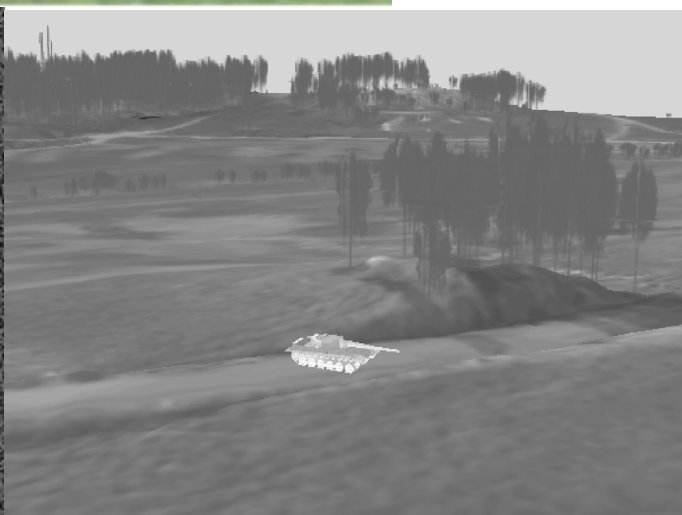
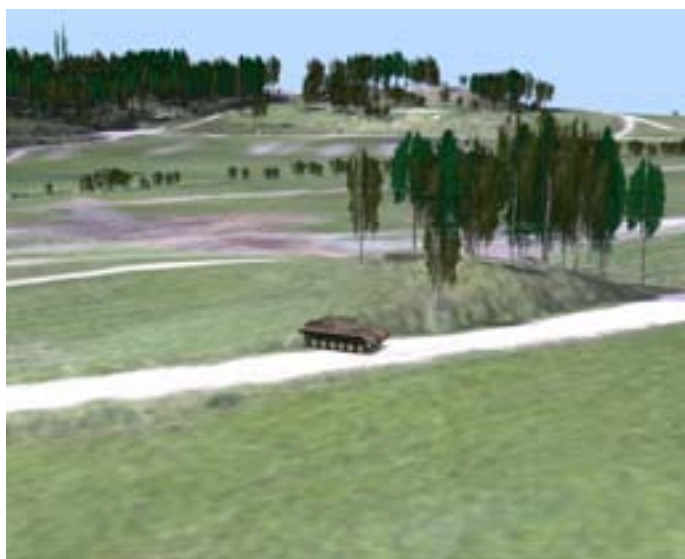


Simulering för värdering av målsökare med multisensorteknik

Mikael Karlsson, Fredrik Näsström,
Jörgen Karlholm



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 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, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

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

www.foi.se

Simulering för värdering av målsökare med multisensorteknik

Utgivare FOI - Totalförsvarets Forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1663--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år Juni 2005	Projektnummer E3062
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Mikael Karlsson Fredrik Näsström Jörgen Karlholm	Projektledare Leif Carlsson	
	Godkänd av Johan Söderström	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Leif Carlsson	
Rapportens titel Simulering för värdering av målsökare med multisensorteknik		
Sammanfattning (högst 200 ord) Rapporten beskriver hur två multisensormålsökarkoncept av UCAV-typ för markmålsbekämpning kommer att kunna värderas genom simulering i syntetiska omgivningar. Både radar och IR signaturer kommer att utnyttjas. Scenarier är hämtade ur Försvarmaktens "Framtida markmålsbekämpning" och ur dessa har ett antal typsituationer identifierats. Dessa kommer att användas vid simuleringarna eftersom det är alltför beräkningsstungt att göra en simulering av ett helt scenario. För radarsimuleringar kommer programpaket, Specray EM, att användas. IR-simuleringarna kommer att utnyttja SceneServer och till viss del även Cameo-Sim och RadTherm. Högupplösta cad-modeller kommer att användas som målmodeller för både radar och IR. Störvärdering kommer att göras tillsammans med ett annat FM-projekt. I rapporten beskrivs hur programpaketen kan utnyttjas vid simuleringarna, vad som kan simuleras och vilket resultat som kan förväntas uppnås.		
Nyckelord Multisensorteknik, målsökare, datafusion, IR, radar, mm-våg, störning, simulering, värdering		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 27 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1663--SE	Report type Methodology report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year June 2005	Project no. E3062
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Mikael Karlsson Fredrik Näsström Jörgen Karlholm	Project manager Leif Carlsson	
	Approved by Johan Söderström	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Leif Carlsson	
Report title (In translation) Simulation for assessment of multisensor missile seeker		
Abstract (not more than 200 words) This report describes how two multisensor seeker UCAV concepts for ground target combat will be evaluated by simulation in synthetic environments. Both radar and IR signatures will be used. The scenarios used are taken from The Swedish Armed Forces "Framtida markmålsbekämpning" (Future ground target combat) and some typical situations are identified from that document. These will be used in the simulations, because it takes too long time to calculate a whole scenario. We will use the program "Specray EM" for the radar simulation and SceneServer and to some extent Cameo-Sim and RadTherm for the IR-simulations. High resolution cad-models will be used as target models, both for radar and IR. ECM will be evaluated in cooperation with another project from "Swedish Armed Forces". In the report we describe how the simulation-programs can be used, what will be evaluated by simulation and what type of results we will achieve.		
Keywords Multisensor technology, missile seeker, data fusion, IR, radar, mm-wave, countermeasures, simulation, assessment		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 27 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1	Inledning	6
2	Bakgrund	7
2.1	UCAV:en.....	7
2.1.1	Sensorer	7
2.2	Scenariot.....	8
3	Identifierade typsituationer	10
3.1	Terräng	10
3.1.1	Målobjekt på öppet fält	11
3.1.2	Målobjekt på väg genom skog	11
3.2	Flygvägar: längs / tvärs vägen.....	12
3.3	Väder: vackert / regn	13
3.3.1	Vackert väder	13
3.3.2	Regn.....	13
3.4	Störning radar: Rems / ej.....	13
3.5	Störning IR: Rök / ej	13
4	Terräng- och målmodeller	15
4.1	Terrängmodeller	15
4.2	Målmodeller	16
5	Simulering - RADAR.....	18
5.1	SPECRAY EM.....	18
5.2	Simulering av SAR-bilder med SPECRAY EM	19
5.3	Beräkningskomplexitet.....	20
5.4	Simulering av remsor och väder.....	21
6	Simulering - IR.....	23
6.1	CAMEO-SIM och RadTherm	23
6.2	SceneServer	24
6.3	Simulering av rök och väder	25
7	Förväntade resultat.....	26
	Referenser	27

1 Inledning

För att med hög tillförlitlighet kunna bekämpa rörliga markmål i olika miljöer krävs kvalificerade sensorer och avancerad signalbehandling, helst multisensorsystem. Detta medför att sensorsystemen tenderar att bli dyra, vilket är en av anledningarna till att man idag börjar se över möjligheten att separera bärare av de dyrbara sensorsystemen och verkansdelar med enklare sensorer. Man har därför börjat bestycka kvalificerade UAV-system med sensorer och funktioner för målsökning och målutpekning för att kunna återanvända sensorsystemen. Inom projektet "Avancerade målsökare" och dess föregångare har arbete under flera år bedrivits med att utarbeta algoritmer och metoder för multisensorteknik för funktionerna detektion, målföljning och måligenkänning. Resultatet från detta arbete kan utnyttjas vid utveckling av framtida UAV och UCAV-system.

Inom projektet "Avancerade målsökare" kommer två olika multisensormålsökarkoncept för markmålsbekämpning att utvärderas och rapporteras under detta år. De studerade plattformarna är av UCAV typ, dvs. bärrobot med substridsdelar. Det som skiljer de två multisensorkoncepten åt är att det ena utnyttjar dubbelriktad kommunikation till ett ledningssystem medan det andra är autonomt efter avfyring.

Fokus på arbetet är möjligheterna till teknisk värdering av de två UCAV-systemen. Operativa eller taktiska aspekter på UCAV-systemen kommer ej att värderas. För att göra den tekniska värderingen trovärdig har ett markmålsscenario från "Framtida markmålsbekämpning" [5] använts. Tidsperspektivet är ca 15 år framåt i tiden, det vill säga år 2020. Ekonomisk värdering kommer inte att göras.

Värderingen kommer att fokusera på några kritiska funktioner hos de två systemkoncepten såsom dess förmåga till detektion, målföljning och måligenkänning. De kritiska funktionerna kommer att värderas på olika sätt beroende på vilka metoder och möjligheter som idag finns tillgängliga, och spänner från praktisk verifiering med mät/demosystem till framtagna av teoretiska prestandamått via simulering. En del funktioner är dock så komplexa att värdera att vi endast kommer att diskutera dessa och ge bedömningar på uppnåeliga prestanda.

Syntetiska simuleringsmiljöer kommer att vara mycket viktiga vid värderingen av prestanda hos systemkonceptet. I denna rapport sammanställs och beskrivs de simuleringsverktyg som kommer att användas vid denna värdering och beskrivs hur simuleringarna kommer att genomföras.

2 Bakgrund

Inom Försvarsmakten har det bedrivits flera studier om UAV:er t.ex. Integrerat Projekt Team (IPT) UAV. Det har även getts ut flera uppsatser från Försvarshögskolan med olika UAV-tillämpningar. Dessa arbeten tillsammans med den forskning som bedrivits inom projektet Avancerade målsökare ligger till grund för denna rapport.

Dagens militära operationer tenderar att vara mer komplexa än tidigare eftersom övergången mellan fred och krig ofta är otydlig. Britterna använder uttrycket "the three block war" för att beskriva detta komplexa fenomen. Det som avses är att soldater ofta möter tre parallella dimensioner av en konflikt: den fredsframtvängande, den fredsuppbyggande samt den humanitära dimensionen, allt inom några få kvarter. Lågintensitetskonflikter ställer dessutom särskilda krav på precision, graderad verkan och hantering av gällande insatsregler.

För att ett UCAV-system ska vara användbart måste det vara flexibelt nog att kunna verka oavsett terräng, väder, telekrigsmiljö etc. Insatser mot tidskritiska mål är en annan viktig förmåga som obemannade farkoster bland annat bedöms kunna bidra till, vilket kräver fart och uthållighet. Oavsett operation är det dock mycket viktigt att snabbt och korrekt kunna detektera, följa och identifiera mål, vilka kan variera från stora markrobotar, stridsvagnar till jeepar, traktorer och enskild soldat.

2.1 UCAV:en

De två systemkoncept som kommer att utvärderas består av en UCAV, med respektive utan länk till ett ledningssystem. Intressanta måltyper är framförallt högvärdiga markmål såsom stridsvagnar, luftvärnssystem, robotfordon etc., men UCAV-systemet ska även kunna fungera mot mjuka markmål, helikoptrar och små kustnära sjömål. UCAV:en ska kunna verka i svår telekrigsmiljö med störsändare, skenmål, luftvärnssystem etc. Den ska även ha förmåga att skilja på skenmål av måttlig kvalitet och riktiga mål. Den ska fungera oberoende av väder och i många olika typer av terrängområden (skog, urban miljö etc.) både vid väpnat angrepp och vid internationella operationer.

Nedan följer data på den generiska UCAV-modell som har använts under arbetet. UCAV:en är av typen MALE (Medium Altitude Long Endurance UCAV) [1]:

Sensorlast:	50 kg
Vapenlast:	400 kg
Räckvidd:	1500 km
Flyghastighet:	Mach 0.8+
Längd:	8.0 m
Spännvidd:	5.5 m
Max Startvikt:	3500 kg
Motmedel:	Facklor, remsor och skenmål

2.1.1 Sensorer

För att få ett flexibelt system som kan operera under alla väderförhållanden krävs sensorer som inte är väderbegränsade. Den svåra signalmiljön som förutsätts, med aktiva störare, kräver kvalificerade sensorer och signalbehandling hos UCAV:en. Systemet måste även ha god yttäckningsförmåga,

men samtidigt ha förmåga att identifiera enskilda fordon. För att uppnå dessa önskemål behövs ett multisensorsystem med en kombination av sensorer som skiljer sig åt i funktion och frekvensområde [2]. Tidigare studier har visat att ett multisensorsystem med IR och radar bäst uppfyller detta önskemål [3].

En sensor som kan ge UCAV:en god yttäckningsförmåga och allväderskapacitet är SAR/GMTI (eng. Synthetic Aperture Radar / Ground Moving-Target Indication). Med denna sensor kan mål detekteras och klassificeras. Radarsystem har även fördelen att kunna operera på stort avstånd från målet oavsett väder, vilket är önskvärt då målet kan ha skydd av luftvärn. Stillastående mål kan detekteras med SAR, men med sämre detektionsprestanda än vad GMTI har mot rörliga mål.

SAR / GMTI

Frekvens: K_u /K_a/W (18/35/94 GHz)

Räckvidd: 5 - 20 km

Vikt: < 20 kg¹ (micro SAR på ca 10 kg finns)

För att kunna identifiera mål behöver SAR/GMTI-systemet kompletteras med en sensor med högre upplösning. En multispektral EO/IR sensor kan vara ett bra komplement. Dessa sensorer kräver dock molnfrihet, eller åtminstone glesa moln, för att fungera. De har god upplösning, vilket är nödvändigt då man vill identifiera olika mål. EO/IR kan även bidra till förbättrade detektionsprestanda på längre avstånd då väderleken tillåter.

EO/IR

Våglängd: 3-5 µm

Räckvidd: < 5 km (väderberoende)

Vikt: < 15 kg

2.2 Scenariot

Detta avsnitt inleds med att ge en bakgrund till huvudscenariot som systemkonceptet ska värderas mot. En utförligare beskrivning av scenariot finns i [4]. Scenariot som systemkoncepten ska värderas mot har stora likheter med två scenarier beskrivna i studien "Framtida markmålsbekämpning" [5]. Scenariot utspelas i ett jordbrukslandskap med samma vegetationstyp som i mellersta Sverige.

Två fientliga bataljoner har landsatts i syfte att ta fyra flygplatser. Varje kompani består av 10 stycken stridsfordon (stridsvagnar, pansarskyttefordon etc.) utrustade med varnare och motmedelsystem (VMS). Ett kompani på väg mot en flygplats blir upptäckt av en spanings-UAV. Tre UCAV-enheter sänds till det aktuella området för att förhindra att kompaniet når flygplatsen. Spanings-UAV:en har bara mätt in en begränsad mängd av fordonen (<20%) då kompaniet anses upptäckt och beslut om bekämpning tas. UAV:en har en måluttagning med 10 m noggrannhet för enskilda fordon. Hur länge spanings-UAV:en kan bevaka målområdet efter upptäckt av kompaniet är en av värderingsparametrarna.

Tid: kl.08.00

Datum: 16 maj

Ljuförhållanden: gryning kl.04:30-05:30, skymning kl.22:30-23:30

Väder: växlande molnighet.

¹ Sandia's MiniSAR, <http://www.sandia.gov/news-center/news-releases/2004/def-nonprolif-sec/minisar.html>

Molnbas: 300 m

Temp: +10 grader

Vägnät: rikligt vägnät, asfalterade- och grusvägar.

Fysisk storlek: Varje kompani befinner sig inom en yta om 500 x 1500 m (10 stycken stridsfordon)

Rörlighet: Bandgående stridsfordon med god förmåga att framrycka i väglös terräng. Landsväg 50-70 km/h, terräng 25-40 km/h.

Social miljö: Fåtal civila personer finns kvar i området.

Stridsfordonen i kompaniet kan bestå av följande fordonstyper: BMP1-APC, BTR80-APC, M109A6-PALADIN, SA4-LNCH, T72, T80

När UCAV-erna kommer fram till målområdet aktiverar de sina sensorer och målen börjar detekteras. För att få bra prestanda även mot många mål krävs lokal korträckviddig kommunikation mellan enheterna. När de detekterade målkandidaterna har klassificerats och identifierats ska de prioriteras. Därefter tilldelas de olika enheterna en eller flera målkandidater. Då UCAV:en har tilldelats ett mål kan beslut om insats ske på några olika sätt, beroende på aktuella handlingsregler ROE ("Rules Of Engagement").

De två olika koncepten som ska värderas skiljer sig åt genom att ett är i huvudsak autonomt efter avfyring och det andra har en länk så att dubbelriktad kommunikation med "nätverket" är möjlig. Konceptet där UCAV:en i huvudsak opererar autonomt kan var motiverat då det krävs mycket snabba insatser vid t.ex. ett väpnat angrepp och då man vet att målområdet inte innehåller några civila eller egen trupp.

Det finns stora fördelar med att utnyttja en länk t.ex. för att uppdatera UCAV-systemets mållägen under inflygningen till målområdet eller för inkoppling av en operatör i loopen för säkrare målval. Med en länk kan en operatör med hänsyn till militärtaktik välja mål eller avbryta insatsen.

Då målet ska bekämpas avfyras en substridsdel. Denna bör ha en liten och billig sensor för slutfasen, men den måste ha hög precision oavsett väder. När bekämpningen är utförd bör UCAV:en värdera insatsen, om det är möjligt att stanna kvar i målområdet.

3 Identifierade typsituationer

Det finns en mängd scenarier som skulle kunna värderas men det är inte realistiskt att värdera alla dessa. I värderingsarbetet som har bedrivits under året har därför ett antal typsituationer identifierats. Dessa har begränsats till följande fem fall:

- Terräng: skog / fält
- Flygväg: längs / tvärs vägen
- Väder: vackert / regn
- Störning radar: Rems / ej
- Störning IR: Rök / ej

I de två första fallen, skog/fält och längs/tvärs, värderas terrängmaskens påverkan på UCAV-systemets förmåga. Liknande frågeställningar uppstår även om målet skymms av berg, dalgångar, byggnader etc.

I de tre sista fallen, vackert/regn och störning radar/IR, värderas UCAV-systemets robusthet med avseende på väder och telekrigshot.

3.1 Terräng

För simuleringen av UCAV-scenariot kommer den terrängmodell som finns över en del av övningsområdet på MSS i Kvarn att användas. Dessa omgivningsmodeller innehåller högupplöst markyta, automatiskt rekonstruerade byggnader och modeller av enskilda träd inplacerade på korrekta positioner och med korrekta dimensioner. Eftersom omgivningsmodellerna representerar en verklig plats är det möjligt att verifiera simulerade resultat med verkliga fältmätningar i det aktuella terrängområdet. Detta ger en starkare relevans hos simuleringarna.



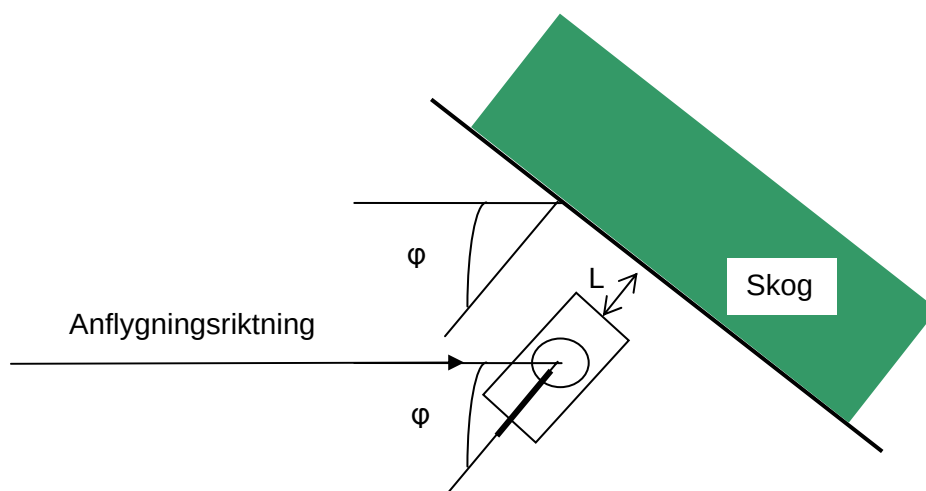
Figur 1. Karta över Prästtomta skjutfält där värderingen av systemkoncepten kommer att ske.

3.1.1 Målobjekt på öppet fält

I detta fall befinner sig kompaniet på ett öppet fält med kortklippt gräs. En skogsriddå (barrskog) kan ligga ett antal meter bakom fordonet. Fordonen antas vara under framryckning längs med skogskanten, temporärt stillastående, eller på väg in i skogen. Anflygningsriktningen (ϕ) mot skogsriddåns kant kan varieras för att belysa inverkan på systemets prestanda på grund av detta, se Figur 2 och Figur 3.



Figur 2. Målet på ett öppet fält.



Figur 3. Målet på ett öppet fält framför en skogsriddå.

3.1.2 Målobjekt på väg genom skog

I det andra fallet befinner sig kompaniet på en grusväg som går igenom en skog (barrträd), se Figur 4. Skogen ansluter ganska tätt till vägen. Det finns som mest ett par meter låg vegetation mellan väg och skog, varför insyn till fordon på vägen är begränsad. Insyn finns vid flygriktning längs och ovanför vägen inom en konvinkel på ca. 30-40°.

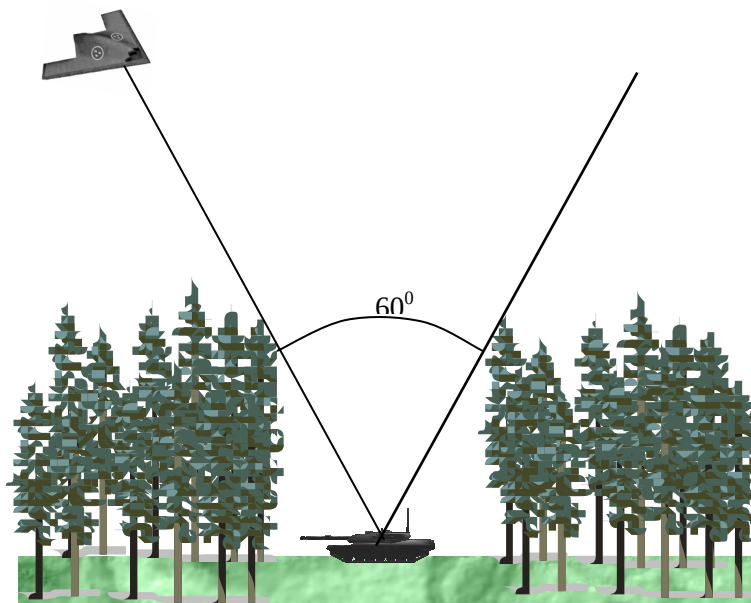
Fordonen är under framryckning på vägen eller temporärt stillastående på eller invid vägen. Målet med detta scenario är att undersöka systemprestanda för UCAV:en beroende på vilken flygväg den tar mot målet. Detta scenario har vissa likheter med det förra i och med att man både har grusväg och skog.



Figur 4. Syntetisk bild på grusväg genom skog sett från 240 m höjd. Data är från tidigare mätningar vid Kvarn.

3.2 Flygvägar: längs / tvärs vägen

Flera SAR-system har begränsningar i depressionsvinkel, t.ex. Predator har en maximal depressionsvinkel på 60 grader. Om höga träd står nära en väg är det svårt att få insyn. Frågan är då om man ska flyga längs eller tvärs vägen. De olika flygvägarna har olika för- och nackdelar, t.ex. rörande upptäcktssannolikheten för fordonen respektive sannolikheten att UCAV:en upptäckts och kan bekämpas.



Figur 5. Insyn i skog.

3.3 Väder: vackert / regn

Två olika väderfall kommer att värderas, ett där båda sensorerna har fulla prestanda och ett där främst IR-sensorn har begränsade prestanda.

3.3.1 Vackert väder

Denna vädersituation är hämtad från markmålsstudien S1 a) Bekämpa fallskärmsluftlandsättning.

Datum: 2020-05-16

Tid: kl. 08.00

Ljuförhållanden: gryning kl. 04:30-05:30, skymning kl. 22:30-23:30

Väder: växlande molnighet. Dager, sikt: 10000 m

Molnbas: 800 m

Temp: +10 grader

3.3.2 Regn

Denna vädersituation är hämtad från markmålsstudien 3 b) Vapensmuggling via vägar och stråk.

Datum: 2020-11-21

Tid: kl. 02.00

Väder: Regn, mörker, sikt: 2000 m.

Molnbas: 150 m

Temp: +2 grader

3.4 Störning radar: Rems / ej

I markmålsfallet är remsor, aktiv brusstörare eller repeterstörssändare lämpliga radarmotmedel. Pyrofora remsor är verksamma mot både radar och IR och är därför lämpliga motmedel för att störa multisensorsystem. Remsor används normalt för vilseledning i sjömålsfallet, och kommer i dessa simuleringen att användas för dämpning av målsignaturen och placeras mellan markmålet och roboten på samma sätt som man normalt placerar rök.

3.5 Störning IR: Rök / ej

Det finns flera olika IR-motmedel såsom rök, facklor, DIRCM (Directed IR countermeasure) etc. I denna värdering kommer endast påverkan av rök att värderas. Rök används för olika syften. Det kan dels vara för att avvärja ett uppkommet robothot, men också för att dölja en förflyttning. Därutöver används rök för vilseledning. Röken behöver genereras under hela tiden som skyddet skall fungera. Röken kan genereras av rökgeneratorer eller pyrotekniska störladdningar.



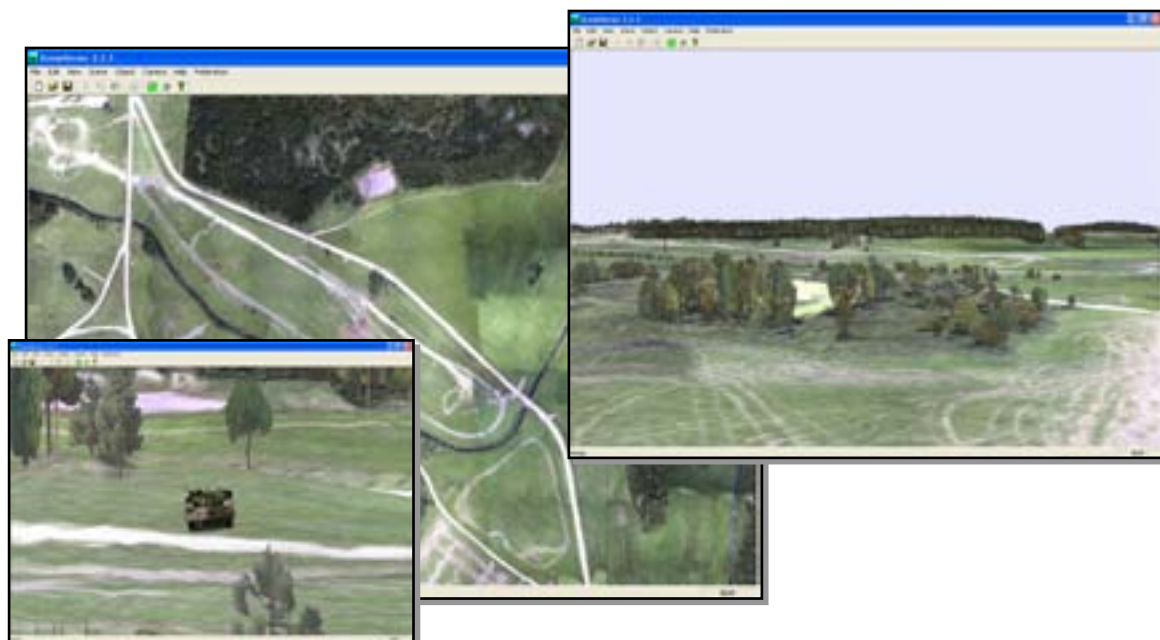
Figur 6. Rökgenerator M58 Wolf genererar IR och visuell rök.

4 Terräng- och målmodeller

4.1 Terrängmodeller

För simuleringen av UCAV-scenariot har en del av övningsområdet på MSS i Kvarn använts. Detta område är topografiskt karterat med laser, varpå högupplösta omgivningsmodeller av området har skapats. Dessa innehåller högupplöst markyta, automatiskt rekonstruerade byggnader och modeller av enskilda träd inplacerade på korrekta positioner och med korrekta dimensioner [6], se figur 8.

Två omgivningsmodeller har skapats för simuleringarna: en omgivningsmodell med högupplösta termiska IR-texturer (för ett realistiskt bakgrundsklotter i IR-simulering), samt en materialklassad modell för EM-beräkningar (EM= Elektro-Magnetiska). Båda dessa omgivningsmodeller är geografiskt och geometriskt korrelerade, vilket underlättar vid fusion av simuleringsresultat. Eftersom omgivningsmodellerna representerar en verklig plats är det möjligt att verifiera simulerade resultat med verkliga fältmätningar, se figur 7.



Figur 7. Markmodellen som finns över skjutfältet i Kvarn, här visad med visuell textur, kommer att användas vid scenariosimuleringarna.

En högupplöst IR-textur är sedan tidigare applicerad på en omgivningsmodell, vilken är användbar i t.ex. SceneServer. För att generera scener för fler väder- och belysningsfall etc. kan CAMEO-SIM och RadTherm användas. Det krävs då att samtliga objekt i scenen är materialklassificerade. För att de termiska och radiometrisk beräkningarna ska bli korrekta krävs dock dessutom att objekten delas upp i element (s.k. meshning) lämpade för numerisk lösning av aktuella energi- och strålningsbalanskvationer. Detta arbete är, i avsaknad av verktyg för automatisk meshning, mycket tidskrävande. Det gäller f.ö. hela den process för generering av målmodeller vi nu arbetar enligt idag, som utgår ifrån 3D-cad-modeller (tillgängliga för nyare fordon som CV90) eller punktmängder från laserskanning.

För att kunna beräkna radarsignaturen från omgivningsmodellen är samtliga objekt i scenen materialklassificerade. Radarsimuleringsverktyget ansätter sedan materialparametrar till de materialklassade objekten vid simuleringen.



Figur 8. Bilden visar en sammanställd textur över en del av modellen över Kvarn. Färgerna i bilden motsvarar material / terrängtyp.

Terrängmodellen är klassificerad med följande material / terrängtyper: gräs, väg, undervegetation, lera, berg och vatten. Modeller av enskilda träd är inplacerade i terrängmodellen på korrekta positioner och med korrekta dimensioner. De olika trädtyper som har använts är tall, gran och björk. Skogsterräng är problematisk på grund av att en noggrann modellering av träd är mycket minnes- och beräkningskrävande. Det kan därför bli nödvändigt att använda enklare trädmodeller vars signaturgenskaper inte är helt tillfredsställande. En möjlig lösning är att använda högupplösta trädmodeller i skogsridåer och i närheten av målobjekten och enklare modeller längre in skogen.

4.2 Målmodeller

För värderingen krävs information om målobjektens signatur. Målen som kommer att användas vid värderingen är listade i tabellen i Figur 9.

Objekt	Beskrivning
BMP1-apc	Pansarskyttfordon
BTR80-apc	Pansarskyttfordon
M109A6-paladin	Kanonvagn
T72-tank	Stridsvagn
T80uk-tank	Stridsvagn
SA4-launch	Robotutskjutningsvagn



Figur 9. Tabellen listar de sex modellerna som kommer att användas vid simuleringarna, räknat uppifrån och från vänster. Målmodellerna visas här med visuell-textur.

Målmodellerna finns i två versioner: en cad-modell som är texturerade med IR-textur och en cad-modell med högupplösta geometrier för beräkning av radarsignatur, figur 10.



Figur 10. Cad-modell av T72 med IR-textur överst och högupplöst cad-modell för beräkning av radarsignatur underst.

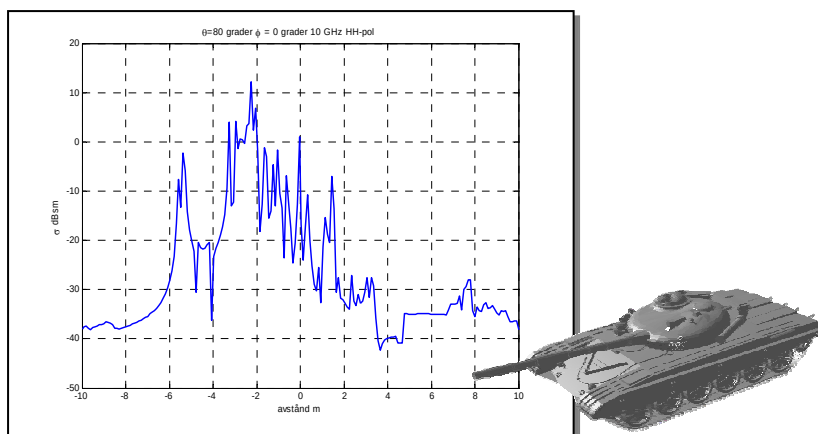
IR-modellerna har i tidigare arbeten försetts med en syntetisk LWIR-textur som "påklistrats" för att simulera IR-signaturen. För att förbättra kvaliteten på målsignaturerna pågår arbete med att för varje fordon ta fram en uppsättning bastexturer, vilka sedan kan kombineras på olika sätt för att modellera den signaturvariation inom LWIR-området som fordonen uppvisar beroende på tid på dygnet, väder, driftstillstånd osv. För närvarande har endast tre fordon modellerats för användning i CAMEO-SIM och RadTherm, vilket är för få för att kunna användas vid värdering av UCAV-systemets måligenkänningsprestanda.

5 Simulering - RADAR

5.1 SPECRAY EM

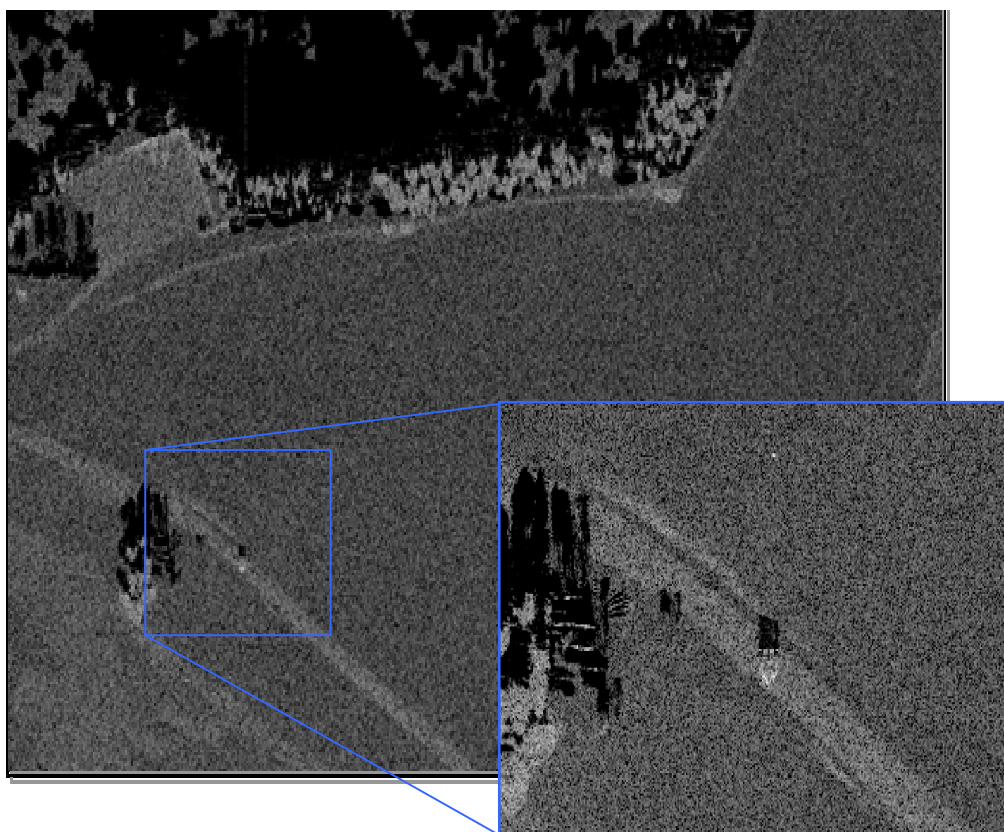
SPECRAY EM är en programvara från det franska företaget OKTAL-SE [7], för beräkning av elektromagnetisk spridning, exempelvis för estimering av radarmålarea hos objekt eller för simulering av radarsensorer i syntetiska miljöer. Programvaran utvärderades under sommaren 2004 med gott resultat [8] och en licens köptes in i slutet av 2004. SPECRAY EM kan integreras i simuleringsarkitekturer och automatiseras på ett enklare sätt än tidigare använda verktyg, vilket underlättar utvärdering av olika scenarier.

SPECRAY EMs primära funktion är att beräkna elektromagnetisk spridning från objekt med geometrisk och fysikalisk optik som beräkningsmodell. I Figur 11 visas en högupplöst avståndsprofil av en stridsvagn, T72, som beräknats i frirymd med SPECRAY EM. Upplösningen är ca. en decimeter och sådana avståndsprofiler används vid t.ex. klassificering av objekt.



Figur 11. Figuren visar en avståndsprofil beräknad på en stridsvagn, T72, med SPECRAY EM. Beräkningen är i detta fall gjord i frirymd och har en upplösning på ca 1 dm.

Till skillnad mot de profiler som tidigare beräknats med andra verktyg, kan man med SPECRAY EM direkt placera objektet på t.ex. gräsbakgrund och beräkna en sekvens av avståndsprofiler för olika avstånd. Genom att placera objekt i en materialklassad syntetisk omgivning ges möjlighet att göra naturtrogna simuleringar med olika val av terrängbakgrunder. Detta är av stort intresse då olika algoritmer ska utvärderas eftersom dessa måste fungera väl oavsett bakgrund, vilken kan variera mycket. I Figur 12 visas en framsimulerad SAR-bild över en del av skjutfältet i Kvarn med en upplösning på ca. 0,25 x 0,25 m. I scenen har en stridsvagn av typen T72 placerats och man kan i delförstoringen se hur skuggan korrekt projiceras på den underliggande terrängen.



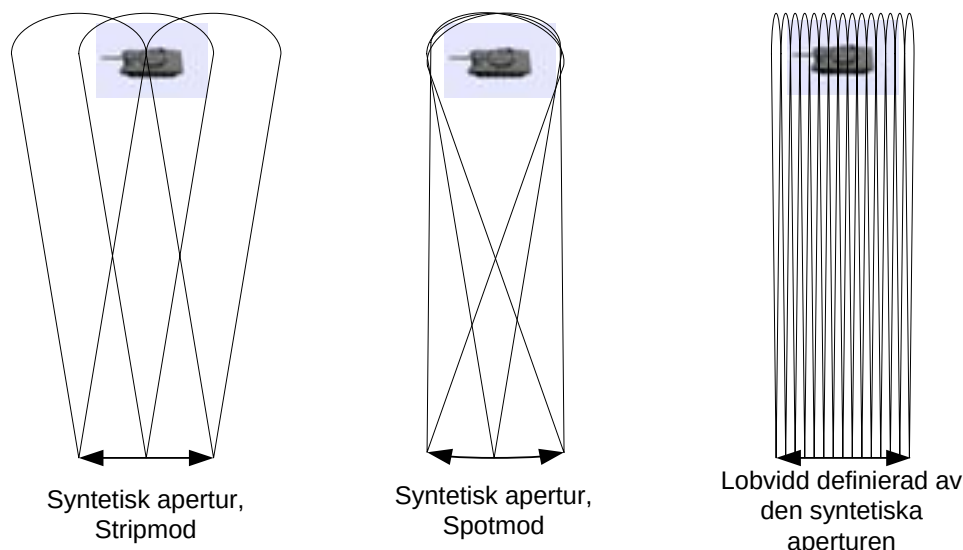
Figur 12. Simulerad SAR-bild över en del av skjutfältet i Kvarn. I scenen har en stridsvagn av modell T72 placerats in, vilken även kan ses i delförstoringen nere till höger. I terrängmodellen har endast ett begränsat antal träd, med förenklad struktur placerats in för att reducera beräkningsbördan vid simuleringen.

5.2 Simulering av SAR-bilder med SPECRAY EM

När man vill simulera SAR-system med SPECRAY EM kan man göra det korrekt med simulering av varje utsänd puls, samtidigt som man flyttar sensorn utmed apertursträckan. Alternativt gör man en approximativ simulering med en smal lob som motsvarar den syntetiska antennens lobbredd, se Figur 13. Denna approximation medför att skuggor bakom objekt får en något skarpare kant och blir något bredare än i en korrekt bild. Bilden i Figur 12 är framsimulerad med denna approximativa metod.

Ett problem är dock att rörliga objekt inte behandlas på ett korrekt sätt med denna metod. Om ett objekt rör sig under den tid det tar att flyga upp apertursträckan i ett SAR-system, kommer detta objekt att förflyttas och dess upplösning att försämrats i SAR-bilden. Dessa effekter reduceras dock väsentligt i SAR-system med särskilda kompenseringsmetoder. Dessa metoder bygger på att man genom att uppskatta rörelsen för objektet, justerar dess signalkomponenter i rådata innan själva SAR-inversionen görs. Dock är en viss degradering av SAR-bilden över objektet ofrånkomlig, vilket inte fås med i den ursprungliga formuleringen av den approximativa simuleringsmetoden.

Genom att göra en modifiering av metoden kan dock väsentliga delar av degraderingen fås med. Man beräknar först bakgrunden med objektet bortmaskerat. Eftersom SPECRAY inte behandlar mål - markinteraktion kan sedan objektet beräknas separat och resultatet degraderas upplösningssmässigt, för att sedan läggas tillbaka additivt på önskat ställe i SAR-bilden. Denna metod bör fungera bra så länge de kvarvarande felen, i den korrigerade SAR-bild man vill efterlikna, är relativt små.



Figur 13. SAR-bilder produceras i realiteten genom att en syntetisk apertur skapas genom att flytta sensorn längs en känd bana. Detta resulterar i en bred apertur vilket ger en smal syntetisk lob. Vid simulering kan man direkt använda den smala syntetiska loben, vilket illustreras i bilden längst till höger.

5.3 Beräkningskomplexitet

Det som i huvudsak bestämmer den tid det tar att simulera returen från en puls med SPECRAY EM är storleken på lobens avtryck på marken i kombination med vilken upplösning man önskar, samt i viss mån terrängens komplexitet. För att få ett tillförlitligt resultat krävs att åtminstone en stråle per upplösningcell, helst fler, beräknas. Det är lätt att ställa in parametrar som leder till att en enorm mängd strålar krävs, varför det är nödvändigt att på förhand kunna uppskatta mängden strålar. Nedanstående ekvation ger en mycket grov uppskattning av antalet strålar, N , som kommer att användas i simuleringen för varje puls, förutsatt att avståndssamplingen täcker hela lobavtrycket.

$$N < \frac{2^{N_A} R^3 \beta_{az} \beta_{el}}{\Delta x \Delta y H}$$

där R är avståndet till bortersta avståndsluckan (d.v.s. $R = \sqrt{H^2 + R_H^2}$, där R_H är det horisontella avståndet till borte "lobkanten"), H är flyghöjden, Δx och Δy är upplösningen på marken i x- respektive y-led, β_{az} och β_{el} är lobvidden i radianer i azimuth respektive elevation, N_A är den maximala antialiasnivå som konfigurerats. Antialiasnivå är en parameter som begränsar det antal gånger SPECRAY tillåts skapa fler strålar för att hantera undersamlingsfenomen för kraftigt varierande geometri eller ogynnsamma infallsriktningar mot objekt i scenen. Om inte scenen täcker lobavtrycket, t.ex. på grund av små depressionsvinklar vid låg anflygning, kan β_{el} reduceras till att endast omfatta den vinkel scenen approximativt upptar.

För att exemplifiera ovanstående ekvation kan vi estimerar det antal strålar som krävs vid simulering av SAR-bilden i Figur 12 som är framtagen med den approximativa metoden. Bilden har en upplösning på 0,25 x 0,25 m, med en stråkbredd på 400 m från en flyghöjd på 1000 m och näravstånd på 1000 m. Denna geometri ger följande parametrar:

$$R = 1720,5 \text{ m}$$

$$\beta_{az} = 0,145 \text{ mrad}$$

$$\beta_{el} = 0,165 \text{ rad}$$

$$N_A = 10$$

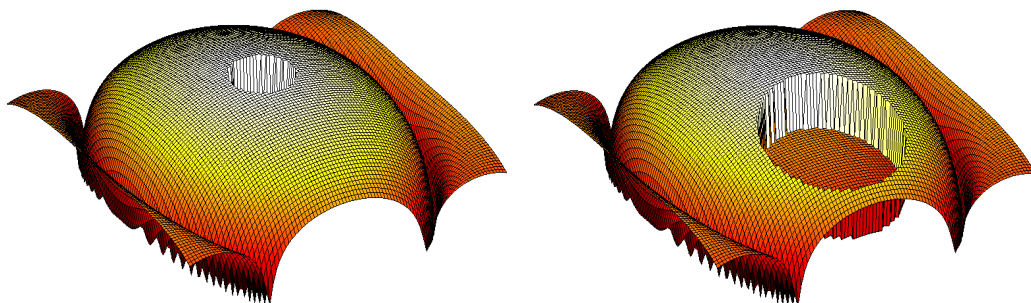
För detta exempel krävs det således ungefär 2 miljoner strålar per puls, vilket är en hanterlig mängd. Bilden är totalt 400 m lång, vilket ger 1600 pulser att beräkna. Men eftersom varje puls kan beräknas med en "oberoende" stråluppsättning kan datorns primärminne återanvändas mellan pulserna, vilket ger ett hanterbart beräkningsfall. Vid puls till puls simulering blir β_{az} ungefär 100 gånger större vilket således skulle ge ungefär 200 miljoner strålar att hantera. Så många strålar leder till minnesproblem i SPECRAY EM.

Då man använder den approximativa simuleringsmetoden för att generera SAR-bilder, används en mycket smal lob, β_{az} , vilket ger ett litet lobavtryck på marken. Av ekvationen ovan ser man att detta kraftigt minskar antalet strålar som behövs vid simuleringen, vilket medför att stora scener kan beräknas med hög upplösning.

För att kunna genomföra en beräkning krävs således att man noga tänker igenom den geometriska uppställning man vill simulera, d.v.s. vilken lobbredd och på vilket avstånd man vill att sensorn ska operera. Om det belysta området blir stort och om man önskar en hög upplösning, kan beräkningen bli ogenomförbar. Man får då undersöka om man kan skala ner problemet och genomföra beräkningen på ett kortare avstånd, med ett mindre lobavtryck. För SAR-system är detta möjligt under förutsättning att man kan acceptera ett mindre täckningsområde för den genererade SAR-bilden, alternativt att man genererar flera delbilder.

5.4 Simulering av remsor och väder

För att kunna värdera remsornas påverkan på målsökaren har ett remsmoln simulerats. Att göra beräkningarna på ett remsmoln där antalet remsor och storleken på dem helt överensstämmer med verkliga remsmoln skulle bli mycket tidskrävande. Istället byggdes ett remsmoln upp av sfärer vars minsta storlek bestämdes av den valda stråltätheten i simuleringarna. En ansatt dämpning bestämde antalet sfärer (ca 600) och deras storlek. Detta resulterade i ett remsmoln som delvis helt dämpar radarstrålar och delvis har hål som helt släpper igenom dem. Det simulerade remsmolnet roterades sedan slumpmässigt och medelvärden av dessa beräkningar visade att målets signatur dämpats relativt jämnt.



Figur 14. Antennndiagrammet vid två olika avstånd till remsmolnet.

Beräkningarna anses ge ett trovärdigt resultat, men är onödigt beräkningstunga för att bara ge en jämn dämpning av radarenergien som passerar remsmolnet. I stället kan antenndiagrammet modifieras så att strålarna som passerar genom remsmolnet får motsvarande lägre antennvinst, se Figur 14. Det bör noteras att detta gäller för simulerade data som avser radarsignalen från avståndsluckan och avståndsprofilen som beräknas över målet och som därmed enligt scenariet finns bakom molnet.

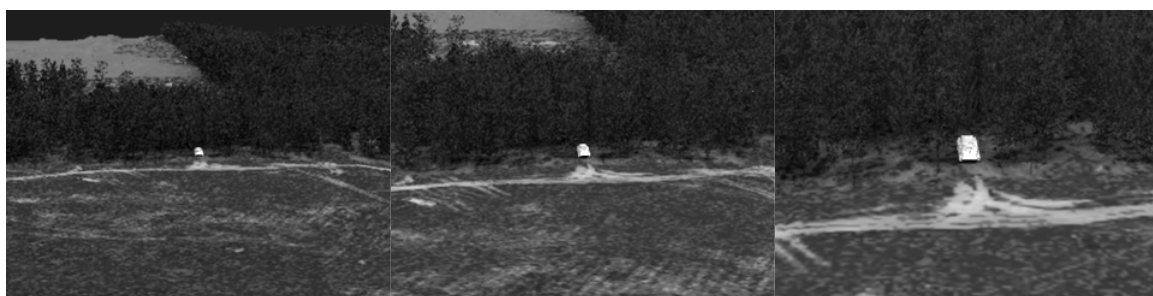
Väderförhållanden kan simuleras på liknande sätt. Genom att applicera en avståndsberoende dämpning på antenndiagrammet kan olika vädersituationer efterliknas. En förutsättning är dock att dämpningen inom målområdet kan försummas, d.v.s. att det område som täcks av avståndsluckorna är litet och att dämpningen där är försumbar. För de radarsystem som är aktuella i detta fall gäller dessa antaganden.

6 Simulering - IR

6.1 CAMEO-SIM och RadTherm

För omvärldssimulering inom IR-området används verktyget CAMEO-SIM, Figur 15, som utvecklats av FOIs brittiska motsvarighet Defence Science and Technology Laboratory och nu marknadsförs av företaget Insys Limited. CAMEO-SIM är ett av de mest kvalificerade verktygen för realistisk elektrooptisk simulering som finns tillgängliga, och används inom försvarsforskningen i bl.a. Norge, Storbritannien och USA. CAMEO-SIM utgår ifrån väderdata och materialbeskrivningar för scenelementen, och utnyttjar sedan strålföljning och grundläggande principer inom termofysik och radiometri vid rendering av bilder. Dessa bilder simulerar den infallande strålningen till en sensor. En separat *sensorsimulering* som tar hänsyn till effekter av den optiska avbildningen och detektoregenskaperna hos en specifik sensor krävs för att generera simulerade sensordata. För sensorsimulering utnyttjas egenutvecklade algoritmer.

En begränsning inom CAMEO-SIM är att termofysikaliska beräkningar endast utförs i en dimension, vilket exempelvis medför att värmeflödet till och från en yta beräknas endast i djupled. För att mer noggrant kunna simulera termofysikaliskt komplexa objekt med interna värmekällor, t.ex. fordon, Figur 16, kan senaste versionen av CAMEO-SIM anropa RadTherm, en standardprogramvara för termiska beräkningar på 3D-geometrier marknadsförd av företaget ThermoAnalytics, Inc.



Figur 15. CAMEO-SIM-rendering inom LWIR-området ($8\text{--}12\mu\text{m}$) av ett anflygningsförlopp mot ett stridsfordon av typ Pbv-401 parkerat i ett skogsbryn strax norr om samhället Kvarn.



Figur 16. RadTherm-rendering av LWIR-signaturen för en T72 klockslagen 07.00, 13.00, respektive 22.00 en solig svensk sommardag. Notera hur tunna plåtar snabbt värms upp av solen, men också snabbt kallnar efter solnedgången.

En kvarstående begränsning i CAMEO-SIM är att det inte finns någon termisk växelverkan mellan vanliga objekt. Endast solen, himmelsvalvet och speciella punktstrålkällor kan värma upp objekt i scenen. Det betyder att effekter som friktionsvärme från däck och drivband samt uppvärmning av marken genom avgasutsläpp inte kan modelleras utan speciella åtgärder.

Som diskuterats tidigare i denna rapport fokuseras intresset kring två omgivningar, dels ett öppet fält med en skogsridå, dels en skogsväg. För fältomgivningen finns en existerande modell (jmf. Figur 15) som kan utnyttjas, men skogsvägen kräver ytterligare arbete. Eventuellt kommer modellen av fältet att modifieras för att bättre överensstämmer med den modell som utnyttjas för radarsimuleringar. Skogsterräng är problematisk pga. att en noggrann modellering av träd är mycket minnes- och beräkningskrävande. Det kan därför bli nödvändigt att använda enklare trädmodeller vars signaturegenskaper inte är helt tillfredsställande. En möjlig lösning är att använda högupplösta trädmodeller i skogsridåer och enklare modeller längre in.

För tillfället finns tre fordonstyper modellerade i RadTherm. Inom projektet Optiska signaturer pågår validering av modellerna där predikterade värden jämförs med mätresultat från fältförsök. Modelleringen av fordonen, som är mycket tidskrävande, sker i princip parallellt genom stegvis förfining, där nya detaljer och funktioner tillförs successivt.

6.2 SceneServer

Vissa aspekter av värderingsarbetet kan komma att utföras i SceneServer, som är ett av FOI utvecklat verktyg för realtidsvisualisering av syntetiska omgivningar. SceneServer är, till skillnad från CAMEO-SIM, inte baserat på fysikalisk modellering, utan scenen representeras av en samling 3D-geometrier med 'påklitrade' texturbilder. En högupplöst terrängmodell av skjutfältet i Kvarn har genererats utgående från elevationsdata registrerade genom helikopterburen laserskanning. På terrängmodellen har sedan texturbilder klistrats utgående från IR-data registrerade samtidigt med laserskanningen. Detta ger en mycket god representation av hur terrängen såg ut vid datainsamlingen (se Figur 17), men ger ingen möjlighet att jämföra prestanda i olika väder och tidpunkter.

Den allvarligaste begränsningen med SceneServer är att målsignaturerna är fixa. Som framgår av Figur 16 varierar signaturen i själva verket starkt, vilket givetvis försvårar detektering och igenkänning. En värdering av förmågan att särskilja mellan två fordonstyper kan bli helt missvisande (optimistisk) om den baseras på ett antagande om fixa målsignaturer. Problemet är något mindre vid värdering av detektionsförmåga, eftersom man där vill särskilja mellan två stora klasser, mål och bakgrunder. Det är rimligt att anta att signaturskillnaden mellan mål och bakgrund är så stor att variationen för ett enskilt fordon är av mindre vikt. Detektering sker också i allmänhet i så låg upplösning att detaljer som särskiljer olika måltyper inte är urskiljbara.



Figur 17. Simulering i SceneServer av ett anflygningsförlopp mot en T72.

Bristen på högkvalitativa termiska fordonmodeller har gjort att algoritmutvecklingen tidigare fokuserat på detektionsfasen. Ett omfattande arbete har lagts ner på utveckling av effektiva högpresterande detektionsalgoritmer. Befintliga algoritmer är emellertid optimerade för detektering av andra fordon än de som modellerats i CAMEO-SIM / RadTherm. Värderingen av detektionsprestanda kan därför komma att ske i SceneServer-miljö.

6.3 Simulering av rök och väder

Effekten av rök, gaser och vätskepartiklar (aerosoler) på strålning i olika delar av IR-området är starkt beroende av partikelstorlek och gasers absorptionsspektra. För realistisk simulering krävs därför att det i verktygen är möjligt att i detalj specificera aerosolernas egenskaper.

I CAMEO-SIM används atmosfärsmodelleringssprogrammet MODTRAN för simulering av dämpning, spridning och emission i atmosfären orsakad av strålningens växelverkan med gaser och partiklar. Det är i MODTRAN möjligt att specificera gasers transmissionsegenskaper i olika spektralband samt partiklars storlek, vilket gör att olika typer av rök, dimma och nederbörd kan simuleras.

Vattenbeläggning på ytor, vilket förekommer vid dagg, dimma och regn, har stor påverkan på den reflekterade och emitterade strålningen i vissa våglängdsband. I CAMEO-SIM är det inte möjligt att ta hänsyn till denna effekt. RadTherm har dock funktioner för simulering av vattenbeläggning på ytor, vilket medför att påverkan på fordons signatur kan predikteras.

I SceneServer finns endast rudimentär funktionalitet för simulering av rök och väderpåverkan. Partikelsystem kan utnyttjas för att simulera rökens skylande effekt, medan atmosfärsdämpning orsakad av regn och dimma kan simuleras genom en dämpning som är en enkel funktion av avståndet mellan kameran och scenelementet.

7 Förväntade resultat

Syftet med simuleringarna är att undersöka och belysa möjligheter och begränsningar med det systemkoncept som beskrivits. Dataunderlaget förväntas ge ett bra underlag till att bedöma, värdera och illustrera systemkonceptens förmåga till autonom eller stöttad måligenkänning och detektion av mål under olika terrängbetingelser och spaningsfall.

Begränsningar hos verktygen gör dock att resultaten främst kommer att ge underlag till bedömningar och jämförelser mellan konkreta systemlösningar. Utsagor om absoluta gränser för prestanda och uppnåeliga resultat kommer dock inte att vara möjligt att göra med säkerhet. Däremot möjliggör simuleringarna undersökning av inverkan av störning och olika väderförhållanden på detektions- och klassificeringsalgoritmer.

Eftersom alla komponenter i systemet, såsom exempelvis ruttplaneringslogik, inte ryms inom projektet, så kommer resultatet av utvärderingen av nödvändighet vara baserad på vissa antaganden om prestanda och förmågor hos dessa delsystem. Simuleringsresurserna kommer därför att koncentreras till att ta fram dataunderlag för att besvara ett antal frågor som relaterar till de typsituationer som beskrivs i avsnitt 3.

Inverkan av länk till samordningscentral eller operatör har visat sig till stor del medföra olika krav på spaningskapacitet, vilket medför förändrade sensorkrav och förskjutit en stor del av frågeställningen till taktiskt uppträdande och ruttplanering. De frågeställningar, som i de sammanhangen rör multisensorsystem, är främst förändrade spaningsgeometrier vid detektion och en eventuellt förhöjd hotnivå vid måligenkänningsfasen.

Referenser

- [1] P. Brämning (red), "Precisionsvapen i NBF, spelkortsunderlag", FOI-RH--0260--SE.
- [2] M. Karlsson m.fl., "IRmm-målsökare, en systemlösning", FOI-RH--99-00443-314, 1999.
- [3] M. Karlsson m.fl. "Laserradar / IR / Millimetervågsradar i målsökare, en förstudie av olika kombinationer", FOA-R--00-01552-314--SE, Användarrapport, Linköping, 2000.
- [4] L. Carlsson m.fl., "Systemkoncept Avancerade målsökare", FOI Memo nr: 906, 2004.
- [5] Framtida markmålsbekämpning (ATK00259S), 2003.
- [6] Nils Karlsson m.fl., "Störning av multisensorsystem, Lägesrapportering av störningsscenario och simuleringsmiljö", FOI Memo nr: 1333, 2005.
- [7] Internet: <http://www.oktal-se.fr/ENGLISH/site/sommaire.htm>, besökt 2004-11-29.
- [8] M. Karlsson m.fl., "Utvärdering av SPECRAY EM, Ett programpaket för radarsignaturberäkningar och radarsimuleringar ", FOI-R--1354--SE, Användarrapport, Linköping, 2004.