

FREDRIK NÄSSTRÖM, JONAS ALLVAR,
JIMMY BERGGREN, LEIF CARLSSON,
TOMAS CHEVALIER, GUSTAV HAAPALAHTI,
HANS HABBERSTAD, JOHAN HEDSTRÖM,
FREDRIK HEMSTRÖM, MIKAEL KARLSSON,
NILS KARLSSON, ANDREAS PERSSON,
JOAKIM RYDELL, PER SKOGLAR,
KARL-GÖRAN STENBORG, GUSTAV TOLT



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.

Fredrik Näsström, Jonas Allvar,
Jimmy Berggren, Leif Carlsson,
Tomas Chevalier, Gustav Haapalahti,
Hans Habberstad, Johan Hedström,
Fredrik Hemström, Mikael Karlsson,
Nils Karlsson, Andreas Persson,
Joakim Rydell, Per Skoglar,
Karl-Göran Stenborg, Gustav Tolt

Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering

Slutrapport

Titel	Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering – Slutrapport
Title	Simulation based sensor system assessment – Final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--3118--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	64 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2010
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E3097
Godkänd av/Approved by	Magnus Jändel

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

Projektet SIMSENS (Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering) har i uppgift att utveckla en gemensam simuleringsmiljö för värdering av sensorsystem i olika miljöer, väderförhållanden och tidpunkter. Simuleringsverktyget som vidareutvecklas för detta är MSSLab (MultiSensorSimuleringsLab). I SIMSENS-projektet har olika simuleringsmodeller för terräng, objekt och sensorer utvecklats för att göra detta möjligt. I denna rapport beskrivs simuleringsmiljön som utvecklats under åren 2008-2010.

För att kunna göra noggranna simuleringar av sensorsystem i olika miljöer krävs terrängmodeller med hög kvalitet. I MSSLab kan sensorsystem nu simuleras i terrängmodellerna: Kvarn, Norrköping och Afghanistan. Ett mycket viktigt arbete har varit att ta fram en automatisk metodik för materialklassificering av terrängmodeller. Den framtagna metodiken använder hyperspektrala data för materialklassificering. En Afghanistanmodell har tagits fram för att möjliggöra simulering av sensorer i en internationell miljö. Denna modell innehåller bland annat en typisk stadsmiljö och en militär-camp.

Det även mycket viktigt att objektmodellerna i en simulering är av hög kvalitet. Ett 3D-modellbibliotek med olika objekt och människor har vidareutvecklats för detta. För att göra det möjligt att simulera sensordata med animerade människor har HLAS (High Level Animation System) tagits fram inom projektet. I detta ramverk är det nu enkelt att lägga till olika beteenden för de animerade människorna.

Ett omfattande arbete har varit att vidareutveckla och integrera olika sensormodeller till MSSLab. Sensormodeller för akustik, IR, laser och radar har vidareutvecklats inom projektet. Ett scenario har simulerats med de nya simuleringsmodellerna för att studera sensorprestanda ur ett systemperspektiv i en urban miljö. Scenariot som har studerats består av tre UAV-system som är utrustade med sensorerna IR, 3D-laser respektive en visuell sensor. Ljudutbredningen från ett UAV-system har även simulerats, för att studera det akustiska upptäcktsavståndet. Prestanda för detektion, målföljning, återigenkänning, ruttplanering och sensorstyrning har studerats för detta scenario.

Nyckelord: simulering, modellering, värdering, akustik, IR, laser, radar

Summary

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). In the SIMSENS' project various simulation models for terrain, objects and sensor, have been improved to make this possible. This report describes the simulation program that has developed in the project during 2008-2010.

In order to perform accurate simulation of sensor systems in various environments high quality models of the terrain are required. In MSSLab sensor systems can now be simulated in the terrain models: Kvarn, Norrköping and Afghanistan. A very important work has been to develop an automated methodology for automatic material classification of terrain models. The developed methodology is using hyperspectral data for material classification. An Afghanistan model has been developed to enable simulation of sensors in an international environment. This model includes a typical urban environment and a military camp.

In a sensor simulation it is also very important that the models of the objects are of high quality. A 3D model library of various objects and people has therefore been further developed. To make it possible to simulate sensor data with animated persons, HLAS (High Level Animation System) has been developed in the project. In this framework, it is now easy to add different behaviors of the animated people.

Extensive work has been done to further develop and integrate the various sensor models to MSSLab. Sensor models for acoustic, infrared, laser and radar systems have been further developed within the project. A scenario has been simulated with the new simulation models to study the sensor performance on a system level in an urban environment. The scenario that was studied consists of three UAV systems that are equipped with an infrared sensor, a 3D laser and a visual sensor respectively. Sound propagation from a UAV system has also been simulated, in order to study the acoustic detection distance. Performance for detection, tracking, reidentification and sensor control has been studied for this scenario.

Keywords: simulation, modeling, assessment, acoustics, IR, laser, radar

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Projektets leveranser	8
2	Terrängmodeller	10
2.1	Norrköpingsmodellen	10
2.2	Kvarnmodellen	11
2.3	Afghanistanmodellen	13
2.4	Metodik för materialklassificering.....	15
2.4.1	Förbehandling av data	15
2.4.2	Klassificering	17
2.4.3	Anpassning av klassificeringsresultat till simulering.....	18
3	Objektmodeller och animering av människor	20
3.1	Objektmodeller med visuell textur.....	20
3.2	Beräkning av IR-signaturer	21
3.2.1	Helikoptermodellering	21
3.2.2	Människomodellering	22
3.2.3	Fordonsmodellering	23
3.3	Animering av människor	23
4	Simulering av sensorsystem	29
4.1	Akustik.....	29
4.2	IR.....	31
4.3	Laser	33
4.4	Radar	36
5	Resultat från värdering av sensorsystem i urban miljö	40
5.1	Scenario	40
5.2	Visuellt.....	41
5.2.1	Detektion	43
5.2.2	Målföljning	45
5.2.3	Återigenkänning	48
5.2.4	Ruttplanering och sensorstyrning	51
5.3	Laser	54
5.4	IR.....	57
5.5	Akustik.....	58

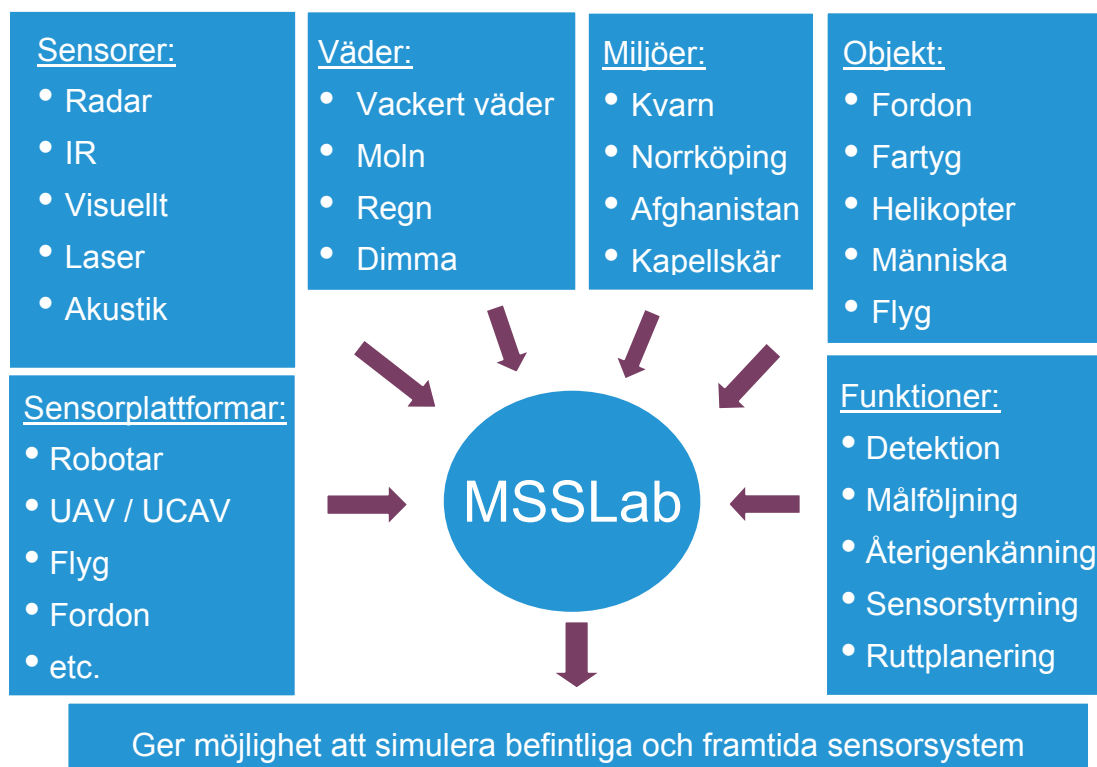
6	Diskussion	60
6.1	Nyttiggörande	60
6.2	Fortsatt arbete	60
7	Referenser	62

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 sensorprestanda för många internationella och framtida sensorsystem, och 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 kännedom 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 gemensam 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 är MSSLab (MultiSensor-SimuleringsLab). 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. Avancerade algoritmer för objekt-detektion, följning, återigenkänning, sensorstyrning och ruttplanering håller även på att integreras 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.
- Ljushöjdhållanden: 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)

1.1 Projektets leveranser

Inom projektet har flera publikationer tagits fram under 2008-2010, vilket visas i sammanställningen nedan. Projektet har även presenterats och demonstrerats vid många tillfällen för både FM och FMV.

F. Näsström, L. Carlsson, R. Forsgren, T. Chevalier, O. Gustafsson, N. Karlsson, A. Sume, "Integration av atmosfärsmoeller i MSSLab", FOI-R--2521--SE, juni 2008.

F. Näsström, M. Karlsson, L. Carlsson, T. Chevalier, P. Follo, J. Hedström, N. Karlsson, A. Persson, A. Sume, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering", FOI-R--2629--SE, december 2008.

F. Näsström, G. Haapalahti, J. Hedström, M. Karlsson, N. Karlsson, "Generering av sensorriktiga omvärldsmoeller för nationella och internationella miljöer", FOI Memo 2820, juni 2009.

M. Karlsson, F. Näsström and G. Haapalahti, "Building a modular multi-sensor simulation framework using COTS software and HLA" The 18th IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, 7-9 september 2009.

F. Näsström, J. Gustavsson, G. Haapalahti, J. Hedström, F. Hemström, M. Karlsson, M. Lundberg, J. Nilsson, J. Nygåards, A. Persson, J. Rydell, P. Skoglar, K-G Stenborg, K. Åberg, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering - Årsrapport 2009", FOI-R--2890--SE, december 2009.

F. Näsström, L. Carlsson, T. Chevalier, J. Karlholm, T. Svensson, "Metodik för teknisk värdering av sensorsystem med MSSLab", FOI-R--3004--SE, juni 2010.

M. Karlsson, "Förutsättningar för implementering av detektionsmetod i Gripen NG", FOI Memo 3299, september 2010.

F. Näsström, "Redovisning av milstolpe kvartal 4 2010 för projekt Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering, FoT nr 922:04.10", FOI Memo 3365, december 2010.

F. Näsström, J. Allvar, J. Berggren, T. Chevalier, G. Haapalahti, J. Hedström, H. Habberstad, F. Hemström, M. Karlsson, A. Persson, J. Rydell, P. Skoglar, K-G Stenborg, G. Tolt, "Simuleringsbaserade metoder för sensorvärdering – Slutrapport" FOI-R--3118--SE, december 2010.

Projektet SIMSENS har inom vissa områden samarbetat med andra projekt:

- Signalbehandlingsalgoritmer för detektion, målföljning, återigenkänning, sensorstyrning och ruttplanering som har tagits fram inom projektet Autonom spaning(ASP) och integrerats i samverkan med ASP, ARCUS och Autonoma funktioner.
- Vidareutvecklat av SceneServer för att få realistiska visuella simuleringar med bra ljussättning och skuggor har skett i samarbete med ASP.
- Vidareutveckling och integrering av laserfederaten till MSSLab har skett i samarbete med projekten 3D-laserprojektet och SE-MARK.
- IR-modellering av HKP10 har skett i samarbete med projekten Signaturmodellering och SE-MARK.
- En flygmodell för ett UAV-system har levererats av FoT-projektet Flexibla vapen och skydd.

2 Terrängmodeller

För att göra det möjligt att simulera sensorsystem i olika miljöer har arbete pågått att förbättra olika terrängmodeller. Terrängmodeller som nu kan användas för simulering är: Norrköping, Kvarn, och Afghanistan. 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. Afghanistanmodellen är en geotypisk modell och denna modell är bra då man vill studera generella frågeställningar.

2.1 Norrköpingsmodellen

Vid framtagningen av Norrköpingsmodellen har data använts 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 upplösning i 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 kilometer över centrala Norrköping och markytan har en texturupplösning på 0,2 meter. I figur 2 visas en del av Norrköpingsmodellen och i figur 3 en detalj bild.



Figur 2. Del av Norrköpingsmodellen.

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



Figur 3. Detaljbild på Norrköpingsmodellen.

Det finns även en materialklassad modell som används vid sensorsimulering av IR- och radarsensorer, se avsnitt 2.4.3.

2.2 Kvarnmodellen

Kvarnmodellen representerar en modell av Prästtomta skjutfält vid Kvarn som ligger ca 3 mil nordväst om Linköping. Detta område har mätts upp med ett flygburet lasersystem och från dessa data har omgivningsmodellen skapats. 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 med 50 meter mellan höjdvärdena.



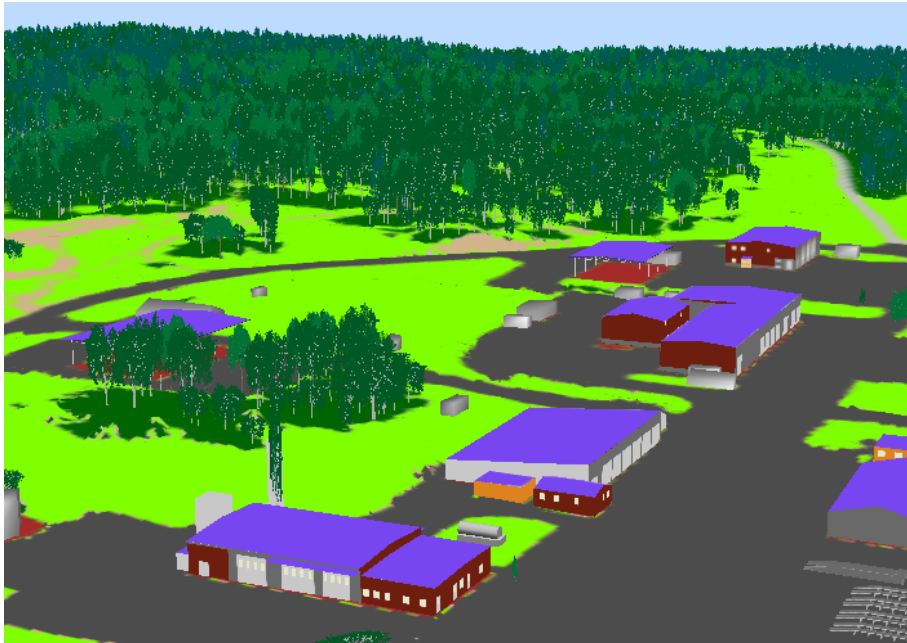
Figur 4. Bilden visar en del av Kvarnmodellen med uppmätt visuell textur.

Högupplöst visuella data och IR-data finns även insamlat 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 4 och figur 5.



Figur 5. 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. Omvärldsmodellen som visas i figur 6 är klassificerad med följande material; gräs, väg, undervegetation, lera, berg och vatten. De tre omgivningsmodellerna är alla geografiskt och geometriskt korrelerade.



Figur 6. Bilden visar en del av Kvarnmodellen med materialklassad textur. Färgerna i bilden motsvarar material / terrängtyp.

För varje träd i det uppmätta området har information om position, höjd, vidd och trädslag extraherats. 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.

2.3 Afghanistanmodellen

Afghanistanmodellen som visas i figur 7 är en geotypisk terrängmodell. Den består till största delen av öken, men den innehåller även en typisk stadsmiljö för ett område i Afghanistan samt en militär camp. Den uppbyggda stadsmiljön är baserade på en inköpt modell av en Afghanistan-liknande stad, men har sedan arbetats om för att fungera som egna moduler som går att placera ut godtyckligt.



Figur 7. Afghanistanmodellen består bland annat av en typisk stadsmiljö för ett område i Afghanistan.

Den militära campen har tagits fram i projektet "Nytt Telekonfliktverktyg" [1] och kallas Camp GENESIS. Inspirationskälla för denna Camp har varit den svenska Campen i Maszar-e-Sharif. Modellen är fiktiv, men byggnader och annan geometri är inspirerad av bilder från den verkliga platsen, se figur 8.



Figur 8. Camp GENESIS.

I Afghanistanmodellen 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. Ingen vegetation har byggts in i modellen eftersom behovet ännu inte har funnits.

Både höjd- och rasterdata är framtaget på syntetisk väg. Storleken på omvärldsmodellen är 5×5 km och höjddata har en upplösning på 0.1 punkter/m.

Rasterdata har en relativt låg upplösning på 0.2 pixlar/m och för att väga upp detta har olika detaljtexturer applicerats med avseende på terrängtyp.

2.4 Metodik för materialklassificering

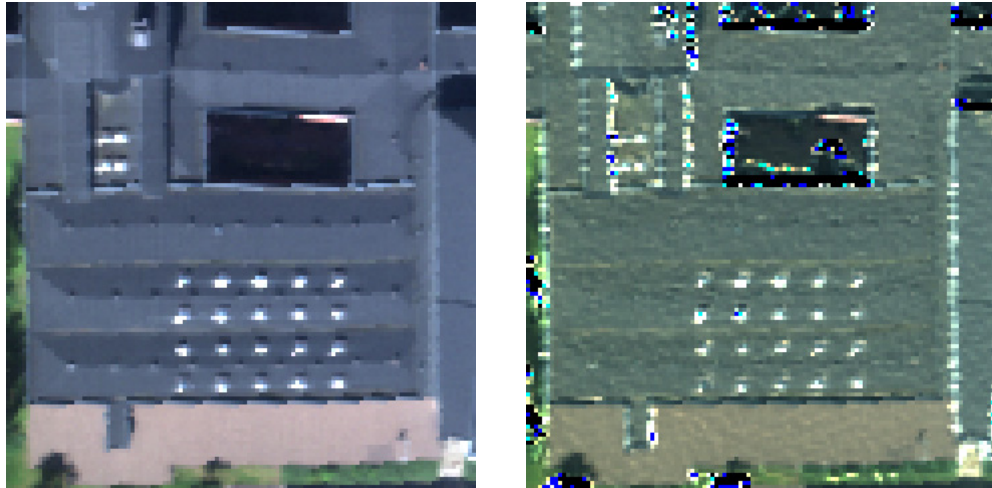
För att kunna simulera realistiska sensordata krävs, förutom geometrin, ofta information om vilket eller vilka material olika områden i scenen består av. Spektral information från en vanlig RGB-kamera duger visserligen ofta för att en terrängmodell ska ”se bra ut”, men för fysikaliskt grundad simulering krävs information om de olika objekts 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 som saknas är en metod att för 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 beaktas också.

En försvårande omständighet är att intensitetsvärdena ofta varierar mycket mellan olika områden i scenen och inte bara som effekt av de olika materialens egenskaper – då vore problemet relativt enkelt – utan till stor del även pga att många yttre faktorer påverkar de uppmätta värdena, t ex solljusets spektrum, solens position relativt den belysta ytan, molnighet, skuggningsgrad, atmosfärsdämpning, kamerainställningar, etc.

Inom projektet har inledande arbete med framtagande av en materialklassificeringsmetodik bedrivits under 2010. Arbetet har i huvudsak berört 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 9 visar ett exempel på detta.



Figur 9. 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 lämpligen 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) [2] 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

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

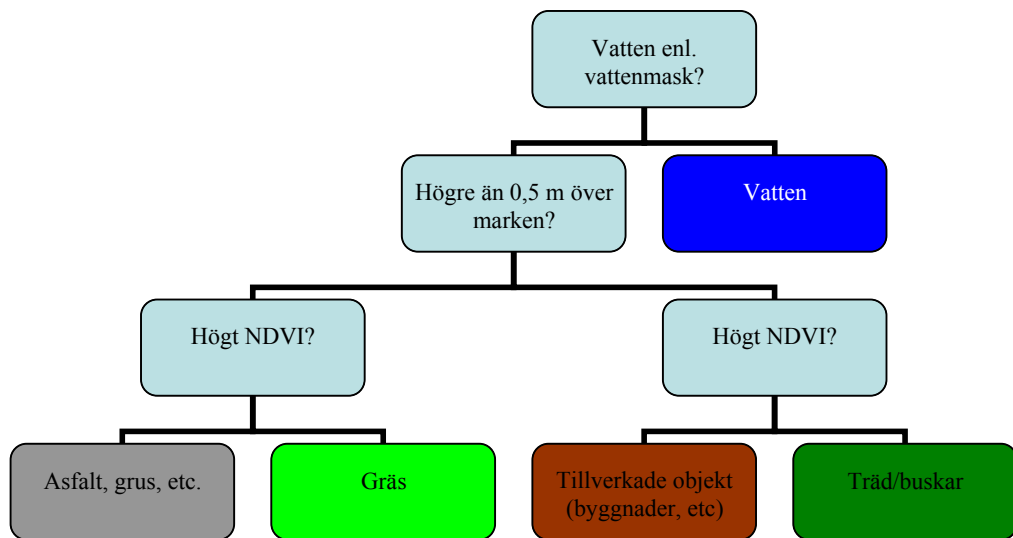
där NIR och R är de uppmätta värden i när-IR-området respektive det röda området. Vegetation motsvarar ofta NDVI-värden nära ett. NDVI förutsätter alltså att det finns data i NIR-området och går med andra ord inte att applicera på en bild tagen med en vanlig kamera som opererar i det visuella området. Se exempel i figur 10. Normeringen (nämnaren NIR+R) gör att NDVI ofta möjliggör detektion av vegetation i skuggområden, t.ex. gräsmattor skuggade av byggnader eller träd.



Figur 10. Vänster: RGB-bild. Höger: NDVI för motsvarande område.

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 [3], Spectral Angle Mapping [4] och Support Vector Machines [5]. 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 sant 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 11 visar en klassificerare för att detektera gräs, ”inte gräs”, träd/buskar och tillverkade objekt. Dessutom används en redan existerande vattenmask för att avgöra vilka pixlar som ska anses vara vatten, något som kan vara svårt utifrån endast bilddata – vatten och mörka skuggområden uppvisar ofta liknande, blåtonade spektra.



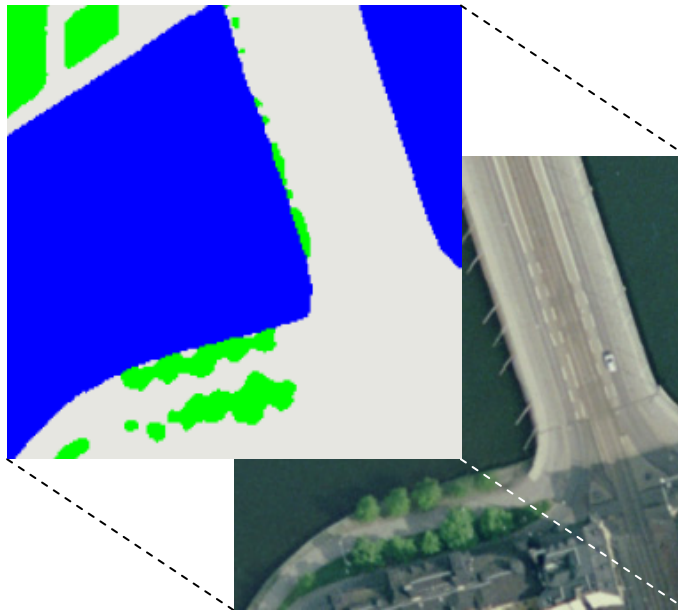
Figur 11. Beslutsträd.

Under 2010 har fokus varit 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 materialkodade texturer för att parameterisera olika material. Materialtexturer brukar skapas genom klassificering av visuella texturer. Den process som används i t.ex. SE-Workbench [17] innebär att färger i en textur delas upp i olika lager för att hantera fall där samma färgvärde råkar representera olika material.

Med hjälp av klassificeringen av markpixlar som beskrivs i avsnitt 2.4.2 så har den processen automatiseras. Ett egenutvecklat program använder de klassificerade pixlarna för att dela upp marktexturen i lager för att sedan beräkna materialtexturen baserat på marktexturens RGB-värden. Se figur 12 för exempel på en sådan uppdelning.



Figur 12. Uppdelning av marktextur i lager baserat på resultat av klassificering av markpixlar.

3 Objektmodeller och animering av människor

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 används för att beräkna realistiska signaturer i olika scenarier.

3.1 Objektmodeller med visuell textur

För scenariot som användes under året behövdes många olika objektmodeller. Några av de tillgängliga modellerna visas i figur 7, [6]. Arbetet med dessa modeller har i huvudsak bestått i att manuellt skala om dessa modeller och se till så att deras koordinatsystem är korrekt orienterat.



Figur 13. Exempel på några tillgängliga objektmodeller med visuell textur.

3.2 Beräkning av IR-signaturer

I projektet har arbete bedrivits för att vidareutveckla ett 3D-modellbibliotek med olika objekt och människor, som sedan kan används för att beräkna realistiska signaturer i olika scenarier.

3.2.1 Helikoptermodellering

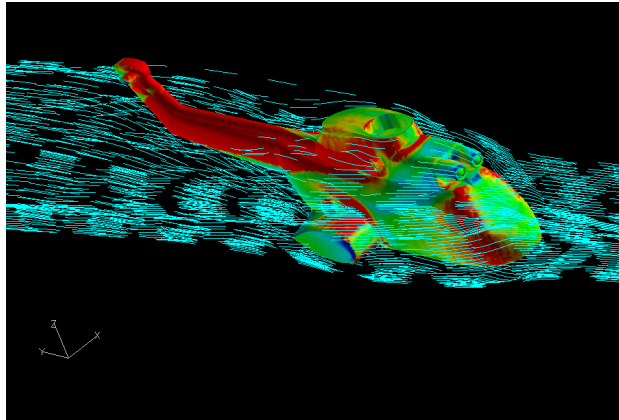
Ett modelleringsarbete av helikopter 10 (Super Puma) har utförts. Med denna modell har en strömningsberäkning i CFD++ genomförts, då helikoptern har flugit med en konstant hastighet av 120 knop. Strömningsberäkningen gjordes med en rotormodell för att få korrekt nedåtriktad kraft (downforce) från rotorn på avgasströmmen i kombination med att den samtidigt färdas framåt i 120 knop.

I bilden till vänster i figur 14 visas en strömningsberäkningsbild av helikopter 10, vilken är genererad med SE-RAY-IR. I denna bild syns plymen, men de konvektiva effekterna och skrovsignaturen har inte tagits med.

Den högra bilden i figur 14 är beräknad med RadThermIR, med importerade konvektionskoefficienter samt fluidfilmstemperaturer från CFD++. De konvektiva effekterna på bommen samt effekten av inre värmekällor visas, men beskrivning av plymen finns inte med här. För att få med alla signaturbidrag fysikaliskt korrekt måste alla programvarorna kopplas till varandra (CFD++ $\Rightarrow$ RadThermIR $\Rightarrow$ SE-RAY-IR $\Leftarrow$ CFD++).



Figur 14. Hkp 10 modellerat med SE-RAY-IR respektive RadThermIR. Dessa signaturbidrag måste kombineras för att alla signaturbidrag ska fås med, se text ovan.



Figur 15. En stor mängd data från strömningsberäkningen av hkp 10 finns och detta kan även användas för att beräkna andra driftsfall.

3.2.2 Människomodellering

En förenklad modellering av signaturen från två olika människor har genomförts, vilket visas i figur 16. Vid denna modellering har kroppens innetemperatur låsts till 37° C med en hög värmeövergångskoefficient. Människomodellerna är uppdelade i tio olika delar. Materialegenskaperna för klädesplaggen har i denna simulering antagits till rimliga värden då vi för tillfället inte har tillgång till en materialdatabas för olika 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.

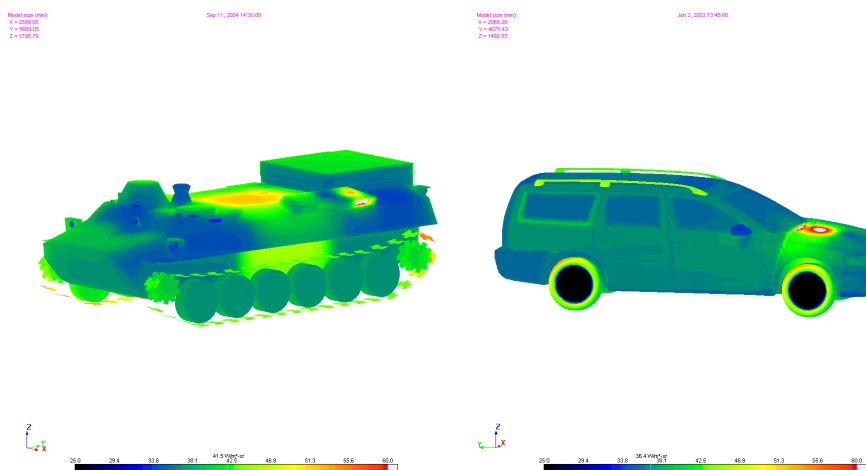
Resultaten från människomodelleringen kan i framtiden förbättras genom att använda RadTherm-modulen "human comfort module". Denna innehåller bland annat en materialdatabas för olika kläder samt en fysikalisk koppling till blodomlopp och svettning m.m. Man kan då modellera människorna inuti t.ex. ett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



Figur 16. Modellering av människa med en förenklad ansats där innertemperaturen är låst till 37° C. Modellen är solbelyst från ena sidan och den har olika tjocka luftlager mellan kropp och kläder.

3.2.3 Fordonsmodellering

Uppdaterade beräkningar för fyra olika typer av fordon med inre värmekällor har beräknats under 2010. Dessa är beräknade för fyra olika kardinalriktningar. Två exempel av dessa visas i figur 17, vilket är MTLB (Pbv 401) samt Volvo V70. I alla fyra fallen har transienta dygnsimuleringar beräknats.



Figur 17. Beräknade IR-signaturer på MTLB och Volvo V70.

3.3 Animering av människor

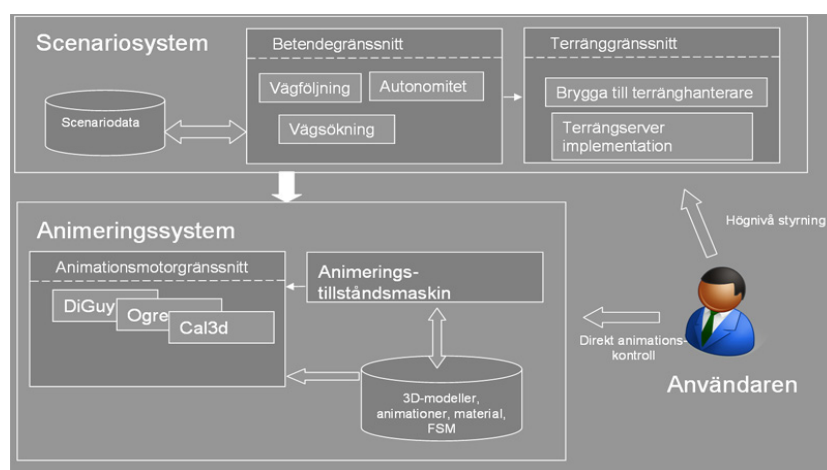
Simulering av sensordata med animerade människor är en verksamhet som påbörjades 2008. För att göra detta möjligt har HLAS, High Level Animation System, tagits fram inom SIMSENS-projektet. Med HLAS underlättas integrationen av animerade sekvenser för olika typer av simuleringsramverk. För att skapa och 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 använ-

dare 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 vilka animationer som ska spelas. I figur 18 visas några modeller som använts för animering av människor. Dessa är inköpta från [6].



Figur 18. Modeller som används vid animering av människor.

Grundtanken med designen av HLAS är att skapa ett plattforms- och renderingsberoende 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 tillståndsmaskinmodul och en animationsmotormodul, vilket visas i figur 19.



Figur 19. Övergripande modulindelning.

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 valfri mjukvara på denna nivå. Referensimplementeringen av detta gränssnitt använder sig av animeringsmotorn Cal3D [7]. Eftersom Cal3D i sig är ett plattforms- och renderingsoberoende system lämpar det sig väl som referensimplementering. De renderingsimplementationer som i dagsläget finns till Cal3d är OpenGL [8], OpenSceneGraph [9] och Ogre3d [4].

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. Då endast ett tillstånd kan vara aktivt vid samma tillfälle rekommenderas användaren att skapa separata tillståndsmaskiner för olika delar av karaktären. På detta sätt kan antalet tillstånd hållas ner till en hanterbar mängd. En tillståndsmaskin är konfigurerbar via en xml-fil.

För att få en flexibel tillståndsmaskin har ett tillstånd brutits ner i två delar, operators och transitions. 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. Animationerna kommer vanligtvis från ett motion capture system, men kan även vara skapad i ett animeringsverktyg som t.ex. Motion Builder eller 3D-Studio Max.

En transition är en möjlig övergång till ett nytt tillstånd. En transition består av olika conditions vilka tillsammans avgör om en tillståndsovergång är möjlig. Existerar inga conditions för en transition är det en ovillkorlig tillståndsovergång. Om flera transitions är uppfyllda i samma tillstånd är det den först listade övergång 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.

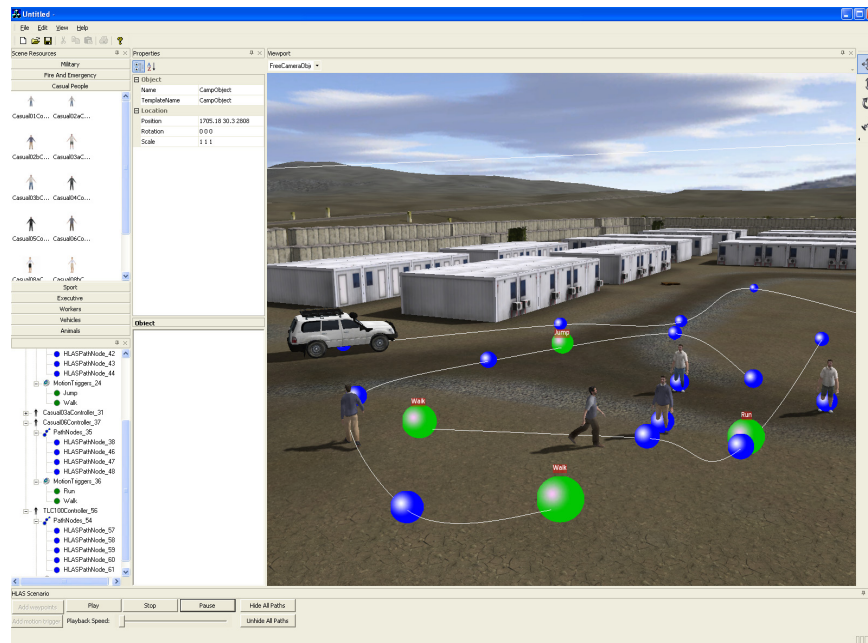
Innan ett scenario kan skapas i HLAS måste varje deltagande karaktär ha en fungerande tillståndsmaskin som uppfyller önskade förflyttningar och rörelser. Med HLAS följer ett 25-tal olika människor samt några djur och fordon som är förberedda på detta sätt för att kunna användas i ett scenario. Användaren är givetvis fri att utöka med nya karaktärer eller modifiera befintliga.

Användaren skapar ett scenario antingen via HLAS API (Application Programming Interface) eller genom att 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 fil igen.

Beteendet som finns implementerat i HLAS är en enkel brytpunktsnavigering, vilket visas i figur 20. 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 aktiv så länge ingen ny motion trigger har passerats eller att dess livslängd förlöpt. Det finns även en möjlighet att avaktivera en motion trigger efter en uppdateringscykel, detta är användbart då man har en tillståndsanimeration som ej loopar.

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 fråga karaktä-

ren vilken hastighet den vill röra sig med och räknar därefter ut den totala tillryggalagda sträckan längs banan och placerar 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 20. Scenario med brytpunktsnavigering.

För att enkelt kunna skapa scenariofiler har ett scenarioverktyg utvecklats till HLAS. I scenarioverktyg 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 då varje karaktär behöver regisseras individuellt. För detta ändamål har mer autonoma beteenden tagits fram. Istället för att jobba med individuella karaktärer används en gruppkontroller. 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 olika styrbeteenden som applicerar krafter på karaktären utifrån prioritet och vikter. Ett exempel 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 21. Styrbeteenden för kollisionshantering visualiserat med röd cirkel, vägsökning visualiserade som röda linjer och resulterad kraft i blått

För att karaktärerna ska få en omvärldsuppfattning med avseenden på var och hur de kan röra sig i terrängen används en navigationsmesh. En navigationsmesh beräknas utifrån vad karaktären har för fysiska förutsättningar så som 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 22. Navigationsmesh visualiserat i grönt.

4 Simulering av sensorsystem

Inom SIMSENS-projektet har vi arbetat med att simulera olika sensorer i olika miljöer, väderfall och tidpunkter. Sensorerna som vi har arbetat med är: Akustik, IR, laser och radar. I detta avsnitt kommer vi att beskriva status för de olika sensorsimuleringsmodellerna.

4.1 Akustik

Den akustiska modellen består av ett antal simuleringsblock som tillsammans beskriver ljudnivå på marken relaterat till ett tröskelvärde för upptäckt. I det inledande arbetet skapades en modell av UAV-systemet Ugglan, vilket visas i figur 23. Modellen är baserad på ”SAE AIR 1407 77, Prediction procedure for near-field and farfield propeller noise” [10], vilket är en standardmodell som beskriver förväntad bullernivå från flygplansmonterade propellrar i olika konfigurationer.



Figur 23. UAV-systemet Ugglan med aktermonterad 4-bladig propeller.

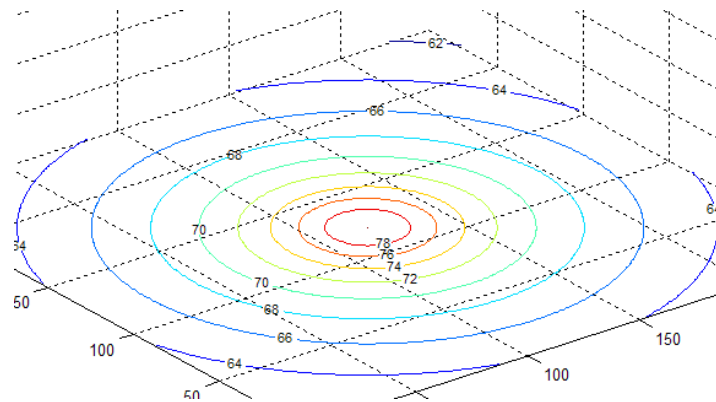
Inparametrar till AIR 1407-modellen är följande:

- Propellerdiameter
- Antal blad per propeller
- Antal propellrar
- RPM eller bladspets hastighet
- Sensorposition i förhållande till propeller/propellrar
- Flyghastighet
- Omgivande temperatur

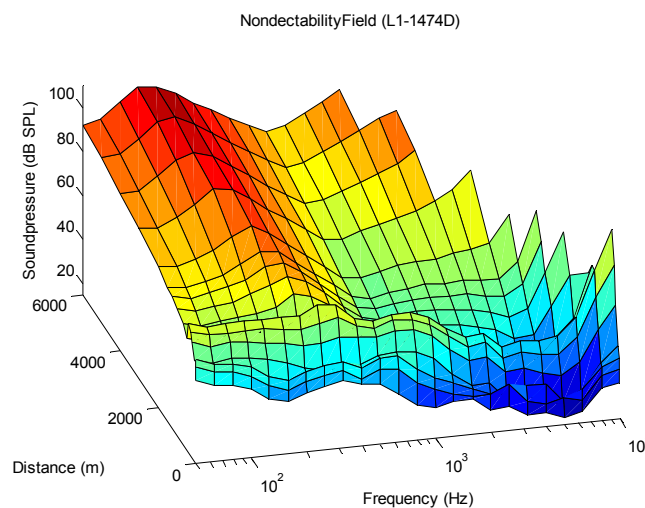
Vid beräkningarna användes den maximala nivån från ljudkällan samt ett sammanvägt värde för de spektrala nivåerna. Utbredningsmodellen kan i dagsläget inte ta hänsyn till ljudkällans direktivitet och spektrala egenskaper. Utbredningsmodellen som beskriver förändringen av ljudnivån mellan källa och mottagare har baserats på frifältsutbredning från en punktförmig ljudkälla utan påverkan från varierande ljudhastighetsprofiler, se figur 24.

Sensormodellen för upptäckt är baserad på standarden MIL-STD-1474D. I figur 25 visas hur upptäcktsavståndet beror på frekvensinnehåll och den akus-

tiska nivå hos källan (dB SPL). Frekvenserna har i denna figur delats upp i tersband (1/3 oktavband) vilket här motsvarar 23 frekvensband för att lättare kunna illustrera detta.

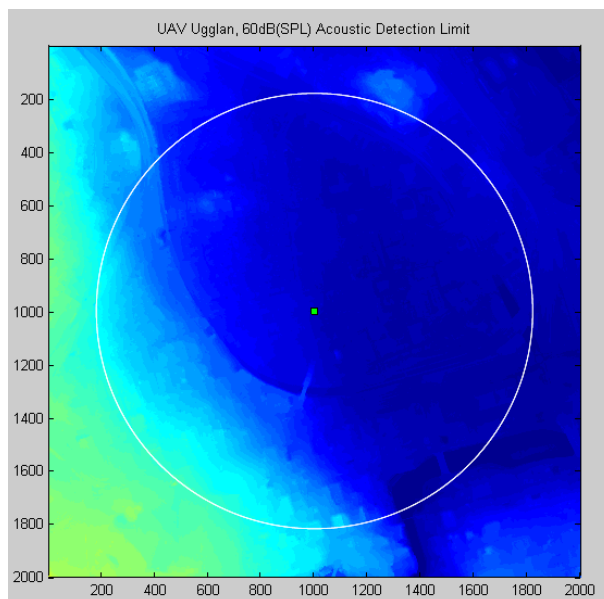


Figur 24. Exempel på sfärisk ljudutbredning över en plan yta.



Figur 25. Den akustisk nivå hos källan (dB SPL) och frekvensinnehållets påverkan på upptäcktsavståndet enl. MIL-STD-1474D.

Vid akustiksimuleringarna används en höjdmodell med 50 meters upplösning. Byggnader och lokala akustiska fenomen har inte tagits hänsyn till i den nuvarande versionen av akustiksimulatorn. I figur 26 visas höjdmodellen och UAV:ns position. Enligt simuleringen kommer man på marken, i området innanför cirkeln, att kunna höra UAV:n.



Figur 26. Akustiskt upptäcktsområde för UAV-systemet Ugglan.

Följande förbättringar kan göras för att öka noggrannheten hos simuleringen:

- Vädermodell med refraktion
- Atmosfärmodellering med absorption
- Tillföra akustisk bakgrundsnivå
- Spektral modell med tersbandsuppdelning
- Orientering av ljudkällan
- Beräkning av upptäcktsavstånd med en spektral modell
- Lokal sensornära utbredningsmodell (diffraktion, dämpning, reflektion etc.)

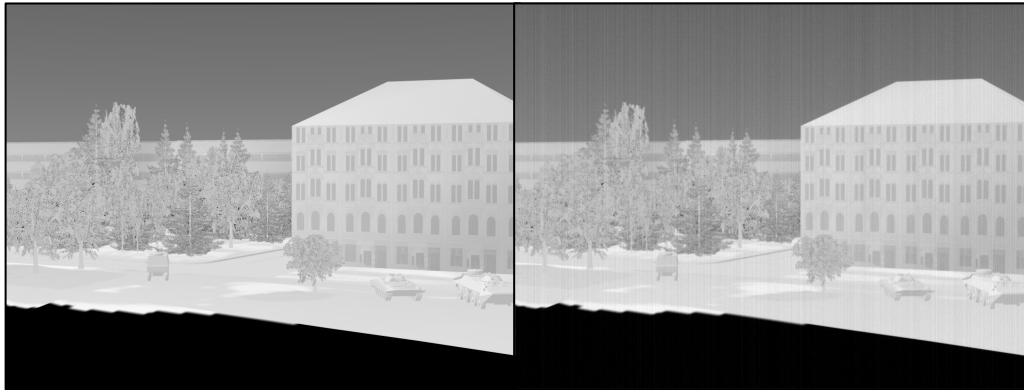
4.2 IR

För noggranna simuleringar av optiska sensorer i stora scener har två olika kommersiella program använts: SE-WB-EO (Synthetic Environment Workbench ElectroOptic) och CameoSim (Camouflage Electro Optic Simulation).

SE-WB-EO är framtaget av Oktal SE i Frankrike och har använts på FOI sedan 2009. SE-WB-EO kan simulera sensorer inom våglängdsområdena: UV, Visuellt, NIR och TIR. Scenarierna kan vara både statiska och dynamiska. I SE-WB-IR finns fysikaliskt baserade modeller för väder, termodynamik för beräkning av fysikalisk ytemperatur, avancerade renderingsalgoritmer för modellering av spridning, transmission, reflektans och absorption av ljus.

En begränsning i både SE-WB-EO och CameoSim är att termofysikaliska beräkningar endast utförs i en dimension. Detta medför att värmeflödet till och från en yta endast beräknas i djupled. För att få en mer detaljerad simulering av värmeledning, strömning och strålning från olika objekt i en scen kan resultat

hämtas från RadThermIR. RadThermIR som har beskrivits i avsnitt 3.2 kan utföra termofysikaliska beräkningar i tre dimensioner. SE-WB-EO har använts för att simulera IR-scener i Norrköpingsmodellen. I figur 27 har en LWIR-sensor simulerats.

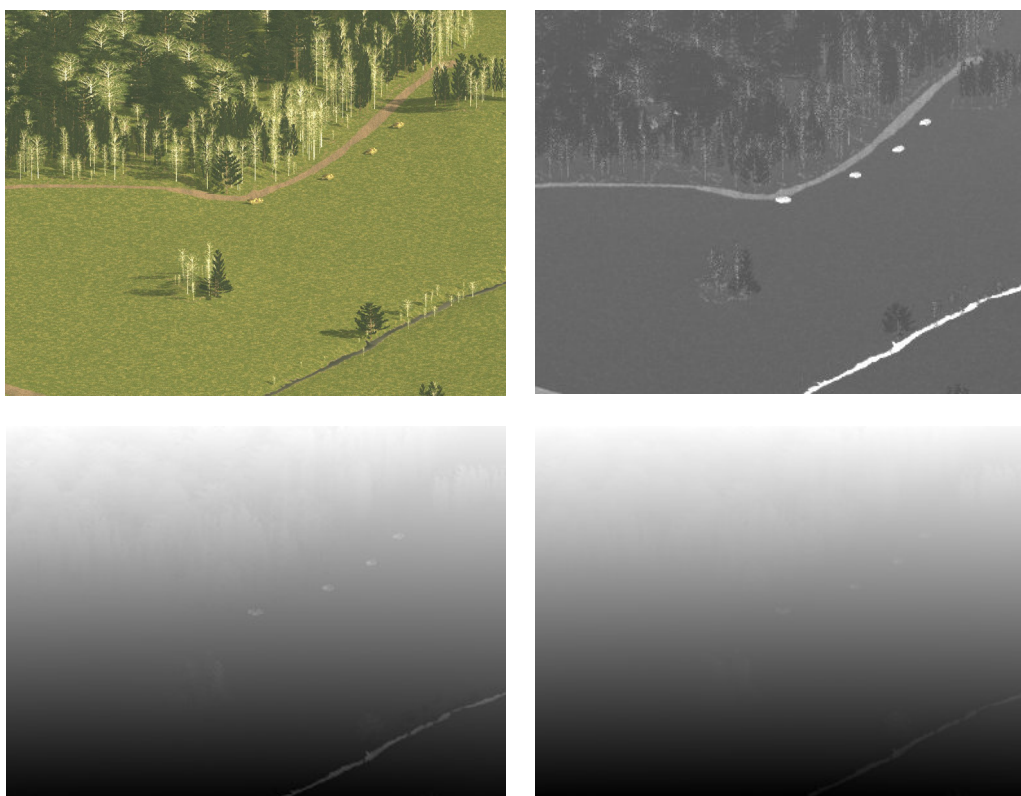


Figur 27. Simulerad IR-scen i Norrköping. Sensoreffekter är applicerade på bilden till höger.

I SIMSENS-projektet har CameoSim använts för att simulera IR-data i olika väderfall. CameoSim är ett kommersiellt program som är framtaget av Insys Ltd i England (numera en del av Lockheed Martin UK) och har använts på FOI sedan 2003. CameoSim kan simulera sensorer inom det optiska våglängdsbandet 0.4-14 μm . CameoSim är lämpligt för simuleringar av relativt stora scenarier, med stora terrängavsnitt där man kan placera in olika objekt. Scenarierna kan vara både statiska och dynamiska, där objektens egenskaper och position kan varieras under en simulering. I CameoSim finns fysikaliskt baserade modeller för väder, termodynamik för beräkning av fysikalisk ytemperatur, avancerade renderingsalgoritmer för modellering av spridning, transmission, reflektans och absorption av ljus.

I de följande figurerna visas simuleringar med CameoSim där fyra fordon står på ett gräsfält för väderfallen vackert väder, moln och regn. Stridsfordonen i scenen är av typ MTLB och dessa har stått stilla en längre tid så inga inre värmekällor bidrar till signaturen. En mer detaljerad beskrivning av scenarier och vädersimuleringar med CameoSim finns i [11]. Vid simuleringarna av sensor-data i olika väderfall har CameoSim använt atmosfärsfiler som har beräknats med MODTRAN (MODerate resolution TRANsmission) [12].

I figur 28 visas en visuell bild och tre IR-bilder som är simulerade för väderfallen vackert väder, moln och regn. Sensordata är simulerat för ett avstånd av 850 m och med en depressionsvinkel på 14 grader. FOV för sensorerna är 5×3.8 grader och IR-bilderna är simulerade för en våglängd på 3 - 5 μm . På långt avstånd till målet är dämpningen mycket stor i dåligt väder, vilket gör att målen knappt kan upptäckas.



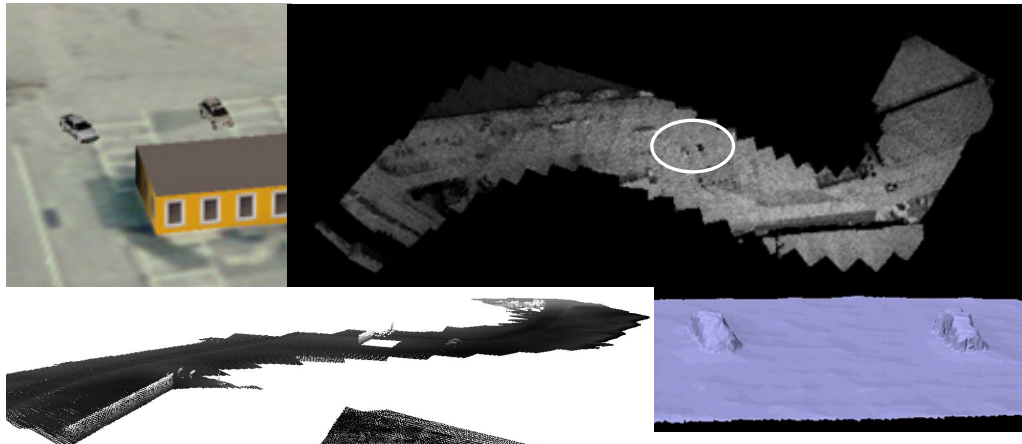
Figur 28. En visuell bild och tre IR-bilder genererade för några olika väderfall. De översta bilderna är genererade i vackert väder; bilden nere till vänster är genererad för ett molnscenario och bilden nere till höger är genererad för ett regnscenario.

Modellerna som används i SE-WB-EO, CameoSim och MODTRAN kan numera ses som noggranna och är inte gränssättande för hur noga man kan beräkna transmissionen i ett specifikt fall. En begränsning är dock att egenskaperna för materialen som finns i programmets materialdatabas endast är giltiga för några väderfall. Här kommer betydande arbetsinsatser att behövas för att utöka materialdatabasen med fler material som är uppmätta under olika väderförhållanden. Detta gäller speciellt vid regn då en våt yta får helt andra egenskaper än en motsvarande torr yta. En annan osäkerhet vid vädersimuleringar är att man inte har en noggrann kännedom om transmissionen utmed utbredningssträckan (regncellers exakta utsträckning, intensitetsvariationer hos nederbörden, komplicerad dynamik som leder till inhomogeniteter etc.). Beräkningarna ger därför oftast typiska värden, snarare än att vara giltiga för specifika fall.

4.3 Laser

Lasersimulatorens som har använts i projektet har vidareutvecklats av bl.a. FoT-projekten Måligenkänning med högupplösande 3D-avbildande laserradar och SIMSENS. Senaste året har prestandan och flexibiliteten med lasermodellen förbättrats, främst genom en efterbehandling av data som ger globalt refererade mätresultat, exempelvis i form av 3D-koordinater inklusive intensitetsvärden. Detta gör resultat från simuleringar av dynamiska förlopp möjliga att fusionera, såväl om sensorn rört sig såsom om målet har rört sig.

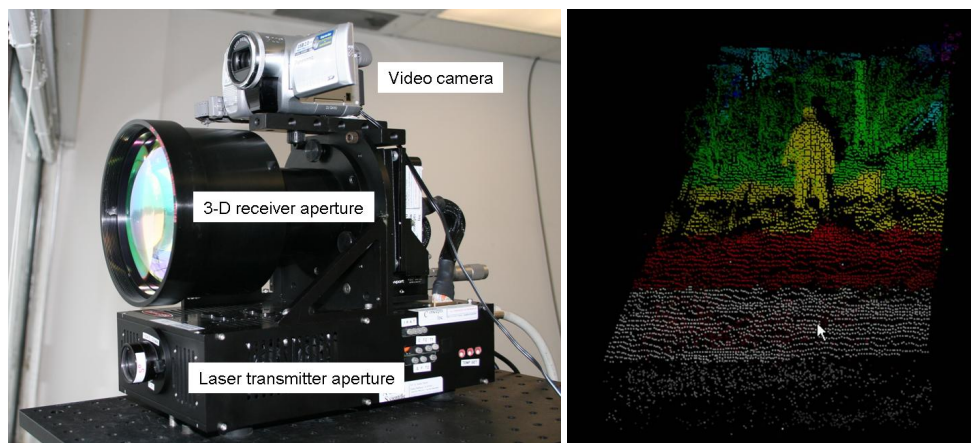
Den stora nyttan med detta är att simuleringar kan utföras i samma scenario som de övriga integrerade sensormodellerna och att alla nödvändiga operationer kan styras på ett enhetligt sätt.



Figur 29. Simuleringsresultat från ett scenario med två stycken bilar parkerade bredvid ett hus i Norrköping. Till vänster visas en bild av scenariot genererad av SceneServer. De övriga bilderna visar simuleringsresultatet från laserradarn där bilden överst till höger ses uppifrån och nedre vänstra bilden ses från öster. Dessa bilder visar en sammanläggning av 26 laserradarbilder insamlade vid en simulerad förbiflygning. Nedre högra bilden visar dessa två fordon triangulerade, exempelvis inför matchning mot databas.

Figur 29 visar resultatet av en lasersimulering i ett scenario med två stycken bilar, en Toyota RAW4 och en BMW E36, parkerade utanför en byggnad i centrala Norrköping. I detta fall har simuleringsparametrar valts för att efterlikna den amerikanska sensorn ASC Flash 3D [15][13] som kan registrera en avståndsbild med 20 stycken avståndsluckor per utsänd laserpuls. Att registrera hela bilden med samma puls är möjligt eftersom laserdetektorn i ASC Flash 3D består av en array av 128×128 detektorer som var och en direkt mäter upp den mottagna vågformen. Data från sensorn är sedan processad till att ge avståndsdata i varje bildelement, och även positionera dessa globalt. I nedre högra delen av figur 29 visas resultatdata triangulerad exempelvis inför en matchning mot en fordonsdatabas.

Figur 30 visar en bild av Flash-sensorn och en avståndsbild av en människa i skogsmiljö inmätt med den verkliga sensorn. I tabell 1 redovisas sensorspecifika parametrar.



Figur 30. Vänster: Lasersensorn ASC Flash 3D. Höger: Avståndsbild som visar en människa i skogsmiljö.

Tabell 1. Laserparametrar

Våglängd	1,57 μm
Maximal pulsrepetitionsfrekvens (frame rate)	30 Hz
Sensorstorlek	128×128 pixlar
Pixelstorlek (pitch)	100 μm
Avstånd	3 – 1500 m
Avståndsnoggrannhet	± 7.6 cm
Synfält	9 – 0,5 °
Dimensioner (bredd x höjd x djup)	15 × 15 × 28 cm
Vikt	< 5,7 kg
Effekt	< 400 W
Beam Profile	Rectangular

3D-lasermodellen som har integrerats i MSSLab har utvecklats vid FOI under flera år. Programmet är i dagsläget baserat på SceneServer, vilket ger full insikt i koden och möjligheter att skräddarsy applikationer och anpassningar. Programmet bygger på en ray-tracing-liknande princip och är uppdelat i fyra huvuddelar; laserkällan, scenen, atmosfären samt mottagaren [14,15,16].

För laserkällan finns möjlighet att använda en godtycklig analytisk eller diskret beskrivning av pulsformen, såväl i temporal (i ljusets utbredningsriktning) som spatiell (tvärs emot utbredningsriktningen) utbredning. I denna fas bestäms även vilken underliggande upplösning som används för att få med egenskaper mindre än ett bildelement.

För att generera ett tidsupplöst eko sänds simulerad laserenergi mot scenen i en stor mängd strålar. Det modellerade ekot genereras sedan genom att analysera hur varje stråle påverkas på sin färd mot scenen. För varje stråle bestäms avståndet till respektive del av scenen samt reflekterad ljusenergi. Den reflektera-

de ljusenergin bestäms genom att analysera vilket material och i vilken vinkel som strålen träffar respektive material.

När optisk energi färdas genom atmosfären påverkas den av turbulens och partiklar i luften. Atmosfäreffekterna har delats upp och simuleras var för sig. Bland annat sker en dämpning, en scintillation och en utsmetning av energin samt även en strålvandring som får ljusets centroid att avvika från sin utbredningsriktning. Modeller för att simulera vädrets påverkan på lasersystem saknas för tillfället, men med underlag från exempelvis MODTRAN [12] kan även atmosfärspåverkan på lasersensorer simuleras.

Avslutningsvis träffar de simulerade strålarna mottagarens optik och resulterar i en modellerad tidsupplöst elektrisk signal i detektorn. Genom parametrar som beskriver mottagaren, bestäms degraderingen av signalen. Hur den slutliga signalen ser ut bestäms genom systemdefinitionen. Vissa system resulterar i en vågform, medan andra endast ger ett eller flera avstånd i varje bildelement. Modellen tillåter godtyckliga system.

En simulering av ett 3D-avbildande lasersystem mot en stridsvagn T72 i småbruten terräng visas i figur 31. En simulerad reflektansbild visas till vänster och en simulerad avståndsbild visas i mitten. Till höger visas synfältet från sensorn i form av ett foto.

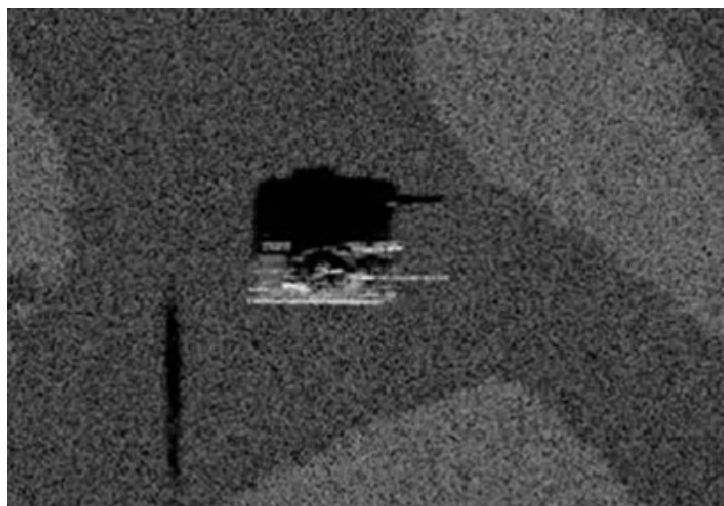


Figur 31. Till vänster visas en simulerad reflektansbild för en stridsvagn T72. I mitten visas en simulerad avståndsbild där ljusare bildpunkter är längre bort. Till höger visas ett foto som visar 3D-lasersensors synfält.

4.4 Radar

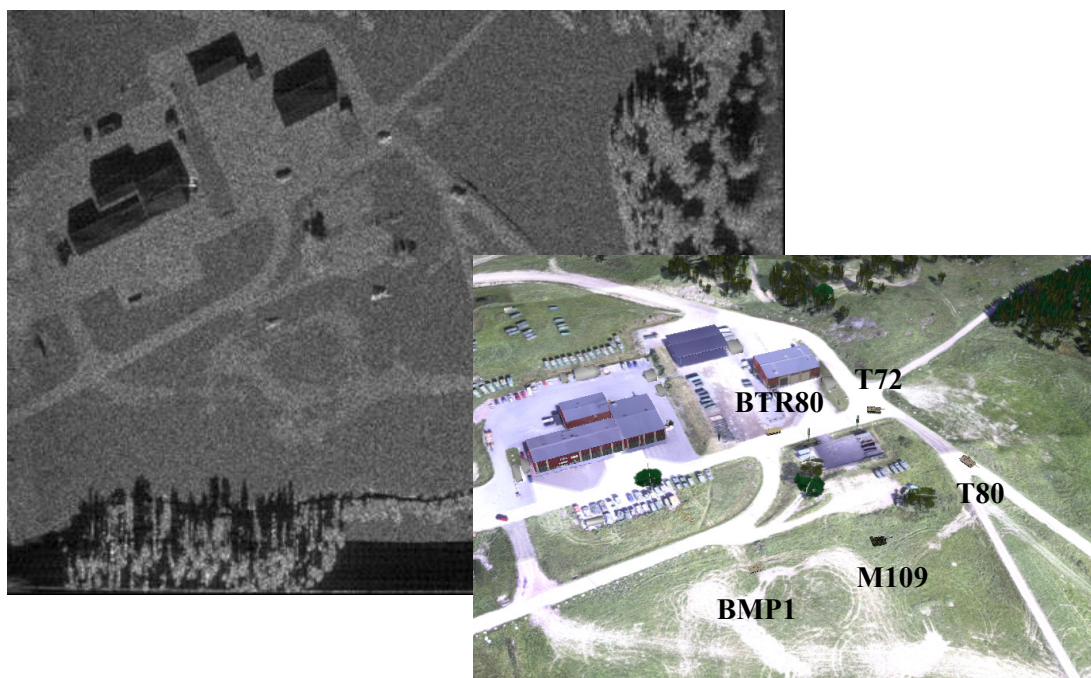
För simulering av radarsystem används den kommersiella programvaran SE-WB-RF. Detta är en programvara som det franska företaget OKTAL-SE [17] har utvecklat. Programmet beräknar elektromagnetisk spridning och kan till exempel användas för att simulera olika radarsystem eller för att estimeras radarmålarea hos objekt. Den primära funktionen för SE-RAY-EM är att beräkna elektromagnetisk spridning från objekt med geometrisk och fysikalisk optik som beräkningsmodell. För att kunna göra naturtrogna simuleringar behöver samtliga objekt och terrängbakgrunder vara materialklassade. Vid simuleringen ansätter radarsimuleringsverktyget materialparametrar till respektive material.

I figur 32 visas en bild på en T72-stridsvagn från ett simulerat SAR-system (Syntetisk AperturRadar). Upplösningen hos SAR-systemet är 0.1×0.1 meter. I bilden syns tydligt hur skuggan korrekt uppträder på den underliggande terrängen.



Figur 32. Beräknad SAR-bild av T72 med 0.1 meters upplösning.

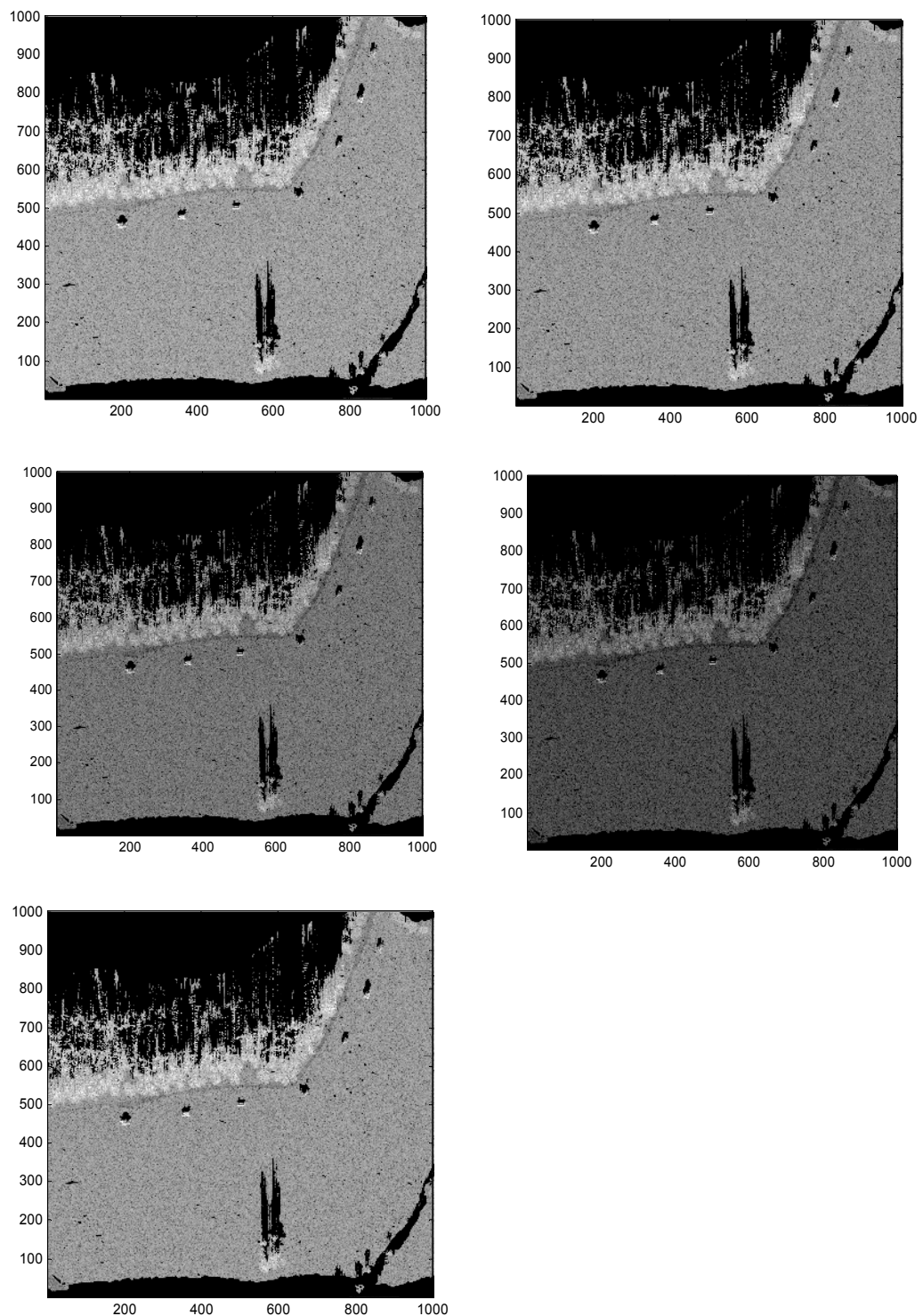
I figur 33 visas en beräknad SAR-bild över en del av skjutfältet i Kvarn med en upplösning på 0.5×0.5 meter. I scenen står fem olika stridsfordon utplacerade, vilket visas i den visuella bilden.



Figur 33. Beräknad SAR-bild och visuell bild med fem stridsfordon.

För att studera vädrets påverkan på radarsystem har olika atmosfärsmodeller tagits fram. De framtagna atmosfärsmodellerna tar hänsyn både till dämpning och spridning för radarvågor från ca 1 till 100 GHz, för väderfallen vackert väder, regn, moln/dimma och snöfall.

För att studera vädrets påverkan på radarsystem har ett SAR-system simulerats i olika väderfall. Det simulerade SAR-systemet arbetar på frekvensen 35 GHz och har en upplösning på 0.3×0.3 m. SAR-data är simulerad för flyghöjden 1 km och på avståndet 4.1 km från målområdet. I scenariot som visas i figur 34 finns sju fordon utplacerade framför en skogsridå i Kvarn-modellen.



Figur 34. Vädrets påverkan på radarsensorer. De olika väderfallen är från vänster till höger och uppifrån och ner: vackert väder, moln, regn (intensiteten 5 mm/tim), regn (intensiteten 10 mm/tim) och snöfall (ekvivalent regnintensitet 1 mm/tim).

Övre vänstra bilden visar en SAR-registrering upptagen vid vackert väder. I den övre högra bilden är absorption i moln tillagt och man kan då se en svag försämring av kontrasten i SAR-bilden. I bilderna i mitten är dämpning och

spridning från regn utmed hela sträckan tillagt mellan mål och sensor. Bilden till vänster visar regnintensitet 5 mm/tim och bilden till höger intensitet 10 mm/tim. För regnfallen fås en måttlig försämring av radarbilden i form av minskad kontrast. Den nedersta bilden har snöfall med ekvivalent regnintensitet 1 mm/tim pålagts utmed hela vägsträckan från radarn till målområdet; någon molninverkan har inte antagits längs denna sträcka. På detta korta avstånd ger snöfallet endast mycket svag försämring av SAR-bilden. En mer detaljerad beskrivning av vädersimuleringar med SE-WB-RF finns i [11].

En sammanfattande kommentar rörande väderpåverkan enligt dessa simuleringar är att på de relativt korta avstånd som studerats, är inverkan måttlig på en SAR-sensor för frekvensen 35 GHz. En grov tumregel för storleksförhållandena hos utbredningsförlusterna i atmosfären för radarvågen är i minskande storleksordning: smältande snö, regn, moln och dimma, samt slutligen torr snö.

Modellerna kan numera ses som noggranna och är inte gränssättande för hur noga man kan beräkna utbredningsförlusterna i ett specifikt fall. Osäkerheten bestäms oftast till övervägande delen av att man inte har en noggrann kännedom av atmosfärens tillstånd utmed utbredningssträckan (t.ex. regncellers exakta utsträckning, intensitetsvariationer hos nederbörden och komplicerad dynamik som leder till inhomogeniteter). Beräkningarna ger därför oftast typiska värden, snarare än att vara giltiga för specifika fall.

5 Resultat från värdering av sensorsystem i urban miljö

Spaning i urban miljö är generellt svårt då byggnader ofta skymmer målområdet. En urban miljö även svår då den ofta innehåller många fordon och människor. I detta kapitel har vi simulerat tre UAV-system för att värdera deras sensorprestanda i en urban miljö. Sensorerna som har studerats är IR, visuellt och 3D-laser.

5.1 Scenario

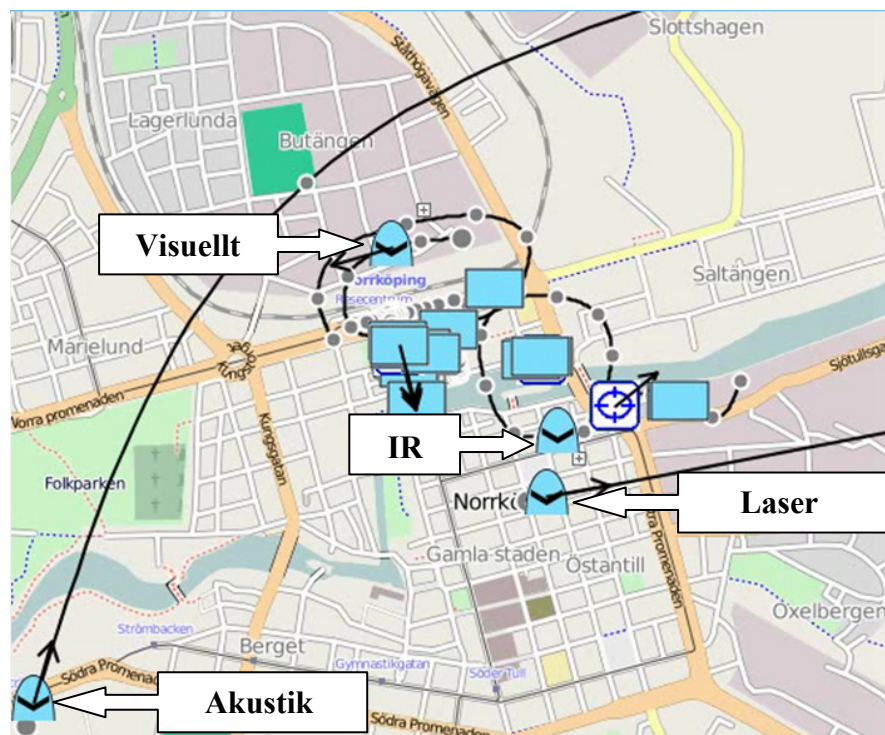
Ett scenario har använts för att studera prestanda för två olika sensorsystem. Bakgrunden till scenariot är hämtad från Bogalandscenariot, som bland annat har använts vid den gemensamma stabsövningen GSÖ 07. En målsättning vid framtagningen av Bogalandscenariot var att få med många av de olika företeelser och kombinationer av företeelser som förekommer i verkliga konflikter.

I Bogalandscenariot finns det två viktiga storylines som handlar om narkotika respektive bilbomber. Uppgiften är att kartlägga dessa verksamheter i Bogaland och inhämta underrättelser för att kunna lagföra individer som ägnat sig åt illegal verksamhet [18].

Från Bogalandscenariot har några mikrosituationer identifierats som vi vill kunna studera. I scenariot ingår att:

- Följa och samla in information om några misstänkta fordon och hur man ska spana efter hot för att skydda ett eget fordon (Humvee).
- Identifiera en BMW E36 som man misstänker används av en högt uppsatt terroristledare.
- Följa och kartlägga rörelserna för en Toyota Pickup som man misstänker används vid en granatattack mot ett torg och ett viktigt religiöst monument.
- Följa och kartlägga rörelserna för en GMC Van som man misstänker används vid smuggling, kidnappning etc.
- Övervaka ett antal stridsfordon i närheten av hamnen för att se att mobiliseringsförberedelse inte pågår.

Sensorerna som vi har simulerat för att studera detta är IR, visuellt och 3D Laser. Ljudutbredningen från ett UAV-system har även simulerats, för att studera det akustiska upptäcktsavståndet. Sensorplattformarna för dessa sensorer är tre MALE UAV-system (Medium-Altitude Long-Endurance Unmanned Aerial Vehicle) Dessa har förmåga att spana under lång tid över ett målområde, vilket är viktigt för att man ska kunna lösa de givna uppgifterna. UAV-systemens flygbanor och fordonen i scenen visas i figur 35.



Figur 35. Beskrivning av flygbanorna för de två UAV-systemen och fordonen i scenariot.

5.2 Visuellt

Scenariot för UAV-systemet med en visuell sensor inleds med att två misstänkta fordon har upptäckts i centrala Norrköping, vilket visas i figur 36. Information om fordonens modell, färg, position och tidpunkt skickas till UAV-systemen som ska samla in information om dess rörelser. Denna information kan sedan användas för att ge en bättre bild av omfattning, medel och metoder hos den illegala verksamheten.



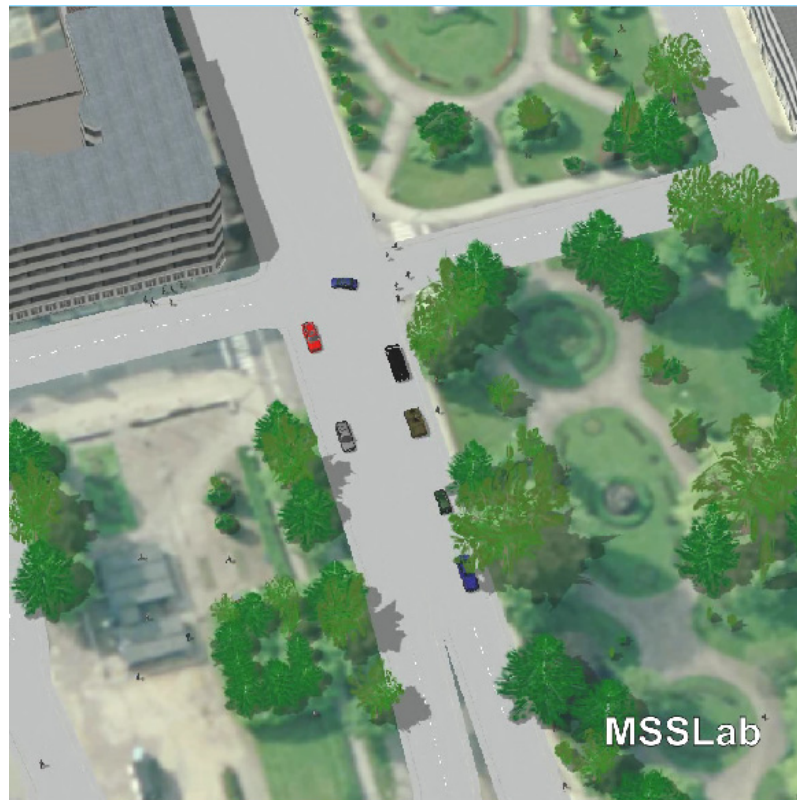
Figur 36. Två misstänkta fordon i scenariet.

Då UAV-systemet får information om fordonets modell och färg kan den använda sig av cad-modeller i ett målbibliotek för att träna sina algoritmer för att sedan kunna leta efter liknande fordon. CAD-modeller för de misstänkta fordonen visas i figur 37.



Figur 37. CAD-modeller för de misstänkta fordonen.

Då UAV-systemet närmar sig målområdet börjar det att detektera, målfölja och återigenkänna alla fordon i området, vilket visas i figur 38.



Figur 38. Simulerad visuell bild över det aktuella målområdet för den visuella sensorn.

Förmågan till detektion, målföljning och återigenkänning med den visuella sensorn kommer att redovisas i de följande avsnitten. Några data för den visuella sensorn och UAV-systemet visas i tabell 2.

Tabell 2. Några data för den visuella sensorn och UAV-systemet.

Hastighet	40 m/s - 144 km/h
Flyghöjd	600 meter
FOV	10×10 grader
Upplösning	1000×1000 pixlar
FPS	25 Hz
Våglängd	0.4-0.7μm

5.2.1 Detektion

En detektor har tagits fram för att hitta fordon i de visuella bilderna. Detektorn som använts är baserad på algoritmer som utvecklas i projektet Autonom spaning och mer information om detaljerna finns i referensrapporterna [19]. Träningen av algoritmen har utförts med hjälp av syntetiska data som genererats med SceneServer och Norrköpingsmodellen.

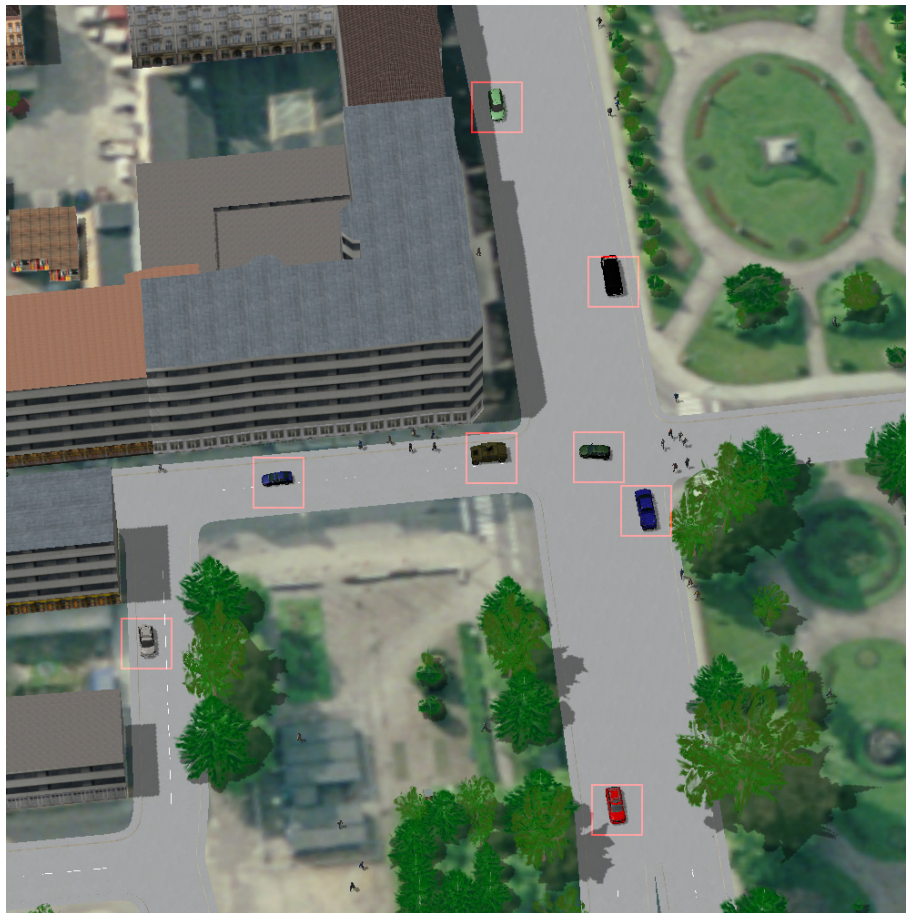
Tre olika 3D-bilmodeller, Volvo V70, Toyota Rav4 och BMW E36 har använts, och dessa har färglagts med olika lackfärg för att få med en sådan variation. För alla kombinationer av bilar och färg så har bilder genererats då modellen placerats ut i Norrköpingsmodellen. Bilarna placerades mestadels på vägar men även på parkeringsplatser, gräsytor och liknande. Bilder har genererats för alla infallsvinklar och orientering för bilarna. För varje vy har bilen placerats på 5 olika platser för att få variation på bakgrunden. Ljussättningen har varierats slumpmässigt för att inte detektorn ska tränas mot en viss ljusriktning.

Detektorn är uppdelad i en hierarki av kaskader där den första kaskaden är tränad för alla bilar och vyintervall, och använder bara rektangelsärdrag [20]. Den är dock ganska dålig på att förkasta bakgrunder. Den kan dock ta bort en stor del av bakgrundsbilderna, vilket underlättar för de följande kaskaderna. Efter den första kaskaden är detektorn uppdelad i 8 kaskader som är specialiserade på en viss del av vyintervallet, vilket gör dem mycket bättre på att separera mål från bakgrund.

Den första detektorn använder bakgrundsdata från Norrköpingsmodellen utan skuggor. I de 8 vysespecifika kaskaderna används först rektangel-särdrag och senare i kaskaderna färgsärdrag baserade på SURF [21] (Speeded up Robust Features).

Vi har skapat en ny detektor som använder data från en nyare Norrköpingsmodell. Den har tränats för att klara skuggor och i den använder enbart MultiRect-FeatureGrid särdrag. Det är ett nytt särdrag som vi har designat, vilket är en förenkling av SURF särdraget. Det är nästan lika potent som SURF när man använder det i en boosting-kaskad och går snabbare att beräkna. Den stora skillnaden gentemot SURF är att man delar upp beräkningen av de olika derivatariktningarna i separata särdrag istället för att kombinera alla riktningar i ett och samma särdrag.

I figur 39 visas ett exempel på resultat från den färdiga detektorn från 2010.

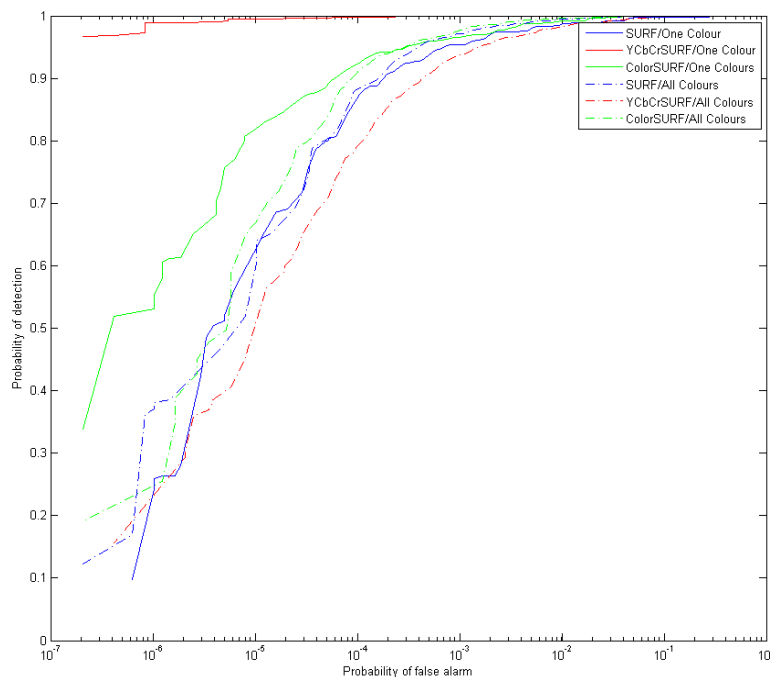


Figur 39. Detektioner med visuella data i Norrköpingsmodellen.

Vi har studerat prestanda för de färgsärdrag som använts. För att kunna studera prestanda har en kaskad med 20 komponenter tränats fram för varje typ av särdrag. Separata kaskader har gjorts för fordon med alla typer av färger samt en där vi bara använder röd färg på fordonen. Dessa kaskader används sedan för att generera ROC-kurvor (Receiver Operating Characteristic). Se figur 40, där sannolikheten för detektion plottas mot sannolikhet för falsklarm. Ett vyintervall på 45 grader (1/8 varv) används för att motsvara de djupaste delarna av hierarkin som använts i hela detektorn. Data som använts för träning är inte samma som används vid kurvgenereringen.

De särdrag som används är de som vi kallar SURF, ColorSURF och YCbCrSURF. SURF jobbar endast på gråskalebilder, ColorSURF bygger på att varje pixel får 11 sannolikhetsvärden [22] som beskriver hur stor chans det är att den tillhör en viss färgklass. Dessa summeras sedan vektorvis i SURF regionerna (4 i vårt fall) och konkateneras till särdragsvektorn. YCbCrSURF är en beräkningsmässigt enklare variant av ColorSURF som konverterar varje pixel från RGB till YCbCr representation. På Y-kanalen appliceras ett vanligt SURF-särdrag och på Cb och Cr kanalerna summeras pixelvärdena i SURF regionerna och konkateneras till särdragsvektorn.

Prestanda för de olika särdragen visas i figur 40. Resultaten visar att om flera olika färger används på bilarna så blir vinsten relativt liten då färgsärdrag används, men om bara en färg används så ger det desto mer. I ett fortsatt arbete är det intressant att undersöka prestanda för en detektor där en hierarki tränas med separata detektorer för varje färg, på samma sätt som idag sker med vyintervall [19]. Sannolikt ger detta bättre resultat.



Figur 40. ROC-kurvor för de olika särdragen och de olika träningsdata/evalueringsdata som används.

5.2.2 Målföljning

Från detektionsalgoritmen kommer detektioner av mål (fordon) för varje bild. Målföljaren associerar dessa observationer över tiden och skapar målspar. Detta ger möjlighet att prediktera målens individuella position och hastighet.

Målföljaren som har använts i detta projekt är mycket generellt uppbyggd och för tillfället finns det moduler för Kalman-filtrering (extended och unscented) [23, 24, 25] och partikelfilter för tillståndsestimering [26, 27, 28, 29]. För association av observationer till spår finns två alternativ: GNN (global nearest neighbor) och JPDA (joint probabilistic data association) [30, 31, 32].

Figur 41 visar en bildsekvens från scenariot där fyra bilar färdas i en kolonn. En femte bil, det fordon som har målsparidentitet 85 i de tre bilderna, står parkerad i det högra körfältet och måste därför köras om av bilarna i kolonnen. Multimålföljaren bibehåller identiteterna på fordonen med målsparidentitet 85 och 103 under omkörningen, vilket är ett exempel på lyckad tillståndsuppskattning samt lyckad association av observation till spår.

I den andra bilden i sekvensen har ett nytt målspar med identitetsnummer 118 uppstått på grund av bakgrundsklotter. Få detektioner genereras i närheten av

det nya målsåret, vilket innebär att dess poäng minskar över tiden. När spårets poäng blir för låg raderas det, vilket kan ses i den tredje bilden i sekvensen.



Figur 41. Bildsekvens från simulerat scenario i Norrköping: fyra fordon färdas i kolonn och måste köra om den parkerade bilen som i bilderna indikeras av målsårsidentitet 85.

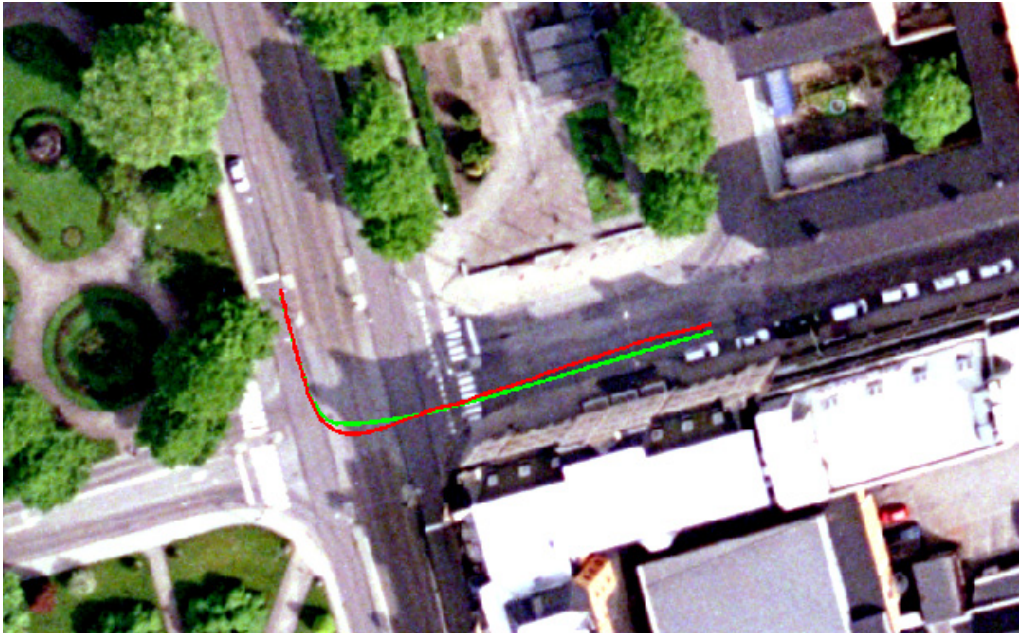
I bildsekvensen i figur 41 saknas detektioner för det sista fordonet i kolonnen mellan den andra och den tredje bilden. Eftersom detektioner saknas minskar poängen även för detta spår och när den blivit för låg raderas målsåret. Då fordonet detekteras igen kommer således ett nytt målsår med ett nytt identitetsnummer att uppstå, i det här fallet identitetsnummer 123. Detta är ett exempel på när återigenkänningsmodulen (se nästa avsnitt) kan användas för att bibehålla identiteten på fordonet.

Då ett mål inte detekteras under en tid kommer osäkerheten gällande dess tillstånd att öka. I figur 42 visas en bildsekvens där ruttplaneraren använts. Under sekvensen sveper sensorn över vägen där fordonen färdas. I den första bilden är den gröna bilen på väg in i synfältet, och har inte hunnit detekteras sedan den förra överflygningen. Eftersom fordonet inte detekterats på några sekunder har osäkerheten gällande dess tillstånd ökat. Detta illustreras av cirkelarna som omger prediktionerna. I den andra bilden som kommer från en tidpunkt något senare har den gröna bilen detekterats vilket minskat osäkerheten gällande dess tillstånd.



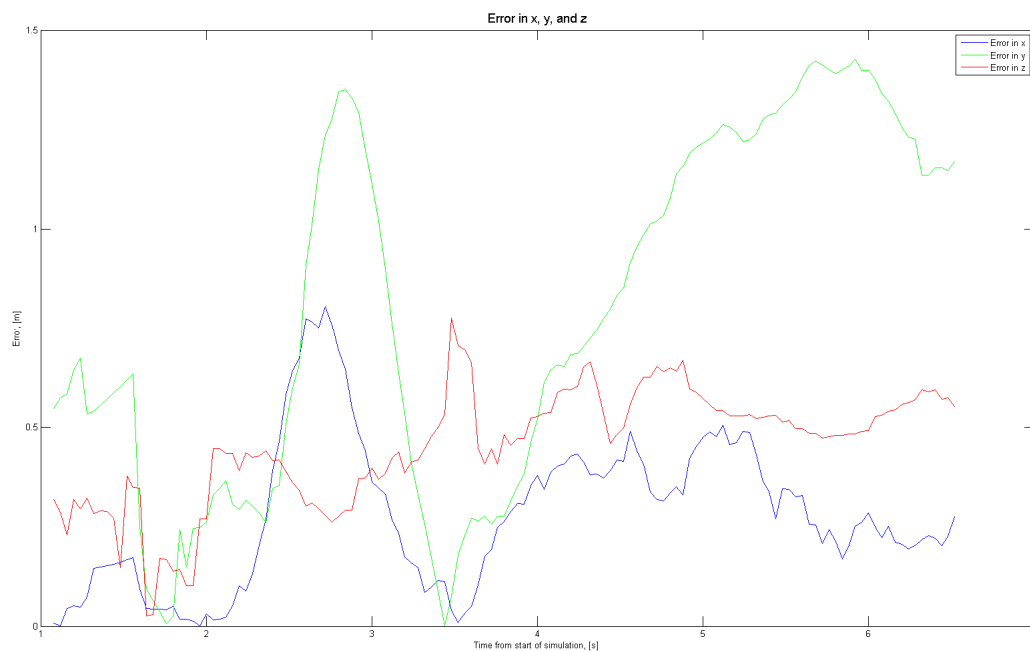
Figur 42. Två fordon färdas längs en väg i Norrköping. I den första bilden har den gröna bilen inte detekterats. Osäkerheten för det predikerade målet med identitetsnummer 79 är därför stor vilket illustreras av ellipserna som omger prediktionen. I den andra bilden har den gröna bilen detekterats och osäkerheten gällande dess tillstånd har därför minskat.

Avvikelsen mellan den verkliga banan för ett fordon och det estimerade målsåret varierar under simuleringen. Figur 43 visar den estimerade och den verkliga banan för ett fordon.



Figur 43. Estimerad (röd) och verklig (grön) bana för ett fordon under en del av simuleringen i Norrköping. När fordonet svänger blir felet mellan den estimerade och den verkliga positionen något större.

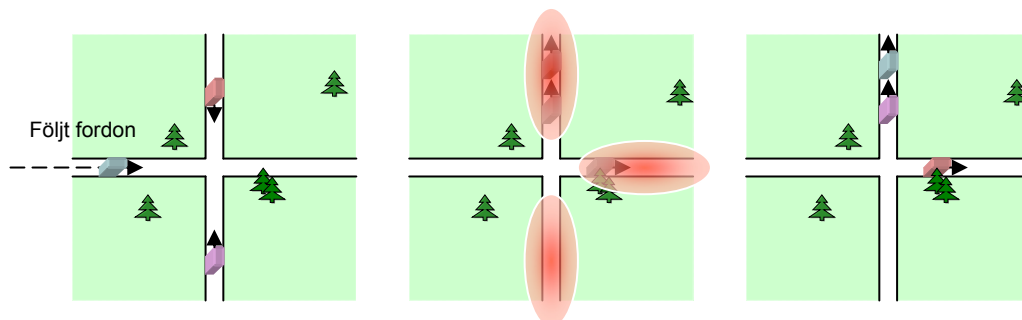
I figur 44 visas skillnaden i x -, y - och z -koordinater mellan den estimerade och den verkliga positionen. Mellan 2 och 4 sekunder efter det att simuleringen startat svänger fordonet. Felet i x - och y -led blir då något större än tidigare, eftersom den förväntade fordonsrörelsen inte stämmer överens med mätdata. Maximalt är felet under svängen ungefär 0,8 meter i x -led och 1,4 meter i y -led. Efter svängen fortsätter felen i x - och y -led att vara relativt stora. Detta beror på att detektionerna efter svängen inte är centrerade på fordonet, vilket de varit innan svängen. Felen efter svängen är därför inte jämförbara med dem före.



Figur 44. Skillnaden i x-, y- och z-koordinater mellan den estimerade och den verkliga positionen. Mellan 2 och 4 sekunder efter simuleringens start svänger fordonet, vilket orsakar en ökning av felen i x- och y-led. Efter svängen är inte detektionerna, som ligger till grund för målföljningen, centrerade på fordonet vilket orsakar ett konsekvent fel i x- och y-led.

5.2.3 Återigenkänning

Syftet med funktionen för återigenkänning är att identifiera nyligen upptäckta eller återupptäckta fordon. När multimålföljaren hittar ett mål och tilldelar detta ett id-nummer, ska alltså återigenkännaren undersöka målet och avgöra om det är ett fordon som observerats tidigare, och i så fall vilket. Detta är nödvändigt för att upprätthålla korrekta fordonsidentiteter i situationer där sensorn inte kontinuerligt kan följa ett visst fordon, till exempel för att något annat område avspanas, eller på grund av skylande objekt eller terräng. Ett exempel på ett sådant scenario visas i figur 45, där sensorn följer ett fordon (den första bilden) för att sedan titta bort. I bild två har sensorn återvänt och letar efter fordonet i de markerade områdena. De fordon som hittas (bild tre) jämförs med det följda fordonet från bild ett.



Figur 45. Ett scenario där återigenkänning är nödvändigt för att följningen ska kunna återupptas.

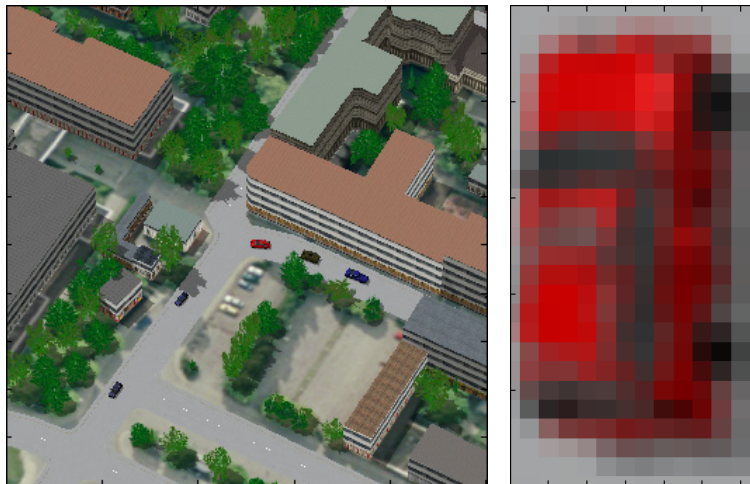
Återigenkänning kan baseras på flera olika typer av attribut, som till exempel utseende, rörelsemönster, storlek eller andra geometriska särdrag. Metoden som har studerats här identifierar fordon genom att undersöka deras utseende.

Det är viktigt att notera att syftet med återigenkänning är att upptäcka om ett fordon är identiskt med något tidigare observerat mål, och att databasen med möjliga fordonstyper alltså byggs upp efter hand. Detta skiljer sig från generell fordonsidentifiering, där varje observerat fordon matchas mot en på förhand känd signaturdatabas för att avgöra dess typ. Det är också viktigt att notera att återigenkännaren i allmänhet inte kan se skillnad på olika individer av samma fordonstyp.

Återigenkännaren har en stark koppling till multimålföljaren. Denna skickar kontinuerligt ut information om samtliga mål som följs. Varje mål identifieras i dessa meddelanden av ett unikt id-nummer som tilldelats av målföljaren. För varje mål anges också dess senaste position i världskoordinater (var i världen fordonet antas befinna sig) och i sensorkoordinater (var i kamerabilden målet har observerats). Återigenkännaren tar emot informationen från målföljaren, och så snart ett nytt id-nummer skapats undersöks den del av bilden där det nya fordonet finns. Fordonet jämförs med samtliga tidigare observerade fordon och slutligen skickar återigenkännaren ut ett meddelande om fordonets identitet. När ett nytt fordon observerats, sparas dess särdrag i återigenkännarens interna databas för senare återigenkänning och återigenkännaren sänder ut ett meddelande om att en ny fordonstyp hittats.

Om återigenkännaren inte kan identifiera fordonet, till exempel på grund av att det ses från en ovanlig vinkel, skickas i stället ett meddelande om detta till sensorstyrningen. Den kan då välja att styra sensorn så att återigenkänningen underlättas, om detta vid tillfället är en prioriterad uppgift.

Återigenkänningen består i huvudsak av tre steg: segmentering, ensning och klassificering, varav de två första är starkt sammankopplade. Vid segmenteringen görs en sökning efter gränserna mellan fordonet och den omgivande bilden, för att igenkänningen inte ska påverkas av bakgrunden eller andra föremål i miljön. Ensningen kompenserar för effekter av kamerans position och orientering relativt fordonet, och tillser därigenom att alla fordon avbildas i enhetlig skala och rotation. Ensningen kompenserar även för perspektiveffekter. Att ha ensade bilder i klassificeringen är viktigt eftersom det då är möjligt att göra jämförelser genom att undersöka fördefinierade regioner i bilderna. Utan ensade bilder skulle man behöva veta i vilken del av bilden t.ex. motorhuven avbildas, alternativt behöva söka efter den del av en bild som är mest lik varje del i en annan bild. Detta är svårare och kräver ytterligare beräkningsresurser. Figur 46 visar en bild från sensorn tillsammans med resultatet av segmentering och ensning av det röda fordonet.

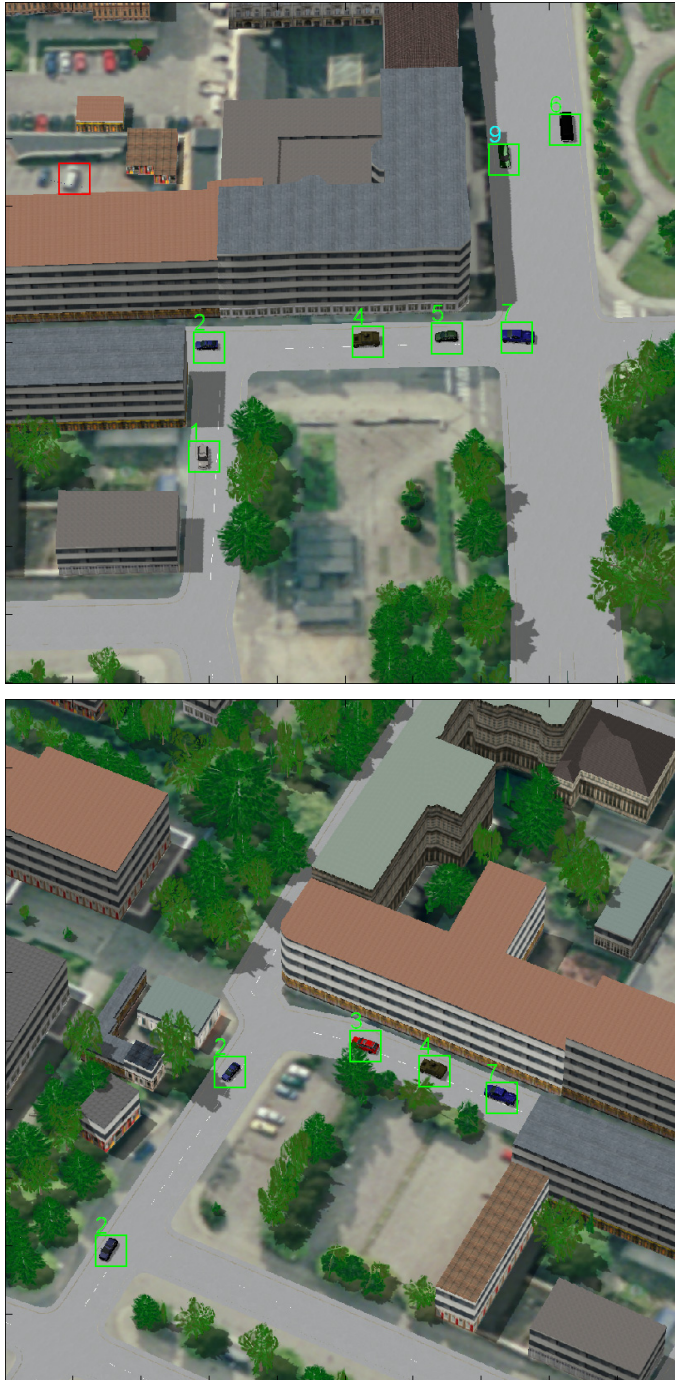


Figur 46. Segmentering och ensning av det röda fordonet. Ensningen kompenserar perspektiveffekten och roterar fordonet till en förvald orientering.

I det tredje steget, klassificeringen, extraheras ett antal särdrag som beskriver fordonet. Dessa jämförs med en databas med andra observerade fordon. Klassificeringen beskrivs i detalj i [33].

I det studerade scenariot fungerar återigenkänningen oftast bra, men några fordon som är mycket lika varandra blandas ihop. Figur 47 visar två bilder från Norrköpingsscenariot, strax innan och efter det att en fordonskolonn skyls bakom ett hus. Medan fordonen inte syns ansluter en ny bil (nummer 3) till kolonnen medan en av de ursprungliga (nummer 5) parkerar bakom huset. Detta detekteras av återigenkännaren. Samtidigt identifieras en stillastående bil (långt ner till vänster i den andra figuren) felaktigt som nummer 2. Detta eftersom den liknar den ursprungliga bil 2 (den första i kolonnen) både till färg och form.

Om en operatör endast är intresserad av vissa typer av fordon kan han eller hon välja att bara visa nya fordonsidentiteter och identiteter motsvarande de intressanta fordonstyperna. På så sätt kan återigenkänningen hjälpa operatören att snabbare sälla fram de misstänkta fordonen bland alla fordon i ett scenario.



Figur 47. Återigenkänning av fordon i Norrköping strax innan och efter det att en kolonn skyls bakom en byggnad. Fordonet med id-nummer 3 har tillkommit till kolonnen medan nummer 5 parkerat bakom byggnaden.

5.2.4 Ruttplanering och sensorstyrning

Att följa flera oberoende fordon från en UAV är ett svårt problem eftersom man i regel bara kan observera ett eller ett fåtal fordon samtidigt. I stadsmiljö är det extra komplicerat på grund av byggnader och vegetation som skymmer sikten och dessutom finns det många alternativa färdvägar som fordonen kan ta. UAV-systemets flygbana och riktningen av EO/IR sensorn måste planeras så att de intressanta målen kan återupptäckas tillräckligt ofta för att minimera

risken för att de tappas bort, givet de förutsättningar som miljö och sensorsystem sätter.

I denna studie består planeraren av två delar, den första delen planerar enbart flygrutten givet att UAV-systemet är utrustad med en sensor med obegränsat synfält. Nästa del utgår ifrån denna flygrutt och planerar i vilka riktningar sensorn ska peka. I planeringen används kunskap om vägnät och byggnader för att kunna öka förmågan att prediktera fordonens möjliga framtida positioner respektive kunna bedöma hur bra man kan se vägarna från olika infallsvinklar.

I planeringen används en s.k. "receding horizon control"-strategi, vilket innebär att man planerar en bestämd tid in i framtiden, sedan utför man enbart en lite del av denna plan innan man planerar om igen, o.s.v.. Planeringshorisonten för detta scenario var 3 sekunder vid varje planeringstillfälle och båda planeringsdelarna försöker minimera positionssäkerheten för alla fordonen givet att varje mål är representerat med ett s.k. "partikelmoln". En "partikel" kan ses som en hypotes om var fordonet befinner sig. Alla partiklar bildar ett partikelmoln och koncentrationen av partiklar i en viss punkt anger alltså hur sannolikt det är att målet befinner sig just i denna punkten.

En gradientsökningsmetod används för att lösa det optimeringsproblem som planeringsproblemet resulterar i. En nackdel med en sådan metod är att den kan få problem när målen är alltför separerade, och inte minst när sikten varierar mycket på grund av byggnader. Ett knep för att inte planeringen enbart ska fokusera på bara en grupp av mål, är att välja startgissningen i gradientsökningen på ett smart sätt. I det aktuella fallet väljs startgissningen så att sensorn riktar mot den förväntade positionen för alla fordonsgrupper i tur och ordning.

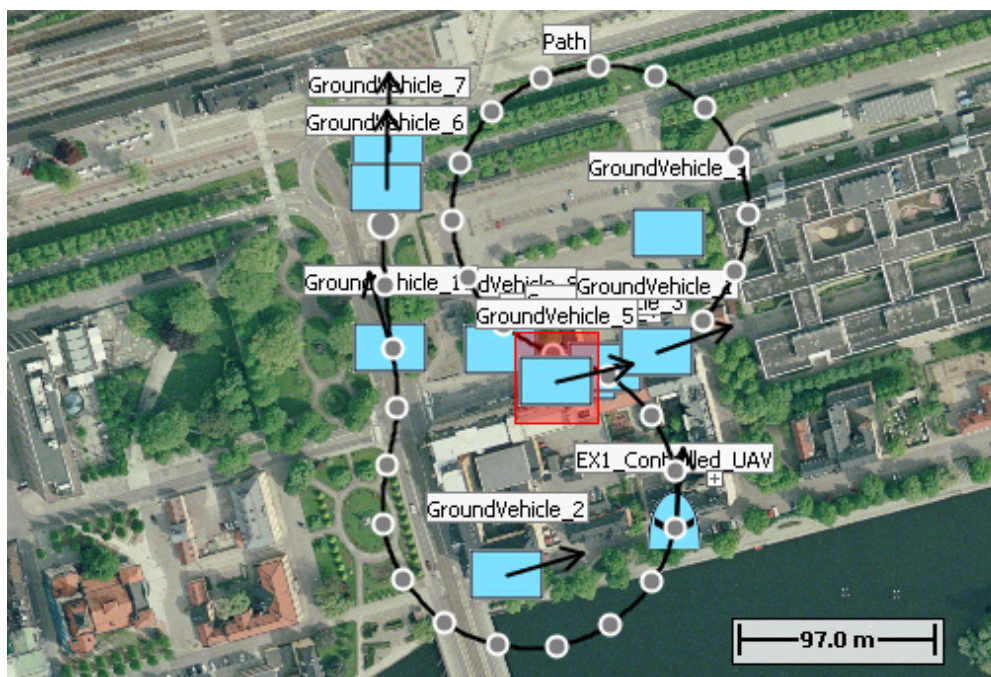
UAV-modellen som har använts vid planeringen är en relativt basal modell med konstant hastighet (här 30 m/s) och konstant flyghöjd (här ca 600 m över marken). Styrsignalen är UAV-systemets förändring i orientering (heading) och systemet har en minsta svängradie. Modellen för sensorgimbalen består av två första ordningen modeller för pan- respektive tilt-vinklarna, där styrsignalen är vinkelförändringen för respektive axel. En detaljerad beskrivning av planeringsalgoritmer för UAV-system med en styrbar EO/IR-sensor ges i [34].

Flygbana och styrning av sensorn har beräknats för ett scenario där UAV-systemet följer två bilar, en pick-up och en GMC Van. Figur 48 visar hur fordonen tar olika vägar, pick-up:en svänger till vänster medan den svarta van:en åker rakt fram för att senare svänga vänster i nästa korsning.



Figur 48. De misstänkta fordonen tar olika vägar. Pick-up:en svänger till vänster medan den svarta GMC Van åker rakt fram och svänger vänster i nästa korsning.

I figur 49 visas hur UAV-systemet kan flyga för att göra det möjligt att följa både pick-up:en och van:en som befinner sig på olika sidor om ett kvarter. Van:en har namnet "GroundVehicle_2" och pick-up:en heter "GroundVehicle_5". Både UAV- och gimbalmodellerna har styrsignalbegränsningar och man kan i figur 49 se att UAV-systemet ofta ligger på minimal svängradie. I figur 50 visas två ögonblicksbilder, efter att fordonen separerat, när UAV-systemet tittar på van:en respektive pick-up:en.



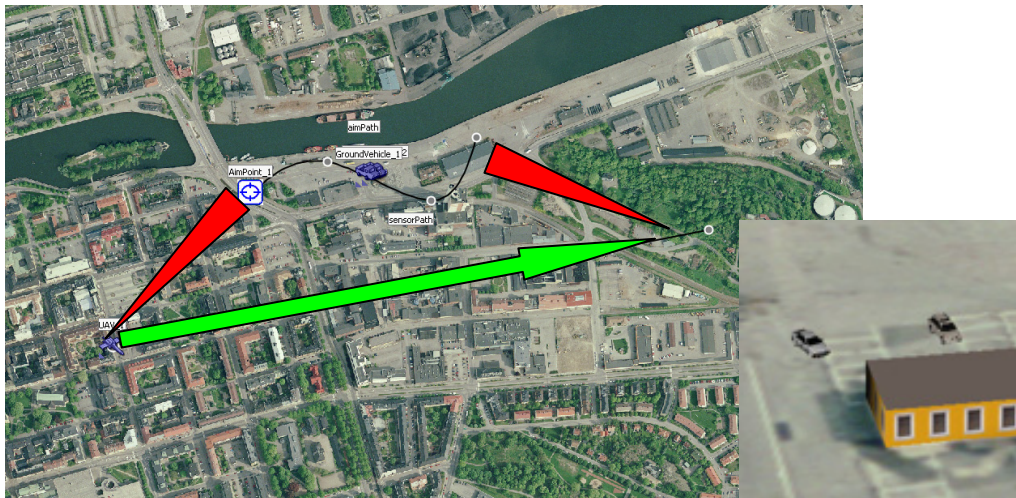
Figur 49. Planerad rutt för att möjliggöra följning av både pick-up:en och van:en som befinner sig på olika sidor om ett kvarter.



Figur 50. De misstänkta fordonen på varsin sida om ett kvarter.

5.3 Laser

I scenariot ska lasern identifiera två bilarna som står parkerade i hamnområdet i Norrköping. Lasern gör en svepning för att återdetektera bilarna och identifiera dessa, se figur 51.

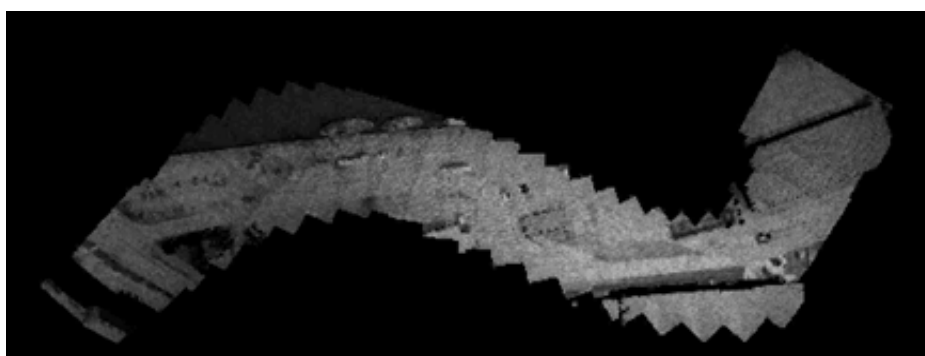


Figur 51. Förbiflygning med 3D-Flash Ladar. Figuren till höger visar en visuell bild över målområdet.

I detta fall har simuleringsparametrar valts för att efterlikna den amerikanska sensorn ASC Flash 3D som beskrevs i kapitel 4.3. Data för UAV-systemet och lasersensorn visas i tabell 3.

Tabell 3. Data på UAV-systemet och 3D-Flash Ladar.

Hastighet	40 m/s - 144 km/h
Flyghöjd	500 meter
FOV	0.1×0.1 grader
Upplösning	128×128 pixlar
FPS	30 Hz
Våglängd	1.57μm



Figur 52. Sammanlagd bild av de 26 laserradarbilderna, som insamlats under den simulerade förbiflygningen.

Laserdata simuleras under förbiflygningen. I figur 36 har de 26 laserradarbilderna, som insamlats under den simulerade förbiflygningen, lagts samman. Det sammanlagda simuleringsresultatet från laserradarn ses uppifrån. Det två fordonen detekteras och sedan görs en detaljundersökning i 3D. I figur 53 visas de två bilarna, sett från öster i det insamlade data.

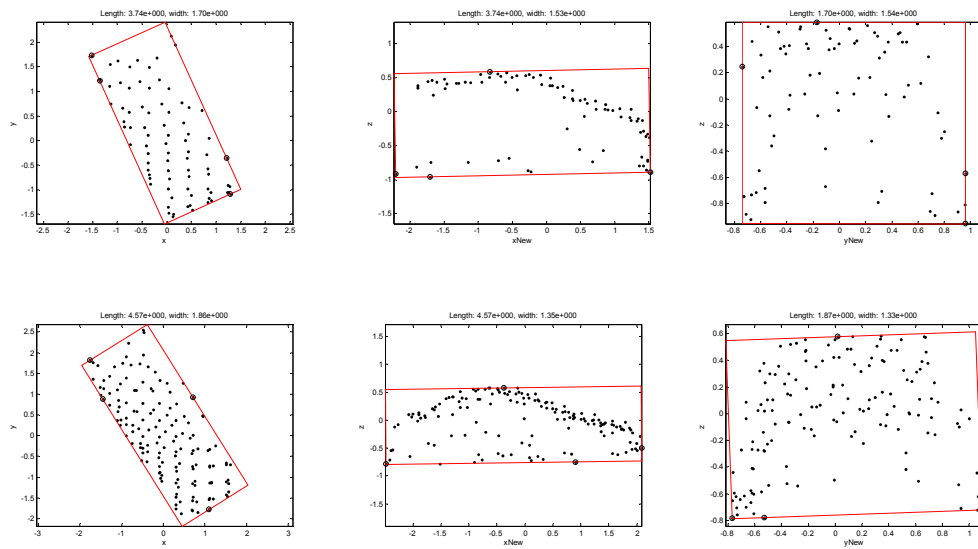


Figur 53. Detaljundersökning i 3D data sett från öster.

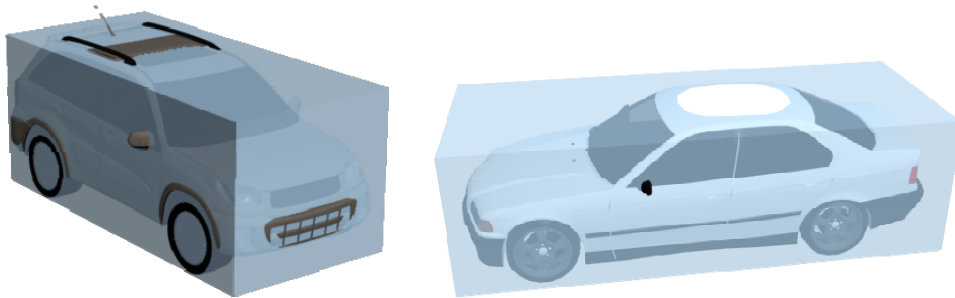
I figur 54 visas triangulerade data från de två fordonen BMW E36 till vänster och Toyota RAW4 till höger. De triangulerade data kan sedan användas vid matchning mot databas. Data från fordonen har sedan anpassats till rätblock, vilket visas i figur 55.



Figur 54. Triangulerade data på de två bilarna BMW E36 till vänster och Toyota RAW4 till höger.



Figur 55. Automatisk mätning på fordonen. Bilderna på översta raden visar mätpunkterna på Toyotan och bilderna på nedersta raden visar mätpunkterna på BMW:n.



Figur 56 visar hur de estimerade boxarna passar på bilarna Toyota RAW4(vänster) och BMW E36(höger).

Tabell 4. De riktiga måtten visas till vänster och de med laser estimerade måtten till höger.

Toyota:	Laserresultat:
Bredd: 170-193cm	170cm
Längd: 374-185cm	374cm
Höjd: 153-173cm	154cm
BMW:	
Bredd: 172-195cm	186cm
Längd: 441-446cm	457cm
Höjd: 134-137cm	135cm

I den vänstra kolumnen i tabell 4 visas de riktiga måtten för de två bilarna. Intervallerna beror på om man tar hänsyn till ”detaljer” såsom backspeglar, rails, antenn, reservhjul etc. eller ej.

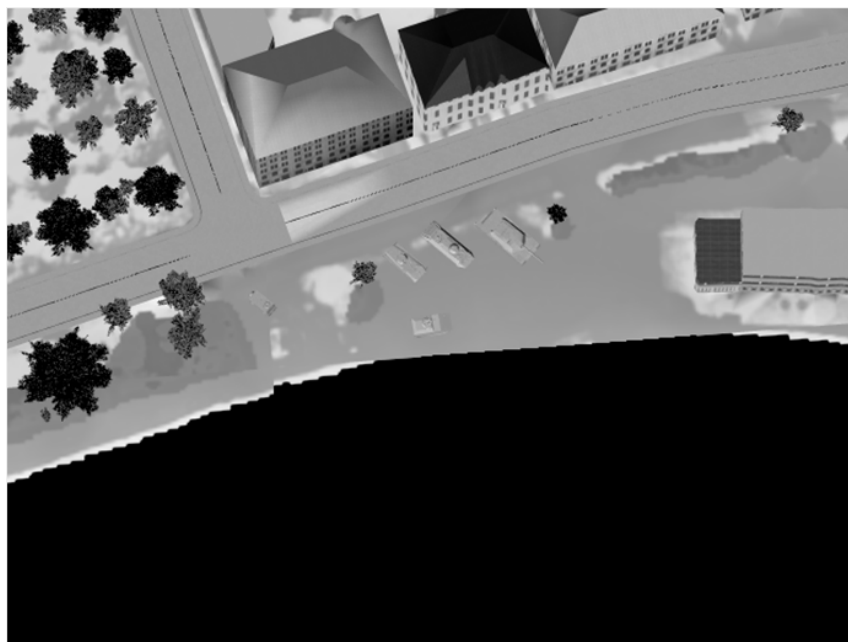
I den högra kolumnen visas de estimerade måtten från laser radarn. Man kan notera att de utstående detaljer såsom rails, backspeglar, antenn, reservhjul etc. inte kommer med i laserdata. Resultaten är mycket bra och den enda ”missen” är längden på BMW:n, där en punkt på marken har klassats som fordon.

5.4 IR

IR-bilder har simulerats på ett antal militära fordon i hamnen, vilket visas i figur 57. Fordonen är från vänster till höger TGB11, BMP1, MTLB och M1A1. IR-signaturen hos dessa fordon har beräknats med RadTherm. Data för IR-sensorn och dess UAV system visas i tabell 5.

Tabell 5. Data för IR-sensorn och dess UAV-system.

Hastighet	40 m/s - 144 km/h
Flyghöjd	700 meter
FOV	10×10 grader
Upplösning	640×480 pixlar
FPS	25 Hz
Våglängd	8-12µm

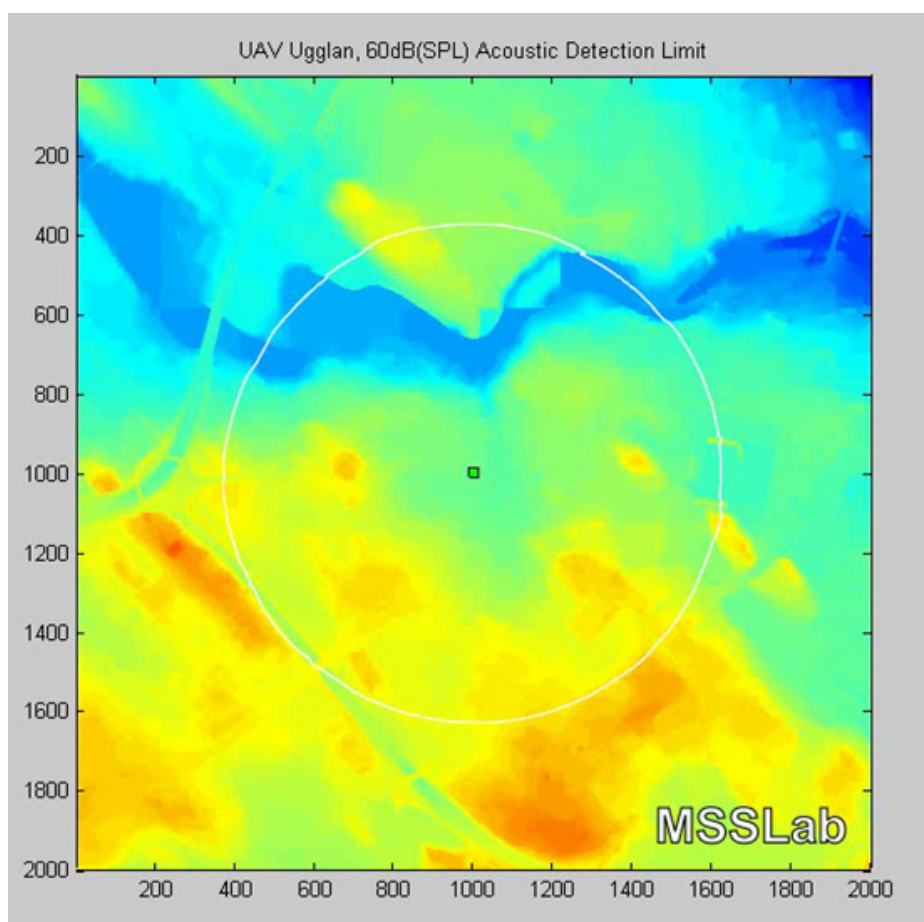
*Figur 57. Simulerad IR-bild med fyra olika stridsfordon.*

5.5 Akustik

Ljudutbredningen från ett UAV-system har även simulerats, för att studera det akustiska upptäcktsavståndet. I figur 58 visas höjdmodellen och UAV:ns position. Enligt simuleringen kommer man på marken, i området innanför cirkeln, att kunna höra UAV:n. Data för akustikmodellen och UAV-systemet visas i tabell 6.

Tabell 6. Data för akustikmodellen och UAV-systemet.

Hastighet	40 m/s - 144 km/h
Flyghöjd	700 meter
Propellerdiameter	1 meter
Antal blad per propeller	4
RPM	5700
Omgivande temperatur	25° C



Figur 58. Akustiskt upptäcktsområde för UAV-systemet.

6 Diskussion

6.1 Nyttiggörande

Simuleringsmiljön som utvecklats under åren 2008-2010 har använts av flera projekt för sensorsimuleringar. Några exempel på projekt är Autonom spaning, ARCUS, Autonoma funktioner, Flexibla vapen och skyddssystem, Signalbehandling för styrbara sensorsystem, Ledningssystem - demonstration och värdering av teknik och metodik (LedDov), Taktikanpassning SAT och SE-MARK, vilka alla har bidragit på olika sätt till MSSLab.

Värderingsmetodik och teknik som har tagits fram inom projektet har även använts i Försvarmaktsstudien Framtida Indirekt Bekämpningssystem, för att bl.a. studera hur en UAV kan utnyttjas. Med en UAV som disponeras av det understödande förbandet kan t.ex. ett framryckande mekaniserat förband ledas av en UAV som spanar, lokaliserar, identifierar och noggrant lägesbestämmer eventuell fintlig trupp samt ger mållägesinformation till understödande artilleri/granatkastarförband. Efter den egna artilleri/granatkastarinsatsen kan framryckningen därefter ske med ringa risk för bekämpning.

6.2 Fortsatt arbete

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.

Ett mycket viktigt arbete är att validera de olika sensormodellerna. 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.

Tillgängliga omvärldsmodeller har god kvalitet vid simulering av luft till mark scenarier. Vid simulering av mark till mark scenarier är upplösningen allt för dålig i både Kvarn och Norrköpingsmodellen. Noggranna simuleringar av marina scenarier är inte heller möjlig med befintliga omvärldsmodeller utan dessa måste i så fall vidareutvecklas.

IR-simuleringarna som gjordes 2008 i olika väderfall behöver valideras ytterligare. En metod för detta är att jämföra de parametriska atmosfärerna som räknats fram i CameoSim via MODTRAN med körningar direkt i MODTRAN, samt jämföra med teoretiska beräkningar direkt från storheternas definitioner. Kontraster i CameoSim-bilder kan även jämföras med mätningar.

En begränsning med MODTRAN är att molnen i modellen täcker hela himlen. Det går alltså inte att ändra molnens täckningsgrad på himlen. Ett sätt att lösa detta kan därför vara att generera egna modeller av moln och placera ut dessa som objekt i scenen som skall simuleras. En annan begränsning i MODTRAN är att det inte finns modeller för snöfall och hagel.

Atmosfärmodellerna för radar är mycket bra, men en noggrannare modellering av snöfall krävs för att få med inverkan vid högre frekvenser och för delvis

smälta flingor, där det är känt att dämpningen kan överstiga den i regn, för samma ekvivalenta vattenintensitet.

Väderpåverkan på simuleringen av sensordata har begränsats till atmosfärseffekter. Förändringar av objektens och bakgrundens signatur för de olika väderfallen har därför inte tagits med. Detta måste åtgärdas i det fortsatta arbetet.

7 Referenser

- [1] Stenumgaard P., Junholm L., "GENESIS - A tool for intersystem-interference analyses on camps", FOI-S--3105--SE, Linköping, 2009.
- [2] 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
- [3] Tso, B. and Mather, P. M. "Classification Methods for Remotely Sensed Data" London: Taylor & Francis, 2001.
- [4] 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.
- [5] Vapnik, V. N., "The Nature of Statistical Learning Theory". Springer, 1995.
- [6] Internet: <http://www.turbosquid.com>, besökt 2009-12-03.
- [7] Internet: <http://home.gna.org/cal3d>, besökt 2009-12-01.
- [8] Internet: <http://www.opengl.org>, besökt 2009-12-01.
- [9] Internet: <http://www.openscenegraph.org/projects/osg>, besökt 2008-12-09.
- [10] Internet: <http://www.sae.org>, besökt 2010-12-08.
- [11] Näsström F. Carlsson L., Forsgren R., Chevalier T., Gustafsson O., Karlsson N., Sume A., "Integration av atmosfärsmodeller i MSSLab", FOI-R--2521--SE, Juni 2008.
- [12] Kneizy F. X., Abreu L. W., Anderson G. P., Chetwynd J. H., Shettle E. P., Berk A. Bernstein L.S., Robertson D. C., Acharya P., Rothman L. S., Selby J. E. A., Gallery W. O., Clough S. A.: "The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model". Phillips Laboratory, Geophysics Directorate, PL/GPOS, Hanscom AFB, MA 01731-3010, USA . 1996 (Rapporten finns i PDF format på CD-ROM distributionen av PcModWin4.0.
- [13] Larson H., "Test plan for ASC FLASH 3D Ladar trials in Sweden, September 2008", FOI-D--0310--SE, Linköping, September 2008.
- [14] Chevalier T., "Statusrapport Modellering av 3D-avbildande laser", FOI MEMO 2417, Linköping, Maj 2008.
- [15] Chevalier T., "Modeling of 3D laser radar systems. Status of FOI-LadarSim in May 2009", FOI-R--2764--SE, Linköping, Maj 2009.

-
- [16] Chevalier T., "A Ray Tracing Based Model for 3D Ladar Systems", Submitted to GRAPP, Nov 2010.
- [17] Internet: <http://www.oktal-se.fr>, besökt 2010-12-03.
- [18] Gundmark T., Dalberg E., Svenson P., Lindgren D., Grahn P., Linder S., Hansson A., Kylesten B., "Ledningssystem – demonstration och värdering av teknik och metodik, Slutrapport", FOI-R--2645--SE, Linköping, December 2008.
- [19] Karlholm J., "Implementation and evaluation of a method for detection of ground targets in aerial EO/IR imagery", FOI-R--1267--SE, Linköping, June 2004.
- [20] Viola, P., Jones, M. J. (2001). Robust real-time object detection. Technical Report CRL 2001/01, Cambridge Research Laboratory, Compaq Computer Corporation.
- [21] Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, Luc., SURF: Speeded Up Robust Features, Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346--359, 2008
- [22] van de Weijer, J., Learning Color Names from Real-World Images, Proc. CVPR07, Minneapolis, USA, 2007
- [23] Kalman. R.E., "A new approach to linear filtering and prediction problems", Transactions of the AMSE Journal of Basic Engineering, 82:35-45, 1960.
- [24] Anderson B.D.O., Moore J.B., "Optimal Filtering". Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979.
- [25] Julier S., Uhlmann J., "Unscented filtering and nonlinear estimation", Proceedings of the IEEE, 92:401 {422, March 2004.
- [26] Gordon N. J., Salmond D. J., Smith A.F.M., "A novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation", In IEE Proceedings on Radar and Signal Processing, volume 140, pages 107-113, 1993.
- [27] Doucet A., de Freitas N., Gordon N., "Sequential Monte Carlo Methods in Practice". Springer Verlag, 2001.
- [28] Ristic B., Arulampalam S., Gordon N., "Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications", Artech House, 2004.
- [29] Näsström F., Cirkic M., Rydell, J., Skoglar P., Stenborg, K.-G., Ulvklo, M., "Autonoma funktioner för intelligenta operatörsstöd". FOI-R--2752—SE, 2009.
- [30] Blackman S. S., "Multiple-Target Tracking with Radar Applications", Artech House, Norwood, MA, 1986.

[31] Blackman S. S., Popoli R., "Design and Analysis of Modern Tracking Systems", Artech House, 1999.

[32] Bar-Shalom Y., Li X. R., "Estimation and Tracking: Principles, Techniques, and Software", Artech House, 1993

[33] Karlholm J., Rydell J., Stenborg K.-G., Ulvklo M., Nygård J., Hemström F. "Reidentification of ground targets in EO/IR imagery", FOI-R--2586--SE, Linköping, Oktober 2008.

[34] Skoglar, P., "Planning Methods for Aerial Exploration and Ground Target Tracking", Linköping Studies in Science and Technology. Thesis 1420. 2009.