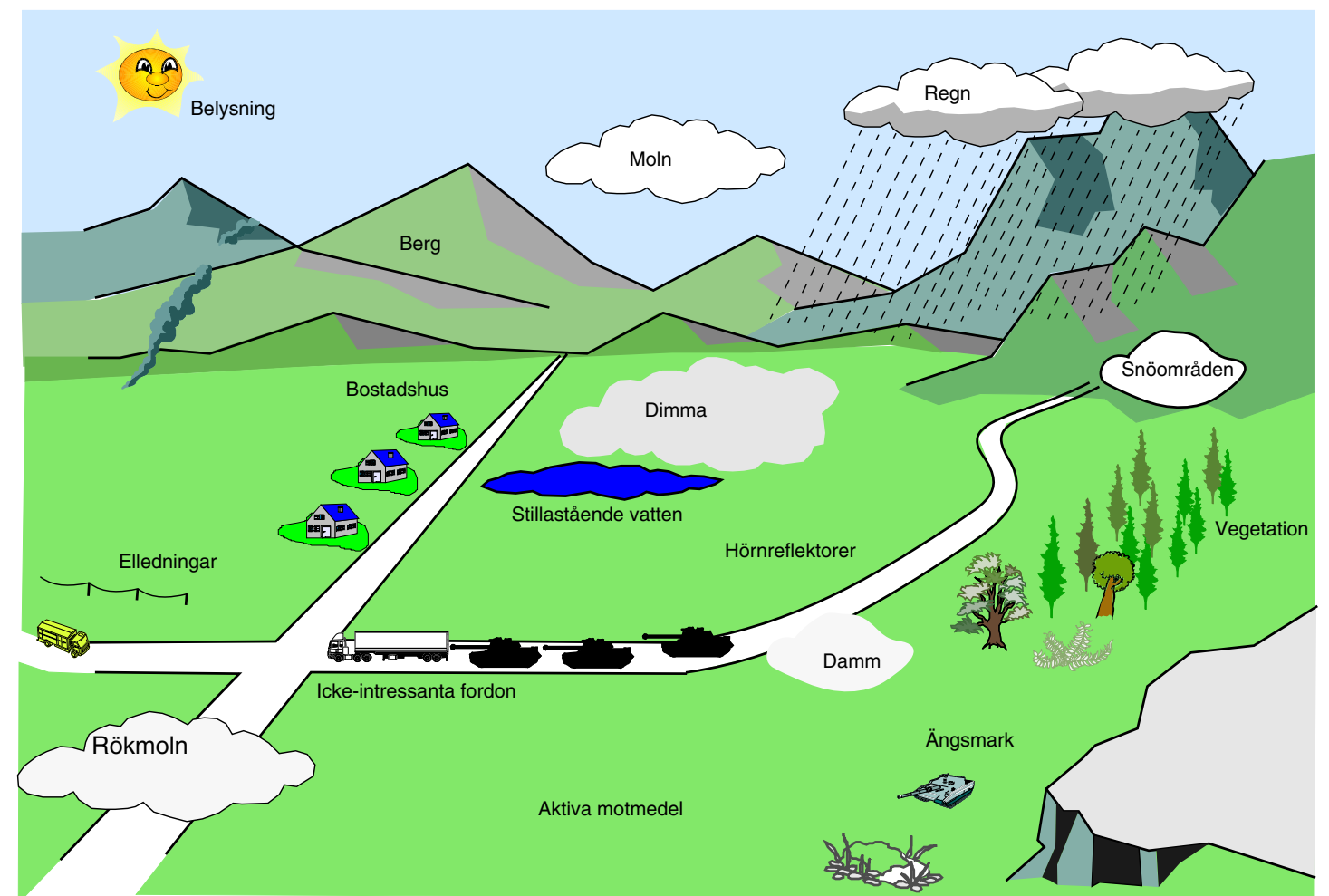


PER GRAHN, TOMAS CHEVALIER, PETER FOLLO, ROBERT FORSGREN, GUSTAV HAAPALAHTI,
HANS HABBERSTAD, MORGAN ULVKLO, JÖRGEN KARLHOLM, JOHAN RASMUSSEN



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.

Per Grahm, Tomas Chevalier, Peter Follo, Robert Forsgren, Gustav Haapalahti,
Hans Habberstad, Morgan Ulvklo, Jörgen Karlholm, Johan Rasmusson

Stödverktyg för SEMARK-konceptet, underlag och metodik

Rapportnr / Report no	FOI-R--2526--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport Technical report
Utgivningsår/Year	Juni 2008
Antal sidor/Pages	64
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and low Observables
Delområde Subcategory	42. Sensorer 42 Above surface Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance
Projektnr/Project no	E3069
Godkänd av/Approved by	Ola Kärvell

Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI
Avdelningen för Sensorsystem
Box 1165
581 11 Linköping

Innehållsförteckning

1. Inledning och sammanfattning	7
2. Konceptets grund.....	9
2.1 Vidareutveckling och komplettering av konceptet	13
2.1.1 Olika stora spaningssystem för olika typer av uppgifter	16
2.2 Exempel på hur konceptet kan användas	16
2.3 Skapa lägesbildunderlag för planering, framryckning samt vid kartläggning	17
3. Stödverktyg	19
3.1 Beslutstöds utformning	19
3.2 Gemensam lägesbild	21
3.3 Planeringsverktyg	22
3.3.1 Arbetsgång.....	24
3.4 Verktyg att använda i genomförandefasen	25
3.4.1 Exempel på genomförandeverktyg, autonom rutt- och sensorplanering	26
3.5 Uppföljnings- och analysverktyg	27
3.6 Simuleringsverktyg	28
3.6.1 Realistisk sensorsimulering för sensorevaluering och sensorplanering	28
4. Metodik	31
4.1 Invisning	31
4.2 Prestandaprediktion.....	33
4.2.1 Allmän prestandaskattning	34
4.2.2 IR-sensorer	37
4.2.3 Prestandaprediktion EO och IR	41
4.2.4 Prestandaprediktion i IR genom simulering	42
4.2.5 Prestandaprediktion radar	45
4.2.6 Prestandaprediktion för 3D-avbildande laserradar	48
4.2.7 Prestandaprediktion Akustik	50
4.3 Simuleringsbaserad prestandaestimering	51
4.3.1 Vikten av spatiella strukturer.....	53
4.4 Modellering.....	54
4.5 Sensorstyrning.....	55
4.5.1 Övergripande sensormodell	55
4.5.2 Förslag till övergripande sensorstyrmodell	56
4.5.3 Kriterie- och styrmålsfunktioner	60
4.5.4 Optimering.....	61
4.6 Beslutsmetodik.....	61
5. Referenser.....	63

Sammanfattning

Den här rapporten ska ses som en första inventering eller kravspecifikation över de stödsystem som SEMARK-konceptet behöver för att uppnå full effekt. Vi beskriver stödsystemen i termer av lägesbild, planering, genomförande, uppföljning, simulering samt allmänna synpunkter på utformningen.

Enkla planeringsverktyg skulle kunna åstadkommas relativt snabbt och göra en stor nytta på användarnivå. Vägen framåt är däremot lång eftersom man förenklar komplexa samband som hela tiden behöver verifieras.

Dessa stödsystem bygger på olika metodiker, där vi försökt att beskriva sådan metodik som har stor inverkan på sensorerna och deras användning. Vi beskriver därför prestandamått, invisning, sensorstyrning, modellering, simulering samt beslutsmetodik.

Nyckelord: markmålspaning, samverkande sensorer, multisensor, beslutstöd, prestandamått, invisning, sensorstyrning, sensorplanering, simulering

Summary

This report can be regarded as a first survey or as a requirement document for the computerized support systems needed to implement the SEMARK concept. We describe the support systems in terms of recognized situation picture, planning, operation execution, assessment, simulation and other requirements.

Simple planning tools at user level can be implemented in the near future and be of great value. The development path for the tools will be lengthy, since they rely on simplifications of complex real world dependencies, which need to be revised and verified continuously.

These support tools use a number of different methodologies. We describe those that are important for sensor usages. We describe different performance figures, sensor cueing, sensor management, sensor control, modelling, simulation and a decision support method.

Keyword: Ground target surveillance, cooperative sensor usage, multi sensor, decision support, performance figures, sensor cueing, sensor management, sensor control, sensor planning, simulation

1. Inledning och sammanfattning

Projektet SEMARK studerar hur spaning mot mål på marken ska utföras och vad man kan förvänta sig för prestanda på olika sätt. Vår utgångspunkt är att använda flera sensorer av olika typ för att flexibelt kunna svara upp på användarnas dynamiska informationsbehov. En viktig anledning är att ingen sensor ensam klarar alla krav, men olika sensortyper kompletterar varandra. Detta brukar vi kalla SEMARK-konceptet. Konceptet beskriver vi i större detalj i avsnitt 2.

Den här rapporten ska ses som en första inventering eller kravspecifikation över de stödsystem som SEMARK-konceptet behöver för att uppnå full effekt. Man skall inte se dessa stödsystem som separata och självständiga produkter utan som moduler som jackar in i försvarsmaktens totala ledningssystem. Däremot bör konceptets metodik genomsyra verktygen.

Att utnyttja olika sensorer och den information som dessa kan ge är en förutsättning för det informationsöverläge som utgör grundtanken i det nätverksbaserade försvaret. Det innebär att många olika användare på olika hierarkisk nivå i ledningssystemet skall kunna ta del av den information som de behöver. Detta för att kunna klara sin roll i samspel med andra roller och därmed en ökad samordning för ökad effekt. Detta ställer krav på användarna avseende val av sensor med eventuell bärare kopplat till situationen (väder, krav på upplösning, hot mm) och planering av sensors inhämtning kopplat till olika användares olika behov såväl som när och hur informationen skall överföras från sensorn och göras tillgänglig för olika intressenter. För att klara detta behövs beslutstöd kopplat till såväl den som beslutar om sensorinsats, den som styr sensorer som för den som behöver informationen från sensorer, dvs alla som kommer i kontakt med sensorer och dessas användning.

Vi har valt att beskriva stödsystemen, se avsnitt 3, i termer av Lägesbild, Planering, Genomförande, Uppföljning, Simulering samt Allmänna synpunkter på utformningen. Vi lägger speciell tyngd på planeringsverktygen eftersom enkla sådana på hög hierarkisk nivå skulle kunna åstadkommas relativt snabbt och göra en stor nytta på användarnivå. Anledningen är att sådana verktyg påtvingar en metodik så att avgörande faktorer beaktas på ett systematiskt sätt då operationer med sensorinformationsinhämtning planeras. Vägen framåt är däremot lång eftersom man förenklar komplexa samband som hela tiden behöver verifieras för att full nytta och förtroende skall skapas.

Planering sker hierarkiskt där grov planering med lång tidshorisont används på hög nivå och detaljerad planering med kort tidshorisont används på nivåer närmast sensorn. Det är mycket som skall ske i planeringsskedet. Uppgifter skall brytas ner i deluppgifter, de ska schemaläggas, resurser ska allokeras, känslighetsanalys ska göras etc.

Under genomförandet skall lagda planer exekveras. Det kan då inträffa händelser som gör att planer behöver omplaneras t.ex. i samband med egenskydd. Insamlat data skall analyseras för att efterfrågad information skall kunna extraheras, modeller uppdateras etc.

I uppföljningsfasen analyseras sparad tidshistorik i syfte att hitta flaskhalsar, förbättra parameterinställningar, justera statistiska antaganden, spåra förhistoria till önskade beslut etc.

I avsnitt 4 går vi igenom viktig metodik som kommer att behöva användas i de beskrivna verktygen.

Invisning eller överlämnande av spaningsfokus från en sensor till en annan är mycket centralt i vårt koncept, men inte helt enkelt att åstadkomma i praktiken. I själva invisningsögonblicket skall ett antal parametrar transformeras till den nya sensorn, men sedan kommer situationen mm att avgöra hur den nya sensorn ska söka efter det aktuella objektet.

Förväntade prestanda behöver uppskattas med olika detaljeringsgrad i de olika verktygen. Dock skall de olika modeller som ligger till grund för detta vara konsistenta med varandra och med de verkliga sensorer som modelleras. Det finns olika prestandamått som behöver uppskattas. En del är av generell karaktär som t.ex. upptäcktsannolikhet medan andra är mer specifika för sensortypen ifråga.

Simulering är en viktig metodik för att uppskatta t.ex. prestandaparametrar, men kan användas på fler sätt i dessa verktyg. Simulering kan till och med utformas som separata verktyg.

Sensorstyrning är kanske den mest genomgripande metodiken eftersom den i sig omfattar hela cykeln - planering, genomförande och uppföljning. Den bestämmer var, hur och när olika sensorrelaterade aktiviteter skall genomföras och omfattar flera olika detaljeringsgrader och tidshorisonter på olika hierarkiska nivåer. En viktig aspekt är hur avvägningar mellan olika krav går till och hur konflikter mellan olika krav hanteras.

Modellering förekommer överallt i dessa verktyg och metoder. Modellerna behöver vara korrelerade med varandra och med de verkliga system som skall modelleras.

Beslutsmetodik i form av så kallad ontologi har tidigare studerats inom FOI. Ansatsen i detta arbete går ut på att beskriva kunskap om sensorer och deras egenskaper i en så kallad ontologi och sedan ha en generellt beslutsmekanism som utnyttjar ontologin.

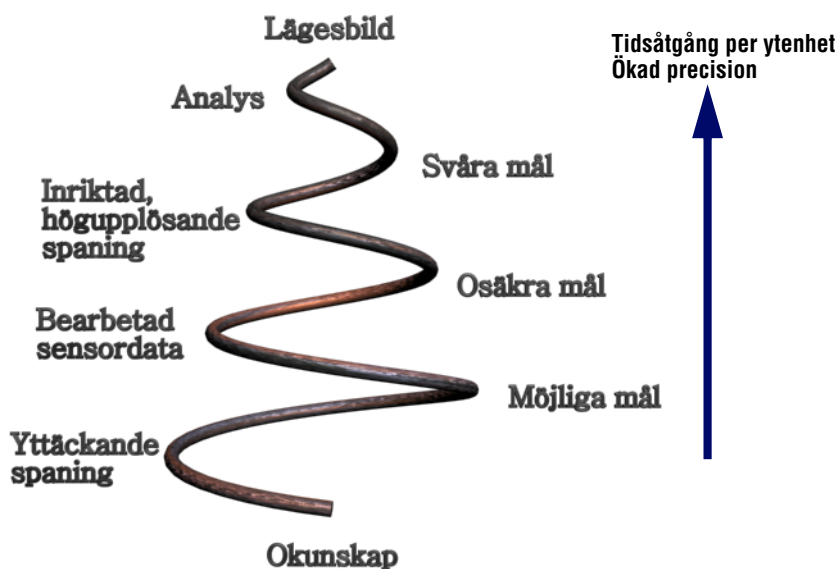
Den här rapporten ger en bild av vad stödsystemen till konceptet bör klara av, hur de bör bete sig och vilken metodik som ligger till deras grund. Man bör börja med ett planeringsverktyg som används av en redan insatt befattningshavare för val av sensorer och sensorbeteende. Det är då bättre att åstadkomma ett förtroendefullt resultat snarare än att ha med många funktioner i första omgången. Ett sådant verktyg skulle kunna vara till nytta för insatsstyrkans informations- och underrättelsegrupp. Efterhand kan man utöka funktionaliteten och klara mer komplexa situationer.

Ingen av de uppräknade metodikerna är speciellt mogna i den meningen att man enkelt kan tillämpa dem. De behöver utvecklas, anpassas ytterligare och kalibreras mot verkliga data. Dessutom finns det ytterligare metodik som kan visa sig användbar.

2. Konceptets grund

Det finns ingen sensortyp som ensam kan klara alla informationsbehov som kan uppstå när man bedriver spaning mot markmål. Detta beror delvis på att syftet med spaningen förändras över tiden. En typisk spaningssituation börjar med att leta efter objekt som uppfyller någon typ av kriterier t.ex befinner sig på en plats de inte borde, har tillkommit eller försvunnit på ett sätt som bryter normalbilden, ansamlas i oväntad mängd eller rör på sig i terräng eller annan oväntad plats. Därefter följer man typiskt upp de objekt som befunnits intressanta för att sedan avgöra klass och eventuellt identitet. Ofta vill man också försöka ta reda på motsidans syfte med aktiviteten. När man vet så mycket så kan det beslutas om någon slags motåtgärd t.ex att leverera ett vapen eller att omgruppera egna förband för att möta motsidan. Denna aktivitet kräver en typ av spaning för att noggrant följa upp och bestämma läge, kurs och fart på de objekt som motåtgärden sätts in mot. Sist i informationskedjan ligger en uppföljning vars syfte är att klargöra vad resultatet blev. För att komplicera saken ytterligare så kan det påpekas att det i en given tidpunkt existerar ett flertal sådana här kedjor som är inne i olika faser och där kedjorna påverkar varandra på olika sätt.

Olika sensortyper kompletterar varandra vad gäller spaningsegenskaper och bör används på ett sådant sätt att den för stunden mest sökta informationen tillgodoses. Därvid uppstår en så kallad informationsspiral där man börjar med en sensor som ger mindre detaljer över en större yta och går mot en större och större detaljeringsgrad samtidigt som man offrar mer och mer tid på allt mindre och mindre ytor eller volymer. En avvägning görs mellan detaljrikedom, yttäckning och den tid som åtgår till spaningsinsatsen.



Figur 2.1: För att spana över stora områden behövs sensorer med stor yttäckningsförmåga. För detaljinformation behövs högupplösande sensorer som invisas mot intressanta områden.

utvalda nivån som behöver skickas kan skickas. Däremot inses att det förekommer begränsningar i nätverkskapacitet vilket är ett av skälen till den nedan beskrivna datahanteringen i olika nivåer.

Uppbyggnad

Systemkonceptet byggs upp i flera delar i form av *scenariovariabler*, *sensorvariabler* och *leveransvariabler*. Dessutom finns det sensordefinitioner, kompletteringar av, och exempel på hur konceptet kan tillämpas.

Scenariovariabler

Scenario- eller situationsvariabler bestämmer hur den förväntade spaningssituationen kommer att se ut och hur den förväntas utvecklas liksom vilka allmänna förutsättningar som gäller då sensorerna skall användas.

- Mål, vilket i första hand är olika typer av fordon, deras konfiguration, signatur mm.
- Väder, som beskriver olika former av atmosfärsfenomen, till exempel temperatur, molnbas, olika typer av nederbörd mm, som kan påverka sensorernas användning.
- Ljusförhållanden, som bestäms av plats på jorden, tid på året och dygnet samt också rådande väder.
- Vegetation, till exempel vilka olika typer och fördelningar av träd och buskar som förekommer
- Årstidsförändringar och plats på jorden påverkar inte bara ljusförhållanden utan också vegetationen.
- Terräng, en allmän beskrivning av hur terrängen ser ut. Exempel på olika terräng är betäckt, småbruten, öppen samt enklare bebyggelse. Dessutom kan terrängen vara platt, kuperad eller bergig samt ha inslag av sjöar och vattendrag.
- Uppdragets syfte som beskriver vilken information som vi önskar få ut från sensorerna kopplat till tidsförhållanden och förväntat eller önskat resultat.
- Hot och störning mot sensorn och sensorbäraren.
- ROE (Rules Of Engagement) avgör vilka handlingsregler som gäller och ger en ram för hur prioriteringar skall göras.

Situationsvariablerna har stort inflytande på val av sensor med bärare de kan beskrivas som;

Tabell 2-1: Situationsvariabler

Variabel	Påverkansfaktor	Förklaring
Mål	Motståndarens egenskaper, avvikelser från normalbild/ jämförelse, fordon - personer	Målets eller målens storlek och utspridning ger en inriktning av lämplig sensor, stor mängd data blir svårhanterligt. Anomalidetektion genom att jämföra olika frekvensband eller Skillnadsdetektion genom jämförelser med tidigare mätningar förenklar hantering.
Väder	Moln, regn, dimma, rök, snöfall	Med flygande EO sensorer är molnbas eller molntäckningsgrad ofta begränsande. På samma sätt påverkas alla EO sensorer av optiska siktbegränsningar. Alternativen är ofta att vara nära målet med EO-sensorn eller att välja en radarsensor.
Ljus	Ljushöjdhållanden Möjligheter att belysa	Olika EO sensorer behöver olika mycket ljus. Vissa mäter termisk skillnad mellan mål och omgivning. I vissa fall kan belysning ske med för ögat synligt eller osynligt ljus.
Terräng	Terrängens och vegetationens egenskaper ur ett sensorperspektiv	Bebyggelse och vegetation försvårar möjligheten att se mål. Att tränga igenom olika material kan lösas genom att öka våglängden på bekostnad av upplösningen och därmed förmågan att klara identifiering.
Hot	Hot mot sensor och/eller bärare	Hot kan hanteras genom att öka avståndet till målet, verka ofarlig, försvåra bekämpning eller försvåra upptäckt. Billig och lätt ersättbar kan vara ett annat sätt.
ROE	Finns begränsningar i vad jag får göra, påverkan på	Till vårt förbands uppdrag kan finnas handlingsregler som måste tas med i valet av insats. För att inte försvåra våra möjligheter till agerande på kort eller på lång sikt.

Sensorvariabler

Sensorvariabler är en översiktlig beskrivning av sensorernas egenskaper. Dessa sensorvariabler har stor betydelse på val av sensor med bärare, se tabell 2-2 för exempel på sensorvariabler och vad de innebär.

Tabell 2-2: Sensorvariabler

Variabel	Påverkansfaktor	Förklaring
Spaningsyta eller volym	Ytans storlek, plattformens möjligheter att nå området, tid för insamling samt tid för sammanställning och överföring	Målområdets yta påverkar insamlingen men även, tiden innan insamlingen kan börja, kravet på upplösning och därmed tiden för insamling. Dessutom tiden som sammanställningen tar och tiden till dess att överföringen kan ske.

Tabell 2-2: Sensorvariabler

Upplösning	Sensors möjligheter att ge upplösning. Moln, regn, dimma, rök, snöfall påverkar	Vissa sensorer kan förbättra upplösningen genom att mäta på målytan från flera vinklar eller vid olika tillfällen för att slippa "skuggor" eller kunna göra skillnadsdetektion. Högre upplösning ger naturligtvis mer data per ytenhet men skillnadsdetektion kan spara tid vid resultatöverföring.
Sensorbärare/ plattform	Sensorbärarens egenskaper och hur sensorerna kan placeras ut eller komma till önskad plats för mätning, omfattar också operationstider som plattformens räckvidd och sensors drifttid t ex batteritid	Sensorbärarens storlek och snabbhet påverkar starkt tillgängligheten av sensorinformationen, en liten bärare som förflyttar sig långsamt måste vara nära men kan samtidigt finnas hos den som behöver information snabbt. En sensor som har kort drifttid kan med fördel "väckas" av en sensor med lång drifttid. Frågan om när, var och hur t.ex. akustiska sensorer skall placeras ut ingår också.

Leveransvariabler

Leveransvariabler handlar om vad och på vilket sätt sensorerna skall leverera i systemkonceptet. Se tabell 2-3 för närmare exempel på vad variablerna innebär.

Tabell 2-3: Leveransvariabler

Variabel	Påverkansfaktor	Förklaring
Tider	Sammanvägning av data i form av datafusion, aggregering och analys	Anger tiden för olika grader av datorstött och humanhanterad aggregering och därmed förädling av data från en eller flera sensorer.
Bearbetnings nivåer	Anger de olika nivåer som en eller flera sensor kan leverera data på och som medger olika grader av kontroll av de värden (algoritmer) som använts vid bearbetningen.	Bearbetningsnivå från rådata, vilket här innebär den lägsta nivå som någon person eller process någons i nätverket kan tillgodogöra sig, via olika nivåer av sammansatt data för att göra den lättöverskådlig och lätthanterlig vid överföring. Data med bearbetningsnivå alternativt aggregeringsnivå överföres beroende på tillgång till bandbredd och krav på möjligheter att kunna verifiera data, se också figur 2.2.
Osäkerheter	Här hanteras de osäkerheter som finns i en sensors insamlade data och kopplas till situationens krav på säkerhet.	Situationen kan ställa krav på säkerhet/kvalitet för att kunna fatta ett nödvändigt beslut. Det kan resultera i krav på flera oberoende källor men också i krav på att ett objekt identifieras efter t.ex. mer än en egenskap.

Sensordefinition

Innehåller typ av sensor och en beskrivning av sensorvariabler/egenskap såsom:

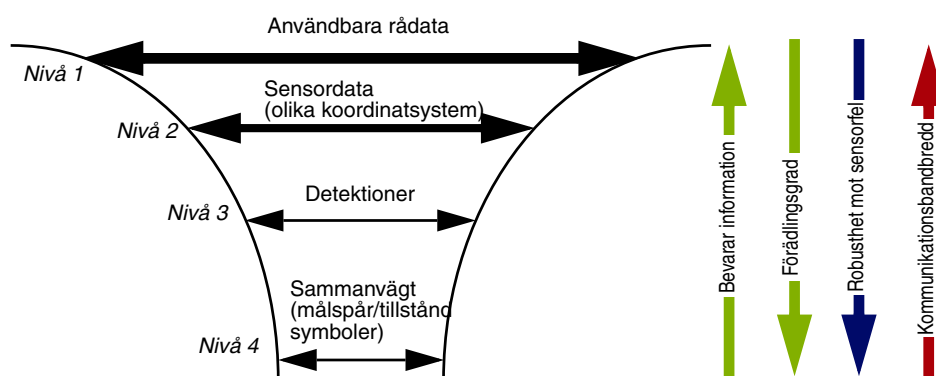
- Yttäckning (beskrivet som den yta en sensor kan täcka per tidsenhet eller krav på invisning kan vara kopplat till syftet, dvs detektion – identifiering).
- Räckvidd (från sensorn till mätområde).
- Tid för insamling respektive sammanställning av data.
- Olika måltypers signatur, ex vis hur värme och kyla på målytan påverkar reflektion för sensormätningen.
- Måls rörelse, från stillastående upp till den hastighet som sensor och mätförfarande klarar av.
- Olika typer av vegetations påverkan på sensormätning med eller utan tillägg av olika typer av tilläggsmaskering i form av nät eller naturligt

kamouflage (löv, ris).

- Upplösning pixel-storlek och presentationsmöjlighet, t ex bildalstrande.
- Väder- och siktprestanda mm.
- Bandbreddsbehov för att överföra olika nivåer av sensordata från en enskild sensor eller flera sensorer på samma plattform.

Hantering av datamängder/leveransvariabler

Figur 2.2 nedan vill beskriva kopplingen mellan olika nivåer av datamängder/leveransvariabler och hur dessa nivåer kan beskrivas. Detta är kopplat till de algoritmer som används för att hantera data vid en sensor eller mellan sensorer. Syftet är främst att visa på behov och begränsningar och vad de kan innebära. Datamängderna har definierats i fyra olika nivåer och det är meningen att en sensor skall kunna leverera data på alla nivåer samtidigt till olika typer av användare i nätet. För att kommunikationsbandbredden skall räcka till prioriteras de nivåer med lägst krav på överföringsförmåga vilket innebär att överföring av rena detektioner och symbolisk information prioriteras. En konsekvens är det är nödvändigt med databearbetning och fusion nära sensorn.



Figur 2.2: Figuren visar hur påverkan är mellan obearbetad data och fusionerad data. Bilden skall ses som en princip som sedan tillämpas för olika sensorer.

2.1 Vidareutveckling och komplettering av konceptet

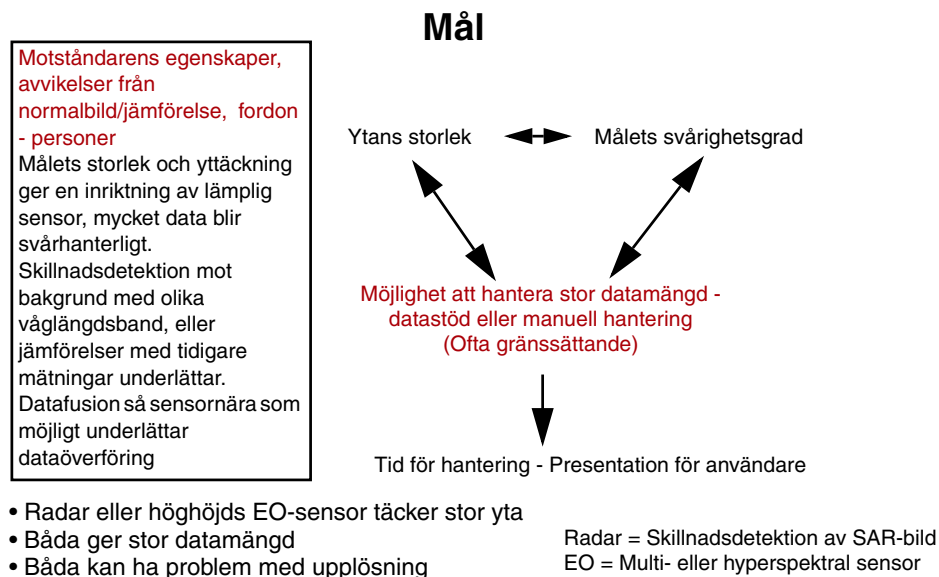
Man kan modifiera angreppssättet jämfört med grundkonceptet som beskrivs av spiralen i figur 2.1 då man hamnar i nya situationer. Nedan kommer några exempel på modifierade angreppssätt.

Kombinationsscenario
- (top down - bottom up)

Det finns situationer där man kan behöva växla mellan yttäckande spaning och mer högupplöst sådan många gånger under en operation. Så kan t.ex bli fallet då spaningsoperationen ska pågå under lång tid så att man i möjligaste mån undviker överraskningar.

En liknande situation kan uppstå då man spanar med relativt hög upplösning mot ett litet område och hittar objekt som inte borde finnas på denna plats. Då kan man fråga sig om denna lilla oväntade observation är en del i ett större mönster. Detta kan vara ett incitament för att starta en spaning över en större yta efter mål av det slag som upptäckts. Denna yttäckande spaning kan ge-

nomföras med en sensor med lägre upplösning för snabbare översikt. Detta leder då troligen till att man behöver spana med den högupplösande sensorn mot ett nytt område för att dementera eller bekräfta upptäckt gjord av den lågupplösta sensorn samt identifiera nya misstänkta objekt.



Figur 2.3: Exempel på hantering av målets karaktär och konsekvenser

Vad vi har beskrivet här är fall där man kommer att behöva “iterera” mellan olika sensortyper för att lösa den överordnade spaningsuppgiften.

Miljöfaktorer

Miljöfaktorer kan spela in för att modifiera grundansatsen. Vid besvärligt väder som t.ex dimma eller regn så fungerar de högupplösta optiska sensorerna sämre, framförallt de rent passiva IR och visuella EO-sensorerna. Detta medför att man tvingas prioritera RF-baserade sensorer och aktiva optiska samt att försöka flytta spaningsplattformar med optiska sensorer närmare spaningsområdet. Man kan t.ex behöva använda flera typer av SAR-system på olika våglängdsområden t.ex VHF/UHF-området, mikrovågsområdet samt millimeterervågsområdet. En aktiv optisk sensor som troligen är användbar är “gated viewing”-laser för att lättare kunna se genom dimman eller regnet.

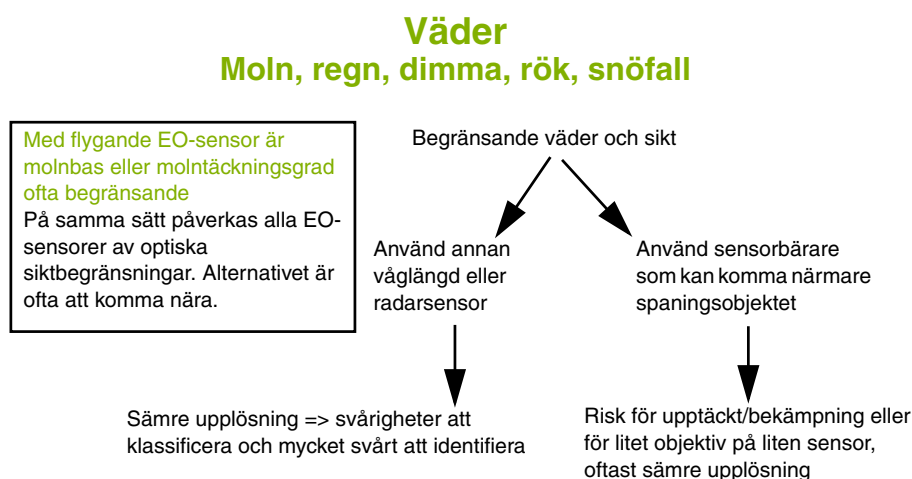
Vid kraftig bläst så kan små spaningsplattformar vara svåra att hantera och manövrera med haveririsk som följd. Lite större och tyngre plattformar prioriteras därför under sådana förhållanden.

Klart väder och snö leder till längre spaningsavstånd för de lite mer ytspanande IR-systemen, varför det kan vara lämpligt att prioritera användningen av dessa tillsammans med RF-sensorerna.

Hot - elektroniskt och fysiskt

Hotet påverkar också valet av hur man använder sina sensorer. Hotet kan vara mycket mångfacetterat och är också svårt att i förväg bedömma, speciellt då motsidan är dåligt känd av oss.

Det handlar om risken för t.ex elektronisk störning och på vilket sätt som detta påverkar vår spaning. Det handlar också om olika sätt att bli mer robust mot sådana hot t.ex genom att använda flera sensorssystem av likande typ



Figur 2.4: Exempel på vädrets inverkan och konsekvenser

samtidigt eller att själva använda störning i olika former. Det är också möjligt att utnyttja bistatiska moder i de RF-baserade sensorerna för att minska sårbarheten vid störning. Bistatiskt innebär att sändaren finns på en plattform relativt långt bort medan mottagaren finns på en plattform mycket närmare spaningsområdet.

Hot om att bli upptäckt, då vi inte anser det önskvärt att vi blir upptäckta, leder till att vi bör använda passiva sensorsystem från så små plattformar som möjligt eller från plattformar på mycket långt avstånd.

Att bli upptäckt kan leda till att våra spaningsplattformar blir utsatta för bekämpning. Vi skall med andra ord bli upptäckta i ett så sent skede som möjligt och om möjligt spana på stort avstånd. Då hög upplösning krävs och mätavståndet måste vara kort bör de sensorbärande plattformarna (som utför spaningen) vara mycket små. Det blir också viktigt att man minimerar den tid under vilken man befinner sig inom skotthåll.

Små och billiga sensorer/UAV-system kan innebära att man vågar ta större risker och/eller skicka fler enheter. I USA har man tagit ett principbeslut på att UAV:erna skall hållas billiga för att inte bli som bemannat flyg.

Identifiering

Att identifiera ett objekt på marken är ingen lätt uppgift. Ett sätt är att med en högupplöst sensor försöka avbilda objektet ett antal gånger och från flera vinklar t.ex vid en anflygning. Ett annat sätt är man tittar med flera sensorer nästan samtidigt mot objektet med olika typer av sensorer t.ex IR, mm-vågsradar och mikrovågsradar. Den tredje varianten är att använda flera sensorer av samma typ, men titta från flera riktningar vid samma tidpunkt. Dessa metoder utom möjligen den första är ganska svåra att åstadkomma i praktiken då stor samordning krävs mellan sensorplattformar.

Att flera sensorer krävs med spaning under en förhållandevis lång tid har att göra med krav på hög konfidens. Ju högre konfidens, desto längre spaningstid krävs.

**“Indirekt eld” -
vapeninsats**

Vi har tidigare inte diskuterat på vilket sätt som vårt koncept skulle kunna vara till hjälp då man skulle vilja avfira ett vapen mot ett misstänkt mål, t.ex en missil, granater från grantkastare eller haubits eller kanske bomber från en luftburen farkost. Det som krävs vid ett sådant tillfälle är t.ex:

- en tillräckligt bra precision och upplösning så att vapnets egna målsökare kan få nog bra stöd för att hitta målet vid invisning.
- sensorerna uppdaterar lägespositionen så ofta att följning av målet kan bibehållas och läget predikteras.
- tidsfördröjningar mellan sensorobservationer och vapen minimeras för att åstadkomma synkronisering, vilket ställer krav på datahantering och kommunikationslänkar. Stora tidsfördröjningar leder till låg träffsannolikhet.
- läges- och riktningsfelet i sensorplattformarna hålls låga eftersom dessa adderas till totalfelet och därmed minskar träffsannolikheten.
- vid långa anflygningstider för ett vapen måste även vapnets position följas upp under anflygningstiden.
- sensorerna behövs också för att utvärdera om vapeninsatsen hade avsedd verkan (BDA = Battle Damage Assessment).

Hur bör man hantera detta när vi har för avsikt att använda många sensorer av olika typ? Det finns ännu inga entydiga riktlinjer utan det framtida arbetet får visa på lämpliga sätt att hantera sensorerna under olika förhållanden. En ytterligare faktor som kan vara viktig är vilseledande åtgärder, dvs det kan vara bra att visa sig med ett sensorsystem för att dra uppmärksamheten till sig, medan vapnet redan är på väg och kommer från ett helt annat håll.

2.1.1 Olika stora spaningssystem för olika typer av uppgifter

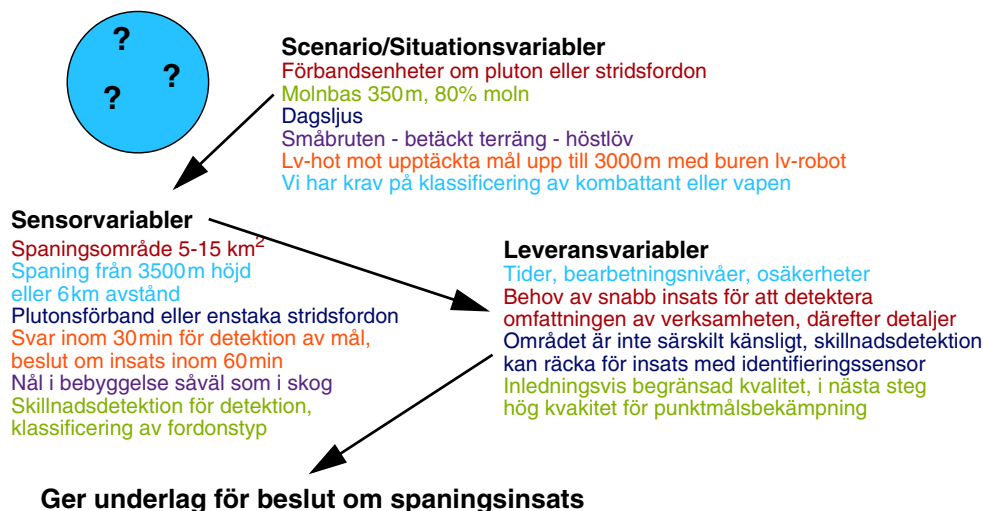
Stora spaningssystem krävs för stor yttäckning med hög upplösning. Små system behövs på låga förbandsnivåer för att tillgodose kravet på snabbhet och tillräcklig kvalitet. I vissa situationer räcker dock inte den kvalitén eller också klarar inte sensorn eller bäraren av andra skäl att ge nödvändig information till soldaten längst ut på linan. Då måste informationen från den högre nivåns större och mer kvalificerade sensor/bärare kunna överföras med tillräcklig kvalitet i rätt tid. Detta ställer krav på att ledningssystemet kan arbeta snabbt och att kommunikationssystemet kan prioritera denna typ av överföring under kort perioder.

2.2 Exempel på hur konceptet kan användas

Nedanstående kedja beskriver, genom ett exempel, översiktligt arbetsgången i hur en spaningsinsats grovplaneras fram till beslut om spaningsinsats.

I exemplet ovan ges ett underlag till beslutet om spaningsinsats där man kan se följande rekommendationer baserade på den kedja som exemplet åskådliggör.

Kontroll av aktiviteter i ett område (efterhandssituation)



Figur 2.5: Översiktlig arbetsgången i hur en spaningsinsats grovplaneras fram till beslut om spaningsinsats

- Terrängen, vädret och den stora ytan tyder på behov av Långvågig SAR-radar – Ett flertal pass med Carabas för att detektera mål med skillnadsdetektering och göra en situationsbedömning - Vad pågår?
- I nästa steg bör en liten plattform med EO-sensor(e)r identifiera upptäckta mål samt ge tillräckligt underlag för punktmålsbekämpning alternativt, detaljunderlag för beslut om insats med markförband.

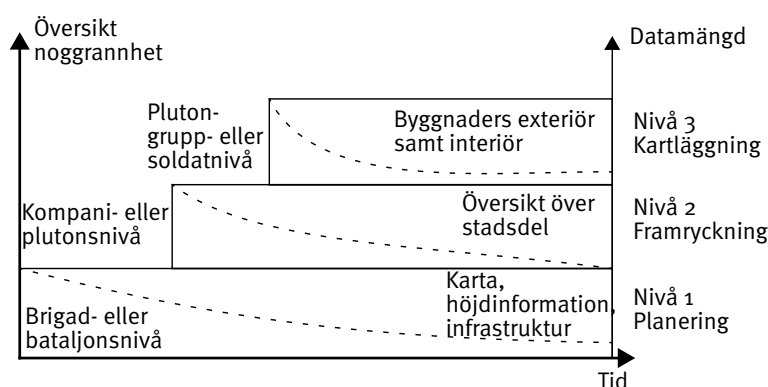
Konceptet har här dels gett oss en översiktlig metod att ta fram förslag till spaningsåtgärder, dels gett oss ett mer konkret förslag hämtat från själva grundidén. Det finns inget som hindrar att man genererar flera alternativa förslag med något olika egenskaper. Denna arbetsgång utgör grunden till de stödsystem som vi beskriver i avsnitt 3.

2.3 Skapa lägesbildunderlag för planering, framryckning samt vid kartläggning

I en rapport från projektet "Sensorer för urban miljö", se referens [9] så beskriv hur man kan skapa en god lägesbild för planering, framryckning samt vid kartläggning vilket i korthet återges här. Deras beskrivning visar på användning av i grunden samma konceptidé men tillämpad i stadsmiljö.

För att ge en tydligare beskrivning av tekniker och tidsaspekter för olika uppdrag har en indelning gjorts i olika informationsnivåer, se figur 2.6. För varje nivå ges en översikt av möjliga tekniker för inmätning samt fördelar och nackdelar med dessa. Beskrivning ges hur insamlat underlag kan stödja förberedelser för en operativ situation. Ungefärliga tidsförhållanden redovisas.

För lägsta nivå 1, Planering, är informationen tillförlitlig under lång tid (månader - år). För nivå 2, Framryckning, blir informationen snabbare otillförlitlig (timmar-dagar). För nivå 3, Kartläggning är informationen till vissa delar mycket snabbt föränderlig (sekunder- minuter).



Figur 2.6: Schematisk visas hur tidsaspekten hör ihop med olika informationsnivåer.

Nivå 1, *Planering*, ger en översiktlig information t.ex. karta eller höjdinformation över ett stort område för storskalig planering av förflyttningar och insatser att använda på brigad- eller bataljonsnivå. Informationen kan i många fall samlas in via fjärranalys, t.ex. satellit. Inom nivå 1 kan det finnas många informationskällor tillgängliga, t.ex. vanlig karta och höjdinformation. Tillgängligheten beror på var i världen informationen gäller. Informationen är liten, lättillgänglig, inte särskilt resurskrävande, och i regel tillförlitlig under relativt lång tid, typiskt flera månader till år.

På nivå 2, *Framryckning* är informationen mer omfattande och resurskrävande per ytenhet än föregående nivå. Informationen ger t.ex. en grov uppskattning om väghinder, byggnaders storlek och placering i en stadsdel. Underlaget syftar till att användas på kompani- eller plutonsnivå, dels i planeringen av en framryckning, men även under själva framryckningen för tillgång till en gemensam uppdaterad lägesbild. Informationen blir snabbare inaktuell än för nivå 1, uppskattad tillförlitlig tid är timmar till dagar.

På nivå 3, *Kartläggning*, ges detaljerad information om byggnaders yttre och inre utseende. Informationen är än mera omfattande och resurskrävande per yt-/volymenhet än föregående nivåer. Underlaget kan användas på plutons-, grupp- eller soldatnivå vid kartläggning av byggnader. Informationen kan i vissa delar mycket snabbt bli inaktuell, t.ex. kan positioner av möbler och människor i en byggnad ändras snabbt. Tillförlitlig tid kan i dessa avseenden vara mycket kort (sekunder till minuter).

3. Stödverktyg

Att utnyttja olika sensorer och den information som dessa kan ge är en förutsättning för det informationsöverläge som utgör grundtanken i det nätverksbaserade försvaret. Det innebär att många olika användare skall kunna ta del av den information som de behöver för att kunna klara sin roll i samspel med andra roller och därmed en ökad samordning för ökad effekt. Detta ställer krav på användarna avseende val av sensor med eventuell bärare kopplat till situationen (väder, krav på upplösning, hot mm) och planering av sensorns inhämtning kopplat till olika användares olika behov såväl som när och hur informationen skall överföras från sensorn och göras tillgänglig för olika intressenter. För att klara detta behövs beslutstöd kopplat till såväl den som beslutar om sensorinsats, den som styr sensorer som för den som behöver informationen från sensorer.

3.1 Beslutstödet utformning

Beslutstödet måste vara utformat för att kunna tillgodose olika kvalitetskrav och tidsförhållanden som är kopplat till förbandsnivåer och olika steg i ledningsprocessen från *Inrikta*, via *Koordinera* till *Uppfölja* (benämningar enligt IDC2, LedsystM). Beslutstödet bör helst utgå från en generell struktur som anpassas till olika funktioner, nivåer och processer. SEMARK kommer därför inte att utveckla ett sådant beslutstöd utan visa på de delar och behov som ett sådant bör hantera och vid behov anpassa konceptet.

Det av SEMARK framtagna systemkonceptet kan utgöra den grund som ett beslutstöd bör utnyttja för att tillgodose ledning av informationsinhämtning och därmed gränstorna mot i första hand bearbetning och sensorstyrning men även ledning av ledningssystem.

Alla dessa egenskaper påverkar valet av medel och metoder för datainsamlandet i större eller mindre omfattning. Vissa faktorer förändras sakta över tiden medan andra förändras mycket. Det spelar också roll i vilken situation variablerna skall användas. Vid underlag för beslut om anskaffning av sensorer och bärare måste stor tid läggas på att definiera bredden på förmågekraven. I en användarsituation där man endast har två sensorer att välja mellan kan valet av sensor vara enkelt medan tiden istället t.ex. måste ägnas åt hur insamling och överföring av data skall ske. Ett beslutstöd bör därför utformas för att tillgodose ett brett spektra av användarbehov.

Systemkonceptet innehåller ett slags struktur som initialt hanterar balansen mellan upplösning och yttäckning. Det innebär en kedja av sensordatainsamling i några eller alla stegen detektion - följning - klassning - identifiering - påverkan (utplacering, skott etc) – utvärdering (Battle Damage Assessment). Det måste också kunna gå att lägga in situationsparametrar som hot mot sensor och bärare likväl som hänsyn till ROE¹. ROE kan begränsa användning av viss typ av sensor inom ett visst område men också ställa höga krav på sä-

1. ROE = Rules Of Engagement

kerhet i informationskvalitén. Att skapa hög informationskvalitet kan ske antingen genom att använda flera oberoende källor/sensorer eller använda mänsklig analys istället för sensornära datafusion. Detta i sin tur kräver överföring av större till mycket stora datamängder till den person som kan behöva göra analysen. Den personen kan befinna sig i en stab som har tillgång till fasta nät (med hög bandbredd) men även finnas i ett fordon som är under rörelse eller finns i områden med begränsad bandbredd. Sådan överföring ställer stora krav på ledning av ledningssystem men kan till större eller mindre del underlättas med en väl fungerande sensorstyrning som bl a kan åstadkomma en tidsvinst.

Beslutsstödet skall kunna användas som underlag för användning av sensorer och deras plattformar vid datainsamling såväl vid planering (*Inrikta*-processen enligt IDC2) som vid genomförande (*Koordinera* och *Uppfölja* enligt IDC2). Samtidigt skall beslutsstödet tillgodose planering av informationsinsamling, analys av data (rimligheten i resultaten och nyttan av förnyad insamling, eller granskning av underliggande datahantering) och sensorstyrning för att effektivt utnyttja tillgängliga sensorer samt bärare. Det bör dessutom vara användbart på olika förbandsnivåer. Kraven på underliggande datahantering är beroende av tillgänglig bandbredd, kraven på säkerhet i datafusionen och kravet på snabba svar. En sensornära datafusion som sker efter givna algoritmer är att föredra på grund av kravet på bandbredd vid dataöverföring och tiden för att få ett svar men kravet på säkerhet i analysen kan begränsa möjligheten. Olika krav på kvalitetsgranskning kan variera från någon kilobyte till flera gigabyte.

Beslutsstöden kommer typiskt att innehålla olika expertsystemfunktioner som hjälper befattningshavarna att utföra sin uppdrag på bästa möjliga sätt. Som en bieffekt kommer troligen också uppföljning av verksamhet att underlättas. Man kan diskutera vad det är i informationsinsamlingsprocessen som skall stödjas, i varje fall vad man bör börja med. En ansats är att man skall börja där man kan uppnå en stor effekt med små insatser och där det krävs investeringar i någon typ av infrastruktur. Därefter inför man stegvis nya funktioner.

Begreppsmässigt kan beslutsstöden utgå från ett antal olika typsituationer när man skall beskriva vilka mål med insatserna som skall åstadkommas. På samtliga hierarkiska nivåer kommer man utgående från uppgifter, resurser och målsättning att planera in *tidssekvenser* av händelser. Konsekvenser av planering och måluppfyllelse skall kommuniceras till andra berörda enheter. Under genomförandet av en insats behöver man förutom att samla in sensordata också analysera data med avseende på den eftersökta informationen och för att hitta indikationer på sådant som man måste agera snabbt på t.ex egenskydd. Dessutom skall information mm delges berörda enheter. Efter en avslutad insats finns behov av att analysera insatsen med fokus på att hitta förbättringar inför framtiden. I praktiken pågår de här aktiviteterna i parallell då nästa insats kan börja planeras medan nuvarande fortfarande pågår.

3.2 Gemensam lägesbild

Inledning

Vid en militär insats eller kris bör man förvänta sig det oväntade och ha förmåga, flexibilitet och uthållighet att kunna anpassa sig efter situationens utveckling. Detta gäller även vid en insats utomlands.

Krisberedskapsmyndigheten (KBM) samordnar arbetet med att utveckla samhällets krisberedskap. Vid en allvarlig kris ska KBM kunna stödja de ansvariga aktörerna och bidra till att alla har en gemensam bild av läget (från www.krisberedskapsmyndigheten.se)

En av hörnstenarna i det svenska sättet att hantera kriser är den så kallade ansvarsprincipen. Den går ut på att den som har ansvar för ett verksamhetsområde under normala förhållanden också ska ha det i krissituationer.

Polisen ansvarar för säkerheten, spärrar av och utreder brott, räddningstjänsten släcker bränder och ser till att drabbade människor får hjälp och Banverket och de olika trafikbolagen ser till att tågen fortsätter att gå.

En annan grundsten är det geografiska områdesansvaret. Det innebär att kommunerna, länsstyrelserna och regeringen ska samordna alla som är inblandade i krishantering på respektive nivå.

Krisledning

För att hantera en insats eller kris effektivt måste man vara väl förberedd och arbeta på ett likartat sätt i den akuta fasen som man gör i vardagen men även ha backup-resurser, handlingplaner, ansvarfördelning och beslutsvägar förberedda.

Ett av de bästa sättet att förbereda nya insatser är att lära av tidigare händelser. Handlingsplaner bör även upprättas för allvarliga situationer som skulle kunna inträffa t.ex. en stor olycka, naturkatastrof eller terroråd för att utreda behov av resurser, personal, säkerhet, trygghet och sjukvård etc.

Med den svenska modellen ovan med geografisk områdesansvar så kan det vid en nationell kris finnas flera krisledningar med olika delansvar på flera olika nivåer t.ex. kommun, länsstyrelse och regering. På samma sätt blir det vid internationell insats. Flera ledningscentraler på olika nivåer har behov att utbyta information på ett effektivt sätt. Detta fås genom att öva och åter öva.

För att detta ska ske krävs att information i görligaste mån är:

- Standardiserad

Den information som utbyts följer en viss standard så att mottagaren har kunskap, programvaror etc. att kunna ta hand om, bearbeta och visualisera informationen på samma sätt som i vardagen.

- Aktuell och kvalitetsmärkt

Information bör vara märkt med klockslag, kvalitetsmärkning, ursprung och annan metadata etc.

- Heltäckande

Informationen bör vara så heltäckande över insatsområdet som möjligt med tillräcklig upplösning, aktualitet etc.

- Reducerbar

Typiskt måste information reducera uppåt i ledningshierarkin för att framhäva det väsentliga för insatsens beslutshavare eller för att på ett lättfattligt sätt via media kunna informera allmänheten.

- Förmedlingsbar

Med denna punkt menas infrastruktur för att kunna överföra information mellan olika ledningscentraler samt tillräcklig bandbredd för att kunna överföra nödvändig information.

Teknisk syn på lägesbild

De flesta kriser är komplexa vilket bland annat betyder att det finns många verkligheter i en och samma situation, beroende på roll mm. Ur teknisk synpunkt kan man säga att lägesbilden endast existerar i en dynamisk och distribuerad databas och att alla aktörer gör utdrag ur denna databas som är anpassade till deras roll. Aktörerna vidtar åtgärder av olika slag samt gör bedömningar av situationen. Resultatet av detta går tillbaks till databasen, som blir dynamiskt uppdaterad. Ingen ser med andra ord hela bilden i alla sina detaljer utan endast utdrag som är relevanta för arbetsuppgiften. Rent principiellt så skulle alla kunna få all detaljinformation men detta ställer orimligt stora krav på kommunikationsbandbredd och kan leda till att "höjdare lägger sig i" istället för att koncentrera sig på de stora dragen.

En så kallad *fastställd lägesbild* är ett utdrag ur databasen som innehåller uppgifter om olika objekt kopplat till information om osäkerhet i dessa och hur detta bedöms samt vem eller vilka som gjort bedömningar. Det faktum att bedömningar skall ingå leder ofta till en tidsfördröjning som vid snabba förlopp inte är bra. Ett system som bara förmedlar fastställd lägesbild kommer att visa situationen som den var för en stund sedan och inte säga så mycket om alternativa tolkningar. Konsekvensen kan bli långsamma och ibland felaktiga beslut samt att överraskande situationer kan uppstå. Ett verktyg som hanterar lägesbild bör därför kunna hantera data med olika status, men tydligt upplysa om uppdateringstidpunkt och vad status för tillfället är, t.ex obekräftad eller styrkt. Verktöget behöver också kunna anpassas efter användarens roll, så att han/hon kan koncentrera sig på rätt uppgift.

3.3 Planeringsverktyg

Planering av sensorverksamhet sker med olika tidshorisont och syften. Planering i anskaffningssyfte är annorlunda än den som sker i operativt eller taktiskt syfte. I anskaffningsskedet så är förutsättningarna mycket osäkra samtidigt som tidshorisonten är lång. Det handlar om att upphandla utveckling och tillverkning av ny utrustning som sedan leder till ny metodik och ny taktik. I det operativa och taktiska skedet befinner vi oss i en viss situation och skall åstadkomma ett visst slutmål med hjälp av tillgänglig utrustning och genom att använda metodik och taktik. Planering kan också ske i utbildningssyfte för att träna hantering av sensorresurser.

I den operativa och taktiska situationen kan det finnas många olika sorts planeringsverktyg på flera olika hierarkiska nivåer i ledningssystemet. De olika

nivåerna planerar med olika grad av förfining. Ett uppdrag som kommer in på högsta nivå i hierarkin bryts ner i mindre förfinade uppgifter och skickas neråt i planeringskedjan. Tillbaks upp genom hierarkin behöver en återkoppling ske för att t.ex tidsramar eller genomförbarhet skall kunna uppdateras på de högre nivåerna. Högst upp i hierarkin planeras efter ganska grova kriterier med lång tidshorisont medan planering på den lägsta nivån inne i en multifunktionssensor sker detaljerat och med kort tidshorisont.

I planeringen ligger många uppgifter med gränssytor till övriga delar av ledningssystemet. Detta innebär att sensorplanering inte kan betraktas som en egen självständig och separat enhet utan ska snarast ses som ett nätverk av moduler som hålls samman av att planera sensorverksamhet på olika sätt.

Viktiga funktioner som behöver utföras i sådana här planeringsverktyg är:

- Bryta ner inkommande uppgifter till ett antal deluppgifter för resurser på underliggande nivå (sensorer eller grupper av sensorer)
- Sensorval - Vilken eller vilka kombination av sensor(er) bör användas i den givna situationen? Hänsyn måste tas till en stor mängd faktorer.
- Sensorbeteende - När man valt vilka sensorer som ska användas så skall man bestämma hur dessa skall användas.
- Plattformsbeteende - Även plattformarnas beteende i stort behöver bestämmas så att sensorerna finns där de behövs, vid rätt tidpunkt och kan se området från rätt riktning.
- Resursallokering - Resurser, dvs sensorer med plattformar, eller utnyttjanderätt av sensortid mm ska allokeras till att lösa spaningsuppgifter.
- Schemaläggning - Placerar in varje delaktivitet utmed en tidslinje, vilket också utgör en plan.
- Känslighetsanalys - En analys som syftar till att klara ut vilken del i planen som är mest känslig för felaktiga antaganden.
- Värdering av totalplan och alternativplaner - Hur bra löser den lagda planen de ursprungliga kraven? Hur bra löser alternativa planer kraven?
- Alternativgenerering - Skapa alternativa planer utifrån olika principer.
- Hantera ofullständig och osäker information - En mycket viktig och samtidigt svår uppgift är att hantera osäkerheter i samtliga förutsättningar. Många gånger handlar det om att skatta fördelningsfunktioner.
- Flexibilitet i arbetsgång - Ett linjärt arbetssätt är inte alltid möjligt eller önskvärt. stödverktyg bör kunna hantera olika arbetsgångar. Beroenden av olika slag kan dock inte negligeras, men man kan stoppa in antagna och osäkra uppgifter i väntan på de riktiga.
- Inhämtning och delgivning av förväntade signaturer.
- Hotanalys - Att analysera hur hot ser ut och verkar samt föreslå metoder att minska dess inverkan. Kan också ses som en del av känslighetsanalysen.

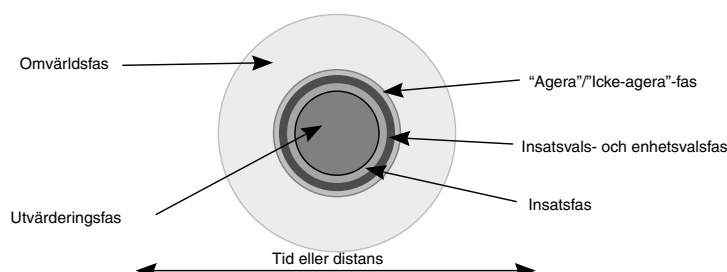
I de ovan uppräknade aktiviteterna finns det ett stort inslag av mänsklig bedömning, speciellt på högre nivåer i ledningssystemet. Nära sensorerna däremot är tidskraven och datavolymerne så stora att en hög grad av automation är nödvändig.

3.3.1 Arbetsgång

Arbetsgången i stödsystemen bör byggas på enkla modeller som beskriver verksamheten som ska genomföras. Sådana modeller måste både vara generella för att passa till varje användningsfall och specifika för att vara till någon nytta. Nedanstående modell togs fram av en studiegrupp som hade som uppgift att studera ett försvarsmaktsgemensamt sensorsystem. De kom fram till att all sensorrelaterad verksamhet bestod av ett antal faser som följer på varandra, se figur 3.1.

- Omvärldsfas. Här är uppgiften att studera den relevanta omvärlden och i denna detektera avvikelser från normaltillståndet. Vad som skall anses normalt kan variera kraftigt.
- "Agera"/"Icke-agera". I denna fas avgör man om en detekterad avvikelse skall leda till en åtgärd, dvs en insats, av något slag.
- Insatsvals- och enhetsvalsfas. När det avgjorts att en insats skall göras så måste man avgöra vilken typ av insats som har bäst verkan under rådande omständigheter. Dessutom skall man avgöra vilken tillgänglig enhet som skall utföra insatsen.
- Insatsfasen. Insatsens utförande kan exempelvis kräva att vapen sätts in eller att en händelse dokumenteras noggrant.
- Utvärderingsfas. I den sista fasen avgörs det om den utförda insatsen haft den avsedda verkan eller ej.

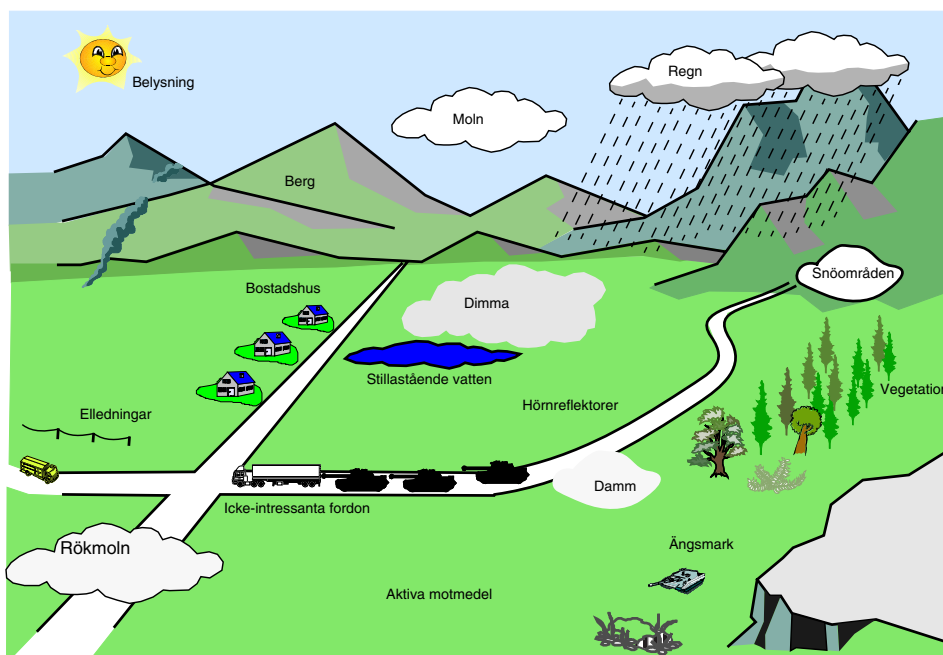
Vid en given tidpunkt finns det multipla befattningshavare som kommit olika långt genom de olika faserna. En del avbryter mitt i och börjar om med omvärldsfasen likaväl som att man kan behöva återgå från utvärderingsfasen till insatsvalsfasen igen ifall det visar sig att insatsen misslyckats. Befattningshavarna kan dessutom ha olika mål med sina verksamheter vilket påverkar deras krav på information.



Figur 3.1: En enkel verksamhetsmodell som kan användas när man analyserar hur krav på informationsbehov skall ställas

I avsnitt 2.2 beskrivs rudimentärt en arbetsgång eller metod för vilka faktorer man bör beakta vid planering av sensoroperationer. Denna modell är ännu mera konkret än den tidigare då den försöker sätta fingret på de mest relevanta

faktorerna samt utnyttja ett koncept för att generera förslag till planering på en relativt hög nivå. I figur 3.2 så visas en del av de faktorer som man måste ta hänsyn till.



Figur 3.2: Några faktorer att ta hänsyn till vid planering och prestandauppskattning

En del av de relevanta uppgifterna kan betraktas som apriori, dvs den ändras inte så ofta. Dessa uppgifter ska med andra ord eftersökas vid varje tillfälle så att uppdateringar kan beaktas. Det finns en metodik framtagen som kan användas för att understödja denna informationsinhämtning som kallas ontologi vilket var en av kärnpunkterna i ett tidigare FOI-projekt inom FoT-området ledning, se referens [21] och avsnitt 4.6.

3.4 Verktyg att använda i genomförandefasen

Till denna klass av verktyg räknas sådana som behöver användas i den direkta datainsamlingsprocessen, den initiala planeringen oräknad. De processer som behöver utföras är bland annat:

- Exekvering av förplanerad plan. I princip handlar det om att ta nästa element som ligger i detaljplanen och utföra det som beskrivs, när denna är klar, plocka nästa etc. Dock kan det hända att något upptäcktes som man måste reagera på direkt, därför behöver man göra omplaneringar vars konsekvenser sedan kommuniceras uppåt i hierarkin.
- I normalfallet bör detektion, målföljning, klassificering/identifiering ske med så stor grad av automatik som möjligt. I de fall då inte automatik fungerar så behövs det verktyg till stöd för manuell detektion, följning och klassificering/identifiering av eftersökta objekt.
- Analyserande av data med avseende på den information som vi vill ha ut i slutändan.

- Hantera invisning, dvs utgående från situation och invisningens parametrar bestämma hur den invisade sensorn snabbt skall hitta det eftersökta objektet.
- Visualisering av data och slutsatser dragna från data. Att visualisera data och relationer till annan information kan vara mycket kraftfullt när det gäller att tolka data. Syftet är att underlätta för operatörer att få fram den eftersökta informationen.
- Bygga anpassade dynamiska modeller av verkligheten. Egentligen kan man betrakta detta som slutmålet då ju dessa modeller beskriver verkligheten i en förenklad form.

Man kan här tänka sig flera olika typer av verktyg som riktar sig mot befattningshavare med olika roll. Exempelvis är slutanvändaren intresserad av den eftersökta informationen medan den som kör plattformen är mer intresserad av egenskydd samt att sensorn/plattformen fungerar som den skall och lämnar relevant information vidare. En sensor kan ju dessutom ha flera uppgifter i parallell, då skall dessa vägas mot varandra enligt givna kriterier och auktoritet mm. Andra- och tredjehandsuppgifter är exempel på detta.

3.4.1 Exempel på genomförandeverktyg, autonom rutt- och sensorplanering

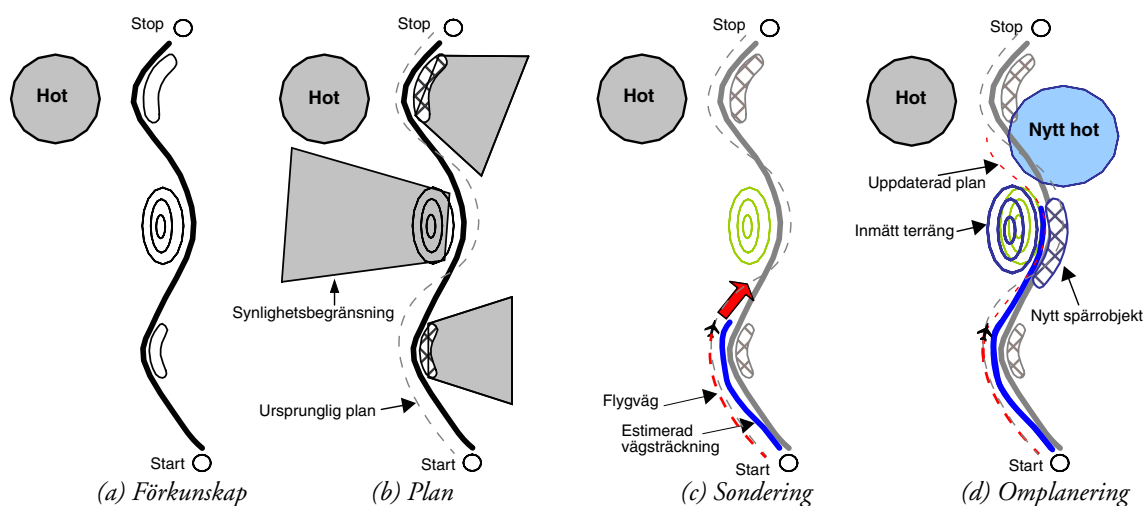
Autonom rutt- och sensorplanering för spaning och övervakning är ett mycket svårt problem. Realistiska modeller av sensor, farkost och, inte minst, omvärlden är komplexa pga. de olinjära och stokastiska egenskaperna hos vår värld. Följaktligen, blir metoder och algoritmer som försöker lösa realistiska planeringsproblem mycket komplexa och beräkningskrävande. Utvecklare tvingas göra många antaganden och förenklingar för att reducera komplexitet till en nivå där problemet är lösbart. En uppenbar risk är dock att problemet förenklats så mycket att det blir irrelevant med avseende på det ursprungliga problemet.

Att försöka utveckla en enda planeringsalgoritm som löser hela det komplexa problemet är förmodligen inte ett realistiskt mål. Det är troligt att man istället måste dela upp problemet i olika nivåer och på varje nivå lösa ett delproblem där lösningen är något typ av startgissning för nästa nivå. Även med denna strategi måste man vara försiktig så att det övergripande målet för planeringen erhålls trots uppdelningen i nivåer. Detta beskrivs i [22]. Ett exempel ges i figur 3.3, där man med en UAV med styrbar optisk sensor skall spana mot en vägsträcka. Planeringsprocessen kan delas upp i följande funktionella och temporala planeringshierarki:

- *Långsiktig ruttplanering* som baseras på information tillgänglig innan själva utförandet som t.ex. kunskap om omvärlden (GIS, bilddata, etc.), om vad som är uppdraget, hotbild, m.m.
- *Kortsiktig ruttplanering* och långsiktig sensorplanering som grundas på planen och kunskapen från nivå 1, men även adapteras till ny kunskap som fås via analys av sensordata och nya, interna eller externa, uppdragsförfrågningar.

- *Reaktiv farkoststyrning* och kortsiktig sensorplanering som grundas på planen och kunskapen från nivå 2. Flygrutten finjusteras för att optimera datainsamlingen och för att undvika kollision med plötsligt uppkomna hinder. Sensorplaneringen optimerar fram bästa tittriktningar.
- *Reaktiv sensorstyrning* som förbättrar datainsamlingen genom att finjustera fokus, zoom, kontrast och tittriktning.

Den långsiktiga ruttplaneringen är förmodligen deterministisk och kan utföras off-line. Den skulle även kunna vara konstruerad manuellt av en operatör. Det är nivå 2 och 3 som är den stora utmaningen på grund av osäkerheter, realtidskrav och krav på robustsensordataanalys. Dessutom är planeringen av rutten och planeringen av sensor (t.ex. tittriktningen) starkt kopplat och omöjlig att separera på ett lämpligt sätt [23]. Ovanstående uppdelning i fyra planeringsnivåer ska inte tas alltför bokstavligen, det betyder inte att vi förespråkar exakt denna uppdelning. Istället ska uppdelningen ses som en hjälp att formulera och förstå det aktuella planeringsproblemet. Vi tror dock att det är nödvändigt med någon typ av planeringshierarki enligt ovan vilket ansluter till modellen i avsnitt 4.5.



Figur 3.3: Spaningsuppdrag längs väg. (a) Tidigare inhämtad information om området. (b) Initial plan baserad på tidigare inhämtad information. (c) Sondering, dvs. att titta framåt och uppdatera sin omvärldsmodell är nödvändigt. (d) Omplanering krävs på grund av att visibilitetsbivillkoren har uppdaterats.

3.5 Uppföljnings- och analysverktyg

Utnyttjar tidshistorik av händelser som samlas in, vid sensorer och på olika ställen i ledningssystemet för att på olika sätt följa upp och analysera den egna verksamheten. Resultatet kan användas på olika sätt för att t.ex förbättra processen, justera taktiken eller ändra tekniska parametrar. Det som behöver göras då är t.ex.

- Visualisera händelser, data samt relationer mellan dessa. Tidsrelationerna är mycket centrala men också att kunna spåra hur och varför som

parametrar har ändrats i insamlingssystemet.

- Analysera och visualisera flöden för att hitta flaskhalsar.
- Verifiering och uppdatering av statistiska fördelningsfunktioner mm
- Karaktärisera signaturer eller förändring av signaturer och diverse andra mönster som återkommer samt delgivning av dessa uppgifter.
- Under begreppet "Data mining" i t.ex wikipedia kan man hitta ett flertal intressanta tekniker att gräva fram relevanta data (som givetvis kan visualiseras).
- Hypotesprövning givet tillståndet vid en speciell tidpunkt och nod i sensornätverket. För att kunna testa om alternativa inställningar av t.ex parametrar skulle kunna ha förbättrat situationen i en verklig händelse.

Ovanstående lista kan ses som en början på en mycket längre lista av funktionalitet. När man börjar jobbar mer med denna problematik kommer fler funktioner att utkristalliseras.

3.6 Simuleringsverktyg

Simulering kan ingå som en integrerad del i andra verktyg för att t.ex. utföra: prediktion, hypotesprövning och testa alternativa lösningar. Då kan simulering betraktas som en metod vilket vi skriver mera om i avsnitt 4.3. Man kan också tänka sig att skapa renodlade simuleringsverktyg som hämtar data från t.ex planeringsunderlaget.

Simuleringsverktyg kan också användas i förväg t.ex i designfasen eller som förberedelse innan en insats. Detta för att ta reda på uppgifter som är mer eller mindre statiska eller förändras långsamt. Exempel på sådana kan vara fördelningsfunktioner, signaturer, signaturers miljöberoende. Riktiga mätningar används för att kalibrera modeller mm.

3.6.1 Realistisk sensorsimulering för sensorevaluering och sensorplanering

Genom att i förväg simulera sensorers egenskaper och prestanda i olika miljöer kan strategier för användning utvärderas och optimeras. Vid övergripande planering av sensoranvändning användes med fördel förenklade sensormodeller. Dessa behöver dock valideras och utvecklas, vilket med fördel kan göras med hjälp av mer kvalificerade modeller med god fysikalisk förankring. Genom att validera de förenklade modellerna i ett antal väl valda punkter/fall kan man försäkra sig om att dessa levererar tillräckligt bra estimat av de sensoregenskaper man behöver ta hänsyn till i planeringsfasen.

Vid mer detaljerad sensorplanering, t.ex. inför ett spaningsuppdrag med JAS 39, behöver man ta hänsyn till fler parametrar och noggrannheten i parametrar för sensoregenskaperna måste vara god. Det är troligt att man t.ex. behöver ta hänsyn till terrängen, såväl höjdprofil som terrängtyp, väderegenskaper, sensorstyrningsparametrar etc. Ett sätt att försäkra sig om att man planerat uppdraget på ett sätt som möjliggör för sensorerna att utföra den eftersträlvade

uppgiften är att simulera uppdraget med ett antal slumpvis valda variationer i samband med planeringen.

Simulering av uppdraget kan också möjliggöra att sensorernas styrprogramvara automatiskt kan förberedas med lämpligt dataunderlag. Exempelvis kan man sammanställa eller producera målbibliotek, terräng-/kartdata, rekommendationer för val av eventuella sensoralternativ, estimering av erforderligt lagringsutrymme under uppdraget m.m.

4. Metodik

Metodik-kapitlet redovisar ett antal utvalda metodiker som kommer att behövas användas i de verktyg/hjälpmiddel som beskrivs i föregående kapitel. Vi har koncentrerat oss på metodik som behövs vid användande av sensorer men tar också upp metodik som traditionellt ansetts tillhöra ledningssystemet. Detta eftersom interaktionen med sensorerna är stor och de här beskrivna verktygen faktiskt utgör moduler som ingår i ledningssystemet.

4.1 Invisning

Invisning innebär att ett sensorsystem utnyttjar data som insamlats av ett annat sensorsystem. Avsikten bakom invisningen kan vara detektering, följning, klassificering eller verkansinsats.

Normalt innebär invisning att koordinater och status för ett inmätt mål överförs till annan sensor för förenklad detektion (så kallad fångning), följetabletering och/eller klassificering. Skillnader i sensorprincip och attityd medför dock att mål och omgivning, inklusive klotter och bakgrund, ter sig på olika sätt. För att den invisade sensorn (sensor-efter-invisning) ska kunna detektera målet krävs därför transformation av parametrar för mål och omgivning. Parametrerna som beskriver mål och bakgrund i radarsystemet-före-invisning ska transformeras till lämpliga parametrar i radarsystem-efter-invisningen.

Exempel på parametrar är:

- radarmålyta / reflektionskoefficient
- amplitud
- signal-till-brus-förhållande (SNR)
- Signaturparametrar till exempel avståndsprofil och spridarplaceringar från den invisande sensorn.
 - IR-signatur
 - spektrumsignatur (vibration, form och andra målegenskaper)
- Hastighet
- Höjd
- Emissionsspektrum
- Målkoordinat med tillhörande osäkerhetsområde uttryckt i sensorns lokala koordinatsystem.

Vid transformationer av koordinater och parametrar bör följande allmänna principer beaktas:

- använd gemensamt koordinatsystem i de flesta fall där detta inte uppenbart är olämpligt
- använd lokala transformationer där så kan visas vara optimalt
- många gånger uppstår ofullständigheter - då bör man generera hypoteser

som sedan skall bekräftas eller förkastas.

Siktberäkningar behöver göras för högupplösta sensorer med relativt smalt synfält så att optimala betraktningssvinklar kan bestämmas. För att bestämma dessa är det nödvändigt att ha en god uppfattning om terrängen runt målobjektet i en terrängmodell. Detta skulle kunna ske i ett verktyg som kan zooma in ungefär som Google Earth, men där vi kan använda resultatet till att beräkna insynsmöjligheter i olika riktningar.

Sökområdet för det invisade systemet utpekas utifrån mätningar från den invisande sensorn. Storlek och form på detta bestäms utifrån parametrar som osäkerheter, förväntningar av måltyp, allmänt läget etc. Avsökningsmetod och fångningsprocedur däremot bör väljas lokalt av den invisade sensorn beroende på de angivna parametrarna och egen uppfattning om läget. I fångningsproceduren ingår t.ex hur man skall hantera "missar" dvs det invisade systemet hittar inte det invisade objektet. I en situation där vi inte förväntar oss ett hot och det är viktigt att få mer information om objektet bör man försöka igen med utökat sökområde eller öka känsligheten. I en farlig situation däremot bör man nog ge upp fortsatta fångningsförsök.

Vid parametrering bör man så långt det är möjligt tänka på att använda så generiska parametrar som möjligt vilket innebär att de kommer att få en lokal tolkning. En metod som ännu inte använts så mycket är att designa kommunikationsgränssnitt efter liknande principer som används i objektanpassad programmeringsteknik. Detta innebär att inte enbart data kommuniceras utan även "metoder" för att tolka data. Vinsten ligger i att algoritmerna hos det invisande systemet kan göras generiska och oberoende av vilket sensorsystem som faktiska ska invisas.

Exempel: 3D-avbildande laserradar

I de tillämpningar och scenarier som studerats inom SEMARK har 3D-avbildande laser endast används för högupplöst måligenkänning. I normalfallet i denna tillämpning är inte sensorn lämpad att användas för att visa in andra sensorer. Istället används lasersensorn till att verifiera detektioner och till att identifiera mål.

De krav som ställs på den invisning som måste stödja denna lasersensor ställs mot det synfält som lasersensorn har, eftersom det krävs att osäkerheten i den invisade positionen inte gör att målet hamnar utanför synfältet. Samtidigt är strävan att få så många mätpunkter/bildpunkter på målet som möjligt för en säkrare verifiering och identifiering. Ett tänkbart (realistiskt) system har exempelvis en optik med ett synfält på 2 grader och en array med 256×256 bildpunkter. På ett mätavstånd av 500-1000 m ger detta en upplösning på 8-16cm och ett totalt horisontellt synfält på 20-40m. För ett mål av fordonsstorlek skulle dessa systemparametrar innebära ca 1000-4000 mätpunkter på målet, vilket är långt över vad som krävs för identifiering. Detta gör att man är mer robust mot kamouflagenät och vegetation som genom penetrations-skiktet reducerar antalet mätpunkter på målet.

Med detta systems begränsade synfält kan ett invisningsfel på 4-5 meter accepteras, men givetvis kan man tänka sig att genomföra en avsökning av närområdet ifall något mål inte hittas och ingen målverifiering/identifiering kan utföras. Avsökning blir också nödvändigt ifall lång tid gått emellan sista sen-

sorobservation och denna invisade laserradmätning, detta beroende på att målet kan röra på sig. Lång tid i detta sammanhang är relaterat till den tid det tar för målet att flytta sig ur det primära synfältet.

4.2 Prestandaprediktion

Detaljer runt metodikfrågan har behandlats i ett strategiskt forskningskärneprojekt "Sensorstyrning i NBF" som en del av problematiken runt styrning och adaptering av sensorer, se [2] och [3]. Det har där framkommit att det i planeringsverktyget behöver uppskattas relativ nytta respektive relativ kostnad för såväl enskild sensorinsats som den uppskattade sekvensen av sensorinsatser i den totala operationen som planläggs. Nyttan respektive kostnad låter ju enkelt och bra men i praktiken består dessa siffror av en stor mängd mindre prestandauppskattningar respektive riskuppskattningar förutom renodlade kostnader som i sin tur beror av andra faktorer. Nedan kommer exempel på funktioner för att bedöma nyttan:

Sannolikhet för att detektera målet med viss risk för falsklarm:

$P_{\text{detektion}}(\text{avst., aspektvinkel, miljö, tid, ...})$

Sannolikhet för att klassificera målet med godtagbar konfidens:

$P_{\text{klassificering}}(\text{avst., aspektv., miljö, tid, måltyp, ...})$

Sannolikhet för att positionera målet med önskade krav på noggrannhet:

$P_{\text{positionering}}(\text{avst., aspektv., miljö, tid, ...})$

En av kostnadsfaktorerna är sannolikheten för att ej kunna utföra den avsedda mätningen är: $P_{\text{ej genomfört}}(\text{hot, miljö, tid, ...})$ som i sin tur är sammansatt av flera andra sannolikhetsmått. Som en del i planeringssystemet skall man avgöra hur man värderar dessa nyttomått respektive kostnadsått mot varandra. I dessa kostnader och nytta ingår att bedöma svårigheter som härrör från bakgrunden respektive motsidans aktiviteter, dessa behöver därför modelleras och hanteras på ett adekvat sätt, vilket i sig innebär svårigheter.

Notera att det är ganska svårt och arbetsamt att bestämma sannolikhetsfunktioner av den här typen noggrant eftersom det kräver mycket mätningar under olika situationer. En mer framkomlig väg är förmodligen att basera dem på resultat från relativt noggranna simuleringar. Ett steg i denna riktning är den simulator som tagits fram inom SEMARK och börjat användas inom projektet, se [5].

- Kontrast mellan "målobjekt" och "lokal bakgrund"
- Detektionssannolikhet (sensorparametrar, belysning, atmosfärförhållanden mellan sensor och objekt, objekttyp eller måltyp, bakgrund, geometri, störning)
- Falsklarmsannolikhet (acceptabel nivå beror på uppgift och situation)
- Klassificeringssannolikhet (automatisk och stöttat av operatör är olika fall, beroende av samma typ av parametrar som detektionssannolikheten)
- Osäkerheten i gjorda bedömningar är mycket viktigt och måste följas upp

parallellt med de egentliga prestandamåtten.

- Simulering - ett viktigt verktyg för att validera fördelningar etc, men det kan bli omfattande körningar om stor fullständighet skall uppnås.
- Mätkampanjerna - ger stickprov för kalibrering
- "Kostnadsmått" är också viktiga. Det kan handla om hot, "driftskostnad" etc

Sannolikhetsfördelningar är ofta dåligt kända eller okända.

I ett planeringsverktyg behöver återkoppling ske av gjorda bedömningar. Att planera är en iterativ process.

Återstående avsnitt ger ett axplock av prestandaprediktionsalgoritmer för några olika sensorer. Listan är långtifrån komplett utan behöver göras både längre och förses med mer innehåll. Vi har här endast haft som ambition att ge en bild av hur några av dessa algoritmer arbetar. Listan är inriktad på att uppskatta prestanda som ju är positiva egenskaper, men man behöver också uppskatta negativa egenskaper som t.ex. telekrigsaspekter, mm.

4.2.1 Allmän prestandaskattning

För bildalstrande sensorer finns idag två väletablerade värderingsmetoder [12]. Inom flygspaning används NIIRS (National Imagery Interpretation Rating Scale), som ger ett kvalitetsmått på bildmaterialet i en skala från 0 (sämst) till 9; större NIIRS-värden möjliggör en allt mer detaljerad analys. Inom arméområdet (bildförstärkare, vapensikten i stridsfordon, kameror i små UAV:er, etc.) används en metodik ursprungligen utvecklad av J. Johnson vid U.S. Army Night Vision Laboratory, som genererar skattningar av sannolikheter för framgångsrik måldiskriminering på tre nivåer (upptäckt, igenkänning respektive identifiering). Såväl NIIRS-värde som diskriminerings sannolikheter skattas genom formler uttryckta i termer av vissa sensor-atmosfär- mål- och bakgrundsegenskaper. Formlerna har tagits fram genom kurvanpassning till resultat av observerade prestanda hos bildtolkar och sensoroperatörer.

Det finns dock anledning att även beakta metoder som inte i första hand försöker skatta människans förmåga att tolka sensordata. Det är välkänt att människan har en begränsad bearbetningskapacitet, vilket har en påtagligt negativ inverkan i situationer där snabba beslut krävs och stora datamängder ska analyseras. Nya sensorer, exempelvis multi- eller hyperspektrala kameror, genererar data som är svårtolkade för en människa. Autonoma system som styrda vapen och UAV:er har behov av självständig dataanalys. I dessa fall (stora datamängder, svårtolkade data, autonomi) har automatisk måldiskriminering genom algoritmer för detektering och igenkänning en plats att fylla. För en enskild algoritm kan, i princip, liknande empirisk metodik (kurvanpassning till observerade prestanda, i regel för simulerade data) användas som utvecklats för att prediktera mänsklig förmåga.

Vid utveckling av algoritmer för en viss sensor är det av intresse att veta hur stor ytterligare förbättring av prestanda som är möjlig att uppnå. Vid kon-

struktion eller anskaffning av ett sensorsystem är man antagligen mer intresserad av att jämföra bästa möjliga prestanda för olika designval än vad som kan uppnås med en mer eller mindre godtyckligt vald algoritm. I synnerhet gäller detta vid jämförelse av olika sensortyper, för vilka olika algoritmer används—man vill inte jämföra algoritmerna, utan sensorprestanda. Vid utformning av multisensorsystem vill man välja en uppsättning sensorer som i största möjliga mån kompletterar varandra ur informationssynvinkel.

Sedan något tiotal år har, främst i USA, metodik börjat utvecklas för skattning av det matematisk-statistiska informationsinnehållet i sensordata för att lösa en bestämd uppgift [13],[14] och [15]. Med denna ansats kan man bestämma prestandagränser som inte kan överskridas av någon algoritm (inklusive människan) applicerad på sensordata.

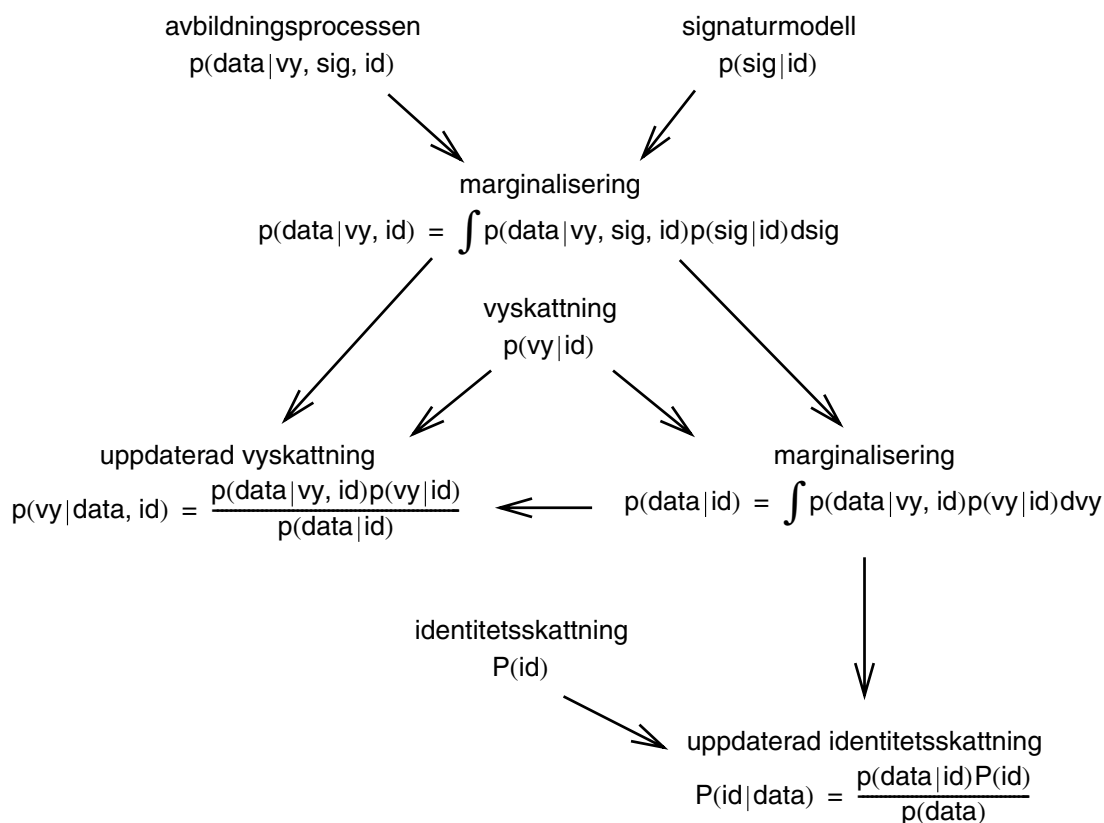
Bayesiansk skattning

I [16] och [17] beskrivs de matematiska grunderna för en metodik för värdering av sensorprestanda. Metodiken bygger på statistisk teori och ger algoritmoberoende gränser för prestanda avseende förmågan att med en viss sensor diskriminera mellan olika målkandidater och skatta målparametrar, såsom exempelvis orientering. Metoden förutsätter att samtliga företeelser som påtagligt påverkar utfallet av en mätning kan modelleras som statistiska fördelningar, samt att dessa kan analyseras analytisk eller numeriskt. Eftersom detta är ett mycket omfattande arbete bedöms det vara svårt att hantera generellt. Ett viktigt exempel på begränsningar hos metodiken är att bakgrundens (naturens) variationsrikedom inte kan modelleras matematiskt, vilket medför att detektionsprestanda inte kan adresseras utom för speciella väldefinierade klasser av miljöer.

Metodiken kan delas upp i fem olika steg:

- (i) 3D CAD-modeller av målen. Modellerna är geometriskt detaljerade för att kunna fånga upp olika sensorfenomen (sensorberoende) och har relevanta materialbeskrivningar. Modellerna är grunden för olika fysikaliska beräkningar, t.ex. termodynamiska beräkningar i IR-fallet.
- (ii) Probabilistisk signaturmodell. I signaturen ingår att matematiskt/statistiskt beskriva hur målets egenskaper (så som de registreras av en sensor) varierar med väder, tid på dygnet, målets tillstånd (t ex motor avstängd, kamouflerad), etc.
- (iii) Probabilistisk sensormodell. I sensormodellen (eller kanske hellre modell för avbildningsprocessen) ingår sensors position relativt målet, distorsion av ideala data beroende på atmosfär, optisk överföringsfunktion, A/D-omvandling i detektorn (mottagaren), sensorbrus i mottagaren.
- (iv) Bayesiansk formulering av skattningsproblemet. Klassificerings-, och parameterskattningsproblemen formuleras här på ett sätt som en optimal algoritm skulle lösa dem, dvs. så att sannolikheten för felklassificering respektive osäkerheten i det skattade parametervärdet minimeras.
- (v) Beräkningar, analytiska eller numeriska, av tillhörande, ofta ytterst

komplicerade matematiska uttryck. I många realistiska fall leder den Bayesianska formuleringen till så stort beräkningsbehov (t.ex. sökningar i stora databaser) att algoritmen inte kan tillämpas i en skarp situation. Däremot kan metoden användas för att bestämma prestandagränser.



Figur 4.1: Arbetsgång vid Bayesiansk skattning.

Figur 4.1 beskriver schematiskt de moment som ingår vid Bayesiansk skattning av målegenskaper. Utifrån initiala skattningar av målparametrar (här kallade vy) $p(\text{vy}|\text{id})$ och identitet $p(\text{id})$, erhålls uppdaterade skattningar av målparametrar som orientering och identitet. Givet de nya skattningarna, som fås i form av sannolikhetsfördelningar, kan osäkerhetsmått beräknas. Det är dessa spridningsmått som anger gränser för med vilken noggrannhet målets egenskaper i bästa fall (med en optimal algoritm) kan bestämmas under de aktuella förhållandena.

De osäkerhetsmått som metodiken genererar kan användas för att fastställa krav på sensoregenskaper som exempelvis upplösning och brusnivå för att en viss prestandanivå ska uppnås i en given tillämpning. Till exempel kan man värdera om en viss sensor eller sensorkombination är lämplig för en spaningsplattform som har vissa krav på precision. Om sensorns egenskaper istället är givna, kan analysen användas för att optimera datainsamlingen, exempelvis avseende positionering av sensorn. Metodiken kan också användas för att bedöma värdet av att fusionera data från flera sensorer, eller vid jämförelse av in-

formationsinnehållet i data från olika våglängdsband eller från olika sensortyper.

De senaste åren har FOI fått tillgång till eller utvecklat de verktyg som behövs för att göra simuleringar på en tillräckligt detaljerad nivå. Simuleringarna kan nu göras för såväl optiska sensorer (visuella, IR och laser) som radar. Längst har arbete kommit för IR-sensorer, detta redovisas nedan.

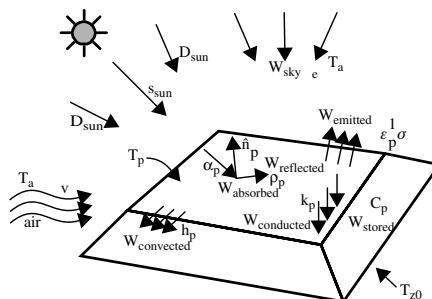
4.2.2 IR-sensorer

I IR-fallet baseras signaturmodellen på en analys av värmebalansekvationen för gränsskiktet mellan atmosfär och objektyta, se figur 4.2. Jacobs [18] har visat att den s.k. skenbara temperaturen för ett plant ytelement, inom ett relevant temperaturintervall, med hög noggrannhet kan beskrivas som en linjärkombination

$$T^{yta} = \sum_{i=1}^6 \alpha_i b_i^{yta} \quad (4-1)$$

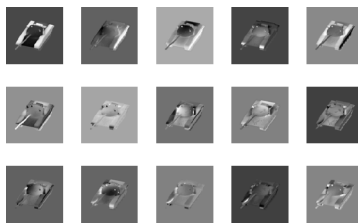
där b_i^{yta} är vissa materialkonstanter och α_i är väderparametrar. Ett objekts yttre kan betraktas som en samling sådana ytelement, vart och ett med sina materialegenskaper. För ytelement nära varandra kan väderparametrarna antas vara lika, men sett över hela objektytan kommer, p.g.a. exempelvis skuggning, parametervärdena att variera. Resultatet blir att ett större antal termer krävs i summan för att samtidigt modellera hela objektytan.

Det är inte nödvändigt att känna materialkonstanterna för att formulera en modell. Istället kan man utgå ifrån en uppsättning temperaturmätningar eller, som i det aktuella fallet, termofysikaliska simuleringar, och anpassa en modell av rätt form direkt till dessa. I figur 4.3 visas de för stridsvagn T-72 viktigaste basfunktionerna $\mathbf{b}_i = [b_i^1 \dots b_i^N]$, där b_i^k anger värdet för ytelement k , för att beskriva omkring 3000 olika simuleringsfall med olika väder etc.

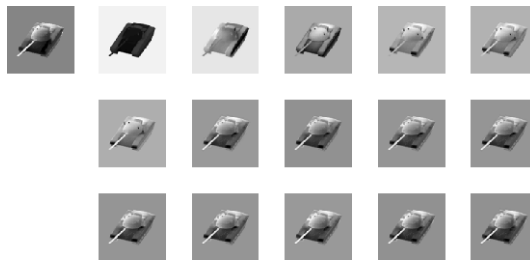


Figur 4.2: Illustration av värmebalansen i gränsskiktet mellan atmosfär och objektyta.

Givet basfunktionerna kan nya simuleringsexempel rekonstrueras genom linjärkombination av basfunktionerna, se figur 4.1. Modellen har hög noggrannhet: med ett tjugotal basfunktioner fås i snitt ett rekonstruktionsfel på mindre än $0,1^\circ\text{C}$.



Figur 4.3: Basfunktioner $b_1, \dots, b_{15}$ för modellering av IR-signaturer för T-72.



Figur 4.4: Successivt förfinad rekonstruktion av signaturen längst upp till vänster genom linjärkombination av basfunktionerna i figur 4.3.

Genom (o-)lämpliga val av koefficienter kan man kombinera ihop basfunktionerna så att signaturer som inte kan förekomma hos det verkliga objektet bildas. Därför krävs, utöver basfunktionerna, även en modell för vilka koefficientuppsättningar som kan förekomma. Givet simuleringsfallen kan en sannolikhetsfördelning (täthetsfunktion) $p(\alpha)$ för dessa skattas. Den fullständiga signaturmodellen betecknas i figur 4.1 $p(\text{sig}|\text{id})$, där id betecknar målklass.

Nästa steg är att modellera avbildningsprocessen från objektet i scenen till dess registrering som sensordata. Värmestrålningen fortplantar sig genom atmosfären och utsätts där för spridning, absorption och turbulens. I det termiska området tillkommer dessutom ett bidrag från atmosfärens egenstrålning. På måttliga avstånd (ett fåtal kilometer) kan turbulensbidraget i regel försummas. Övrig påverkan kan modelleras som en likformig dämpning av temperaturkontrasten. Hur stor denna dämpning är i ett enskilt fall är mycket svårt att förutse, då lokala meteorologiska fenomen (dis, aerosoler, etc.) medför att en förflyttning av sensorn bara några hundra meter kan ge radikalt skilda utfall. Ett flertal modeller har konstruerats för den statistiska fördelningen av atmosfärsdämpningen, ett exempel är WETTA (Weather Effects on Tactical Target Acquisition), se [19]. Resultatet är en sannolikhetsfördelning (täthetsfunktion) $p(\tau)$ för kontrastdämpningen τ .

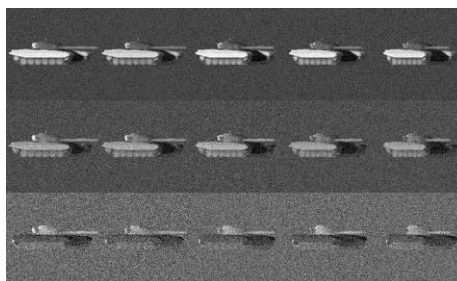
När strålningen nått sensorn ska den passera genom optiken, vilken resulterar i dämpning och spridning. Dessa effekter kan, som en första ordningens approximation, modelleras genom en deterministisk optisk överföringsfunktion (MTF) som kan bestämmas genom laboratiemätningar.

Slutligen krävs en modell för sensorbrus. I allmänhet består sensorbruset av såväl additiva (signaloberoende) som multiplikativa (signalberoende) komponenter. Det kan finnas ett starkt beroende mellan olika detektorelements brusprocesser. För bestämning av prestandagränser är man intresserad främst

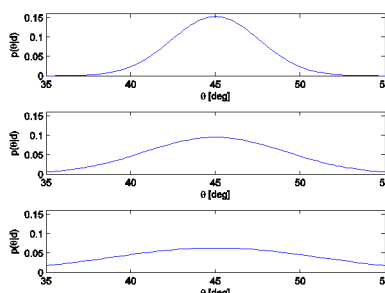
av scener med liten temperaturskillnad mellan mål och bakgrund, vilket medför att brusnivån kan antas vara densamma för mål- och bakgrundspixlar. För fokalplansmatriser är dock brusnivån även för en homogen scen individuell för varje enskilt detektorelement, p.g.a. varierande egenskaper som responsivitet och spektral känslighet. Vid prestandastudier är man dock primärt intresserad av brusnivån i snitt sett över hela detektormatrisen. Det har visat sig att bruset ofta matematiskt kan sammanfattas som en summa av en Poisson- och en Gaussfördelad process. Den totala systembrusnivån kan, för en fix bakgrundstemperatur, även sammanfattas i begreppet NEDT, *Noise Equivalent Differential Temperature*, som anger den temperaturskillnad över bakgrunden som ger signalbrusnivån $\text{SNR} = 1$.

Den fullständiga modellen för avbildningsprocessen med atmosfär, optik, och sensorbrus betecknas i figur 4.1 med $p(\text{data} | (v_y, \text{sig}, \text{id}))$, där v_y anger sensorns orientering relativt målet.

Nedan följer några exempel på resultat som kan genereras med den föreslagna metodiken. I figur 4.5 visas tre simulerade bildserier tagna vid olika tidpunkter en svensk sommardag. Varje serie avbildar fordonet ur fem olika orienteringar separerade med fem grader. Notera hur kontrasten mellan mål och bakgrund varierar. Anta nu att man vid respektive tidpunkt observerar fordonet i en orientering, nämligen mittkolumnen (45 grader). Man kan då fråga sig med vilken noggrannhet fordonets orientering kan bestämmas vid de olika tidpunkterna. Svaret ges i figur 4.6, som visar den förväntade spridningen av mätresultat vid respektive observationstillfälle.

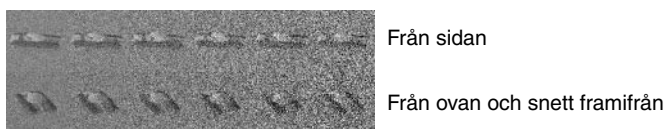


Figur 4.5: T72 avbildad i 5 olika orienteringar separerade med 5 grader; med 35° längst till vänster. Tre olika tidpunkter på dagen avbildas; 13:30 (överst), 15:30 (mitten) och 17:30 (nederst). Notera hur kontrasten mellan mål och bakgrund varierar.

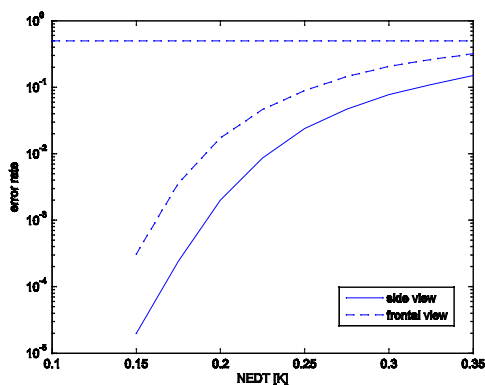


Figur 4.6: Skattad mätosäkerhet vid de tre observationstillfällena. Överst: kl. 13:30, mitten: kl. 15:30 och nederst kl. 17:30.

I figur 4.7 visas simulerade observationer av en T72 i två orienteringar, vid olika brusnivåer. Anta nu att det finns en alternativ hypotes om målets identitet, nämligen att det är en PBV 401. Vid höga brusnivåer (alternativt låg kontrast) kan bruset råka falla så att målets utseende påverkas signifikant. Grafen i figur 4.8 visar, för olika brusnivåer, sannolikheten för en felaktig klassificering av fordonet (vid optimal beslutspolicy). Notera att risken för felaktigt beslut är signifikant lägre för sidovyn än frontvyn vid varje brusnivå. Figurerna 4.9 och 4.10 ger exempel på prestanda vid olika upplösningar.



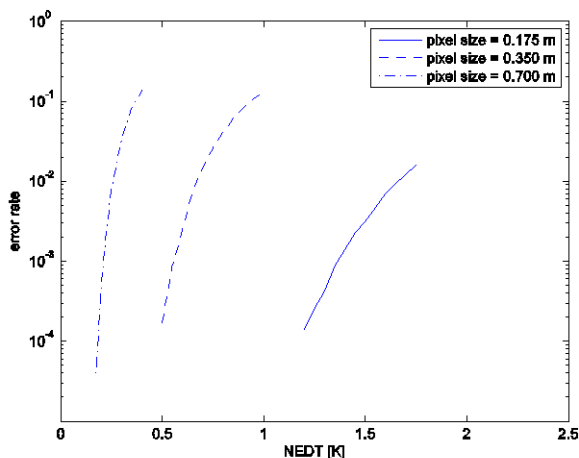
Figur 4.7: Figur 7. T72 avbildad i två orienteringar vid olika brusnivåer. Vänster: NEDT 0,10K och höger: 0,35K.



Figur 4.8: Är målet en T72 eller en Pbv 401? Sannolikhet för felaktigt beslut (Bayesfel) vid olika brusnivåer. Den horisontella streckade linjen anger sannolikheten 0,5 (ren gissning).



Figur 4.9: T72 i tre olika upplösningar, 70, 35, respektive 17,5 cm per pixel.



Figur 4.10: Är målet en T72 eller en Pbv 401? Sannolikhet för felaktigt beslut (Bayesfel) vid olika brusnivåer och sensorupplösning.

4.2.3 Prestandaprediktion EO och IR

I rapporten [6] går ett par viktiga metodiker igenom för att uppskatta olika prestandamått.

Bailey's modell

Denna modell är strukturerad efter tre urskiljbara processer:

- (1) Avsiktlig avsökning av ett väldefinierat område
- (2) Detektering baserad på kontrast
- (3) Igenkänning av geometriska former skapade av kontrastkonturer.

Modellen uppskattar sannolikheten för att lyckas med var och en av dessa processer. Brus är också närvarande i mätprocessen vilket degraderar alla tre ovanstående steg. Sannolikheten för målklassificering fås igenom att beräkna sannolikheten att alla tre stegen ska lyckas multiplicerat med en reduceringsfaktor som baseras på brusnivån:

$$P_r = P_1 P_2 P_3 \eta \quad (4-2)$$

Noggrannhet i de prestandamått man fått från denna modell är inte bättre än cirka 20-30 procent.

NVTherm

Denna modell är utvecklad vid amerikanska Army Night Vision and Electronic Sensors Directorate (NVESD) och dess föregångare. Det finns dessutom en nyare version kallad NVThermIP som inte är allmänt tillgänglig. Denna modell baserar sig på MRT¹-funktioner som beskriver sensorns lägsta detekterbara temperaturdifferens som funktion av spatiell frekvens.

Målets skenbara svartkroppstemperatur beräknas utifrån signalreduktionen som ges av en atmosfärstransmissionsmodell. Så snart som målets skenbara temperaturskillnad bestämts så kan sensorns maximalt upplösningbara spatiella frekvens bestämmas med hjälp av MRT-funktionen.

Antalet cykler över den kritiska måldimensionen som faktiskt kan upplösas av sensorn på ett givet avstånd beräknas som

$$N = \rho \frac{d_c}{R} \quad (4-3)$$

där ρ är den maximalt upplösningbara spatiella frekvensen i cykler per mil-liradian, d_c är den kritiska måldimensionen (meter) och R (km) är avståndet mellan sensorn och målet. Sannolikheten för särskiljning ges av

$$P = \left(\frac{N}{N_{50}} \right)^E / \left(1 + \left(\frac{N}{N_{50}} \right)^E \right) \quad (4-4)$$

där N_{50} är antalet cykler över den kritiska måldimensionen som krävs för 50% sannolikhet, $E = 3.76$. Funktionen har bestämts utifrån experimentella data. Sannolikheten för detektion, klassificering och igenkänning bestäms med ekvation (4-4) och motsvarande värden på N_{50} som krävs.

1. MRT = Minimum Resolvable Temperature difference

TERRTEX

Terrtex är program som utvecklades för flera år sedan av FOI och sedan har modifierats flera gånger. Det var framtaget för att utvärdera kamouflage av fordon i skogsterräng. Nyligen gjorda tillägg kan beräkna sannolikheter.

Detektionssannolikheten bestäms med hjälp av avståndsmåttet D som Bhattacharyya definierat. Detektionssannolikheten kan härledas till

$$P_{\text{det}} = 1 - e^{-\frac{DA}{R^2\theta^2}} \quad (4-5)$$

Där θ är vinkelupplösningen hos sensorn och R är avståndet mellan sensor och målobjekt. Faktorn D kan tolkas som en generaliserad signal-till-brus nivå. Ett förenklat uttryck för D kan skrivas

$$D = \frac{1}{4} \frac{(\mu_T - \mu_B)^2}{\sigma_T^2 + \sigma_B^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{2} \frac{(\sigma_T^2 + \sigma_B^2)}{\sqrt{\sigma_T^2 \sigma_B^2}} \quad (4-6)$$

där μ och σ är medelvärde respektive standardavvikelse för styrkan av mål (suffix T) respektive bakgrund (suffix B).

En mycket enkel metod att uppskatta detekteringstid för en mänsklig operatör där det antas att returerna betraktas i styrkeordning är

$$T_{\text{det}} = N_{\text{alarm}} t + \text{Dist} \cdot v \quad (4-7)$$

där N_{alarm} är det genomsnittliga antalet detektioner som behöver tittas på innan det verkliga målet hittas. Faktorn t är fixeringstiden för varje enskilt titt, vilken brukar vara cirka 0.3 s. Faktorn Dist är summan av alla ögonrörelser och v är hastigheten i ögonförflyttningarna.

Framtida arbeten inom området skulle kunna beakta modellering av flera sensortyper, sensorfusion samt metodvalidering.

4.2.4 Prestandaprediktion i IR genom simulering

Prestanda kan predikteras ganska väl med statistiska metoder då mål är punktformiga och den enda informationen är styrkan på signalen från den punkten. När sensorupplösningen ökar är målsignaturen inte punktformig längre och det blir svårt att skatta hur bra detektion fungerar utan att bestämma en specifik detektionsmetod. I detta kapitel beskrivs en metod för att uppskatta prestanda för en boostingdetektor som jobbar med bildomgivningar som omsluter ett område lika stort som objekten man vill detektera.

Detektorn tränas genom att simulera fram träningsdata (bilder) som sedan används i en träningsalgoritm för att bestämma parametrarna som behövs för att detektera de mål man är intresserad av. För framtagningen av träningsdata används i vårt fall simuleringsverktyget SceneServer med en IR-omvärldsmo- dell över Kvarn som innehåller texturer från riktiga IR-mätningar. Träningsalgoritmen behöver positiver som är massor av små bildområden med de mål som ska detekteras. Negativer behövs också och det är bildområden som innehåller allt annat som man inte vill detektera.

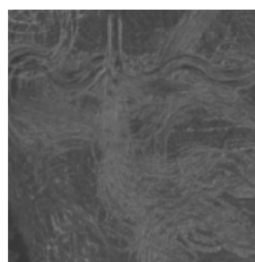
Framtagning av positiver kräver modeller av de objekt man är intresserad av att detektera. I vårt fall används 3D-modeller med IR texturer av fordonen BMP1, BTR80, Hum-TOW, Leopard2A6, M2A2 Bradley, MTLB, T72 och

T80. För varje fordon genereras bilder med flera aspektvinklar och flera infallsvinklar så att vyn hela varvet runt spänns upp. I vårt fall genereras 30000 bilder med storleken 30x30 bildpunkter vardera, kallat "patchar".



Figur 4.11: Exempel på positiv-patchar

Framtagning av negativer görs också i SceneServer. Ett område av omvärldsmodellen väljs som träningsområde och bilder med olika infallsvinklar genereras. För att underlätta för träningsalgoritmen extraheras bilder med moderat storlek, 100x100, 200x200 och 400x400 bildpunkter. Träningsalgoritmen kan sedan extrahera patchar från de bilderna.



Figur 4.12: Exempel på en negativ-bild från vilken patchar kan plockas.

Hur träningen av boostingdetektorn går till beskrivs i [24] men en del av förfarandet kommer att förklaras i här därför att vissa formler behövs senare då man beskriver tillvägagångssättet för att ta fram prestandamått.

Boosting är en metod för att träna en bra (stark) klassificerare genom att kombinera flera mindre bra (veka) klassificerare. Detektion är en form av klassificering och man ser mål som en klass och allt annat som den andra klassen. Matematiskt kan man skriva det som att den starka detektorn är en viktad summa av de veka detektorerna $F(\bar{x}) = \sum_i \alpha_i f_i(\bar{x})$.

Funktionen $f(\bar{x})$ antar ett värde -1 för icke detektion och +1 för detektion. Summan $F(\bar{x})$ kan ses som en viktad röstning av flera enkla detektorer som tillsammans blir en stark detektor. Svaret från den starka detektorn är så att en positiv patch ska ge så stort positivt värde som möjligt och en negativ patch ska ge så stort negativt värde som möjligt på funktionen F .

Den färdiga boostingdetektorn tränas med så många veka detektorer att det är svårt att förbättra resultatet ytterligare. Vi vill ta fram ett prestandamått, så kallad ROC¹-kurva som beskriver hur bra detektionssäkerheten är gentemot falsklarmsrisken. För att göra en rättvis bedömning av prestandan måste vi också ha ett dataset med positiva och negativa exempel (positiver och negativer) som inte används i träningen av detektorn (valideringsdata). I vårt fall väljer vi negativerna från ett annat område i Kvarn-omvärldsmodellen.

1. ROC = Receiver Operating Characteristics

Samma 3D-modeller används för positiva men de placeras ut på en annan bakgrund jämfört med träningsdata.

Vi applicerar detektorn på allt valideringsdata, positiva och negativa, och sparar svaret (F-värdet) för varje patch. Den sanna klasstillhörigheten för varje

patch k skrivs $y_k = \begin{cases} 0, & \text{om negativ} \\ 1, & \text{om positiv} \end{cases}$. Vi ansätter en tröskel t och bestämmer en

estimerad klasstillhörighet $\tilde{y}(\bar{x}_k, t) = \begin{cases} 0, & F(\bar{x}_k) < t \\ 1, & F(\bar{x}_k) \geq t \end{cases}$.

Antalet sanna detektioner blir $d_s(t)$ och falska $d_f(t)$ detektioner är

$$d_s(t) = \sum_k \tilde{y}(\bar{x}_k, t) y_k \quad d_f(t) = \sum_k \tilde{y}(\bar{x}_k, t) (1 - y_k) \quad (4-8)$$

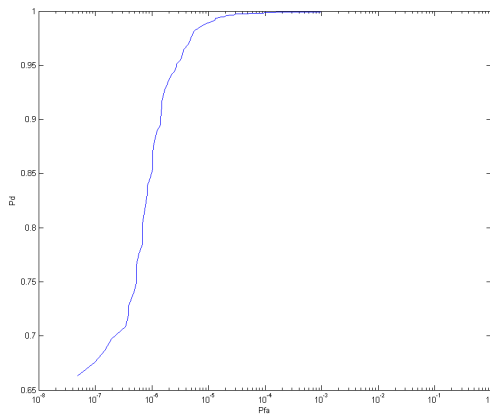
Det totala antalet negativa är $N_n = \sum_k (1 - y_k)$ och positiva är $N_p = \sum_k y_k$

Vi kan beräkna detektionssannolikheten och falsklarmsrisken för olika trösklar t .

$$P_d(t) = \frac{d_s(t)}{N_p} \quad (4-9)$$

$$P_{fa}(t) = \frac{d_f(t)}{N_n} \quad (4-10)$$

Ett exempel på en ROC-kurva som framtagits med denna metod är grafen i figur 4.13. Prestandan är väldigt bra eftersom alla mål som används antags vara varmkörda och därför lyser upp ordentligt. Metoden som beskrivits i detta kapitel beror starkt på vad man använder för data vid träning och validering. Antar man att målen är begränsade till ett visst fall så får man bara ut en prestandakurva för det fallet.



Figur 4.13: Prestanda för en boostingdetektor tränad med termiskt IR-data. Positiva är simuleringar av varmkörda fordon, negativa är tagna från riktigt data över kvarnområdet.

4.2.5 Prestandaprediktion radar

Det finns många olika typer av radar. Det som är mest intressant är flygburen SAR med arbetsmoderna *strip-map*, *spot* samt *GMTI*. Dessutom kan vanlig MTI-radar förekomma. Alla olika arbetsmoder behandlas delvis olika då mätmetodik och signalbehandling skiljer sig åt, ibland dramatiskt.

Detektionssannolikhet SAR

Detektionssannolikhet bestäms genom att först bestämma förhållandet mellan nyttosignal och bakgrundsbruset. I de olika SAR-moderna för stationära mål bestäms skillnaden mellan nyttosignal och signal från naturliga objekt i bakgrunden med hänsyn taget till hur stort område som detektorn arbetar med i beslutsögonblicket. För att göra detta måste man också ta hänsyn till mätgeometrier, flygfarter, integrationstider, målarea mm.

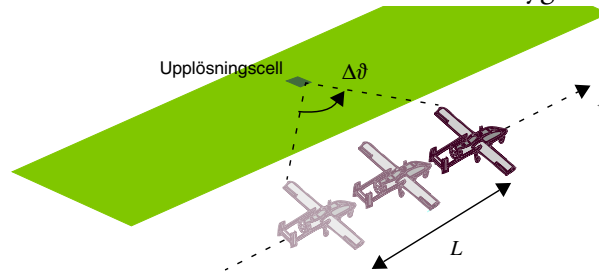
I det monostatiska fallet kan radarekvationen skrivas som

$$\text{SNR} = \frac{\sigma P_t t_i \lambda_{\text{RF}}^2 G_t G_r}{(4\pi)^3 k L_S T_S R^4} \quad (4-11)$$

eftersom sändare och mottagare befinner sig på samma plats, utnyttjar samma antenn och ser en upplösningcell på samma sätt.

I ett SAR-system varierar avståndet mellan antenn och mål avsevärt under integrationstiden och kan inte antas vara konstant utefter flygbanan. Detsamma

- G = antennvinst
- σ = målarea
- L = Olika förluster
- t_i = integrationstid
- τ = pulslängd
- f_{PRF} = pulsrepetitionsfrekvens
- λ = våglängd
- k = Boltzmanns konstant
- T_S = brustemperatur
- P = effekt
- F = noise figure
- B = bandbredd



Figur 4.14: Geometrin under en SAR-mätning för varje upplösningcell

gäller även radartvårsnitt, antennförstärkning och antennarea i (4-11). En korrekt SNR-ekvation för SAR erhålls därför om man integrerar (4-11) över den koherenta integrationstiden. För enkelhets skull antar vi här att $G_T G_R \sigma$ är konstant under integrationstiden, att likaså flygfarten v är konstant, och att integrationsintervallet är symmetriskt placerat kring tvärsiktningen relativt flygbanan. Då fås SNR-ekvationen enligt

$$\text{SNR} = \frac{P_T}{v} \left(\frac{\sigma G^2 \lambda_{\text{RF}}^2}{(4\pi)^3 r^3 k T_S L_S} \right) \left(\frac{\Delta\theta + \sin \Delta\theta}{2} \right) \quad (4-12)$$

där r = kortaste avståndet (tvärsavståndet) mellan antenn och mål utefter flygbanan, $\Delta\theta$ = aperturvinkel (intervall som dopplerkonvinkeln varierar över under integrationstiden). $P_T = P_{\text{top}} \tau f_{\text{PRF}}$ är medeleffekten som beräknas utgående från toppeffekt, pulstid och pulsrepetitionsfrekvens.

I praktiken varierar dock $G^2 \sigma$ över integrationen vilket ger en förlustfaktor som bakas in i systemförlusten L_S .

I spot-mod så är inte integrationsintervallet symmetriskt placerat kring tvärs-riktningen relativt flygbanan, men vi riktar hela tiden antennens normal mot spaningsområdets centrum. Om man inte har mycket stora krav på noggrannhet kan man därför använda (4-12) även i detta fallet.

I uttrycket (4-12) beräknas relationen mellan ett typiskt målobjekt och det naturliga bruset. Dessutom behöver man också uppskatta styrka och fördelning hos naturligt förkommande objekt som skulle kunna betraktas som mål-objekt men som för tillfället är ointressanta. Dessa brukar kallas för klotter.

När man fått ett värde på relationen mellan målet och dess bakgrund så bestäms upptäcktsannolikheten ur ett antal fördelningsfunktioner som baserar sig på antagande om hur detektorn är konstruerad liksom hur målets reflektionsegenskaper varierar under belysningen. Den mest kända av dessa är den så kallade Swerling-modellen som togs fram för flyg och fartygsmål och är giltig när målen kan betraktas som punktmål. I SAR-fallet förekommer dock utbredda mål som punktmålsmodeller inte kan användas på.

Upplösning

Upplösning för konventionell radar beror av antennstorlek och avstånd till målet. För en SAR-radar gäller uttrycket

$$\Delta x \times \Delta y = \frac{\lambda}{2\Delta\vartheta} \times \frac{c}{2B\cos\psi} \quad (4-13)$$

där $\Delta\vartheta$ står för aperturvinkelvariationen under en scen och ψ är markprojektionsvinkeln. Observera att upplösningen inte beror av avståndet utan av våglängd och aperturvinkelvariationen, se figur 4.14.

Undertryckning av stationärt klotter

I vanlig SAR antas att den avbildade scenen är stationär, vilket är själva förutsättningen för bildprocessningen. Om det då är något objekt som rör sig kommer detta att smetas ut och till sist försvinna vid ökande hastighet samtidigt med att objektets position blir felaktig. För att hantera rörliga mål använder man istället en speciell SAR-variant som kallas SAR-GMTI som kräver ett flerkanaligt mottagarsystem. I den efterföljande signalbehandlingen undertrycks stationära returer vilka är att betrakta som oönskat klotter eftersom vi önskat oss rörliga mål. GMTI-moden använder normalt en kortare integrationstid än vanlig SAR för att reducera antalet upplösningceller över objektet men upplösning och noggrannhet av objektet kommer att bli sämre än för motsvarande stationära objekt i en SAR-bild.

Tiden mellan två fascentra i en GMTI antenn är $t = d_f/v_f$ där v_f är flygplanets hastighet och d_f är avståndet mellan två fascentra. Avståndet som ett fordon med radiell hastighet v rör sig under den tiden är $d = vt$. Fasvridningen som sker i signalen då ett fordon rör sig gör att effekten i målsignalen som blir kvar efter klotterundertryckning i ett smalbandigt system kan skrivas

$$\|S_u\|^2 = 2\|s\|^2 \left(1 - \cos\left(2\pi v \frac{d_f}{\lambda v_f}\right)\right) \quad (4-14)$$

där s är originalsignalen från målet innan klotterundertryckning.

I ett bredbandigt system har inte våglängden λ ett enda värde utan varierar med tiden. Signalens styrka per våglängdsenhet $\|s(\lambda)\|$ är en funktion av våglängden. Det gör att den totala signalen blir en integral med avseende på λ .

$$\|S_u\|^2 = 2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \|s(\lambda)\|^2 \left(1 - \cos\left(2\pi v \frac{d_f}{\lambda v_f}\right)\right) d\lambda \quad (4-15)$$

Vi kommer dock enbart att titta på smalbandiga system i fortsättningen av denna rapport.

Signalen från ett mål efter klotterundertryckning kan med radarekvationen och tidigare resonemang skrivas

$$S = \frac{P\lambda^2 G_t G_r \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_{\text{Tot}}} 2 \left(1 - \cos\left(2\pi v \frac{d_f}{\lambda v_f}\right)\right) \quad (4-16)$$

Bruseffekten är $N = k_b T_0 F_n B$.

Om klottret kan undertryckas en faktor C_s kan vi skriva effekten på det resterande klottret efter undertryckning m.h.a radarekvationen.

$$C = \frac{PB\lambda^2 G_t G_r (\sigma_0 A)}{(4\pi)^3 R^4 L_{\text{Tot}} C_s} \quad (4-17)$$

Arean $A = \frac{c}{2B} \times \frac{\lambda_c}{2\Delta\theta}$ är den upplösningsarea som radarn presterar.

Detektionssannolikhet
och falsklarmrisk GMTI

Vi antar att amplituden på klottret har en sannolikhetsfördelning, t.ex Rayleigh, K, Gamma eller Rice. Klotter kan modelleras på många olika sätt så ingen specifik fördelning väljs här. Det som i grunden varierar över ytan är parametern σ_0 som beskriver markytans reflektionsförmåga per ytenhet. Vi väljer ändå att beskriva fördelningen för den totala klottersignalen C . I de flesta radarer finns även speckel i signalen. Det gör att variationerna i signalen C blir större, $\sqrt{C} \sim p_c(x)$. Brusets amplitud (termisk brus t.ex) är oberoende av klottret och har också en sannolikhetsfördelning, $\sqrt{N} \sim p_N(x)$. Ofta är klottrets amplitud betydligt större än det övriga brusets amplitud. Vi antar att klottret dominerar. För att beräkna falsklarmrisken sätter vi en tröskel t för amplituden, $P_{\text{fa}}(t) = P(\sqrt{C} > t)$. Vi får då att falsklarmsannolikheten är

$$P_{\text{fa}}(t) = \int_t^{\infty} p_{\text{fa}}(x) dx \quad (4-18)$$

Om man vill antaga en fördelningsfunktion så kan man utgå från väntevärdet av klottret och bruset som går att uppskatta ganska väl, annars får man mäta i riktiga bilder eller simulera fram bilder genom att använda en omvärldsmo-
dell och ett simuleringsprogram.

Signalens fördelning

Sannolikhetsfördelningen för signalen har olika form beroende på vilket mål som ska detekteras så ingen specifik fördelning bestäms här. Vi skriver målets

amplitudfördelning som $\sqrt{S} \sim P_s(x)$. På samma sätt som för $P_{fa}(t)$ beräknas nu upptäcktsannolikheten

$$P_d(t) = \int_t^{\infty} p_s(x) dx \quad (4-19)$$

En fördelningsfunktion för ett mål kan tas fram genom simulering m.h.a t.ex SPECRAY EM.

Klassificeringssannolikhet

SAR-radar genererar bilder av avbildade markområden. Klassificering kan göras med liknande tekniker som de optiska sensorerna beroende på upplösningen och hur stora objekt som skall klassificeras.

Detekteringstid

Kortaste detekteringstid för ett mål är den tid det tar att flyga upp appertursträckan L vilket är $t_{obs} = L/v_f$ då flygfarten är v_f . I ett helt stråk överlappar dessa sträckor varandra utom i början och slutet på varje stråk. Tiden för ett stråk blir

$$t_{stråk} = \frac{l + L}{v_f} \quad (4-20)$$

där l är stråkets längd. Observera att ett detekterat objekt aldrig kommer att rapporteras tidigare än tiden $t_{rapp} = L/(2v_f)$ efter det att radarn passerat målet på grund av att SAR-principen innebär att vi skapar en stor virtuell antenn på beskostnad av tid.

4.2.6 Prestandaprediktion för 3D-avbildande laserradar

Under 2006 genomförde Letalick och Grönwall en prestandabedömning av laserradar för UCAV-tillämpning inom projektet SUPREM, se [8]. Tillämpningen i den rapporten var en målsökare, vilket stämmer väl överrens med hur 3D-avbildande laserradar används inom SEMARK. Fokus för laserradar inom SEMARK är identifiering av ett detekterat mål, med hjälp av en eller flera mätningar mot ett invisat område där man fått en detektion från annan sensor.

På motsvarande sätt som radarekvationen används för räckviddsberäkningar för radarsystem kan laserradarekvationen användas för laserradarsystem. Ett sätt att skriva den på är enligt Osche [10],

$$P_R = P_S T_A^2 \eta \rho \frac{\pi D^2}{4R^2} \left(1 - e^{-2 \frac{A_m}{A_s(R)}} \right), \quad (4-21)$$

där storheterna definieras enligt tabellen nedan.

Storhet	Definition
P_R	Mottagen signal [W]
P_S	Lasereffekt [W]
T_A	Atmosfärstransmission, enkel väg
η	Optisk transmission

<i>Storhet</i>	<i>Definition</i>
A_m	Målarea [m ²]
R	Avstånd till målet [m]
ρ	Reflektionsfaktor [-]
D	Mottagarens aperturdiameter [m]
$A_s(R)$	Strålens tvärsnittsarea [m ²]

Om man jämför med motsvarande ekvation för SAR-radar (ekv. 4-11) så ser man att avståndsberoendet endast är kvadratisk istället för 4:e potensen. Detta gäller så länge vi har en laserstråle som är mycket mindre än den reflekterande ytan på målet, då växer reflexområdets area kvadratisk med avståndet, vilket kompenserar för en kvadratisk minskande effekttäthet med avståndet.

I rapporten utgår man från de allmänt accepterade gränserna för hur många mätpunkter man behöver på ett mål för detektion (50 mätpunkter), igenkänning (200) och identifiering (500). En viktig iakttagelse är dessutom att målets geometri, som kan mätas med en laserradar, ger ca 30 % förbättrade detektions-, igenkännings- och identifieringsförmågor jämfört med passiv optik.

En annan viktig parameter, atmosfären, inför påtagliga begränsningar för EO-system, som dämpas svårt vid exempelvis regn och snö. Dis och dimma dämpar också signalerna, men gör snarare problemet till en effektfråga.

Slutsatserna som dras i rapporten är bland annat att ett system för att utföra igenkänning på ett mål på upp till 4 km avstånd är rimligt med en sensor med 512 element och en optik med 1 grads synfält. Under förutsättningen 100kW pulseffekt ges en bra retursignal upp till 4,5 km, medan viss dimma reducerar denna till 3 km.

I SEMARK-tillämpningarna ser systemet lite annorlunda ut och ett tänkbart (realistiskt) system med ett synfält på 2 grader behöver antagligen endast en arrayupplösning på 256×256 bildpunkter. På ett mätavstånd av 500-1000 m ger detta en upplösning på 8-16 cm och ett totalt synfält på 20-40 m. För ett mål av fordonsstorlek skulle dessa systemparametrar innebära ca 1000-4000 mätpunkter på målet, vilket är en bra bit över vad som krävs för identifiering. Detta gör att man dessutom är mer robust mot vegetation och kamouflagenät som genom materialskiktet reducerar antalet mätpunkter på det bakomvarande målet. För vertikala mätningar genom skog, sommartid, visar Chevalier et al. [11] att antalet mätpunkter reduceras till 20-30 % beroende på trädtyp, där lövträd i snitt dämpar mer.

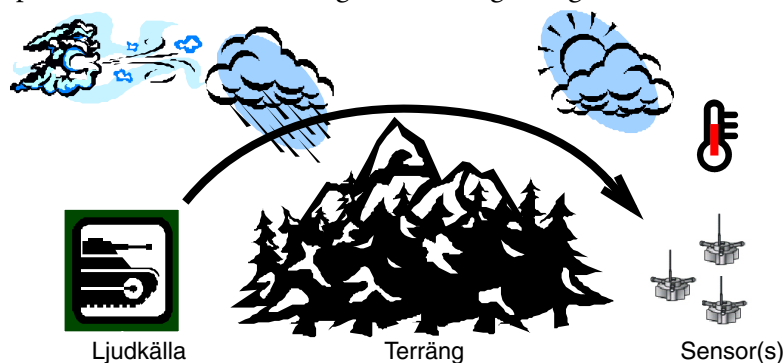
Eftersom mätpunkter från en laserradar är i absoluta koordinater ger detta ett utmärkt underlag för att väga samman flera dataset tagna från olika riktningar. Genom att utgå från en bra uppskattning av sambandet mellan olika dataset (vilket man får från moderna GPS/INS-system) kan man förbättra sammanfogningen av data med olika metoder. På detta sätt minskas problemen med skuggor och igenkänningen ger bättre resultat. Dessutom minskas energiproblemet, som kommer av att den optiska energin fördelas mellan allt fler bild-

punkter, eftersom man inte behöver eftersträva maximalt antal mätpunkter i varje övermålning.

4.2.7 Prestandaprediktion Akustik

Akustiska sensorer kan konfigureras på olika sätt från en akustisk sensor till en grupp av akustiska sensorer i antennformation eller nätverk. Det går med fördel att kombinera olika sammansättningar där man kan utnyttja fördelarna hos olika sensorer vid deras optimala arbetsområde med avseende på akustisk våglängd. Se exempel på olika sensorkonfigurationer i figur 4.17.

Detektionsavstånd i småbruten och öppen terräng med akustiska sensorer är starkt beroende av meteorologiska förutsättningar och i kombination av terrägens egenskaper kan mycket stora variationer förekomma. För att kunna estimerat aktuellt detektionsavstånd måste data för beräkning av ljudutbredningsprofil finnas att tillgå från meteorologiska sensorer. Det går att utnyttja statistiska modeller tillsammans med bedömning av faktorer som molntäkningsgrad tillsammans med lokala sensordata där vindhastighet och riktning samt lufttemperatur krävs för att få en god skattning, se figur 4.15.



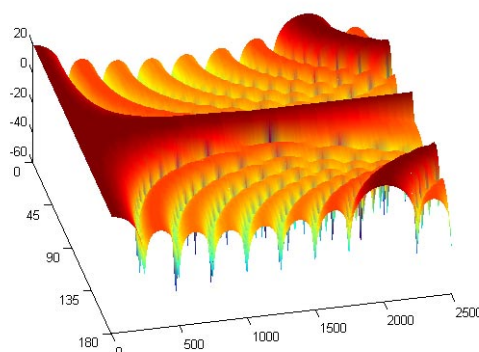
Figur 4.15: Ljudets utbredning påverkas av en mängd faktorer

I urban miljö påverkas detektionsavståndet mestadels av byggnaders avskärmande egenskaper. Ljud har mycket stor dämpning då möjligheten till direktljud är begränsad till närmaste kvarteren och blandas upp med eko/reflektioner. Det är därför nödvändigt med modeller av byggnaderna och dessas akustiska egenskaper

Akustiska antenner (array:er) används med fördel för att förstärka eller dämpa ljud i vissa riktningar. Array:er kräver ett större antal mikrofoner, processorkraft för signalbehandling samt kräver en våglängdsberoende storlek på aperturen. Storleken på arrayen bestäms av önskad lobbredd och övre gränshfrekvensen då antalet sensorer och dess inbördes avstånd bestäms utifrån detta. För att undvika akustisk vikning bör arrayen dimensioneras så att

sensoravståndet är mindre än halva våglängden, $d < \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f}$, för dess övre gränshfrekvens, se figur 4.16.

Klassificering med hjälp av akustiska signaler kan baseras på spektrala och temporala egenskaper hos ljudkällan. Variation hos ljudsignalen som beror av faktorer såsom belastningsfall, framdrivning och markegenskaper påverkar



Figur 4.16: Riktnings diagram för en linjearray bestående av åtta mikrofoner med ett inbördes avstånd på 0.17 meter.

klassificeringsförmågan i olika grad, liksom eventuella reflexer. Vid längre avstånd finns också påverkan av att signalen dämpats genom geometrisk spridning och atmosfärisk dämpning vilket ger ett lägre signal till bakgrunds förhållande ju längre från källan sensorn befinner sig. De metrologiska faktorerna påverkar också både positivt och negativt då ljudutbredningen är beroende av dessa. Förmågan att klassificera ett objekt utifrån dessa ljudsignaler beror givetvis också på hur väl själva klassificeringsalgoritmen kan särskilja olika objekttyper från varandra utgående från skattade parametrar.



Figur 4.17: Akustiska arrayer samt parabolmikrofoner

4.3 Simuleringsbaserad prestandaestimering

Ett vanligt sätt att skatta prestanda hos ett system är att använda simuleringsbaserade metoder. Detta förutsätter dock god kännedom om det aktuella systemet samt validerade modeller för den omgivning som systemet skall operera i. Fördelen med simuleringsbaserade metoder är att när väl systemet är modellerat och omgivningsmodellerna finns, så kan simuleringar göras för en mängd olika fall till en rimlig kostnad och på relativt kort tid. Alternativet med operativa försök med tillgängliga system kommer att kosta betydligt mer och är därför mest lämpligt för att i vissa specialfall validera simuleringsresultaten.

I avsnitt 4.2 beskrivs hur man kan använda kunskap om objekts och bakgrundens statistiska egenskaper, fördelningar, för att bedöma en sensors förmåga

att utföra en viss uppgift. Särskilt vanligt är denna typ av problemformulering vid karaktärisering av detektionsförmåga för en sensor. Denna metod är matematiskt väl definierad och är därför i många fall mycket attraktiv att använda eftersom den ger enkla beskrivande samband med procentsatser för olika sannolikheter för falsklarm, detektion etc.

Metoden har dock en allvarlig och avgörande brist, vilka fördelningsfunktioner och vilka parametrar för dessa skall användas? Denna fråga är helt avgörande för resultatet av metodens tillförlitlighet, då det är valet av fördelningsfunktioner som innefattar all beskrivning av omvärlden samt alla mål man vill analysera. Att tro att man kan fånga den komplexitet som en naturlig terräng erbjuder, samt alla varianter av mål i två fördelningsfunktioner med två, ibland tre, parametrar per fördelningsfunktion kan kännas lite vågat. T.ex. använder man ofta bara en fördelning för att beskriva bakgrundens variation, men med olika parametrar för olika regioner. Man antar då att objektet är placerat på en någorlunda homogen bakgrund med en viss statistik och att man kan skatta dessa statistiska egenskaper, s.k. CFAR¹-filter. Problemet med detta antagande är att en bakgrund sällan är homogen. I synnerhet gäller det om terrängen är lite mer komplex, såsom urbana miljöer eller kuperad terräng.

Att ta fram analytiska statistiska beskrivningar av egenskaper från mer avancerade filter och s.k. särdragsextraktorer är också utmanande och i vissa fall mycket svårt. Moderna detektions- och klassificeringsmetoder använder dessutom många typer av särdrag i många olika kombinationer och med olika vikter. Dessa filter och vikter väljs oftast genom ett träningsförfarande och är därför inte kända på förhand. Att analysera sådana metoder i termer av sannolikhetsskvor för olika fördelningsfunktioner låter sig inte göras praktiskt.

För att hantera denna komplexitet krävas andra metoder och verktyg än de basala som är vanligt förekommande i dagens sensorutveckling och sensorvärdering. Man ska nu inte helt förkasta den matematiska formalism som ligger bakom den statistiska sensorevalueringen. Formalismen i sig är sund, men man behöver expandera och tillföra mer variation och fysikalisk förankring i hanteringen av de ingående fördelningsfunktionerna.

Ett sätt att göra detta är att använda omfattande fältförsök och mätningar, men detta är mycket kostsamt och praktiskt omöjligt för att tillgodose det stora databehov som träningsförfarandet av moderna algoritmer kräver. För validering av uppnådda prestanda kan det dock vara en framkomlig väg. Ett mer tilltalande sätt är att använda realistiska sensorsimuleringar i syntetiska miljöer för att generera träningsdata och initialt valideringsdata för algoritmframtagningen. Om man har väl validerade simuleringskapacitet kan man även använda denna för att ta fram fördelningsfunktioner till de olika algoritmerna, alternativt direkt simulera fram ROC²-kurvor eller motsvarande funktionsbeskrivningar.

1. CFAR = Constant False Alarm Rate

2. ROC = Receiver Operating Characteristics

4.3.1 Vikten av spatiella strukturer

Moderna signalbehandlingsmetoder arbetar ofta med filter som är känsliga för strukturer i data, såsom kanter, linjer eller andra lokala mönster. Resultat från flera filter kombineras på olika sätt för att filtrera fram ett beslutsunderlag för att t.ex. detekteras ett mål. Själva beslutet filterkombinationen påvisar ett mål eller ej kan analyseras i termer av probabilistisk hypotesprövning såsom beskrivs i avsnitt 4.2, under förutsättning att man kan bestämma fördelningsfunktionen för de sammansatta filtersvaren.

De spatiella strukturer som filtren är designade att framhäva är självfallet vanligt förekommande på de objekt man vill analysera, men de kommer också att framhäva likartade strukturer i bakgrunder och andra ointressanta objekt. T.ex. så kommer ett kantfilter att framhäva kontraster mellan ett objekt och en bakgrund, men det kommer även att framhäva kanten mellan exempelvis en eventuell kontrastskillnad mellan en gräsyta och en asfalterad väg. Kombinationer av flera filter används sedan för att framhäva intressanta strukturer framför ointressanta.

Ytterligare en effekt som inte tas hänsyn till i traditionella statistiska ansatser för sensorvärdering är det faktum att objekt ofta bara delvis är synliga i sensordata på grund av skylning. Olika terrängtyper kommer att påverka graden av skylning, såsom t.ex. högt gräs, skogsområden, staket och byggnader i urbana miljöer etc. Statistiken för sensorprestanda kommer självfallet att påverkas av hur stor sannolikhet det är att hela eller delar av objekten är skylda i sensordata.

Detta belyser vikten av att de simuleringsverktyg som används för att simulera fram fördelningsfunktioner för prestandaanalys av signalbehandlingsmetoder, eller hela sensorsystem, måste inkludera de spatiella strukturer som påverkar en sensors förmåga att utföra en speciell uppgift. Det duger således inte att bara mäta upp några statistiska mått på olika terrängtyper och sedan försöka skapa modeller som återger denna statistik. De geometriska egenskaperna måste inkluderas och dessa egenskaper är mycket sällan statistiskt stationära, vilket försvårar modelleringen. Ett sätt att hantera detta är att använda materialklassificerade texturer på tredimensionella modeller av terrängavsnitt, så som i figur 4.18.

Texturen delas upp i områden som man med ganska god approximation kan anse tillhöra samma vegetationstyp eller material. Som framgår av bilden ovan, så medger denna beskrivning att geometriska egenskaper, såsom vägar, hjulspår över gräsfält, grusplaner, berg- och stenpartier, m.m. kan modelleras med relativt god realism. De olika materialen och vegetationstyperna kan sedan modelleras med statistiska modeller, alternativt med materialbeskrivningar som beskriver de riktiga fysikaliska materialegenskaperna så noggrant som verktygen kan hantera och man har dataunderlag för.



Figur 4.18: Bilden till vänster visar en bild av en modell av ett terrängavsnitt. Bilden till höger visar hur olika material i detta terrängavsnitt kan koderas med olika färger. Dessa färgkoder översätts sedan till detaljerade materialbeskrivningar i de simuleringsverktyg som används för att simulera olika sensorer i 3D-modellen av terrängavsnittet.

Monte Carlo-metoder

Ett vanligt sätt att estimeras sensorprestanda är med hjälp av Monte Carlo-metoder. Detta är en klass av metoder som har gemensamt att ett stort antal upprepade försök utförs med slumpmässiga variationer av parametrar för att skatta prestanda hos ett system. Dessa metoder kan användas för att lösa både deterministiska och stokastiska problem där analytiska metoder saknas eller är alltför komplicerade, t.ex. vid beräkning av komplicerade integraler.

Monte Carlo-metoder inleds med att täthetsfunktioner bestäms. Dessa täthetsfunktioner ska beskriva tillstånden som är möjliga för systemet. En slumpmässig sampling från täthetsfunktionen görs sedan och deterministiska simuleringar görs med dessa som indata. Indata kan till exempel vara väder, flygbanor, målets placering och orientering som inte kan antas exakt kända i en verklig situation.

Utfallen från alla individuella beräkningar kan sedan behandlas statistiskt för att skatta systemets prestanda. Sensorprestanda som kan skattas med denna metod är t.ex. sannolikheten att ett mål detekteras i en viss situation, givet en viss detektionsalgoritm. Metoderna ger möjlighet att värdera alternativa ingrepp i ett system genom att producera jämförbara resultat från experiment med olika parametervärden.

4.4 Modellering

Olika typer av modeller förekommer i de beskrivna verktygen. Det är de flesta företeelser som modelleras: mål, bakgrund, miljö, hot etc. Detta sker dessutom med olika förfining beroende på vad syftet är med modellen. I planeringskedet utgör modellerna en representation av våra förväntningar för den planerade operationen. Vid den egentliga spaningen så använder vi den insamlade informationen till att uppdatera de modeller vi byggde i planeringskedet. Denna uppdatering innebär att vissa förväntningar verifieras, andra motsägs och sist men inte minst så hittar vi nya inte tidigare kända företeelser som vi måste ta ställning till.

Vid planering på hög hierarkisk nivå sker grov planering med lång tidshorisont. Då behövs modeller som är grova men snabbexekverande för att kunna

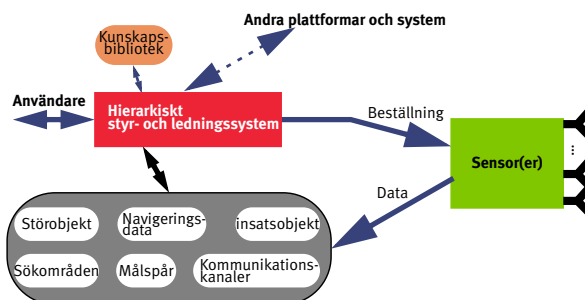
testa olika alternativa planeringslösningar. Under uppdragets gång behöver vi bestämma nästa mätning och då behövs det mycket noggranna modeller. Modellerna med olika förfiningsgrad behöver vara korrelerade mot varandra så att de inte indikerar diametralt olika uppfattningar. Det senare kan dock förekomma i en del gränsfall vilket är ytterligare ett skäl till att estimeras osäkerhet, i detta fall modellosäkerhet.

Det har också börjat komma fram nya sätt att hantera apriorikunskap av typen: ett fordon befinner sig alltid på marken. Istället för att lägga in komplicerade bivillkor som man hela tiden behöver att testa mot så bygger man en modell av en *fiktiv sensor* som levererar ett noggrant mätvärde i höjddled men ett osäkert svar i planet. Då kommer datafusionssammanvägningen att estimeras ett läge som ligger nära marknivån utan att vi behöver ta till speciella tester för att avgöra om fordonet faktiskt står på marken, vilket leder till minskad komplexitet.

4.5 Sensorstyrning

4.5.1 Övergripande sensormodell

En sensor som skall anslutas till NBF behöver ha ett gränssnitt utåt som funktionellt bör se likadant ut oavsett vilken sensor vi talar om. Den inre strukturen hos en sensor illustreras av figur 4.19. Notera att de yttre användarna eller

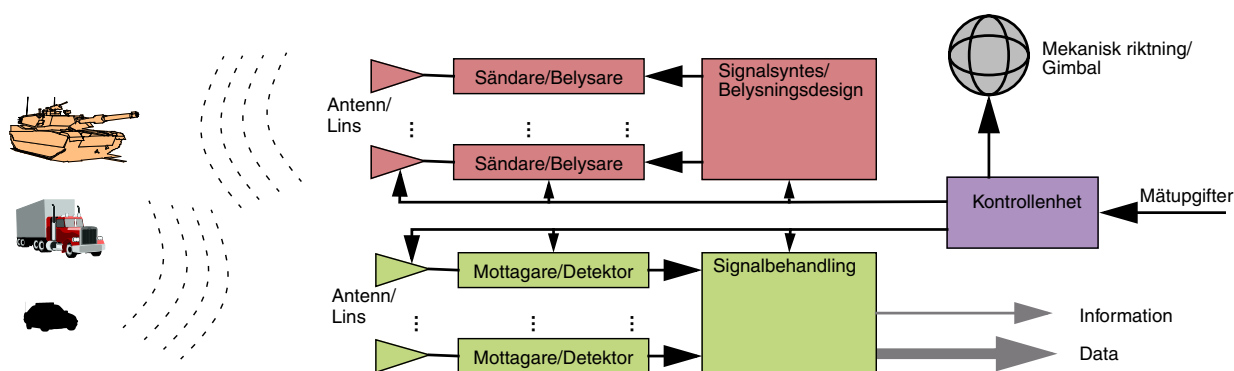


Figur 4.19: En sensor består förutom själva sensorn, även av styrsystem och en samling data, både statiska och dynamiska.

användarprocesserna har kontakt med sensorns styrsystem som i sin tur ger uppdrag till sensorn som lämnar någon form av resultat att bearbeta eller skicka direkt tillbaka till den yttre användarprocessen. Det finns flera olika typer av sensorer. Dessa bygger på olika fysikaliska principer med skilda egenskaper ur spaningshänseende. Samtliga dessa sensorer bör ha något slags kontrollsystem som styr vad sensorn levererar ut för slags data, kontrollerar datakvalitet samt administrerar vem som får använda sensorresursen för tillfället. Det som kan påverkas i ett sensorsystem beror naturligtvis av sensorn självt, men det går också att skapa en generisk modell av en styrbar sensor där alla styrbara parameterklasser finns med, se figur 4.20.

Exempel på parameterklasser är

- Avsökningsmönster (skanning)
- Antal kanaler vid belysning



Figur 4.20: Schematisk sensorhårdvara. Moderna sensorer har många kanaler, både på den belysande och den mottagande sidan. Passiva sensorer saknar den belysande sidan helt och hållet. En sensor kan vara monterad på ett vridbord, i ett eller flera dimensioner, så att synfältet kan regleras oberoende av plattformens färdriktning.

- Vågform vid belysning
- Önskad energifördelning i rummet vid belysning, relativt mekanisk riktning
- Önskad mekanisk riktning vid belysning
- Önskad känslighetsfördelning i rummet vid mottagning, relativt mekanisk riktning vilket påverkar val av och justering av optik eller antennkonfiguration, lobformning etc
- Antal kanaler vid mottagning
- Önskad mekanisk riktning vid mottagning
- Önskad signalbehandling som normalt är matchad med belysningens vågform och/eller den eftersökta informationen

För en specifik sensortyp kan en del av dessa parameterklasser vara icke påverkbara eller saknade. Som exempel kan nämnas att en flygburen radar som liknar SMW:s Erieye saknar den mekaniska styrningen. En kamera för synligt ljus monterad på en UAV typiskt har med den mekaniska styrningen, men har endast en mottagarkanal samt saknar helt belysningssidan.

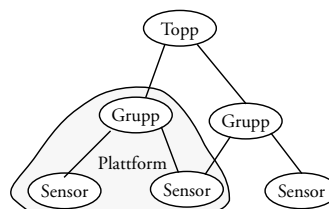
Framtida moderna sensorer t.ex. multifunktionsradarer eller multifunktions-lasrar kommer att ha olika arbetsmoder specificerade i ovanstående parameterklasser. En del av dessa kan ha speciell funktion och bara utnyttja delar av sensorn som till exempel bistatiska mätmoder som kan öka prestanda eller ge oss andra fördelar under speciella omständigheter.

4.5.2 Förslag till övergripande sensorstyrmodell

I nätverket kan alla enheter i princip utbyta data med varandra. I praktiken däremot så finns det flera begränsningar i detta antagande, till exempel kan en flygande plattform förmodligen bara nå direkt från ett fåtal noder i nätverket, dessutom är kanalen begränsad i kapacitet. En annan begränsning ligger i hur

sensorerna allokeras till uppgifter och vart data primärt skall levereras. Denna senare struktur är väsentligen hierarkisk och dessutom dynamisk i tiden.

Vår modell, som hämtats från [3], tar fasta på den hierarkiska strukturen i en typisk användning. I korthet går den ut på att organisera styrprocessen hierarkiskt, där varje nod arbetar efter samma princip. Skillnaderna mellan de hierarkiska nivåerna ligger i att detaljeringsgraden blir grövre och tidshorisonten längre ju högre upp i hierarkin man kommer, se figur 4.21.



Figur 4.21: Planering i en hierarkisk struktur.

I varje nod på en given nivå hålls en lista av uppgifter i tidsordning som man tagit emot och accepterat samt ett schema av nedbrutna uppgifter som skall utföras av lägre nivåer. Dessutom tar man emot nya uppdrag samt lyssnar efter planeringshändelser. Planeringshändelser kan vara synkrona, dvs svar på frågor, men också asynkrona, dvs plötsligt uppkomna händelser som uppstått och som påverkar lagda planer, se figur 4.22. När noden hanterar dessa inkommande planeringshändelser så skapas det utgående planeringshändelser som skickas både uppåt och neråt i trädet. Det kan till exempel vara:

- Efter preliminär inplanering: Svar på förfrågan uppåt i trädet.
- Förfrågan om att utföra uppgift på underliggande noder neråt i trädet.
- Händelser som påverkar planerade uppgifter både uppåt och neråt.

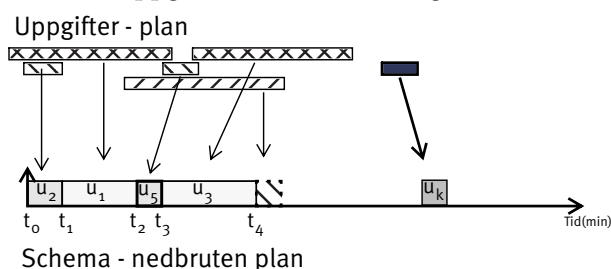
Förutom att hantera inkomna meddelanden så administrerar noden dessa tidsordnade listor (planer/scheman) genom att avföra redan utförda uppgifter från listorna när de efter bekräftelse utförts eller av någon annan anledning blivit inaktuella. Noden varskor också underställda noder om nästa uppgift. Man kan se denna administration som att exekvera en plan.

Hantering av ny uppgift

När en ny uppgift kommer in så utförs i princip nedanstående process hos noder på samtliga nivåer. Det som skiljer på de olika nivåerna är i princip detaljeringsgrad och tidshorisont.

- (i) Tag emot uppgiften och placera den i den tidsordnade listan med uppgifter att göra. Denna lista beskriver vad som skall göras och kan kallas *uppgiftsplan*.
- (ii) Kontakt tas med resursmäklare för att få en lista på tillgängliga resurser som kan bidra till att lösa uppgiften.
- (iii) Bryter ner den inkommande uppgiften till ett antal alternativa "hur göra"-planer. Detta sker genom att utnyttja de tillgängliga resurserna, med annonserade funktioner och användningsregler. Denna nedbrytning sker efter ett antal olika principer t.ex. kokbok, slump, optimala spa-

ningsprestanda, optimala telekrigsprestanda, snabbast utförande etc. Resultatet av detta steg är ett antal tänkbara lösningar på hur den inkommande uppgiften skall lösas, se figur 4.22.



Figur 4.22: På en given nivå bildas en plan av uppgifter som bryts ner till ett schema av uppgifter på nivån under.

- (iv) Dessa planer (förslag till lösningar) värderas i syfte att välja den lösning som är "bäst" och möjlig i nuvarande läge, givet också vad som tidigare planerats av denna nod. Vad som är bäst beskrivs av en kriteriefunktion som påverkas av många och komplexa faktorer. Planeringen sker under osäkerhet vilket måste återspeglas i denna kriteriefunktion.
- (v) Om problem uppstår i de båda föregående punkterna med att hitta en möjlig plan (lösning) så har en konflikt mellan olika krav uppstått. Dessa måste hanteras, se stycket om konflikthantering nedan.
- (vi) Vald plan skall förankras hos resurserna och deras resursägare. Detta är först en förhandling med respektive resursägare och därefter en begäran hos resurserna att planera in den önskade sekvens av uppgifter som önskas. Även denna begäran kan ses som en förhandling. Det skapas därför planeringshändelser som skickas mellan berörda instanser.

Det kan på flera ställen i den ovan beskrivna processen behövas svar på förfrågningar där svaret föranleder oss att gå tillbaka ett par steg i processen för att uppdatera resultatet. Vi får då en iterativ process som måste ha ordentliga kriterier när och hur man skall ge upp, vilket också är en form av konflikthantering. Man kan se en sådan här planeringsnod som en tillståndsmaskin som vid inkommande händelse skapar en eller flera aktioner och ett nytt tillstånd utifrån det tillstånd man befinner sig i innan händelsen och händelsen självt.

Konflikthantering

Konflikter mellan olika krav kan lätt uppstå eftersom man gärna önskar sig maximala prestanda och snabba resultat. Det är med andra ord viktigt att man från början har formulerat rimliga krav och önskemål. Om ändå konflikter uppstår så måste dessa hanteras på ett ordnat sätt, dvs att det finns en strategi att lösa upp konflikter. En sådan är att i tur och ordning försöka med:

- Försök samutnyttja planerade aktiviteter
- Försök lätta på kraven så "billigare" aktivitet kan användas
- Stryk lågt prioriterade aktiviteter som är tillåtna
- Då omständigheter tillåter, starta en förhandlingsprocess
- Om inget annat går - skicka avgörandet en nivå upp för avgörande

Exakt hur detta går till bör styras av generella regler. Ett väl fungerande konflikt hanteringssystem är avgörande för att användarna skall uppfatta hela sensor systemet som användbart.

Uppgifter

Uppgifter måste formuleras efter strikta regler och se likartade ut mellan de olika nivåerna. På samtliga nivåer behövs information om:

- Uppgiftens typ, dvs vad är det för huvudtyp av information som sökes.
- Uppgiftens status dvs om detta är en uppgift som är *förberedande*, *preliminär* eller *konfirmerad*
- Uppgiftens syfte, dvs varför skall uppgiften lösas.
- I vilket område skall uppgiften lösas.
- I vilket tidsintervall skall uppgiften utföras
- Vilken eller vilka typer av objekt eftersöks.
- Vilken kvalitet krävs eller eftersträvas.

Kvalitetsmått är multidimensionella och består exempelvis av

- osäkerheter i resultatvariabler till exempel positionsnoggrannheter, detektionssannolikheter, falsklarmrisk, klassningskonfidens etc.
- tidsförhållanden som till exempel krav på upprepningsfrekvens eller tid då uppgift blir inaktuell

Skillnaderna mellan de olika planeringsnivåerna ligger i precision samt i olika storleksordning på tidsskalor. En annan olikhet mellan planeringsnoderna blir att var och en kan hantera endast en delmängd av alla tänkbara uppgifter.

Kriteriefunktionen
/styrmålsfunktionen

Det finns en kriteriefunktion på varje planeringsnivå som beskriver vad som för tillfället är viktigt och vad som är mindre viktigt på den aktuella nivån. Kriteriefunktionerna på samtliga nivåer skall naturligtvis vara konsistenta med varandra för att åstadkomma anständiga beteenden. Kriteriefunktionen används för att bestämma hur värdefull en enskild aktion är eller hur mycket en hel plan är värd. Den har många dimensioner, till exempel flera nyttoaspekter och flera kostnadsaspekter. I denna funktion måste också osäkerheter ingå på ett sådant sätt att osäkra värden på nytta eller kostnad viktas ner till förmån för mera säkra värden. Man bör också vikta nytta eller kostnader i när-tid något högre än nytta eller kostnad i framtiden. En del nyttoaspekter är lokal medan andra är övergripande (globala).

En tilltalande ansats är att basera dessa kriteriefunktioner på "*information gain*" eller *förändring i entropi*. Detta därför att det finns en teori som medger att man kan jämföra val mellan helt olika åtgärder som i grunden är svåra att jämföra siffermässigt. En nackdel med dessa mått är att det kan krävas ganska omfattande beräkningar för att komma fram till måttets värde. Det kan exempelvis krävas omfattande simuleringar i designfasen för att bestämma startvärden för olika fördelningsfunktioner som sedan uppdateras av resultat från inmätning processen. Detta beskrivs ganska väl i [4].

Begränsningar

Det finns dessutom hårda och mjuka begränsningar på varje nivå. Den tillgängliga energin är exempelvis begränsad liksom att det fysikaliskt skall vara

möjligt att utföra den begärda uppgiften vid den föreslagna tidpunkten. Exempel på mjuka begränsningar är det tidsområde som ger optimalt resultat. Val av annan tidpunkt kan ge lika bra resultat men till en högre kostnad alternativt sämre resultat till en lägre kostnad. Taktik och metodik kommer att innebära en stor mängd begränsningar eller bivillkor som skall sättas upp och vidareutvecklas under systemets livstid.

Dessa begränsningar finns med i den optimering som görs när scheman och planer läggs. En begränsning av t.ex. tidsintervall finns alltid med i bilden och parametersätts av data som medföljer uppgiften. Begränsningar av teknisk eller fysikalisk art skapas utifrån modeller av sensorer, målobjekt, miljö, väder, plattformar etc. Begränsningar av taktisk art skapas utifrån operatörernas önskemål, oftast indirekt, men också mera direkt.

Utvärdering av planer

Som tidigare sagt skall ett antal olika nedbrutna planer utvärderas mot varandra. Detta sker genom att kriteriefunktionen appliceras på varje enskild komponent i planen efter att denna adderats till den plan vi sedan tidigare redan hade. Det är med andra inte nytillskottet separat utan de totala planerna med nytillskotten inkluderade som skall värderas mot varandra.

4.5.3 Kriterie- och styrmålsfunktioner

Styrmålsfunktionerna avgör *viktighetsgrad* i någon mening både för enskilda planeringselement och för hela planer. Sådana mått kan konstrueras efter olika principer som alla har för och nackdelar. Som tidigare har beskrivits så har vi fastnat för att basera dessa på "*information gain*", också kallat "*Renyi information divergence*". Det innebär att man vid konstruktion av en plan skall välja planeringselementen på ett sådant sätt att detta mått maximeras. Det trevliga med just detta mått är man transformerar prestandamått till "*expected information divergence*" och sedan kan detta direkt jämföras med andra transformerade prestandamått. Man kan med andra ord jämföra användning av t.ex SAR-radar med optisk kamera trots att de primära prestandamåtten inte direkt kan jämföras med varandra.

Detta mått beräknas utifrån förändringen mellan två fördelningar, där den första fördelningen p_0 beskriver tillståndet före ändringen och den andra p_1 beskriver det nya förväntade tillståndet. Måttet blir då

$$D_{\alpha}(p_1|p_0) = \frac{1}{\alpha-1} \ln\left(\int p_1^{\alpha}(x) p_0^{1-\alpha}(x) dx\right) \quad (4-22)$$

Vid användning av detta bestäms parametern α och fördelningarna p_0 och p_1 som ju också beskriver osäkerheten i förändringen. Fördelningsfunktionerna bestäms initialt med hjälp av en analys, sedan uppdaterar man skattningen av fördelningsfunktioner med hjälp av t.ex partikelfilter.

Det är egentligen prestandamåttens förväntade inverkan på resultatet relativt användarnas önskemål både i globala och lokala termer som skall uttryckas.

Det har också formulerats andra mått för att beskriva total osäkerhet. En sådan är JMPD (Joint Multitarget Probability Density) som beskrivs i [4]. JMPD bygger också i grunden på samma mått som i samband (4-22), men

framhäver osäkerheten mer. Styrmålen blir speciellt enkla, välj den mätning som förtillfället minimerar osäkerheten mest, men resultatet kan ibland diskuteras. En klar fördel är att i system bestående av en stor mängd relativt enkla sensorer, så kan varje sensor själv bestämma nästa aktion oberoende av de andra sensorerna.

4.5.4 Optimering

Att konstruera en optimal plan görs genom att flytta om planeringselement i ett schema så att kriteriefunktionens värde blir så stor som möjligt. Man behöver i denna process ta hänsyn till de begränsningar (bivillkor) som finns vilket snabbt kan bli komplicerat då antalet mål och/eller antalet sensorer blir många. Det finns i princip tre olika sätt att hitta den optimala lösningen:

- Stokastisk dynamisk programmering (SDP), som alltid kan hitta den optimala lösningen om den existerar. SDP är egentligen en systematisk sökning efter bästa lösning och kan leda till stor beräkningsbörda, om man ej kan utnyttja smarta avgränsningar dvs skära av grenar i det kombinatoriska trädet av lösningar.
- Multi-armed bandits (MAB) är en klass av optimeringsproblem som har speciellt enkla lösningar då förutsättningarna är de rätta. I de flesta fall måste dock generaliseringar tas till för att få problemet på rätt form, men i dagsläget är det oklart om dessa kan användas på våra problem. Den enkla lösningen består i att man i varje tidsläge kan välja det planeringselement vars så kallade indexfunktion har störst värde. indexfunktionens värde är oberoende av övriga planeringselement.
- Ad-hoc-lösningar kan också hittas men de har ingen teoretisk grund varför man inte kan vara säker på att i varje läge hitta den mest optimala lösningen utan bara en "bra" lösning, en som är bättre än många andra. Vi säger att lösningarna är suboptimala. Ad-hoc-lösningar kan fungera mycket bra och även vara robusta men de kan vara svåra att underhålla dvs varje ändring riskerar att vi får en försämring snarare än den önskade förbättringen.

Man kan också tänka sig kombinationer av ovanstående metoder t.ex på så sätt grundansatsen är SDP men att man löser vissa delproblem med hjälp av MAB och andra med ad-hoc-lösningar.

4.6 Beslutsmetodik

Beslutsmetodik ligger egentligen utanför ramen för SEMARK som är mer inriktad mot sensorerna. Icke desto mindre så är beslutsmetodik viktig för slutresultatet av ett operativt system som bygger på SEMARK-konceptet. Olika beslut om t.ex. val av sensorer, mätmoder, flygbanor, utplacering etc är avgörande för slutresultatet och behöver göras på något strukturerat sätt. Viktiga skäl för detta är spårbarhet och krav på förmåga till anpassning, vilket leder till att beslutsstrategier ändras hela tiden.

Ett exempel på en ansats med liknande egenskaper har tidigare beskrivits i [21]. Inom tidigare verksamhet vid FOI i Linköping, inom projektet Informationssystem för måligenkänning (ISM), har ett beslutsstödssystem utvecklats som innefattar enkel modellering av prestanda för detektion och igenkänning av markmål utgående från sensordata i kombination med specifika algoritmer [20] och [21]. Viss enklare modellering av yttre omständigheter som väder, årstid och tid på dygnet inkluderades i modelleringen. Även avspanat område inkluderades i beskrivningen och på så sätt bildades en ontologi, mot vilken användare kunde ställa specifika frågor av spaningskaraktär. Systemet primära syfte var att för användaren dölja svårtolkad sensordata och svåra parametersättningar, och låta användaren fokusera på mer taktiska frågeställningar av typen: "Fanns det några stridsfordon inom området XX mellan tidpunkten YY och ZZ". Metodiken nyttjade sedan de för situationen mest lämpade signalbehandlingsalgoritmerna på tillgängliga sensordata. Formellt baserades interaktionen med användaren på ett så kallad frågespråk benämnt $\Sigma Q L$. Att inkludera förmågan att rekvirera nya sensordata för att komplettera tillgänglig sensorinformation torde vara relativt rättframt. Man kan säga att denna ansats gick ut på att beskriva kunskap om sensorer och deras egenskaper i ontologin och sedan ha en generellt beslutsmekanism som utnyttjar ontologin.

5. Referenser

- [1] P. Grahm (red.) *"SEMARK, Multipla sensorer för markspaning, Slutrapport etapp1"*, FOI Linköping, FOI-R--2163--SE, December 2006
- [2] P. Grahm, F. Lantz, C. Grönwall, M. Herberthson, M. Ulvklo, D. Murdin, *"Sensorstyrning i NBF, slutrapport"*, FOI Linköping, FOI-R--2397--SE, December 2007
- [3] P. Grahm, C. Grönwall, M. Herberthson, T. Kaijser, F. Lantz, D. Strömberg, M. Ulvklo, *"Sensor Control in NCW, Problem description and important areas,"* FOI Linköping, FOI-R--1860--SE, December 2005
- [4] A.O. Hero, D. Castañón, D. Cochran, K. Hastella (eds), *"Foundations and applications of sensor management,"* Springer, New York, NY, 2008, ISBN 978-0-387-27892-6.
- [5] P. Grahm, T. Horney, P. Follo, *"Demonstration av de första resultaten från simuleringar av samverkande sensorer"*, FOI Linköping, FOI Memo 1439, September 2005
- [6] S. Nyberg, *"Models used in assessment of optical sensors,"* FOI Linköping, FOI-R--2290--SE, June 2007
- [7] M. Karlsson, F. Näsström, J. Karlholm, L. Carlsson, A. Lauberts, *"Värdering av två multisensorsökarkoncept av UCAV-typ"*, FOI Linköping, FOI-R--1795--SE, December 2005
- [8] L. Carlsson, M. Karlsson, F. Näsström, A. Lauberts, J. Karlholm, D. Letalick, C. Grönwall, B. Andersson, *"Sensorer för smyganpassad UCAV"*, FOI Linköping, FOI-R--2134--SE, December 2006
- [9] T. Chevalier, M. Andersson, A. Gustavsson, and J. Rasmusson, *"Lägesbildsunderlag inför insatser i urban miljö"*, FOI Linköping, Teknisk Rapport, FOI-R--2385--SE, December 2007.
- [10] G. R. Osche, *"Optical Detection Theory for Laser Applications."* Hoboken, NJ, USA: Wiley-Interscience, 2002.
- [11] T. Chevalier, O. Steinvall, and H. Larsson, *"Performance of laser penetration through forest vegetation,"* Vol. 6550, pp. 65500Q, presented at SPIE Defence & Security Symposium, Laser Radar Technology and Applications XII, Orlando, FL, USA, 4 May, 2007.
- [12] G. C. Holst, *"Electro-optical imaging system performance,"* 3rd edition, SPIE Press, 2006. ISBN: 0-8194-6179-2.
- [13] U. Grenander, m. fl., *"Hilbert-Schmidt lower bounds for estimators on matrix Lie groups for ATR,"* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20, 790-802, 1998.

- [14] U. Grenander, m. fl., "*Asymptotic performance analysis of Bayesian target recognition*," IEEE Transaction on Information Theory, 46, 1658-1665, 2000.
- [15] D. R. Gerwe och P. S. Idell, "*Cramér-Rao analysis of orientation estimation*," Journal of the Optical Society of America A., 20(5), 797-826, 2003.
- [16] T. Chevalier, m fl., "*Måligenkänning vid precisionsbekämpning*", FOI-R--1781--SE, FOI, Linköping, 2005.
- [17] T. Andersson, m fl., "*Värderingsmetodik för systemkoncepten i avancerade målsökare*", FOI-R--1401--SE, FOI Linköping, 2004.
- [18] P. A. Jacobs, "*Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds*," SPIE Press, ISBN 0-8194-2180-4, 1996.
- [19] R. E. Huschke, m.fl.R., "*Military Weather Calculations for the NATO Theater: Weather and Warplanes VII*," R-2401-AE, The RAND Corporation, ISBN 0-8330-0245-7, 1980.
- [20] Tobias Horney, "*Design of an ontological knowledge structure for a query language for multiple data sources*," Vetenskaplig rapport, FOI-R-0498—SE, 2002.
- [21] E. Jungert, C. Grönwall (eds), "*From Sensors to Decision, Towards improved situation awareness in a network centric defence*," FOI Linköping, FOI-R--1041--SE, December 2003.
- [22] Nygårds, J., Skoglar, P., Karlholm, J., Ulvklo, M., & Björström, R. "*Towards concurrent sensor and path planning - a survey of planning methods applicable to UAV surveillance*," Scientific report FOI-R-1711—SE, 2005.
- [23] Skoglar, P., rds, J. N., Björström, R., Ögren, P., Hamberg, J., Hermansson, P., & Ulvklo, M. "*Path and sensor planning framework applicable to UAV surveillance with EO/IR sensors*," Vetenskaplig rapport FOI-R-1685—SE, 2005.
- [24] Jörgen Karlholm, "*Implementation and evaluation of a method for detection of ground targets in aerial EO/IR imagery*," FOI-R--1267--SE, FOI Linköping, 2004