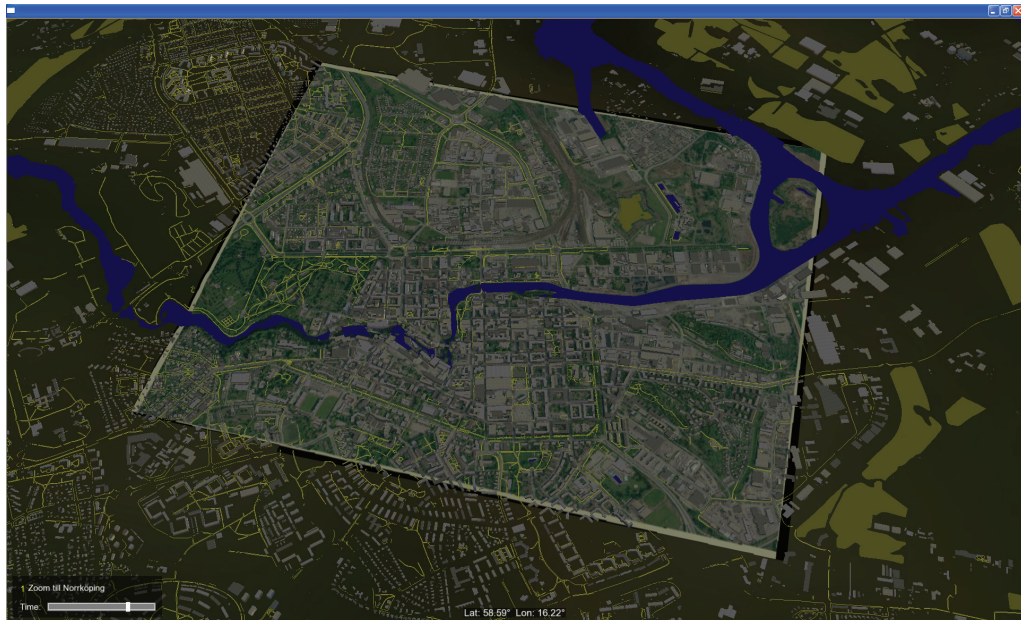
Tile Map Service (TMS): TMS är den snabbaste formen av tjänster som serverar bilder eller höjddata, detta beror på att tjänsten i förväg renderar den information som skall servas, vilket visserligen tar mycket plats då varje zoomnivå oftast ökar antalet förrenderade bilder med en faktor 4, men tillåter en väldigt snabb dataåtkomst för klienten.

Det är t ex fördelaktigt att använda TMS när det data man serverar är någorlunda oförändrligt över tid och det är en stor klientgrupp som behöver tillgång till tjänsten samtidigt. Några tjänster som kan nämnas använda TMS är Google Earth och Open Street Map.

5.3 Exempel

I Figur 10 och Figur 11 nedan illustreras ett exempel där FOIs geoserver används för att serva en klient (tillämpning) med geodata. Den aktuella klienten är OSG Earth (OpenSceneGraph) och de geografiska data är i det här exemplet en blandning av forskningsresultat från FOI (markmodell, träd) och data från andra källor:

- lågupplösta bilder (urspr: Blue Marble) via TMS
- ortorektifierad fotomosaik (urspr: Norrköpings kommun) via TMS
- markhöjddata (urspr: FOI) via WMS
- byggnader i vektorform (urspr: Norrköpings kommun) via WFS
- trädlager i vektorform (urspr: FOI) via WFS
- belysning, lyktstolpar (urspr: Norrköpings kommun) via WFS
- vatten (urspr: Norrköpings kommun) via WFS
- odlad mark (urspr: Terrängkartan från Lantmäteriet) via WFS
- vägar (urspr: Norrköpings kommun) via WFS



Figur 10. Exempel där *alla* data från FOIs GeoServer hämtas via WMS, WFS och TMS och visualiseras i OSG Earth. Blå områden representerar vatten och gula motsvarar odlad mark.



Figur 11. Del av området från Figur 10.

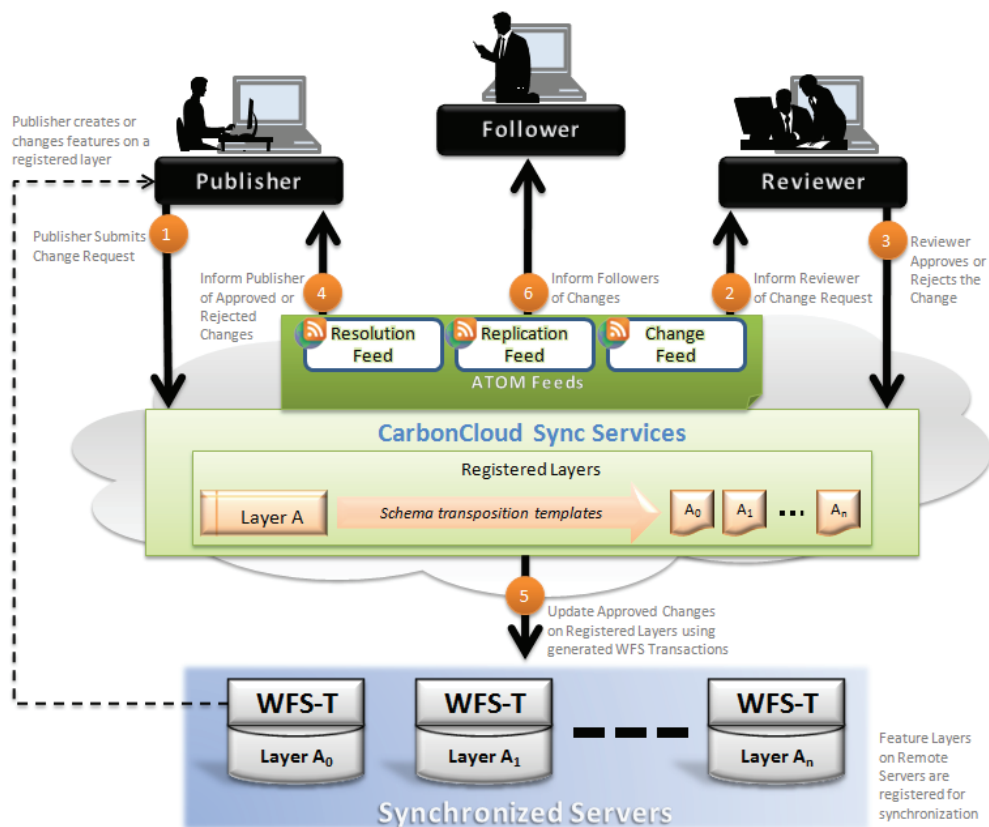
5.4 Fortsättning

Det finns en rad vidareutvecklingsmöjligheter för GeoServer-plattformen. För att maximera nyttan och användningen av server måste det fortsatta arbetet ske i nära dialog med presumtiva användare av densamma. Kontinuerlig dialog kommer att föras med exempelvis Transferprojektet SWERISK, FoT-projektet Syntetiska aktörer, MSSLab, SB Krislab, m fl.

Ett tänkbart spår är att slutföra det arbete som påbörjades våren 2011 och som syftade till att serva CityGML-data genom servern. Tyvärr upptäcktes en bugg, troligen i GeoServer, vilket gjorde att geometrin inte kunde läsas ut.

Tillgången till källkoden för GeoServer gör det dessutom möjligt att ta vid där den civila utvecklingen är idag och vidareutveckla denna för att passa militära behov. Det är viktigt att göra detta i samarbete med de organisationer som äger och utvecklar standarderna så att vidareutvecklingen kan införlivas i standarden. Lösningen blir på det sättet mer spridd och långlivad då kommersiella mjukvaror som vill stödja standarden tvingas införa den funktionalitet som utvecklats. Ett område som särskilt behöver adresseras men som ligger utanför ramen för detta projekt är auktorisering, då merparten av de standarder som finns idag är utvecklade för publik spridning. Ett intressant spörsmål är hur man finkornigt reglerar hur, var, när och till vilka geografisk information sprids utan att det för den delen blir en signifikant belastning för användarna. En lösning på detta, införlivat i standarderna, kan sannolikt även komma den civila sektorn till nytta.

En annan möjlighet är att dra nytta av utvecklingen avseende ”web feeds”, eller GeoRSS-strömmar, med vars hjälp användare bl a kan prenumerera på uppdateringar rörande förändringar i terrängdata och tillgodogöra sig dessa automatiskt. En illustration av ett sådant koncept visas i Figur 12.



Figur 12. Bilden visar ett koncept för användning av GeoRSS för att rapportera förändringar i geodata. (Bild från www.thecarbonproject.org)

6 Slutsatser och vägen framåt

Utgående från behovsinventeringen i kapitel 4 och trender inom forskning och teknikutveckling (kapitel 3) har vi identifierat tre utvecklingsspår som vi anser särskilt angelägna, vilka beskrivs nedan. Slutligen beskrivs även kort inriktningen för projektet Omvärldsmodellering 2012.

6.1 Utvecklingsspår

6.1.1 Interoperabilitet för ökat mervärde av 3D-modeller

Inom FoT M&S bedömer vi att den största nyttan fås genom arbete med *interoperabilitet*. För det första sker en hel del utveckling internationellt kring *semantiska 3D-modeller* som vi tror kan vara av stor nytta för FM. Nya förutsättningar för att på ett strukturerat sätt modellera verkligheten ur fler aspekter än ”bara” rent geometriskt och visuellt leder till nya tillämpningar, bl a simulering och beslutsstöd. Sådana datamodeller ger också förbättrade möjligheter att utbyta data med andra organisationer liksom att koppla en typ av modeller till andra via t ex ontologimatchning (avsnitt 3.3.2). Det innebär att modeller kan samutnyttjas i större utsträckning, t ex att en 3D stadsmodell kan kopplas mot en befintlig beräkningsmodell genom att identifiera vilka komponenter i de olika modellerna som motsvarar varandra.

Semantiska modeller i kombination med *standardiserade gränssnitt* för överföring av geodata mellan system underlättar dessutom för samverkan och synergier mellan tillämpningar.

Idag gör tekniska begränsningar för geodatadistribution mellan system att det blir krångligt och dyrt att göra simuleringar för nya geografiska områden, dvs att faktiskt användas som ett operativt stöd. Här menar vi att förmågan att samla in och delge geodata via webbtjänster kommer att förenkla situationen betydligt. Allt mer data görs tillgängligt av olika organisationer via tjänster och förmågan att hantera dessa på rätt sätt är av central betydelse för att flera M&S-verktyg ska kunna ta steget från konceptdemonstration till praktiskt nytta för FM.

Idag finns flera M&S-tillämpningar på FOI som använder geodata i botten för olika typer av beräkningar. Genom att knyta dessa närmare varandra och applicera dem på ett gemensamt problem kan M&S bidra till att lösa på mer komplexa uppgifter än tidigare. Ett exempel på detta är FOI-projektet Simuleringsbaserat Krishanteringslab (SB Krislab, 2010-2012) som syftar till att visa hur flera M&S-system kan samverka kring ett gemensamt scenario. Ett projekt SIMBRA för fortsatt utveckling och breddning av SB Krislabs funktionalitet har i november 2011 beviljats av MSB. Detta ger ytterligare argument för att arbeta vidare med geodatahanteringsfrågor. En förbättrad förmåga till standardiserad hantering av (3D) geodata skulle kunna försörja Krislabets olika simuleringar med beräkningsgeometri.

Frågor kring interoperabilitet och effektiv geodatadistribution är även aktuella inom Nationellt Träningsnätverk. Här krävs dock sannolikt fortsatt dialog och utredning om hur geofrågorna bäst adresseras i ljuset av vilken förmåga man vill uppnå. Bland annat skulle olika potentiella lösningar för hantering av dynamisk terräng kunna diskuteras, t ex mha GeoRSS-teknik.

6.1.2 Kvalitet och nytta

En annan viktig frågeställning rör *kvalitets- och nyttoaspekter* för 3D. Vi kan för det första glädjande nog notera att sådana frågor på sistone (främst det senaste året) börjat studeras i andra projekt, t ex ”Snabb Geografisk Informationsförsörjning” (FMV) och ”3D för internationella missioner” (FOI och Metria), dvs utanför FoT M&S-området. Det senare

projektet syftar till att utifrån ett användarperspektiv ta fram exempel på nya eller förbättrade produkter utifrån 3D-data, föreslå några kvalitetsaspekter som kan relateras till dessa samt visa hur kvaliteten för olika typer av indata kan utvärderas. Projektet har beställts av HKV PROD LED GeoMetoc och får förhoppningsvis en efterföljare under 2012.

Vi noterar samtidigt att sådana projekt skulle vara behjälpta av stöd avseende metodik för VV&A-arbete, och här skulle t ex FOIs M&S-centrum utgöra en resurs. Konkreta krav från användare inom FM rörande kvalitet för 3D-modeller är förstärkt nog svåra att få eftersom området är så pass nytt och 3D-data inte kommit in som en naturlig del av särskilt många verksamheter.

6.1.3 Signalbehandling och datafusion

Ett annat utvecklingsspår handlar om sensornära signalbehandling för att skapa geografiska data. Idag finns mycket teknik tillgänglig för detta som skulle kunna omsättas till praktisk nytta i mycket högre grad än idag.

Flygburen kartering av insatsområden är idag en realitet. Lasersensorer och fotogrammetrisk utrustning används idag för att göra sådant som forskningsprojekt visade på för 5-10 år sedan, och FM har kanaler för att få tillgång till sådana resultat. Nya sensorer, t ex multi-/hyperspektrala kameror, studeras flitigt inom fjärranalysområdet och leder till förbättrade resultat, särskilt avseende markklassificering och igenkänning av objekt. En intressant forskningsaspekt här är hur olika sensor/kartunderlag bäst integreras eller samutnyttjas för att ge bästa möjliga slutresultat. Inom ramen för samarbetet mellan FOI och US Army RDECOM/STTC i Orlando finns möjlighet till ökad kunskap kring detta. RDECOM har utvecklat metoder för terrängklassificering mha lidar och hyperspektrala bilder som FOI skulle kunna ta del av i utbyte mot sensordata som sedan tidigare finns i FOIs ägo.

Minst lika intressant som vi ser det är att fokusera på kartering med enklare och billigare system, till skillnad från flygburen kartering som tenderar att ske med dedicerade, dyra och komplexa system. Samma sensorsystem/kamera som används för dokumentation av en patrulls uppdrag kan användas för kartering, eller t o m underrättelseverksamhet. Med hjälp av fordonsmonterade kameror kan vägar och objekt längs dessa mätas in och personburna kameror kan användas för 3D-modellering av inomhusmiljöer. Vi bedömer med andra ord att det finns pengar att spara genom att satsa på enkla lösningar. Denna slutsats dras inte minst efter det lilla fältförsöket i Eksjö 2010 där enkla sensorkoncept prövades med lovande resultat. Vägen framåt inom det här området inbegriper deltagande av sensorprojekt och fortsatta diskussioner kommer bl a att ske med FMV SGIF och Ing 2.

6.2 Projektets inriktning 2012

Projektet kommer fr o m 2012 att arbeta med frågor kring semantiska 3D-datamodeller och interoperabilitet och särskilt undersöka hur nya forskningsrön och ny teknik inom området kan nyttiggöras av FM. Nyttan kan ta sig uttryck i nya simuleringstillämpningar, effektivare samverkan mellan simuleringar/system eller standarder för datadistribution och lagring som hjälpmedel för ajourhållning av geodatabaser.

En del av projektets strategi därvidlag är att söka samarbete med andra projekt och verksamheter. Projektet planerar t ex att samverka med FoT-projektet Syntetiska aktörer för att påvisa hur geografisk information, t ex höjdmodeller, vägnät och information om byggnader kan användas för att förbättra förmågan till simulering av syntetiska aktörer. Även SB Krislab/SIMBRA är en önskvärd och möjlig samverkanspartner. Inom ramen för IEA-A-01-SW-1605 mellan FOI och US Army RDECOM/STTC finns även förutsättningar till utbyte av information, erfarenheter, sensordata och programvaror.

3D-modellering av inomhusmiljöer: samarbete med FoT-projektet Sensorer för Urbana Operationer som svarar för signalbehandlingsdelarna (t ex att mäta i 3D och bestämma ett rums geometri) och där Omvärldsmodellering fokuserar på representation av geometrin som en 3D-modell som kan kommas åt via standardiserade gränssnitt. Syftet är att visa hur modern sensorteknik kan användas för att försörja en databas med geografisk information som ett komplement till traditionell kartering.

7 Vision: 3D för internationella insatser

I det här kapitlet vill vi måla upp en vision om hur teknik inom geo- och 3D-området skulle kunna omsättas till praktisk nytta för FM. Vi vill bl a visa hur verksamheter skulle kunna komplettera och stödja varandra, hur aktuella behov skulle kunna tillgodoses genom existerande teknik och hur verktyg framtagna inom forskningsprojekt skulle kunna bidra.

Som sammanhållande scenario för denna utblick har vi valt att tänka oss att Sverige deltar i en militär internationell insats.

När den svenska insatsen börjar planeras är kartunderlaget som FM har att utgå från knapphändigt. Lågupplöst och bristfälligt kartmaterial (t ex från globalt täckande VMAP eller MGCP) kompletteras med material erhållet via bi- eller multilaterala avtal länder emellan. Med hjälp av satellitbildsparas en första höjdmodell fram och som ytterligare stöd i planeringen genomförs en högupplöst (<1m) 3D-mätning av terrängen av vissa områden, kombinerat med flygfoton över densamma. Resultatet blir en höjdmodell draperad med textur som tillsammans med kartmaterialet ger en förbättrad *uppfattning om terrängen och miljön*.

Uti från insamlade data tas även en rad produkter fram, bl a en automatisk *markklassificering* där grundläggande element som öppna ytor, vägar, vegetation, vatten, bebyggelse identifieras. Terrängens topografi (erhållen från de högupplösta mätningarna) tillsammans med kunskap om klimatförhållanden, ger ökade möjligheter att kartlägga ev. *översvämningsrisker* i olika områden liksom *alternativa framryckningsstråk* såsom flodbäddar. 3D-mätningar tjänar också som underlag till planering av *campen*, och bevakning av densamma, t ex optimal placering av övervakningskameror.

Innan förbanden lämnar Sverige ges de möjlighet att *bekanta sig med insatsområdet*. Genom 3D-visualisering och med olika typer av verksamhetsinformation överlagrad lär sig förbanden mycket om miljön som de ska verka i.

Väl plats i området ökar informations- och styrketillväxten. Markförbanden önskar/kräver mer *detaljerad information om vägsystemet* i området och *sensorer på markfordon* nyttjas därvidlag. Enkla, fristående kameror försedda med GPS monteras vid behov på fordon på uppdrag i området och samlar in stora mängder koordinat- och tidsstämplade bilddata. Kamerornas minneskort tappas av efter uppdragets slut och *bilddata processas automatiskt*. Till exempel *detekteras byggnader längs vägen automatiskt*. *Fönster och dörrar* detekteras automatiskt och *antal våningsplan* estimeras. Personal ur geocellen på plats i området verifierar resultatet av den automatiska processningen med stöd i bilderna och gör ev. korrigeringar. Förutom byggnader detekteras och karakteriseras även de *broar och tunnlar* som fordonet passerar automatiskt, på liknande sätt. Regelmässigt karteras också *byggnader inomhus* automatiskt med hjälp av små kameror monterade på soldaternas hjälmar.

De framtagna geodata lagras i en *databas* och görs åtkomliga via *standardiserade webbtjänster*. Eftersom *ledningssystemen* och andra tekniska system stödjer dessa tjänster kan personal på så sätt enkelt tillgodogöra sig nytt kartmaterial i takt med att det uppdateras. Detta gör att 3D-data används regelbundet för *mission rehearsal*.

Eftersom data lagras på ett standardiserat sätt blir det lätt att *ajourhålla* det, liksom det blir enkelt att införliva nya data från andra leverantörer eftersom data levereras i enlighet med en *noggrant genomtänkt kravspecifikation*. Dessutom är *geodata portabla*, såtillvida att de kan flyttas till andra system utan informationsförlust. Borta är de gamla problemen som t ex att proprietära format används som gör byte av plattform till ett avancerat företag.

Insamlade data används också för att avgöra aktuell *status för vägarna* som fordonets färdats på. Som stöd för detta sitter en enkel skakningssensor (accelerometer) på fordonet och logger de vibrationer som fordonet utsätts för. Vibrationsdata används för att klassificera vägens status och bilddata används för att avgöra *vägens bredd*. En enkel och liten lutningsgivare i fordonen ger också samtidigt noggrann information om *vägens*

lutning. Den automatiserade karteringen gör att *karteringen kan ske i efterhand*, av erfaren personal, så att soldaterna som är ute på sitt uppdrag kan *koncentrera sig på uppgiften* de ska lösa istället för på kartering. Eftersom karteringen sker mha sensorer behöver inte personal lika ofta lämna sitt splitterskyddade fordon för att göra mätningar i miljön. Detta gör arbetet både *säkrare och snabbare*.

Terränginformationen sparas på ett standardiserat format i en databas tillsammans med ev. tilläggsinformation och är därefter redo användas i framtida, *förbättrade kartprodukter*. Obemannade farkoster navigerar med hjälp av 3D-modellen och på natten använder sig soldaterna av detaljerade 3D-modeller för att orientera sig i terrängen och i inomhusmiljöer (s k ”enhanced reality”).

GIS-analys använder de noggranna och detaljerade geodata för att t ex automatiskt detektera *potentiella helikopterlandningsplatser*, såväl på marken som på byggnadstak, utifrån den högupplösta höjdmodellen och markklassningen. Förfinade *framkomlighetsanalyser* och *siktfältsanalyser* stödjer chefen i dennes planering av ett uppdrag. Möjliga fram- och *tillbakaryckningsvägar* kan också identifieras, och bedömningar avseende *sambandsfunktioner* (t ex radiotäckning) kan också genomföras.

Med hjälp av 3D-modellen kan *kritiska områden* ringas in, där t ex risken för eldöverfall bedöms vara förhöjd, vilket stödjer chefen i planeringen av ett uppdrag. 3D-modellerna ligger till grund för förbättrade *riskbedömningar*. Information om terrängens topografi inkluderas i splitterberäkningar gör att *röjning av OXA och IED blir säkrare* och effektivare. Med information om byggnaders geometri och byggnadsmaterial kan bättre bedömningar göras om hur stor risken är att olika typer av projektiler passerar igenom en byggnad och därigenom förbättras förutsättningarna för att avgöra vilken risk egna förband löper i olika situationer.

Man använder dessutom 3D-modellen regelmässigt för *värdering av sensorer i olika väderfall*, t ex IR-kameror och radarsensorer. Förbanden använder detta t ex för att bedöma sin egen signatur gentemot bakgrunden som stöd för att hitta bra grupperingsplatser. Med hjälp av 3D-terrängen och väderinformation beräknas även *akustiska signaturer*, och det använder sig bl a UAV-operatörerna av för att välja flyghöjd och flygrutt för att därigenom minska sannolikheten för upptäckt.

Hemma i Sverige används 3D-modellerna som insamlats och kompletterats i insatsområdet för att *utbilda, träna och samöva* förband. Det *nationella träningsnätverket* genomför skräddarsydda övningar i en virtuell modell av insatsområdet och *värderar alternativa styrkesammansättningar* inför kommande rotationer. En *effektiv infrastruktur för geoförsörjning* mellan simulatorsystem och mjukvaror för *automatisk konvertering mellan olika geodataformat* gör att scenariot kan sättas upp för nya geografiska områden utan långa ledtider och till en låg kostnad. En realistisk urban miljö simuleras med trovärdiga syntetiska aktörer och där fungerar de geografiska data som bivillkor i simuleringen som ser till att de syntetiska aktörerna rör sig på ”rätt” sätt på olika ställen i terräng.

8 Samverkan och kompetensspridning

8.1 Kontakter med FM och FMV

Projektet har i kraft av sin undersökande karaktär tagit flera kontakter runtom i försvarsfamiljen. Bland annat har kontakter förevarit med MSS Skövde, LSS, A9, Livgardet, K3, INSS, ATS, Ing2, LedR, Geo SE, NTN, SGIF (Snabb Geografisk Informationsförsörjning på FMV), FMV T&E och FHS. Kontakterna har varit i form av möten, telefonsamtal, enkätsvar, deltagande i workshops, etc. Bland annat två workshops inom ramen för projektet Snabb Geografisk Informationsförsörjning (SGIF) på FMV, där bl a standarder för geografiska data, 3D-modeller och metodfrågor diskuterats tillsammans med representanter från FM, FMV, FOI och industrin,

8.2 Stöd till andra projekt

Projektet har bidragit med kunskap, metoder och särskilt framställda högupplösta omvärldsmodeller och geodataunderlag till projekt inom FOI. Detta gör det möjligt för dessa projekt att genomföra mer realistiska och omfattande studier, utvecklingsarbeten och värderingar. Exempel på projekt som erhållit stöd är:

- Bistatisk SAR för urban miljö (stöd i form av databearbetning mha FOIs mjukvara)
- SimSens (databearbetning mha FOIs mjukvara, bl a markmodellering, klassificering). I SimSens används sådant underlag för att simulera sensordata som i sin tur används för att värdera olika typer av sensorsystem.
- ”Remote Sense Data for Dispersion Modelling” har stötts med laserdata och 3D-byggnadsmodeller för ett område i Norrköping. I det projektet (finansierat av Rymdstyrelsen) används 3D-data för spridningsberäkningar i urban miljö, bl a för verifikationsstudie av flödes- och turbulensfält.

8.3 NATO SET-118

Personal i projektet har deltagit i NATO-gruppen SET-118 (”3D Modelling of Urban Terrain”), 2007-2010. Gruppen bestod av representanter från Sverige (FOI), USA (Army Research Office och Univ. of South Carolina), Tyskland (Fraunhofer IOSB), Spanien (INDRA), Italien (Elsag Datamat), Storbritannien (DSTL) och Kanada (DRDC). Gruppens var sammansatt av experter från olika områden: *3D-mätteknik* (laser, stereokamera, SAR), *3D-signalbehandling* (registrering, segmentering, objektigenkänning), *3D-modellering* (dataformat, implicita/explicita modeller), *tillämpning* och *kvalitetsbedömning*.

Nedan följer en sammanfattning av de viktigaste resultaten från gruppens arbete, samt vad deltagandet gett för svenskt vidkommande.

- En sammanställning av 26 militära tillämpningar och utifrån dessa exempel på hur 3D-modeller kan stödja beslutsfattare på olika nivåer.
- Flera exempel på hur kvantitativa kvalitetsmått för stadsmodeller, samt diskussion kring och förslag på nya, komplementära och användarorienterade mått som syftar till att *mäta den faktiska nyttan* med modellen. Denna kunskap har direkt bäring på frågeställningarna i avsnitt 4.3.
- Jämförelse av olika sätt att representera 3D-geometrier på. Vanliga *explicita* 3D-modeller (t ex polygonmodeller som OpenFlight) har jämförts med matematiskt formulerade *implicita* modeller. De senare möjliggör bl a effektiv beräkning av

siktlinjer då de implicerar utvärdering av matematiska funktioner i st f "ray tracing"-beräkningar och liknande.

- Signalbehandlingsmetoder för extraktion av olika typer av geografisk information har studerats. För svenskt vidkommande var det särskilt intressant att få kunskap om potentialen med att använda interferometrisk SAR för att rekonstruera 3D-byggnader, något som på FOI hittills endast studeras utifrån ett laserperspektiv. Den kunskapen kommer även radargrupperna inom sensorområdet tillgodo.
- Sensordata från en gemensam datapool har distribuerats och bearbetats inom gruppen. Bland annat har en grupp på Univ. of South Carolina tillämpat en segmenteringsmetod på laserdata från Norrköping. Metoden är tämligen olik den som utvecklats på FOI och mer flexibel, på så sätt att den kan segmentera utifrån fler egenskaper än bara geometri. Kunskap kring denna typ av metoder är mycket värdefull för ev. framtida vidareutveckling av t ex byggnadsmodellering utifrån multisensordata.
- Slutrapport "3D Modelling of Urban Terrain", ISBN 978-92-837-0144-6, september 2011

8.4 Övriga kontakter

Nedan följer en kort redogörelse för några ytterligare kontaktfrämjande aktiviteter där personal från projektet deltagit:

- Representanter från FOI M&S gjorde en USA-resa i augusti 2011 under vilken flera kontakter togs. De två ur projektets synvinkel mest intressanta var Virginia Modeling, Analysis and Simulation Center (Norfolk, Virginia) och USA Army RDECOM Simulation, Training and Technology Center (Orlando, Florida). För Omvärldsmodellerings vidkommande bedöms RDECOM vara mest intressant. Ömsesidiga intressen till framtida samarbete identifierades, och fortsatta diskussioner (och förhoppningsvis någon form av samarbete) kommer att ske under 2012.
- Kontakter har etablerats och stärkts med ett antal civila företag angående automatisk 3D-modellering vilket resulterade i en gemensam civil forskningsansökan till Vinnova, som tyvärr avslogs.
- Kontakter inom geoområdet har knutits med Högskolan i Gävle. Kontakterna ledde fram till att FOI deltog i en ansökan till SSF, som tyvärr inte beviljades.
- Personal i projektet deltar i EDA-projektet DUCAS ("Detection in Urban scenario with Combined Airborne Sensors"), inom vilket man bland (mycket) annat studerar hur 3D-modeller av urbana miljöer kan skapas och användas som stöd i olika tillämpningar, t ex skuggberäkningar för korrektion av spektrala data, t ex för målupptäckt och förändringsanalys, materialklassificering, visualisering, etc.
- En representant från projektet deltar i ett nationellt forum inom vars ram Geodatasekretariatet (Lantmäteriet) ska ta fram ett handlingsprogram för FoU inom geodataområdet under 2011. Bland annat diskuteras där forskningsbehov inom geoområdet och infrastrukturer för geodataförsörjning och dessutom undersöks möjligheterna för att få till stånd ett forskningsprogram inom området.
- Personal från projektet har föreläst om 3D-omvärldsmodellering inom kursen Telekrigkurs för FM på FOI
- 3D-omvärldsmodelleringskonceptet har presenterats i samband med två besök från Sydkorea (juni och november).

9 Referenser

1. Ahlberg, S. och Söderman, U., *High Resolution Environment Information for Urban Operations*, Proceedings of Industry/Interservice Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC) 2006, Orlando, Florida, USA, Paper #2482, 4-7 December 2006
2. Benner, J., Geiger, A. och Leinemann, K., *Flexible generation of semantic 3D building models*, Proc. of the 1st Intern. Workshop on Next Generation 3D City Models", Bonn, 2005
3. Carlberg, M., Andrews, J., Gao, P. och Zakhor, A., *Fast Surface Reconstruction and Segmentation with Ground-Based and Airborne LIDAR Range Data*, Proceedings of 3DPVT'08 - the Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2008
4. Clementini, E., *Ontological impedance in 3D semantic data modeling*, Int. Archives of Photogr., Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-4/W15, pages 97-100, 5th Int. 3D GeoInfo Conference, Berlin, Germany, 2010
5. COST action TU0801: Semantic Enrichment of 3D City Models for Sustainable Urban Development (<http://isis.unige.ch/semcity/lib/exe/fetch.php/tu0801:tu0801-e.pdf>)
6. Dimakis, N., Filippoupolitis, A. och Gelenbe, E., *Distributed Building Evacuation Simulator for Smart Emergency Management*, The Computer Journal 53(9), 2010
7. Elberink, S. O., *Target graph matching for building reconstruction*, Laser scanning 2009, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W8 – Paris, France, September 1-2, 2009
8. El-Mekawy, M. och Östman, A., *Semantic mapping: An ontology engineering method for integrating building models in IFC and CityGML*, 3rd ISDE Digital Earth Summit, Nessebar, Bulgaria, June 2010
9. Forsell, C., *Perceptually motivated constraints on 3D visualizations* (Diss.). Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2007
10. Guercke, R., Brenner, C. och Sester, M., *Generalization of semantically enhanced 3D city models*, Proc. of ISPRS, Vol xxxviii, 2009
11. Gurram, P., Lach, S., Saber, E., Rhody, H. och Kerekes, J., *3D Scene Reconstruction through a Fusion of Passive Video and Lidar Imagery*, 36th Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, Washington, DC, October 2007
12. Gurram, P., Saber, E. och Rhody, H., *A Novel Triangulation Method for Building Parallel-Perspective Stereo Mosaics*, Proceedings of Electronic Imaging Symposium, SPIE, San Jose, CA, January 2007
13. Hagedorn, B. och Dollner, J., *High-Level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis*, Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information system, 2007
14. Haugeard, J.-E., Philipp-Foliguet, S. och Precioso, F., *Windows and facades retrieval using similarity on graph of contours*, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 09), 2009
15. Isaksson, F., Borg, J. och Haglund, L., *3D rapid mapping*, Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications V, SPIE Vol. 6946, 2008
16. Jenke, P., Krückeberg, B. och Strasser, W., *Surface reconstruction from Fitted Shape Primitives*, VMV 2008
17. Jiang, N., Tan, P. och Cheong, L.-F., *Symmetric architecture modeling with a single image*, Proceedings of SIGGRAPH Asia, 2009

18. Kang, Z., Zhang, L., Zlatanova, S. och Li, J., *An automatic mosaicking method for building facade texture mapping using a monocular close-range image sequence*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65, pp. 282-293, 2010
19. Kjellin, A., *Visualizing dynamics: The perception of spatiotemporal data in 2D and 3D* (Diss.). Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2008
20. Kwan, M.-P. och Lee, J., *Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments*, Computers, Environment and Urban Systems, 29, pp. 93–113, 2005
21. Kylesten, B. och Hasewinkel, H., *Terränganalys för insatsplanering i en integrerad 2D- och 3D-karta*, FOI-R--2175—SE, 2006
22. Larsson, H., Tolt, G., Habberstad, H. och Rydell, J., *Mätrapport från dynamiska mätningar från bil 6-7/10 2010*, FOI-D--0392--SE, 2010
23. Lemmens, R. L. G., *Semantic interoperability of distributed geo-services*, Ph D Thesis, Netherlands Geodetic Commission NCG : Publications on Geodesy : New Series 63, ISBN: 90-6132-298-7, 2006
24. Mandl, D., Cappelaere, P., Frye, S., Sohlberg, R., Ly, V., Chien, S. och Sullivan, D., *A New User Interface for On-Demand Customizable Data Products for Sensors in a SensorWeb*, Earth Science Technology Forum (ESTF) Paper A2P3, 2011
25. Mao, B., Ban, Y. och Harrie, L., *A framework for generalization of 3D city models based on CityGML and X3D*, ISPRS Commission IV, WG II/2, 2009
26. Métral, C., Falquet, G. och Cutting-Decelle, A. F., *Towards semantically enriched 3D city models: An ontology-based approach*, Proc. ISPRS, Vol. XXXVIII, 2009
27. Micusík, B. och Kosecká, J., *Piecewise Planar City 3D Modeling from Street View Panoramic Sequences*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Miami, USA, 2009
28. Müller, P., Zeng, G., Wonka, P. och Van Gool, L., *Image-based Procedural Modeling of Facades*, ACM SIGGRAPH, 2007
29. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Date: 2011-07-19, OGC project document: OGC 08-007r2
30. Park, I., Jang, G. U., Park, S. och Lee, J., *Time-Dependent Optimal Routing in Micro-scale Emergency Situation*, Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware, 2009
31. Pollefeys, M., Nister, D., Frahm, J.-M., Akbarzadeh, A., Mordohai, P., Clipp, B., Engels, C., Gallup, D., Kim, S.-J., Merrell, P., Salmi, C., Sinha, S., Talton, B., Wang, L., Yang, Q., Stewenius, H., Yang, R., Welch, G. och Towles, H., *Detailed Real-Time Urban 3D reconstruction from Video*, International Journal of Computer Vision 78, pp. 143-167, 2008
32. Schmittwilken, J. och Plümer, L., *Model-based reconstruction and classification of facade parts in 3D point clouds*, Proc. of PCV 2010
33. Schnabel, R., Wessel, R., Wahl, R. och Klein, R., *Shape Recognition in 3D Point-Clouds*, Proceedings of The 16th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2008 (WSCG), 2008
34. Stadler, A. och Kolbe, T. H., *Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models*, ISSDQ, 2007
35. Toldo, R. och Fusiello, A., *Photo-consistent planar patches from unstructured cloud of points*, Proceedings of the 11th European conference on Computer vision (ECCV'10): Part V, 2010

36. Ullrich, T. och Fellner, D. W., *Robust shape fitting and semantic enrichment*, 21st International CIPA Symposium, Athens, Greece, October 2007
37. van Erp, Jan B.F., Cremers, Anita H.M., och Kessens, Judith M., *Challenges in 3D Geo Information and Participatory Design and Decision*. Advances in 3D Geo-Information Sciences - Proceedings 3dGeoInfo 2010 conference. Springer, 2011
38. Wendel, A., Donoser, M. och Bischof, H., *Unsupervised facade segmentation using repetitive patterns*, In Proceedings of DAGM (German Association for Pattern Recognition) 2010
39. Winkler Pettersson, L., *Collaborative visualization: Designing and evaluating systems for co-located work* (Diss.). Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2008
40. Xu, W., Zhu, Q. och Zhang, Y., *Semantic Modeling Approach of 3D City Models and Applications in Visual Exploration*, The International Journal of Virtual Reality, 9(3), pp 67-74, 2010
41. Yan, H.-P., Liu, C., Gagalowicz, A. och Guiard, C., *Facade Structure Parameterization Based on Similarity Detection from Single Image*, MIRAGE '09 Proceedings of the 4th International Conference on Computer Vision/Computer Graphics Collaboration Techniques, 2009
42. Zhu, Q. och Hu, M. Y., *Semantics-based 3d dynamic hierarchical house property model*, International Journal of Geographical Information Science, 24(2):165-188, 2010