

Generering av terrängmodeller och målbibliotek för sensorvärdering

FREDRIK NÄSSTRÖM, JONAS ALLVAR, JIMMY BERGGREN,
JOHAN HEDSTRÖM, ANDREAS PERSSON



Fredrik Näsström, Jonas Allvar, Jimmy Berggren,
Johan Hedström, Andreas Persson

Generering av terrängmodeller och målbibliotek för sensorvärdering

Titel	Generering av terrängmodeller och mål- bibliotek för sensorvärdering
Title	Generation of terrain models and target library for sensor assessment
Rapportnr/Report no	FOI-R--3683--SE
Månad/Month	Juni
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	33 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E54511
Godkänd av/Approved by	Fredrik Lantz
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk.
All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).
Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

För att kunna göra bra värderingar av sensorsystem med simuleringsbaserade metoder krävs högkvalitativa simuleringar av sensorsystem. Projektet SIMSENS (Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering) har i uppgift att utveckla en simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem i olika miljöer, väderförhållanden och tidpunkter. Simuleringsverktyget som vidareutvecklas för detta är MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab).

För att få noggranna simuleringar av sensordata krävs att alla simuleringsmodeller som t.ex. terrängmodeller, målobjekt, materialklassificering, scensimulering och sensormodeller är av hög kvalitet. I denna rapport beskrivs arbetet med terrängmodeller och målbibliotek som har utförts i projektet.

I MSSLab kan sensorsystem nu simuleras i terrängmodellerna: *Kvarn*, *Norrköping* och *Mellanöstern*. Ett mycket viktigt arbete har varit att ta fram en metodik för automatisk materialklassificering av terrängmodeller. Den framtagna metodiken har använts för att materialklassificera de tre terrängmodellerna.

Det är även mycket viktigt att objektmodellerna i en simulering är av hög kvalitet. Ett 3D-modellbibliotek med olika objekt och människor har vidareutvecklats för högkvalitativa sensorsimuleringar. För att göra det möjligt att simulera sensordata med animerade människor har HLAS (High Level Animation System) vidareutvecklats med nya beteenden för de animerade människorna.

Nyckelord: terrängmodeller, målbibliotek, simulering, modellering, värdering

Summary

In order to perform accurate assessment of sensor systems with simulation based methods, high quality simulations of sensor systems are required. The task for the SIMSENS project (Simulation based sensor system assessment) is to develop a modular sensor system simulation program that can simulate sensor systems in various environments, weather conditions and time periods. The simulation tool that is further developed is the MSSLab (MultiSensorSimulationLab).

Accurate simulations of sensor data require that all simulation models e.g. terrain models, target object, material classification, scene simulation and sensor models are of high quality. This report describes the work with terrain models and target library that has been done in the project.

In MSSLab sensor systems can now be simulated in the terrain models Kvarn, Norrköping and Middle East. A very important work has been to develop an automated methodology for automatic material classification of terrain models. The developed methodology has been used to classify the material of the three terrain models.

It is also very important that the object models are of high quality. A target library of various objects and people has therefore been further developed. In order to enable simulations of sensor data with animated persons, HLAS (High-Level Animation System) has been further developed with new behaviors for animated people.

Keywords: terrain models, target library, simulation, modeling, assessment

Innehållsförteckning

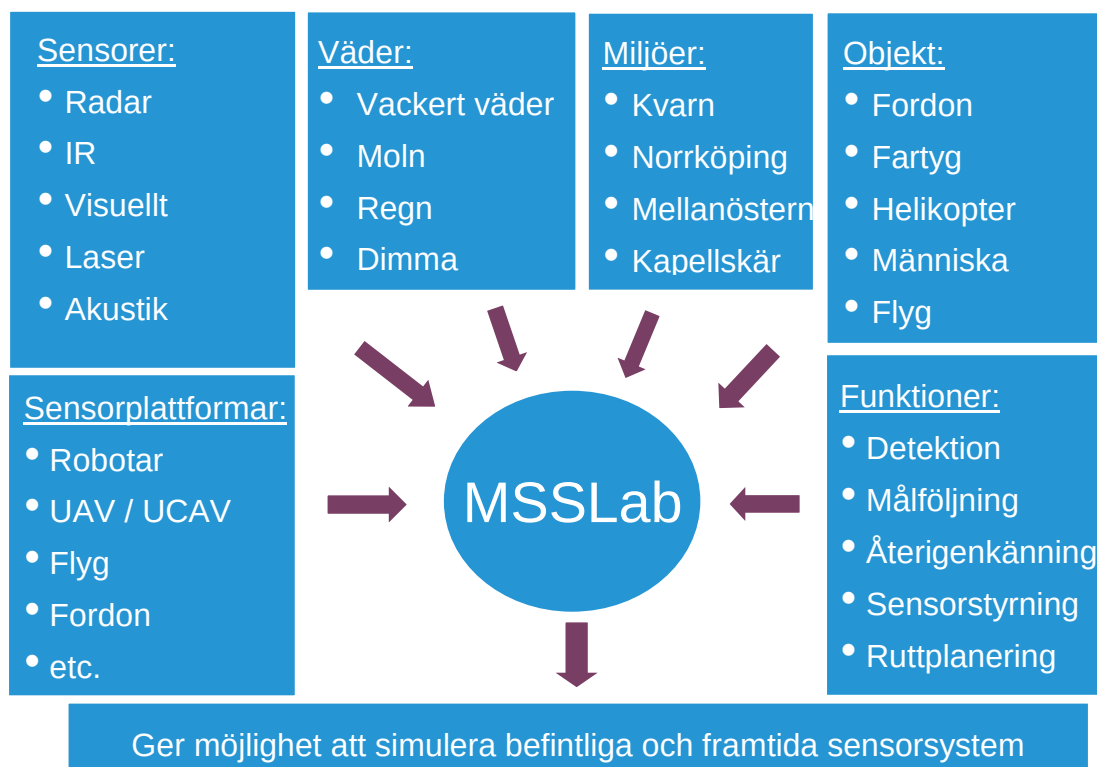
1	Inledning	7
2	Terrängmodeller	9
2.1	Kvarnmodellen	9
2.2	Norrköpingsmodellen	13
2.3	Mellanösternmodellen	15
2.4	Metodik för materialklassificering	17
2.4.1	Förbehandling av data	18
2.4.2	Klassificering	19
2.4.3	Anpassning av klassificeringsresultat till simulering	20
3	Målbibliotek	21
3.1	Objektmodeller med visuell textur	21
3.2	Animering av människor	22
3.2.1	3D karaktärer	22
3.2.2	HLAS	23
3.3	Simulering av IR-signaturer av människor	27
3.3.1	Simulering av IR-signaturer med RadTherm-IR	27
3.3.2	Simulering av IR-signaturer med SE-WORKBENCH-EO	28
4	Fortsatt arbete	32
5	Referenser	33

1 Inledning

Vid en värdering av ett sensorsystem krävs tillförlitlig information om sensorprestanda för den aktuella uppgiften. Spelkort eller tekniska specifikationer finns ofta för befintliga system, men information om prestanda för många internationella och framtida sensorsystem, liksom för sensorsystem i nya miljöer, är ofta otillräcklig.

Ett vanligt sätt att skatta prestanda hos ett system är med hjälp av simuleringsbaserade metoder. För att få hög tillförlitlighet med simuleringsbaserade metoder krävs god kunskap om det aktuella systemet samt validerade modeller. Fördelen med simuleringsbaserade metoder är att när väl systemet är modellerat och omgivningsmodellerna finns, kan simuleringar göras för en mängd olika fall till en rimlig kostnad och på relativt kort tid.

Genom projektet utvecklas en simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem. Denna simuleringsmiljö ska även kunna bidra med information om sensorprestanda för alla nivåer från teknisk till taktisk värdering. Simuleringsverktyget som vidareutvecklas för detta ändamål är MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab). MSSLab är en simuleringsmiljö där avancerade sensorsystem kan simuleras i olika miljöer och vid olika väderförhållanden och tidpunkter. Figur 1 visar olika beräkningsenheter som kan integreras vid en simulering med MSSLab.



Figur 1. Sammanställning av delsystem som kan integreras vid en simulering med MSSLab.

Simuleringsverktyget möjliggör simulering av dynamiska scenarier med rörliga plattformar, sensorbärare, målobjekt etc. Högkvalitativa sensorsimuleringar kan göras för IR, visuellt, laser och radar. Dessa sensorsystem kan simuleras både enskilt, som samverkande sensorsystem och som multisensorsystem. Även avancerade algoritmer för objekt-detektion, följning, återigenkänning, sensorstyrning och ruttplanering har integrerats i simuleringsverktyget.

En svårighet vid simulering av sensorsystem är att sensorprestanda påverkas av många variabler. MSSLab har redan idag mycket bra funktionalitet, men mycket arbete återstår

för att få hög tillförlitlighet vid värdering av sensorsystem i nya miljöer. Exempel på viktiga scenariovariabler som ofta påverkar sensorprestanda är:

- Målobjekt: konfiguration, signatur, kamouflage, skylda eller ej, mål på marsch eller stillastående etc.
- Terräng: bebyggelse, öppen, småbruten, betäckt, öken, djungel etc. Terrängen kan dessutom vara platt, kuperad eller bergig, samt ha inslag av sjöar och vattendrag.
- Vegetation: fördelningar av träd och buskar och dess årstidsförändringar.
- Väder/atmosfärstransmission: plats på jorden, årstid, dygnstid, lufttyp, luftfuktighet, temperatur, molnighet, molnbas, olika typer av nederbörd etc.
- Ljuförhållanden: tid på året och dygnet, aktuellt väder och plats på jorden.
- Datainsamling: observationstid, avstånd, höjd, aspektvinkelförändring på målet under observationen, hastighet på sensorplattformen etc.
- Hot och störning mot sensor och sensorbärare.
- Handlingsregler för uppdraget (ROE - Rules Of Engagement)

2 Terrängmodeller

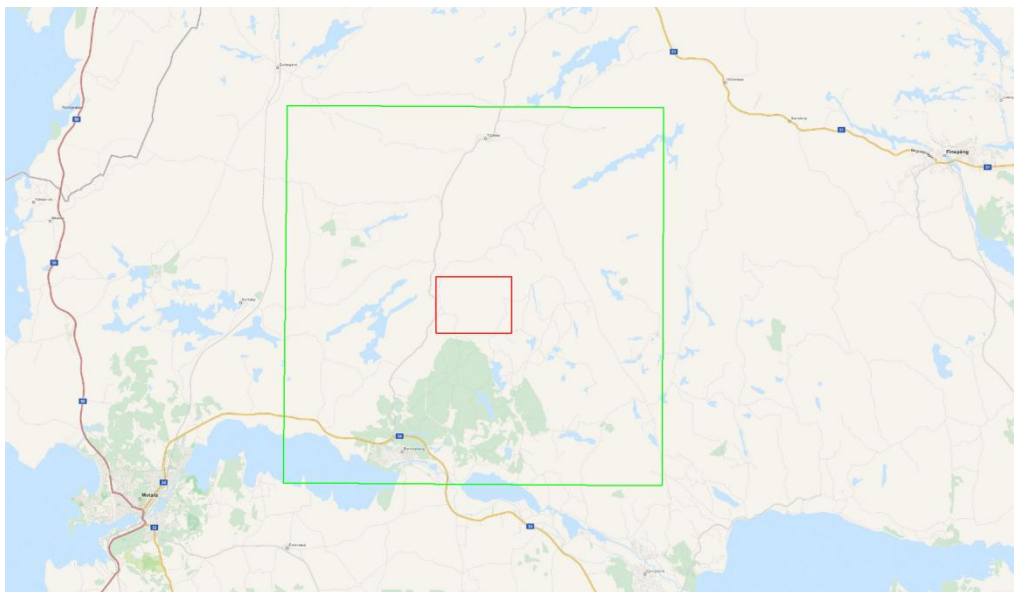
För att göra det möjligt att simulera och värdera sensorsystem i olika miljöer pågår arbete med att vidareutveckla de terrängmodeller som finns i MSSLAB. I nuläget finns följande terrängmodeller som kan användas för sensorsimuleringar: *Norrköping*, *Kvarn*, och *Mellanöstern*. Kvarn och Norrköping är geospecifika modeller vilket betyder att de är modellerade för att efterlikna verkligheten. Detta gör det möjligt att validera genomförda simuleringar mot riktiga mätningar. Mellanösternmodellen är en geotypisk modell och denna modell är bra då man vill studera generella frågeställningar.

2.1 Kvarnmodellen

Kvarnmodellen representerar en modell av Prästtomta skjutfält vid Kvarn som ligger ca 3 mil nordväst om Linköping. En ny terrängmodell över Kvarn håller nu på att tas fram som både har högre upplösning och större yttäckning för att möjliggöra simuleringar med spaning över större områden och simulering av yttäckande sensorer som t.ex. ARGUS-IS [1] och Gorgon Stare [2].

Den nya kvarnmodellen består av både ett högupplöst och ett lågupplöst område. Den högupplösta delen av modellen täcker ett område på 4×3 km och har en upplösning i texturdata på 5 cm samt en upplösning i höjddata på 10 cm. De högupplösta data har levererats av Försvarsmakten 2012. Det lågupplösta området i modellen täcker en yta på 20×20 km och har en texturupplösning på 1 m samt en upplösning i höjddata på ca 50 m. Data till den lågupplösta modellen kommer från Lantmäteriet.

Figur 2 visar täckningsområdet för den nya Kvarnmodellen. Modellen är uppdelad i blad där bladstorleken för den lågupplösta delen är 1×1 km² per blad och för den högupplösta delen är 0.1×0.1 km² per blad.



Figur 2. Bilden visar täckningsområdet i nya modellen över Kvarn. Den större gröna rutan motsvarar den lågupplösta delen av modellen och den mindre röda rutan motsvarar den högupplösta delen av modellen.

Den högupplösta modellen använder sig av både byggnader modellerade efter fotografier samt byggnader automatiskt modellerade efter fastighetsdata från Lantmäteriet. Varje enskilt träds position och storlek är bestämd med laserdata uppmätt av en flygburen laser från 2006. Figur 3 visar ett exempel på den nya högupplösta modellen. I den lågupplösta

delen modellen så kommer trädområden, vägar samt byggnader från Fastighetskartan. Figur 4 visar ett exempel på ett område i den nya lågupplösta modellen.



Figur 3. Bilden visar en del av det högupplösta området i den nya Kvarnmodellen.



Figur 4. Bilden visar del av det lågupplösta området i den nya Kvarnmodellen.

Den tidigare framtagna Kvarnmodellen har en lägre upplösning, men för denna modell finns det både IR- och visuell textur och en materialklassning. Geometrin i modellen har

skapats utifrån data från ett flygburet lasersystem. Den tidigare Kvarnmodellen innehåller en högupplöst markyta, automatiskt rekonstruerade byggnader och modeller av enskilda träd inplacerade med korrekta dimensioner på korrekta positioner. Den rumsliga upplösningen i modellen är ca 5-10 punkter/m² och med en koordinatnoggrannhet på 0.1 m (i rikets nät). Detta kan jämföras med Lantmäteriverkets standardprodukt GSD-Höjddata, grid 50+ med 50 meter mellan höjdvärdena.



Figur 5. Bilden visar en del av den tidigare Kvarnmodellen med uppmätt visuell textur.

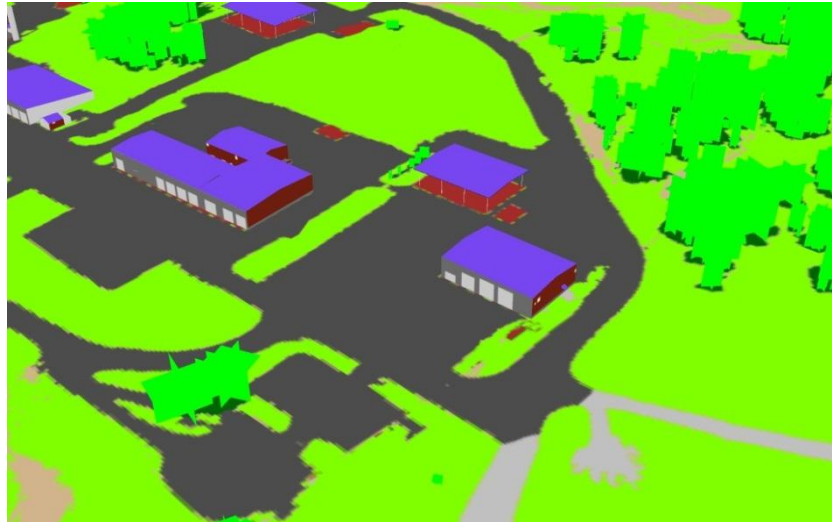
Högupplöst visuell data och IR-data finns insamlade över det laseruppmätta området. Dessa data har sedan använts som textur på den tredimensionella omgivningsmodellen. Detta ger en omvärldsmodell som ger en bra bild av hur terrängen såg ut vid det aktuella insamlingstillfället, vilket visas i figur 5 och figur 6. Upplösningen på både den visuella texturen och IR-texturen är 0.2 meter.



Figur 6. Bilden visar en del av Kvarnmodellen med uppmätt IR-textur.

Det finns även en materialklassad modell som används vid högkvalitativa sensorsimuleringar av IR- och radarsystem (figur 7). Terrängmodellen är klassificerad med följande

material; gräs, väg, undervegetation, lera, berg och vatten. För byggnaderna är den klassificerad med glas, betong, trä, metall samt tegel. Klassificeringen har sedan kombinerats med det högupplösta visuella data för att bestämma finare upplösning på material samt blandningar av material, vilket ytterligare förklaras i avsnitt 2.4.3. Figur 8 visar resultatet av en LWIR-sensor simulerad i SE-WORKBENCH-EO.



Figur 7. Bilden visar en del av Kvarnmodellen med materialklassad textur. Färgerna i bilden motsvarar material / terrängtyp.



Figur 8. Bilden visar en simulerad IR-bild över en del av kvarn. SE-WORKBENCH-EO har använts för simuleringen.

De tre omgivningsmodellerna är alla geografiskt och geometriskt korrelerade. För varje träd i det uppmätta området har information om position, höjd, vidd och trädslag extrahärats. Modeller av enskilda träd har sedan placerats in i omvärldsmodellen med korrekta dimensioner och på korrekta positioner. Ett problem med omvärldsmodeller med noggrann beskrivning av vegetation är att dessa blir mycket stora och kräver mycket minne. Förenklade trädmodeller har därför använts i modellen.

2.2 Norrköpingsmodellen

I projektet har en modell av Norrköping tagits fram. Höjddata och marktextur till denna kommer från ett lasersystem och en visuell sensor som båda har varit monterade på ett flygplan. Norrköpingsmodellen innehåller en högupplöst markyta, automatiskt rekonstruerade byggnader, vägnät samt modeller av enskilda träd inplacerade med korrekta dimensioner på korrekta positioner. Den rumsliga upplösningen hos modellen är ca 5-10 punkter/m² med en koordinatnoggrannhet på 0.1 m (i rikets nät).

Modellen täcker en yta på 3.4×2.9 km² över centrala Norrköping och markytan har en texturupplösning på 0.2 meter. I figur 9 visas en del av Norrköpingsmodellen och i figur 10 visas en detaljbild.



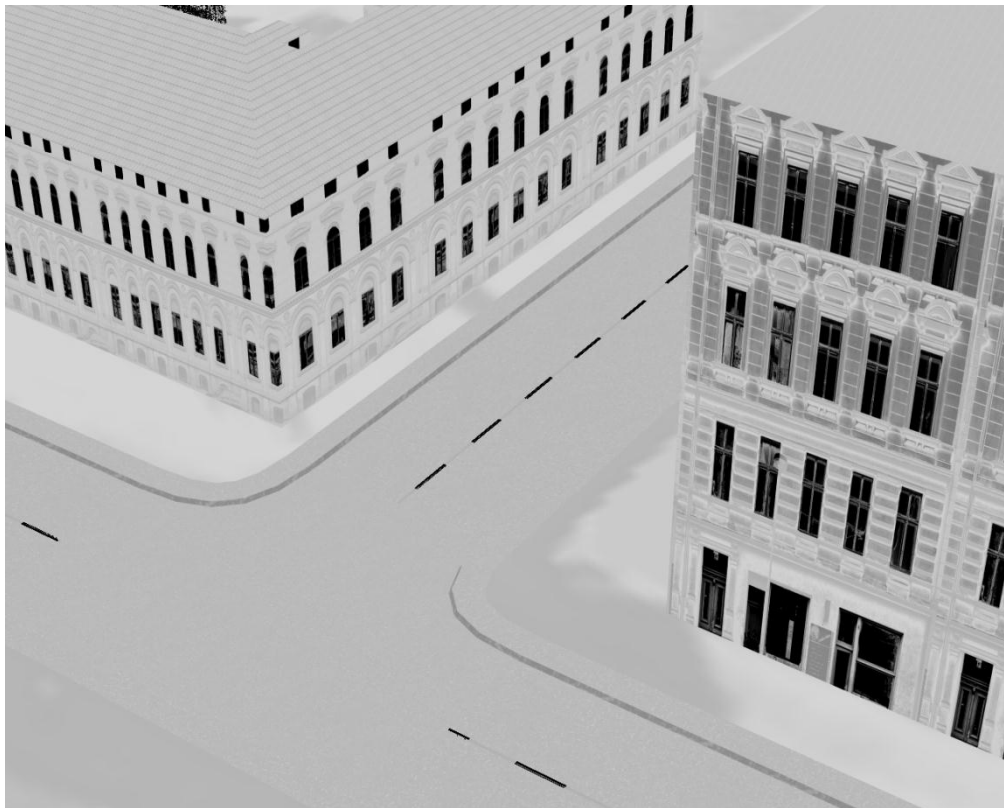
Figur 9. Del av Norrköpingsmodellen.

Via kommunens basdata har byggnadernas form och textur bestämts. Detta genom att automatiskt välja olika vägg- och taktexturer baserat på om byggnaden är en fabrik eller bostadsbyggnad. Höjden på byggnaderna har extraherats från inmätta laserdata. Vägnätet kommer från Norrköpings kommuns basdata.



Figur 10. Detaljbild på Norrköpingsmodellen.

Det finns även en materialklassad modell som används vid sensorsimulering av IR- och radarsensorer. Figur 11 visar ett område i Norrköping genom en simulerad LWIR-sensor i programmet SE-WORKBENCH-EO.



Figur 11. Område i Norrköping simulerat med SE-WORKBENCH-EO.

2.3 Mellanösternmodellen

En geotypisk terrängmodell, bestående av en typisk stadsmiljö för ett område i Mellanöstern samt en militär camp finns framtagen (figur 12). Stadsmiljön i Mellanösternmodellen är baserade på en inköpt modell av en Mellanösternliknande stad, men har sedan bearbetats för att fungera som egna moduler som går att placera ut godtyckligt.



Figur 12. Mellanösternmodellen består bland annat av en stadsmiljö typisk för ett område i Mellanöstern.

Den militära campen har tagits fram i projektet "Nytt Telekonfliktverktyg" [3] och kallas Camp GENESIS. Inspirationskälla för denna Camp har varit den svenska Campen i Mazar-e-Sharif. Modellen är fiktiv, men byggnader och annan geometri är inspirerad av bilder från den verkliga platsen i Afghanistan, se figur 13.



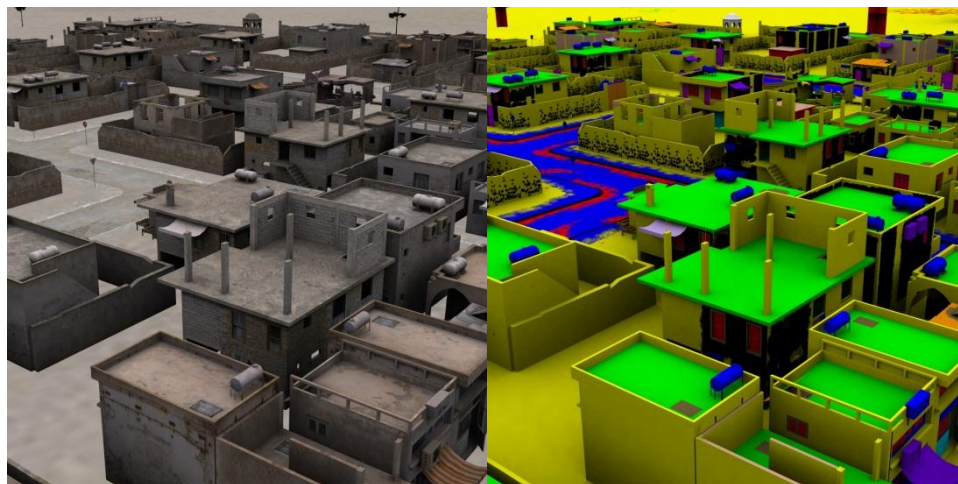
Figur 13. Camp GENESIS.

I Mellanösternmodellen har vägar mellan olika stadsmoduler byggts in och längs med dessa vägar har även mindre byggnader placerats för att på så sätt kunna utnyttja en större del av omvärlden utan att det skall upplevas som en kuliss. Vegetation i form av olika träd

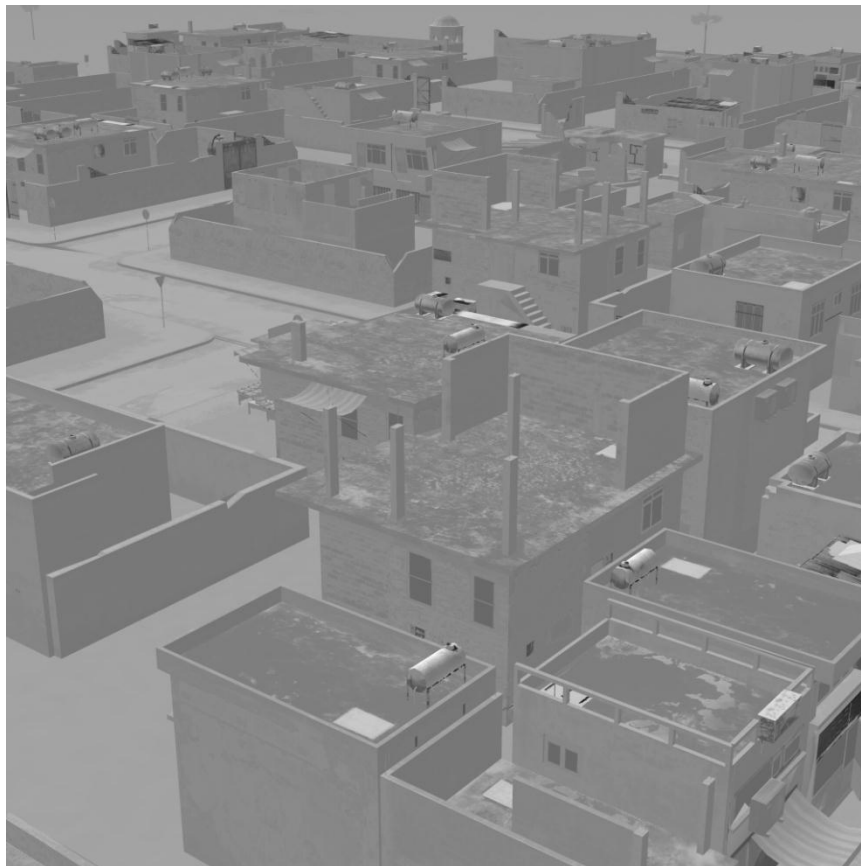
och palmer finns utplacerade i terrängen. Dessa består av väldigt enkla geometrier för att inte belasta visualiseringar i realtid och är primärt till för att ge mer realism i omvärldsmodellen. Träden är skapade med verktyget RealNat [4]. Positionerna för träden har slumpats ut över området och sedan har de träd som hamnat på icke önskade positioner tagits bort. Slumppositionerna har genererats med ett plugin till 3D Studio som gör det möjligt att måla ut områden där instanser av objekt (i det här fallet träden) skall hamna.

Både höjd- och rasterdata är framtaget på syntetisk väg. Storleken på omvärldsmodellen är $5 \times 5 \text{ km}^2$ och höjddata har en upplösning på 0.1 punkter/m. Rasterdata har en relativt låg upplösning på 0.2 pixlar/m, men för att väga upp detta har olika detaljtexturer applicerats med avseende på terrängtyp.

Även för Mellanösternmodellen har materialklassade texturer tagits fram. Detta har skett genom att manuellt bearbeta samtliga texturer som används i modellen. Texturen har modifierats till färgmaskade områden för varje enskild bild där en viss färg motsvarar en materialklass. Figur 14 visar exempel på hur färgmaskningen kan se ut över ett område i modellen. Figur 15 visar hur samma område ser ut om man simulerar en LWIR-sensor med SE-WORKBENCH-EO.



Figur 14. Exempel på färgmaskning över ett område i Mellanösternmodellen.



Figur 15. Ett område i Mellanösternmodellen simulerad i SE-WORKBENCH-EO.

2.4 Metodik för materialklassificering

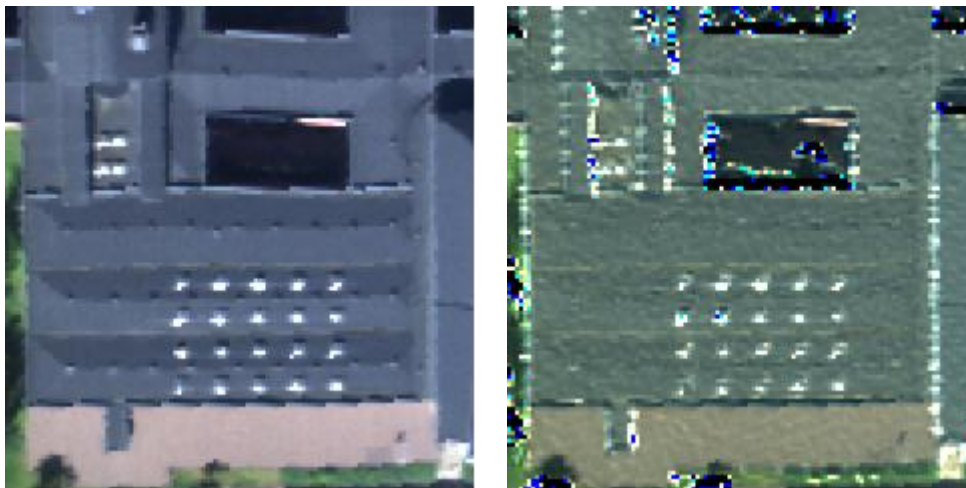
För att kunna simulera realistiska sensordata krävs, förutom geometrin, ofta information om vilket eller vilka material olika områden i scenen består av. Spektral information från en vanlig RGB-kamera duger visserligen ofta för att en terrängmodell ska ”se bra ut”, men för fysikaliskt grundad simulering krävs information om de olika objekternas reflektans, emittans, värmeledningsförmåga etc. De flesta vanligt förekommande material, såsom asfalt, gräs, grus, lera, tegel etc. är relativt väl karakteriserade och deras olika egenskaper kan ofta matas in i simuleringsprogrammen, men det behövs även en metod för att vid en viss position i scenen ange rätt material utifrån insamlade sensordata. Detta brukar kallas materialklassificering och har studerats under en rad år inom området fjärranalys, och flera metoder har tagits fram. Ofta används multispektrala satellitbilder men flygfoton och i viss mån även laser- och radardata används också.

En försvårande omständighet är att de uppmätta värdena i sensordata (spektra) ofta varierar kraftigt mellan olika områden i scenen. Detta beror inte bara på de olika materialens egenskaper – då vore problemet relativt enkelt – utan även på att många yttre faktorer påverkar de uppmätta värdena, t.ex. solljusets spektrum, solens position relativt den belysta ytan, molnighet, skuggningsgrad, atmosfärsdämpning, kamerainställningar, etc.

En metodik för materialklassificering har tagits fram i projektet och denna består i huvudsak av tre olika steg: *förbehandling* av data, *klassificering* och *anpassning av klassificeringsresultat* till simuleringstillämpningar.

2.4.1 Förbehandling av data

Ett mål med förbehandlingen är att kompensera för varierande belysningsförhållanden i scenen. Utifrån höjddata från en laserskanning av det aktuella området, tillsammans med information om när datainsamlingen ägde rum och således kunskap om solens position, kan man uppskatta vinkeln mellan en ytas normal och solriktningen. Med hjälp av denna vinkel kan man sedan kompensera för intensitetsskillnader som uppstår pga. av skillnader i ljusets infallsvinkel relativt ytan. Figur 16 visar ett exempel på detta.



Figur 16. Vänster: ursprunglig bild av ett hustak. Notera färgskiftningen mellan taksegmenten. Höger: resultat efter färgkompensering utifrån taksegmentens lutning gentemot solen. Skillnaden i färgstick jämfört med originalbilden beror på en färgomskalning i visningsprogrammet. De artefakter som uppstår där lutningen är stor ignoreras i den fortsatta analysen.

Ett annat förbehandlingssteg är att ur mätdata extrahera relevanta egenskaper som kan nyttjas i det efterföljande klassificeringssteget. Exempel på detta är framtagandet av en objektmask utifrån höjddata och beräkning av *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) [5] för varje pixel. Objektmasken indikerar var det finns objekt som sticker upp ovanför marken och bestäms genom att bilda skillnaden mellan höjdvärdet i varje pixel och markhöjden och tröskla denna på önskad höjdnivå.

NDVI är en användbar egenskap vid vegetationsdetektion och definieras som

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

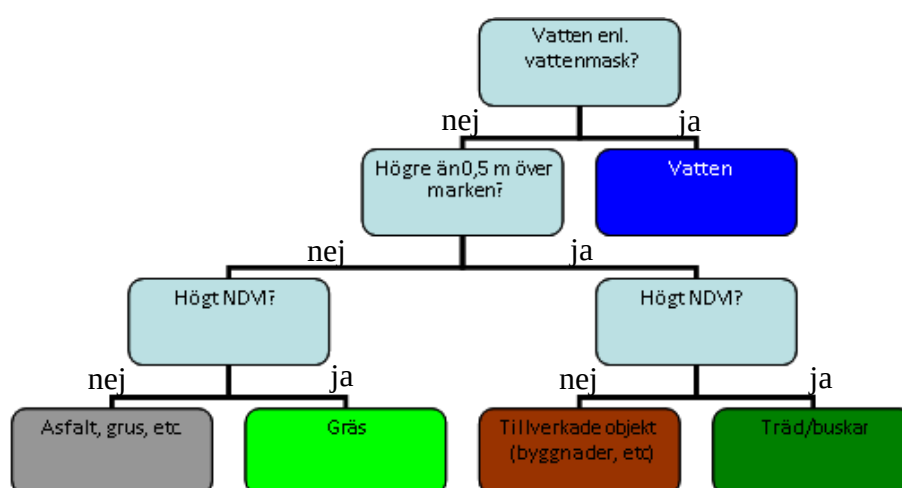
där NIR och R är uppmätta spektralvärden i när-IR-området respektive det röda området. Vegetation motsvarar typiskt höga NDVI-värden (nära ett) eftersom NIR-värdet vanligen är betydligt högre än R-värdet. NDVI förutsätter alltså att det finns data i NIR-området och går med andra ord inte att applicera på en bild tagen med en vanlig kamera som opererar i det visuella området. Se exempel i figur 17. Normeringen (nämnaren NIR+R) ger robusthet mot skillnader i intensitetsnivå mellan två spektra, t ex för ett solbelyst område och ett i område i skugga.



Figur 17. Vänster: RGB-bild. Höger: NDVI för motsvarande område (ju vitare desto högre NDVI).

2.4.2 Klassificering

Efter förbehandlingssteget matas data in i en klassificerare som tilldelar varje pixel en klasstillhörighet. Det finns många typer av klassificerare som var och en har olika för- och nackdelar och flera av dessa har studerats inom projektet, bl a *Maximum Likelihood* [6], *Spectral Angle Mapping* [7] och *Support Vector Machines* [8]. För den aktuella tillämpningen visade sig ett beslutsträd vara ett effektivt alternativ, inte minst eftersom det är ett intuitivt och enkelt sätt att kombinera olika typer av indata i klassificeringen. Trädet bygger upp en hierarki där ja/nej-beslut tas beroende på om villkoret i en viss nod är uppfyllt eller ej. Villkoret i respektive nod kan utgöras av en enkel trösklingsoperation i bilddata men även vara resultatet av en i sig mer komplicerad operation. Figur 18 visar en klassificerare för att detektera *gräs*, *asfalt*, *träd/buskar* och *tillverkade objekt*. Utöver detta användes en redan existerande karta över vattenområden i området (en "vattenmask") för att avgöra vilka pixlar som ska klassificeras som vatten.



Figur 18. Beslutsträd.

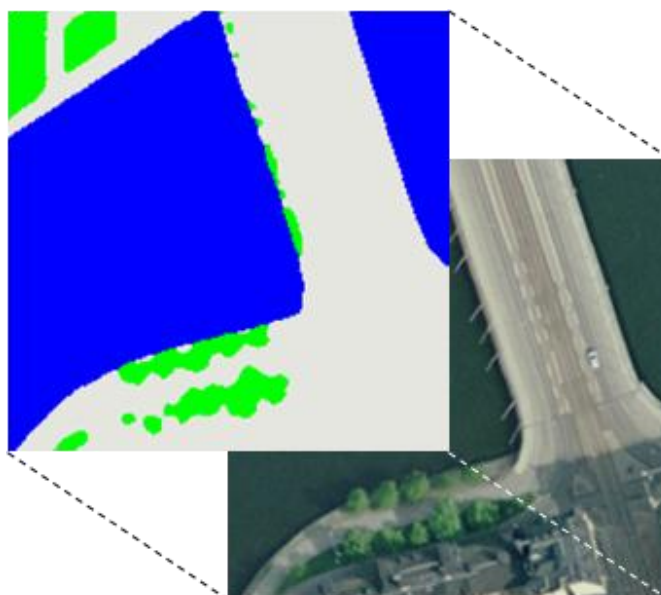
Den framtagna metodiken har fokuserat på klassificering av markpixlar (den vänstra grenen i beslutsträdet), eftersom träd och byggnader ändå ersatts av 3D-modeller i simuleringarna. De hål av oklassificerade pixlar som uppstår när de uppstickande objekten tas

bort måste fyllas igen eftersom inga oklassificerade pixlar får förekomma i slutresultatet. Detta sker genom att ge oklassificerade pixlar deras respektive närmaste klassificerade pixels klasstillhörighet.

2.4.3 Anpassning av klassificeringsresultat till simulering

Vid simulering av IR- och radarsensorer så används speciella materialtexturer med fördelning av materialtyp inkodade för varje pixel. Materialtexturer kan skapas genom t.ex. klassificering av visuella texturer. Den process som används i SE-Workbench [9] är att i photoshop manuellt dela upp varje textur i olika lager. Dessa lager används sedan för att klassificera materialgrupper med högst 4 olika material. Inom varje materialgrupp väljs fördelningen av de 4 olika materialen baserad på pixelns röd-, grön- och blåvärde. Se figur 33 för exempel på klassificeringsverktyget i SE-Workbench.

När det handlar om att klassificera stora mängder med marktexturer så kan den manuella processen vara extremt tidskrävande. Ett egenutvecklat program har tagits fram som automatiskt genererar materialtexturer med hjälp av de klassificerade markpixlarna som beskrivs i avsnitt 2.4.2. De klassificerade markpixlarna används för uppdelningen av marktexturerna i materialgrupper. Se figur 19 för exempel på en sådan uppdelning. Inom materialgrupperna bestämmer programmet materialfördelningen som tidigare med hjälp av marktexturpixelns röd-, grön- och blåvärde. Till vilken pixelfärg som motsvarar vilket material använder programmet en definitionsfil som återanvänds till alla marktexturerna som ska processas.



Figur 19. Uppdelning av marktextur i materialgrupper baserat på resultat av klassificering av markpixlar.

3 Målbibliotek

Vid värdering av sensorsystem med simuleringsbaserade metoder är det mycket viktigt att modellerna för såväl bakgrund som objekt är av hög kvalitet. Omfattande arbete har utförts för att vidareutveckla ett 3D-modellbibliotek med olika objekt och människor, som sedan kan användas vid högkvalitativa sensorsimuleringar i olika scenarier.

3.1 Objektmodeller med visuell textur

För att möjliggöra simuleringar av intressanta scenarier behövs vanligtvis många olika objektmodeller. För detta finns ett 3D-modellbibliotek som byggts upp under flera år och som innehåller bl.a. människor, djur, fordon och byggnader. Figur 20 visar några av de militära och civila fordon som finns i biblioteket. Flera av dessa modeller har köpts in till SIMSENS-projektet för att modifieras och konverteras till lämpliga format. Arbetet består oftast i att se till så att objekten har en korrekt skala och att koordinatsystemet är korrekt orienterat.



Figur 20. Exempel på några tillgängliga objektmodeller med visuell textur.

FOI har även själv skapat många objekt helt från grunden när det inte varit möjligt att hitta kommersiella modeller för syftet. Figur 21 visar ett exempel på detta, där en modell av FOIs båt av typ Ryds 480 tagits fram för att möjliggöra simulering av sensorer i marin miljö.



Figur 21. Visuell 3D-modell av FOIs Ryds 480.

Utifrån inköpta grunddata [10] har ett större bibliotek av människor skapats. Biblioteket består i dagsläget av drygt 40 olika civila modeller, både manliga och kvinnliga, samt fem olika soldater och ett tiotal manliga modeller med utseende som ska efterlikna klädsel som är vanlig i mellanösternområdet. Figur 22 visar några av de tillgängliga modeller som finns idag. Totalt finns 50 olika 3D-modeller av soldater och fem av dessa visas i figur 23.



Figur 22. Några av modellbibliotekets 3D-modeller av människor.



Figur 23. Modellerna av soldater i modellbiblioteket.

3.2 Animering av människor

Simulering av animerade människor för sensorvärdering är en verksamhet på FOI som påbörjades 2008. För att göra detta möjligt har HLAS, High Level Animation System, tagits fram inom SIMSENS-projektet. Med HLAS underlättas integrationen av animerade människor för olika typer av sensorsimuleringsverktyg. För att skapa och visualisera skelettbaserade animationer finns det flera verktyg, men utbudet är inte lika stort då man vill kunna styra dessa animeringssekvenser på en högre abstraktionsnivå. Ett exempel på ett sådant fall kan vara att en användare vill förflytta en karaktär från en punkt till en annan utan att behöva ta hänsyn till hur terrängen ser ut. För att en sådan förflyttning ska utföras på ett trovärdigt sätt behövs ett stöd för vägval samt vilka animationer som ska spelas.

3.2.1 3D karaktärer

För varje animerad människa krävs en 3D-modell som är kopplad på en skelettstruktur. Skelettstrukturen animeras sedan för att simulera förflyttningar och vridningar. Samtliga karaktärer i 3D-modellbiblioteket har förberetts för skelettbaserad animation i HLAS. En omfattande samling av färdiga animationer har genererats för detta ändamål och nya animationer kan skapas när behov uppstår. Exempelvis skulle nya animationer där en karaktär simmar och dyker kunna skapas om ett sådant scenario behövs. De manliga civila 3D-modellerna och de med mellanösternutseende har kopplats på samma skelettsystem, vilket gör att samma animationer kan användas. På samma sätt är alla kvinnliga modeller kopplade på sina egna skelettsystem och detsamma gäller även alla soldater.

På senare tid har arbete gjorts för att karaktärer även skall kunna hantera så kallade *props*, dvs. externa objekt såsom väskor, vapen och verktyg. Figur 24 visar hur en karaktär håller i olika *props*. Implementationen av detta har krävt förändringar av de befintliga animat-

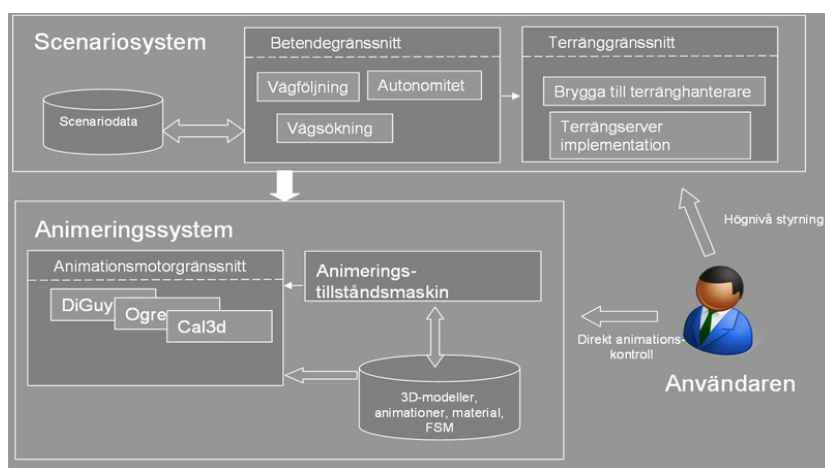
ionerna så att t.ex. en gångsekvens ser annorlunda ut när en karaktär bär på ett gevär. Utöver detta har även specifika animationer skapats för när en karaktär utför en handling med det objekt den håller i.



Figur 24. En karaktär kan interagera med olika externa objekt som t.ex. automatkarbin, yxa, raketgevär och spade.

3.2.2 HLAS

Grundtanken med designen av HLAS är att skapa ett plattforms- och renderingsoberoende system som på ett enkelt sätt ska kunna utvidgas, integreras och anpassas för olika typer av simuleringar. HLAS kan delas in i två moduler: scenariosystemet samt animeringssystemet. Animeringssystemet kan i sin tur brytas ner i två delar: en animeringstillståndsmaskin och en animationsmotor (figur 25).



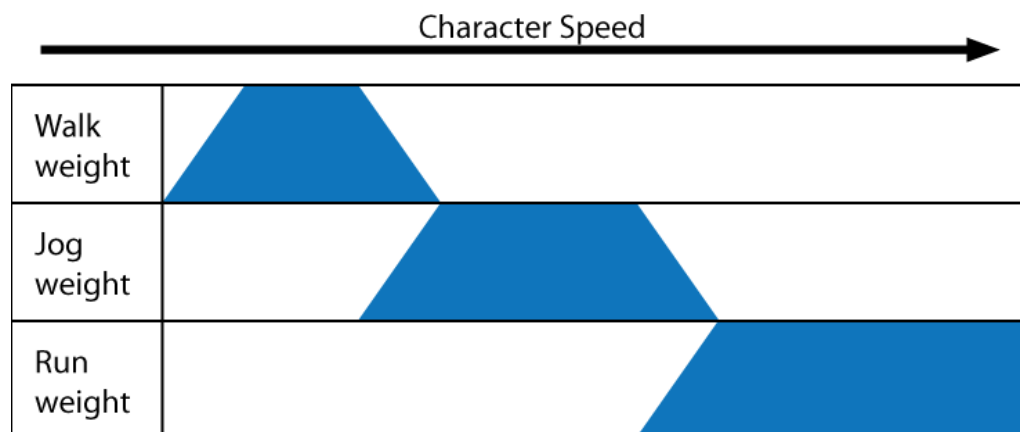
Figur 25. Övergripande modulindelning i HLAS.

Animationsmotorn är den del som hanterar inläsning, uppspelning och rendering av animationer. Då det redan existerar några system som hanterar just detta har denna del abstraherats via ett gränssnitt så att användaren har möjlighet att integrera valfria mjukvara på denna nivå. Implementeringen av detta gränssnitt använder sig av animeringsmotorn Cal3D [11] som lämpar sig väl eftersom det i sig är ett plattforms- och renderingsoberoende system. De renderingsimplementationer som i dagsläget finns till Cal3D är OpenGL [12], OpenSceneGraph [13], Ogre3d [14] och SE-WORKBENCH-EO [9].

En tillståndsmaskin i HLAS hanterar de animationer och förflyttningar en karaktär kan utföra. Tillståndsovergångar utförs då givna övergångsvillkor är uppfyllda. Exempel på ett

sådant villkor kan vara ett kommando från användaren eller att karaktären uppnått en given hastighet. Eftersom endast ett tillstånd kan vara aktivt i en tillståndsmaskin rekommenderas användaren att skapa en tillståndsmaskin för animationer som ska spelas cykliskt och en tillståndsmaskin för animationer som inte ska repeteras, så kallade aktioner. Den cykliska tillståndsmaskinen ansvarar typiskt för olika former av förflyttning t.ex. huruvida karaktären ska krypa eller gå medan tillståndsmaskinen som hanterar aktioner typiskt ansvarar för olika former av gester. På detta sett kan gester spelas samtidigt som de cykliska animationerna. En tillståndsmaskin är konfigurerbar via en XML-fil.

Ett tillstånd kan brytas ner två delar: operatorer och transitioner. En operator är något som påverkar karaktären t.ex. att en animation spelas eller att en förflyttning föreslås. Ett tillstånd kan ha godtyckligt många animationsoperatorer för att på så sätt skapa en önskad rörelse. Detta kallas för procedurell animering, vilket innebär att olika typer av animationer blandas i realtid för att skapa nya rörelser. Denna funktionalitet är mycket användbar då man på ett realistiskt sätt vill kunna stödja förflyttning i godtycklig hastighet alternativt skapa naturliga övergångar mellan olika hastigheter. Figur 26 visar exempel på hur viktningen av animationerna *gå*, *jogga* och *springa* påverkas av karaktärens hastighet. Procedurell animation används också som tidigare beskrivits när en karaktär utför olika typer av gester med överlagrat på en repeterad grundrörelseanimation.

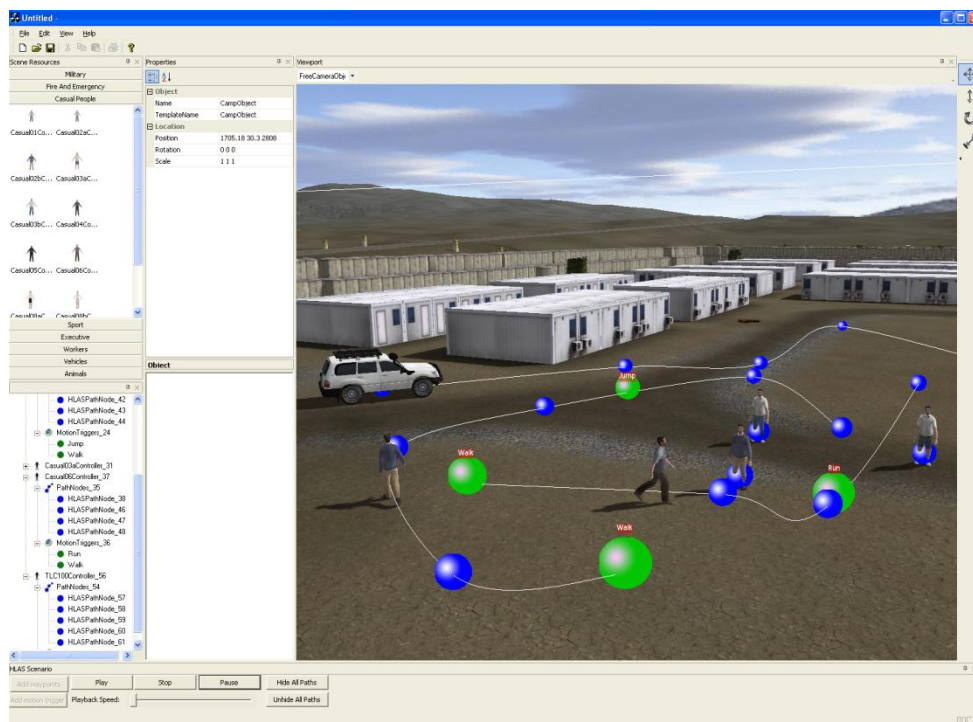


Figur 26. Exempel på hur olika animationer viktas beroende på karaktärens hastighet.

En transition är en möjlig övergång till ett nytt tillstånd. En transition består av olika villkor (conditions) vilka tillsammans avgör om en tillståndsövergång är möjlig. Existerar inga villkor för en transition är detta en ovillkorlig tillståndsövergång. Om flera transitioner är uppfyllda i samma tillstånd är det den först listade övergången som väljs, processordningen är med andra ord sekventiell. Om användaren vill utföra en slumpmässig övergång utförs detta genom att ytterligare möjliga tillstånd listas i samma transition.

Animationerna som används i en tillståndsmaskin kommer vanligtvis från ett s.k. Motion Capture-system, men kan även ha skapats i ett animeringsverktyg som t.ex. Motion Builder eller 3D-Studio Max. Animationerna delas in i två kategorier: cykliska animationer samt aktionsanimationer. En cyklisk animation kan t.ex. vara en gång- eller springrörelse medan en aktionsanimation inte är tänkt att repeteras, t.ex. att karaktären plockar fram ett vapen. Innan ett scenario kan skapas i HLAS måste varje deltagande karaktär ha en fungerande tillståndsmaskin som innehåller de önskade animationerna. Med HLAS följer olika människor, djur och fordon som är förberedda på detta sätt för att kunna användas i ett scenario, men det är fritt för en användare att utöka med nya karaktärer eller modifiera befintliga karaktärer. Antingen kan man skapa ett scenario via HLAS API (Application Programming Interface) eller ladda in ett färdigt scenario från en XML-fil. Därefter kan man via API:et ändra delar i scenariot för att sedan spara ner det till en fil igen.

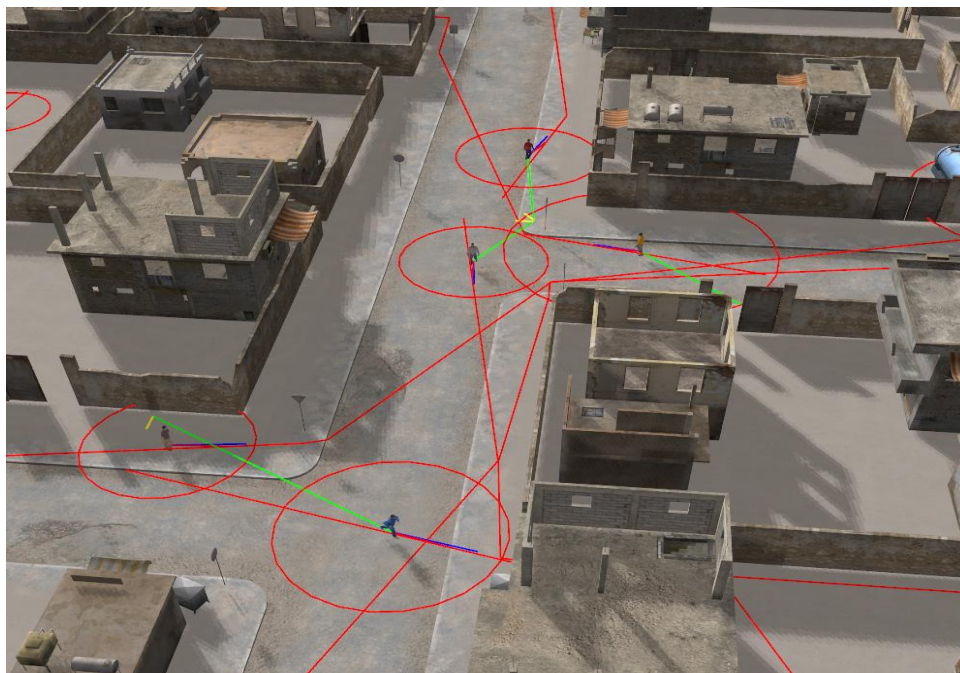
En scenariomodell som finns implementerad i HLAS är brytpunktsnavigering (figur 27). Denna navigering bygger på att användaren först anger ett antal brytpunkter därefter några rörelsekommandon, s.k. *motion triggers*. En motion trigger är aktiv och förblir så under sin livslängd eller tills dessa att en ny motion trigger har passerats. När en motion trigger är aktiv skickas dess kommando till karaktären som sedan tolkas av tillståndsmaskinen som i sin tur föreslår en förflyttning. Brytpunktsnavigeringen utför sedan själva förflyttningen genom att först fråga karaktären vilken hastighet den vill röra sig med och sedan räknar ut den totala tillryggalagda sträckan längs banan och placera karaktären på denna position. Eventuella rotationer som tillståndsmaskinen föreslår tas inte hänsyn till av brytpunktsnavigeringen utan karaktären antas hela tiden vara roterad längs brytpunktsbanans riktning.



Figur 27. Scenario med brytpunktsnavigering.

För att enkelt kunna skapa scenarier har ett scenarioverktyg utvecklats till HLAS. I scenarioverktyget kan användaren placera brytpunkter och motions triggers direkt i den omgivning där scenariot skall utspelas. Användaren har även möjlighet att spela upp, pausa och spola fram scenariot samtidigt som scenariot redigeras.

Då man vill simulera en större grupp av människor blir metoden ovan olämplig eftersom varje karaktär behöver registreras individuellt. För detta ändamål har mer autonoma beteenden tagits fram. Istället för att jobba med individuella karaktärer används då en *grupp-kontroller*. Gruppkontrollen kan ses som en ledare för gruppen som bestämmer vilka individer som ska ingå i gruppen, vilka resurser som är kopplade till gruppen samt vilket beteende gruppen ska använda. Exempel på beteenden kan vara att följa en brytpunktsbana, röra sig slumpmässigt inom ett område eller att förfölja en annan karaktär. Karaktärernas förflyttning simuleras med hjälp av OpenSteer [15]. OpenSteer tillhandahåller enkla styrbeteenden som kan kombineras med viktning och prioritet för att skapa mer avancerade beteenden. Alla styrbeteenden applicerar en kraft på karaktären, dessa krafter prioriteras och viktas sedan för att skapa en kraftresultant som påverkar karaktärens förflyttning. Figur 28 visualiserar styrbeteenden och krafter. Ett exempel på prioritering kan vara att en karaktär i första hand vill undvika att kollidera med terrängobjekt, i andra hand med dynamiska objekt (exempelvis bilar eller andra karaktärer) och i tredje hand röra sig mot en brytpunkt.



Figur 28. Styrbeteenden för kollisionshantering (röd cirkel), vägsökning visualiserade (röda linjer) och resulterad kraft (blått).

För att karaktärerna ska få en omvärldsuppfattning med avseende på var och hur de kan röra sig i terrängen används en s.k. navigationsmesh, vilket visas i figur 29. En navigationsmesh beräknas utifrån vad karaktären har för fysiska förutsättningar såsom längd, radie, steghöjd och maxlutning. Utifrån dessa egenskaper beräknas en navigationsmesh fram som sedan kan användas av karaktären för t.ex. vägsökning. Ett scenario kan därför innehålla flera navigationsmeshar avsedda för olika typer av karaktärer.



Figur 29. Navigationsmesh visualiserat i grönt. Navigationsmeshen beskriver för karaktären var och hur den kan röra sig i terrängen.

Beteenden i HLAS skapas och konfigureras med hjälp av enkla skript som sedan kopplas till en gruppkontroller i scenarioeditorn. Dessa skript är skrivna i programmeringsspråket

Lua [16]. Lua är ett skriptspråk vilket innebär att beteenden kan ändras under scenario-skapandet utan att någon programkod behöver kompilera om. Detta är viktigt då beteenden varierar mellan olika scenarier och därför behöver anpassas i en snabb iterativ process. När man skapar ett Lua-skript-beteende är man i dagsläget dock begränsad till ett urval av grundläggande gruppaktioner, listade nedan.

- *MapSteerAction* - Kollisionshantering med en binär karta.
- *NavMeshAction* - Kollisionshantering med en navigationsmesh.
- *SteerToAvoidNeighborsAction* - Undviker kollision med andra karaktärer.
- *SteerToAvoidObstaclesAction* - Undviker kollision med hinder.
- *WanderAction* - Vandrar planlös.
- *PathFollowAction* - Följer en brytpunktsbana.
- *FlockAction* - Skapar ett typiskt flockbeteende.
- *PursuitAction* - Jagar en annan karaktär.
- *SpeedAction* - Försöker hålla en given hastighet.
- *DefinedFormationAction* - Grupper försöker hålla en given formation.
- *PedestrianAction* - Går till slumpmässig position inom en navigation mesh och använder navigations meshen för att hitta kortastevägen.
- *GoToPositionAction* - Använder navigationsmeshen för först hitta en väg till en given position och sedan följer denna väg/brytpunktsbana.
- *SteerToAvoidExternalAction* - Undviker kollision med externa entiteter så som andra karaktärer eller fordon.

Dessa s.k. *force actions* är implementerade i C++ av prestandaskäl och kombineras sedan i ett Lua-skript för att skapa ett dynamiskt beteende.

Ett exempel kan vara att en grupp till en början följer en brytpunktsbana (*PathFollowAction*), men då någon i gruppen är i närheten av en given entitet växlas beteendet till att jaga denna person (*PursuitAction*). Detta utförs genom att Lua-skriptet bland annat ändrar viktning av ”*force-actions*”.

3.3 Simulering av IR-signaturer av människor

Simulering av IR-signaturen av människor har skett med både verktygen RadTherm-IR och med SE-WORKBENCH. Simuleringarna med RadTherm-IR används vid förenklade simuleringar med SceneServer som är utvecklat av FOI för realtidsvisualiseringar. Simuleringar med SE-Workbench-EO används vid högkvalitativa sensorsimuleringar.

3.3.1 Simulering av IR-signaturer med RadTherm-IR

Beräkning av IR-signaturen på fem människor har genomförts för att möjliggöra sensor-simuleringar (figur 30). De fem människomodellerna har delats upp i tio olika delar. Materialegenskaperna för klädesplaggen har antagits till rimliga värden då vi för tillfället inte har tillgång till en materialdatabas för olika kläder.



Figur 30. Fem modeller av personer som har använts vid beräkning av IR-signaturer.

I figur 31 visas modellering av människa enligt en förenklad ansats där innetemperaturen är låst till 37° C med en hög värmeövergångskoefficient. Modellen är solbelyst från ena sidan och den har olika tjocka luftlager mellan kropp och kläder.

En skillnad vid simulering av signaturer från människor är att den termiska historiken inte är lika viktig som vid simulering av signaturer på stridsfordon eller fartyg. Ett kortare tidsintervall är dock lämpligt för att eventuell påverkan av soluppvärmning ska bli korrekt. Ett tidsintervall på tio minuter är troligen rimligt där personen kan ges en tidsupplöst beskrivning i olika gångriktningar.



Figur 31. Modellering av människa med en förenklad ansats där innetemperaturen är låst till 37° C.

Resultaten från människomodelleringen kan i framtiden förbättras genom att använda RadTherm-modulen "Human Comfort Module". Denna innehåller bland annat en materialdatabas för olika kläder samt en fysikalisk koppling till blodomlopp och svettning m.m. Man kan då modellera människorna inuti t.ex. ett fordon eller inne i ett hus för att se hur personen upplever komforten med avseende på temperaturen. T.ex. kan effekten av air-condition eller olika färger eller ytbeläggning på glas modelleras i kombination med att en människa finns i fordonet eller byggnaden.

3.3.2 Simulering av IR-signaturer med SE-WORKBENCH-EO

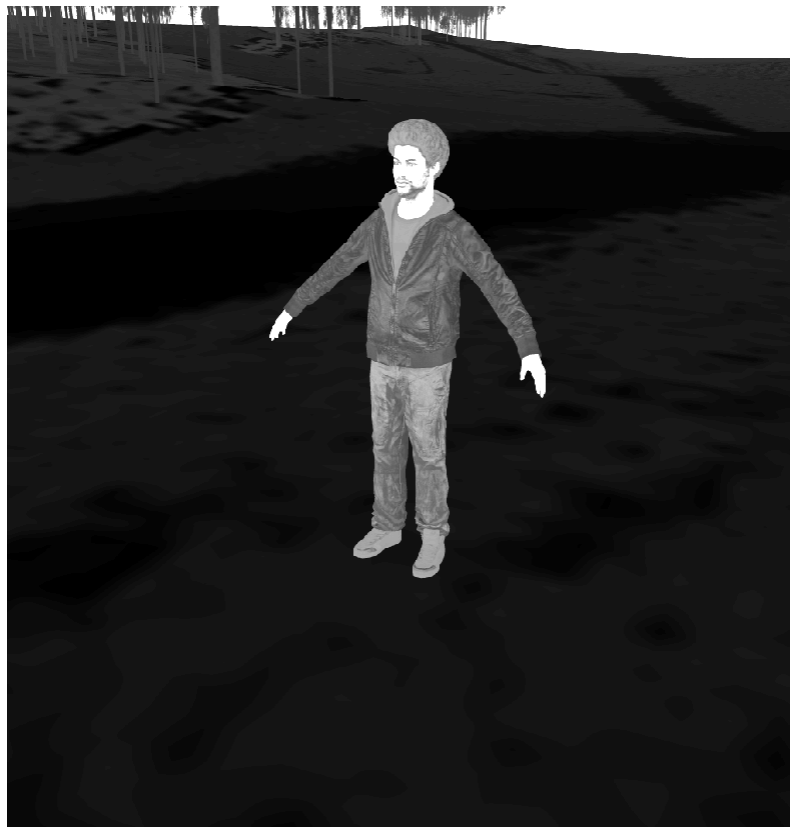
SE-WORKBENCH-EO används för noggrann simulering av optiska sensorer i olika våglängdsband. Olika atmosfär/väder, temperaturer och materialegenskaper kan simuleras i större scener bestående av en materialklassad omvärld och fordon. För att även kunna simulera animerade människor, djur och folksamlingar så har HLAS integrerats i SE-WORKBENCH-EO. Tack vare att HLAS är plattform- och renderingsberoende (se avsnitt 3.2.2 på sidan 23) kan samma scenario som används till de övriga renderarna även användas till HLAS i SE-WORKBENCH-EO.

Modellen till HLAS i SE-WORKBENCH-EO är samma som övriga renderarna, men med en tillhörande materialfil som definierar vilken färg på karaktären som motsvarar vilket material. Filen skapas med de verktyg som normalt används för att materialklassificering för SE-WORKBENCH-EO, se figur 33 och figur 34. För att förenkla arbetet med materialsättning har en materialdatabas tagits fram för några vanliga material: naken hud med en temperatur och klädmateriäl i olika lager av grundmaterial samt en innertemperatur. Med hjälp av materiallagren kan sedan SE-WORKBENCH-EO räkna ut vilken yttemperatur som materialen har baserat på atmosfär samt väder för simuleringsscenarioet.

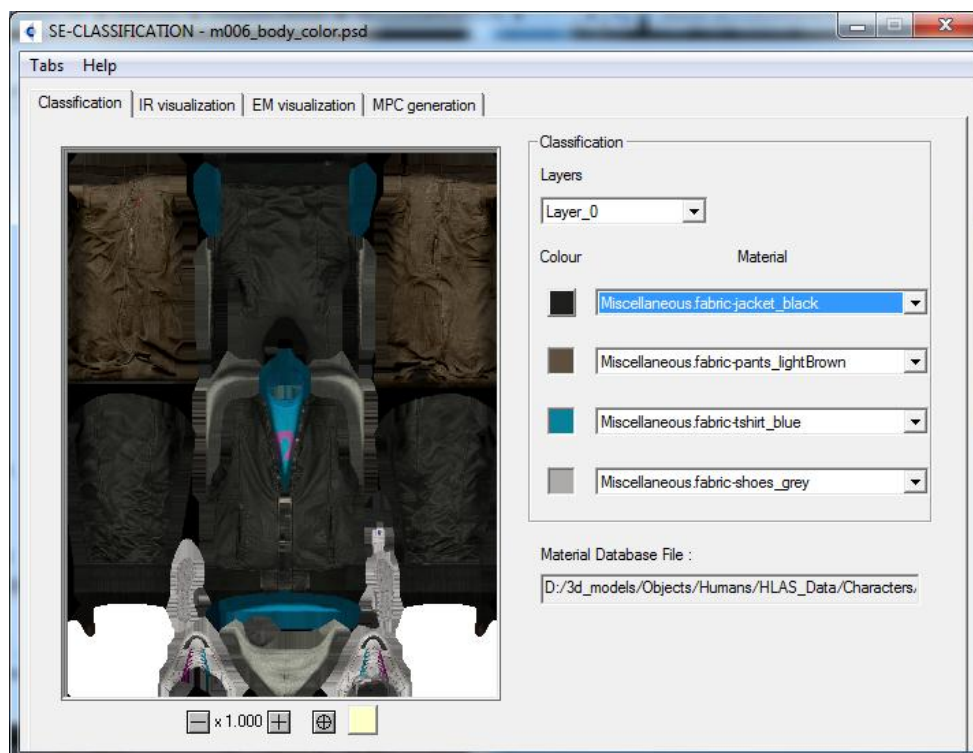
De material som har tagits fram för klassificering av människor är följande:

- Hud med temperaturerna 28°C, 32°C samt 28°C i skugga
- Nylonjacka i svart
 - Innertemperatur: 33°C
 - 0.1 mm nylon
 - 10 mm ull
 - 0.1 mm nylon
- Bomullsbyxa i beige
 - Innertemperatur: 33°C
 - 0.42 mm 35 % bomull
- Bomullströja i blått
 - Innertemperatur: 33°C
 - 0.53 mm 100% bomull
- Gympaskor i vitt
 - Innertemperatur: 33°C
 - 1 mm 100 % bomull denim

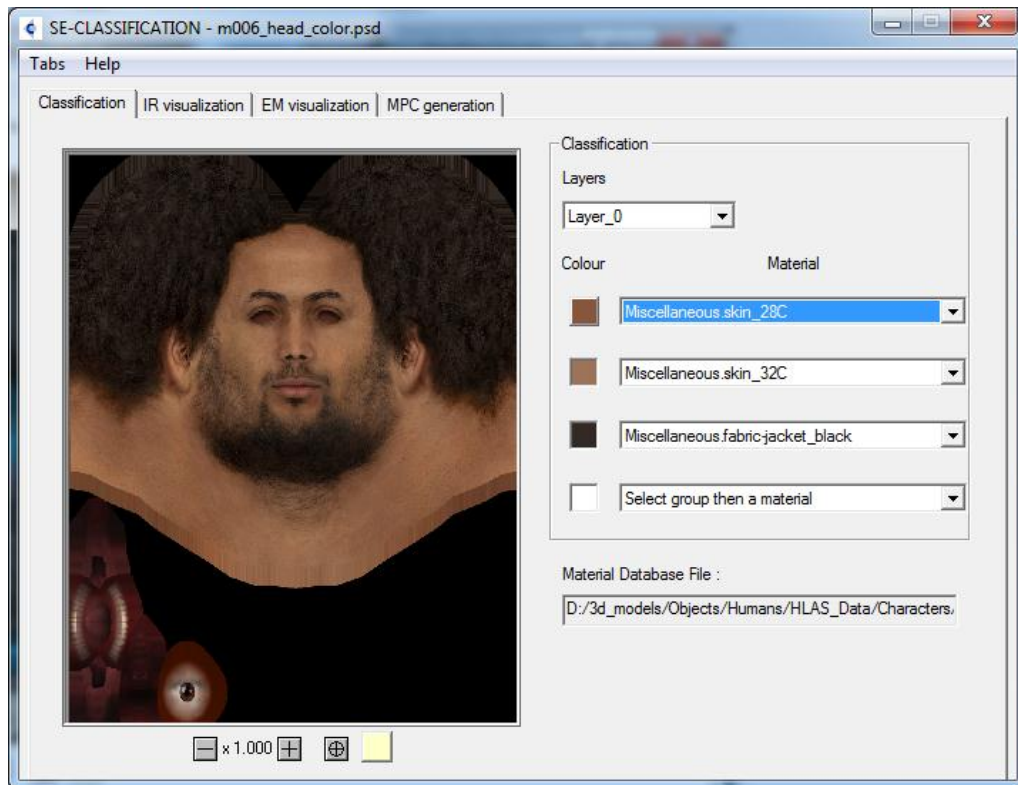
Se figur 32 för exempel på simulerad människa i LWIR-bandet med materialen ovan.



Figur 32. Exempel på människa simulerad i LWIR i SE-WORKBENCH-EO.



Figur 33. Materialklassificering av kläder för SE-WORKBENCH-EO.



Figur 34. Materialklassificering av hud för SE-WORKBENCH-EO.

4 Fortsatt arbete

Terrängmodeller och målbibliotek i MSSLab har redan idag mycket bra funktionalitet, men simuleringsmiljön kan förbättras på många olika sätt då den snabba teknikutvecklingen inom simuleringsområdet hela tiden möjliggör ny funktionalitet.

Tillgängliga omvärldsmodeller har god kvalitet vid simulering av luft-till-mark-scenarier. Vid simulering av mark-till-mark-scenarier är upplösningen idag för dålig i både Kvarn- och Norrköpingsmodellen. Arbete har påbörjats med en högupplöst Kvarnmodell, men arbete med materialklassning av denna modell bör ske. Undervegetation saknas i nuvarande modeller och detta är viktigt om man vill studera scenarier där målobjekten finns i en skog.

Målbiblioteket innehåller många objekt som är viktiga för högkvalitativa simuleringar i olika scenarier. För att få modellerna av människor att röra sig på ett taktiskt sätt krävs det idag mycket arbete eftersom man behöver styra varje enskild person. Att enklare kunna styra grupper av soldater vore önskvärt. En materialdatabas för olika kläder bör tas fram.

Ett mycket viktigt arbete är att validera de olika simuleringsmodellerna. För att få noggranna simuleringar av sensordata krävs att både terrängmodeller, materialklassificering, scensimulering och sensormodeller är validerade. Ett omfattande arbete behövs för att validera alla simuleringsmodeller. Validering kommer i huvudsak att ske med mätningar, men även med teoretiska beräkningar.

5 Referenser

- [1] Internet: <http://en.wikipedia.org/wiki/ARGUS-IS>, besökt 2013-07-01.
- [2] Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Gorgon_Stare, besökt 2013-07-01.
- [3] Stenumgaard P., Junholm L., "GENESIS - A tool for intersystem-interference analyses on camps", FOI-S--3105--SE, Linköping, 2009.
- [4] Internet: <http://www.bionatics.com/Site/product/realnatpremium.php>, besökt 2013-05-17.
- [5] Payero J. O., Neale C. M. U., Wright J. L., "Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass", Applied Engineering in Agriculture, Vol. 20(3): 385–393, 2004.
- [6] Tso B. and Mather P. M., "Classification Methods for Remotely Sensed Data" London: Taylor & Francis, 2001.
- [7] Kruse F. A., Lefkoff A. B., Boardman J. B., Heidebrecht K. B., Shapiro A. T., Barloon P. J. and Goetz A. F. H., "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data." Remote Sensing of the Environment, v. 44, pp. 145-163, 1993.
- [8] Vapnik V. N., "The Nature of Statistical Learning Theory". Springer, 1995.
- [9] Internet: <http://www.oktal-se.fr/>, besökt 2013-05-17.
- [10] Internet: www.rocketbox-libraries.com, besökt 2012-06-07.
- [11] Internet: <http://home.gna.org/cal3d>, besökt 2013-05-17.
- [12] Internet: <http://www.opengl.org>, besökt 2013-05-17.
- [13] Internet: <http://trac.openscenegraph.org/projects/osg/>, besökt 2013-05-17.
- [14] Internet: <http://www.ogre3d.org/>, besökt 2013-03-17.
- [15] Internet: <http://opensteer.sourceforge.net/>, besökt 2013-07-01.
- [16] Internet: <http://www.lua.org/>, besökt 2013-07-01.

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
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se