

Sten Nyberg

IR-sensormodell för markspaning med flygande farkost

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem
581 11 Linköping

FOI-R--1224--SE

November 2003

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Sten Nyberg

IR-sensormodell för markspaning med flygande farkost

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1224--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år November 2003	Projektnummer E 7779
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 41 Ledning	
Författare/redaktör Sten Nyberg	Projektledare Fredrik Lantz	
	Godkänd av Martin Rantzer	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning NFFP 3	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Sten Nyberg	
Rapportens titel IR-sensormodell för markspaning med flygande farkost.		
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna rapport beskriver en IR sensormodell. Den är avsedd att användas vid simulering av sensornätverk, som i framtiden kommer att användas i det framtida försvaret. Sensormodellen är enkel för att medge en snabb exekvering. Den använder artificiella indata och levererar en lista på funna objekt. Projektet är utfört i samverkan med Saab Aerospace.		
Nyckelord sensor, signalbehandling, markmål, uav, simuleringsmodell		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN	Antal sidor: 23 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1224--SE	Report type Technical report
	Research area code 4. C4ISR	
	Month year November 2003	Project no. E 7779
	Customers code 5. Commissioned research	
	Sub area code 41 Command and Control	
Author/s (editor/s) Sten Nyberg	Project manager Fredrik Lantz	
	Approved by Martin Rantzer	
	Sponsoring agency NFFP 3	
	Scientifically and technically responsible Sten Nyberg	
Report title (In translation) IR sensor model for ground surveillance from an airborne vehicle.		
Abstract (not more than 200 words) The report contains a description of a model of an IR sensor. It will be used in simulations of sensor networks, which are to be used in the network based defence in the future. The sensor model is simple to allow fast execution. It uses artificial input data and provides a list of found objects as output. The study is performed in cooperation with Saab Aerospace.		
Keywords sensor, image processing, ground target, uav, simulation model		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN	Pages 23 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	5
2 SIMULERING AV SENSOR.....	6
2.1 SENSORN.....	9
2.2 SIGNALBEHANDLING.....	10
2.3 INDATA TILL IR SENSORMODELL.....	13
2.4 LOKALISERING.....	14
3 MODELLEN IRMAP.....	15
3.1 IR-SENSORMODELL.....	15
3.1.1 <i>Klass för internt bruk.....</i>	<i>15</i>
3.1.2 <i>Metoder för externt bruk.....</i>	<i>15</i>
4 INDATA TILL IRMAP.....	16
4.1 INDATA FRÅN OPTIK.....	16
4.1.1 <i>Objektiv:.....</i>	<i>16</i>
4.1.2 <i>Fokalplan:.....</i>	<i>16</i>
4.2 INDATA FRÅN PLATTFORM.....	16
4.2.1 <i>Position.....</i>	<i>16</i>
4.2.2 <i>Vridning.....</i>	<i>16</i>
4.2.3 <i>Gimbalvinklar.....</i>	<i>16</i>
4.3 INDATA FRÅN MÅLMODELL	16
4.3.1 <i>Position.....</i>	<i>16</i>
4.3.2 <i>Signatur.....</i>	<i>17</i>
4.4 INDATA FRÅN OMVÄRLDSMODELL	17
4.4.1 <i>Atmosfär.....</i>	<i>17</i>
5 DISKUSSION.....	18
6 REFERENSER.....	19
BILAGA 1, EXEMPEL PÅ SIMULERING	20

1 INLEDNING

Denna rapport beskriver en IR-sensormodell avsedd att användas i simulering av sensornät. Detta i sin tur är en komponent i det nätverksbaserade försvaret. Delprojektet "Sensormodell IR för markspaning" är en del i projektet "Markspaning med flygande farkoster".

Det nätverksbaserade försvaret innebär kortfattat att beslutsfattare, informations- och vapensystem utgör ett nätverk. Detta bör utformas enligt följande riktlinjer.

- Möjligheten att snabbt och flexibelt samordna
 - geografiskt utspridda komponenter
 - komponenter ur olika försvarsgrenar/vapenslag/truppslag
 - komponenter ur olika delar av samhället
 - komponenter från olika länder
- Komponenterna delar gemensam information av hög kvalitet vilken presenteras anpassat till aktuell roll
- Systemutformning som medger successiv tillväxt och anpassning utan omfattande omkonstruktion
- Ett gemensamt regelverk (arkitektur) som möjliggör ett säkert informationsutbyte mellan valfria enheter/system
- Öppen och komponentbaserad arkitektur

Sensornätverket är en viktig del av informationsnätverket och skall vara dess öga och öra i vid bemärkelse. Ofta har dagens sensorsystem haft många delvis överlappande sensorer, som lämnat hundratals rapporter och tusentals bilder per minut. Eftersom bilderna inte har varit anpassade till karta eller varandra, så blir det små ytor som fått tolkas på egen hand. Praktiska erfarenheter har visat att falsklarm per tidsenhet blivit mycket stort.

De krav som nu ställs innebär att man vill ha:

- Aktuell sammanfattande lägesbild
- Hög täckningsgrad (mer än 1000 mål per 1000 Km²)
- Noggrann mållokalisering med små cirkulära felcirklar
- Snabb databas med geo-refererade positioner på mål och annat

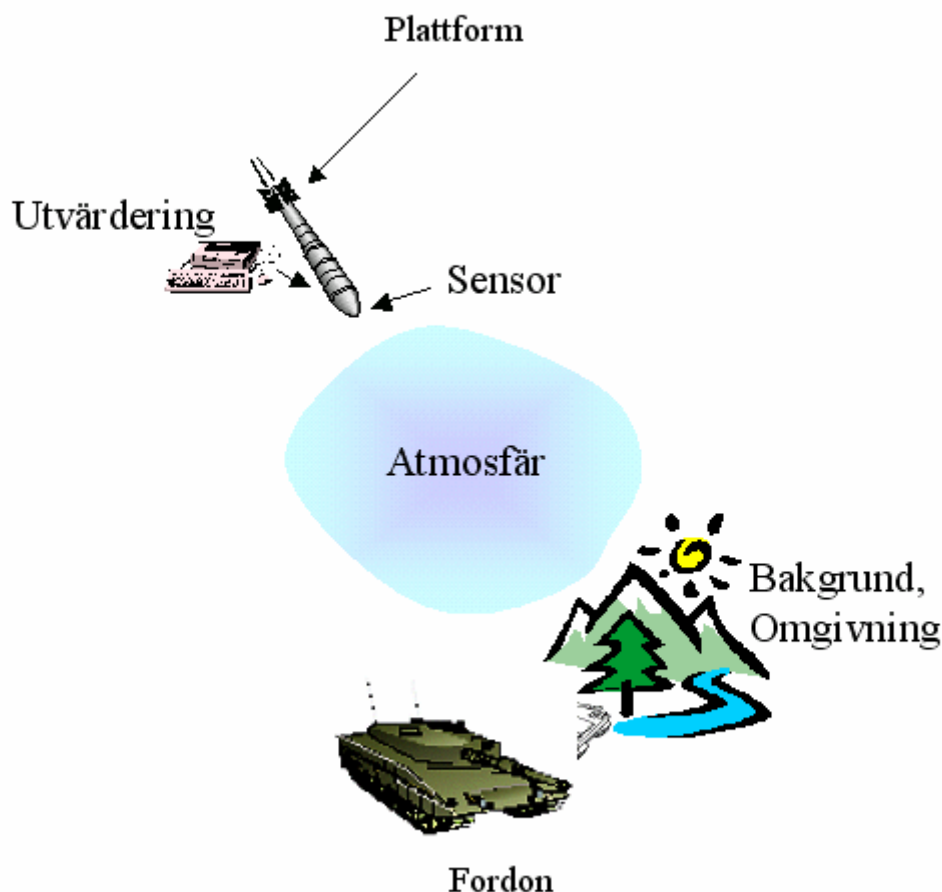
Vi har närmat oss den enskilda sensorn som bör ha förmåga att hantera:

- Geo-refererade koordinater på bilder och på framräknade målpositioner. Gemensamt koordinatsystem med kartor och andra sensorer (radar, signalspaning)
- Modellbaserad integration av data
- Avancerad sensorstyrning

2 SIMULERING AV SENSOR

Denna rapport beskriver en enkel modell av en IR-sensor som är avsedd att användas för simuleringsstudier av det nätverksbaserade försvaret.

Schematiskt kan sensorn med kringmiljö beskrivas enligt figur 1.



Figur 1. Schematisk bild av en plattformsburen sensor

De delar som måste finnas för att infoga en sensor i ett sensornät är modeller för sensor, plattform, mål, bakgrund, atmosfär och omvärldsmodell som styr simuleringen. Enkla modeller av dessa delar behövs för att kunna testa sensormodellen. En annan viktig del är utvärderingen. Det är viktigt att prestanda för ett sensornät mäts med relevanta mått.

För att kunna utvärdera för- och nackdelar med ett nätbaserat försvar är det nödvändigt att samtidigt kunna simulera ett visst antal sensorer. Detta kräver en sensormodell som relativt snabbt måste klara sin uppgift.

Utgångspunkter för föreliggande modell är:

- Sensorn sitter på en flygande plattform, sannolikt en uav eller en helikopter.

- Sensorn skall vara snabb. I ett nätverk kan många plattformar ingå.
- Signalbehandling för måldetektion skall ingå. Målföljning studeras med annan modell och beskrivs därför inte här.
- Plattformens höjd och fart väljs så att sensorn relativt väl upplöser målet och hinner registrera en scen utan påtaglig rörelseoskärpa.
- Modellen skall få indata från en omvärldsmodell.
- Utdata i form av positioner för upptäckta mål skall levereras till efterföljande bearbetning.

Med hänsyn till ovanstående förutsättningar så utförs ingen avancerad signalanalys i modellen. Indata kan vara av åtminstone tre olika kategorier. Man kan använda riktiga registreringar med sensorer som motsvarar de man vill simulera. Detta ger en hög simuleringsgrad. I detta fall måste simuleringsmodellen utföra en riktig signalanalys på kort tid. Nackdelen blir att sensorstyrning knappast kan studeras på ett bra sätt. Vidare blir simuleringen relativt långsam.

För att få större flexibilitet används i olika sammanhang numera simulering av mål och bakgrund. Med dagens modeller, Sensor Vision (SensorVision 1998) och CameoSim (Moorehead et al 1999), kan man uppnå en relativt hög simuleringsnivå.

Ett exempel på en lägre simuleringsnivå vid användning av syntetisk indata är att beskriva mål och bakgrund med enkla statistiska fördelningar för olika marktyper. Målet ges en starkare signatur så att det klart skiljer sig från bakgrunden.

I en grövre simuleringsnivå, där den enskilda sensorns prestanda ej är avgörande kan indata förenklas kraftigt. Positioner för mål och skenmål skickas till sensorn. I denna beräknas då två saker. Den första är om målet eller målen ligger i synfältet. Detta görs genom att modulera sensorn med hjälp av en MRTD-funktion ("Minimum Resolvable Temperature Difference"). MRTD är den subjektiva upplösningen av en testtavla ("bar pattern") med given rumsfrekvens som funktion av temperaturen för en termisk sensor. Ekvation 5 visar det matematiska uttrycket.

$$MRTD_z(f_s) = \left(\frac{\frac{\pi^2}{8} SNR_{TH} \sigma_{tvh} k_z f_s}{H_{sys}(f_s)} \right) \left(E_t E_{hz}(f_s) E_{vz}(f_s) \right)^{1/2}$$

där

Z = orienteringen

f_s = rumsfrekvensen

SNR_{TH} = tröskelsignalbruskvot som behövs för att upplösa MRTD-testtavlan

σ_{tvh} = 3-D brusnivå (spatialt och temporalt)

$k_z(f_s)$ = 3-D bruskorrektionsfaktor

$H_{sys}(f_s)$ = hela systemets MTF (Modulation Transfer Function)

E_t = temporal integration (öga/hjärna)

$E_{hz}(f_s)$ = horisontal integration (öga/hjärna)

$E_{vz}(f_s)$ = vertikal integration (öga/hjärna)

En utförligare beskrivning finns i (Biberman 2000). Sannolikheten för detektion vid aktuellt avstånd och med aktuell signatur kan skattas. Om denna sannolikhet t ex överstiger 50 % kan målet anses vara upptäckt.

Med hänsyn till svårigheterna för omvärldsmodellen att generera relevant beskrivning av ir-signaturer för mål och bakgrund blir det nödvändigt att sensormodellen kan arbeta både med indata enbart i statistisk form och med indata i bildmässig form. En kombination av indata med både statistiska data och bildmässiga data kanske är den lämpligaste formen. Att använda inspelade sekvenser är inte möjligt, eftersom registreringar med radarsensor oftast inte är gjorda samtidigt. Finns det sådana data är det naturligtvis av stort värde, icke minst för valideringen.

Vad gäller statistiska data så behöver sensormodellen underlag för att kunna prediktera om ett eller flera fordon finns på marken. Om målegenskaper är okända kan en enkel CFAR (constant false alarm rate) detektor användas. Som namnet anger får man ett litet men konstant flöde av indikationer. Om målet är känt till form och storlek kan en mera sofistikerad detektion göras. I så fall kan en stor andel av falsklarmen bortsorteras på ett tidigt stadium.

När bakgrunden utgörs av simulerade bildsekvenser kommer andra krav och nya möjligheter. Kravet på realism är högt, eftersom prestanda beror på många omvärldsfaktorer, i synnerhet väderparametrar. Även geometriska aspekter är viktiga. Det kan gälla t ex om fordonet ibland är skymt av en skogskant eller liknande. Det har sedan länge gällt att det är mycket dyrt att genomföra verkliga fältförsök med tillräcklig variation av scenförhållanden. Därför används numera ofta simuleringar för att bedöma prestanda hos ett system. Dock är det ett krav att simulerade data valideras med fältförsök i åtminstone några fall.

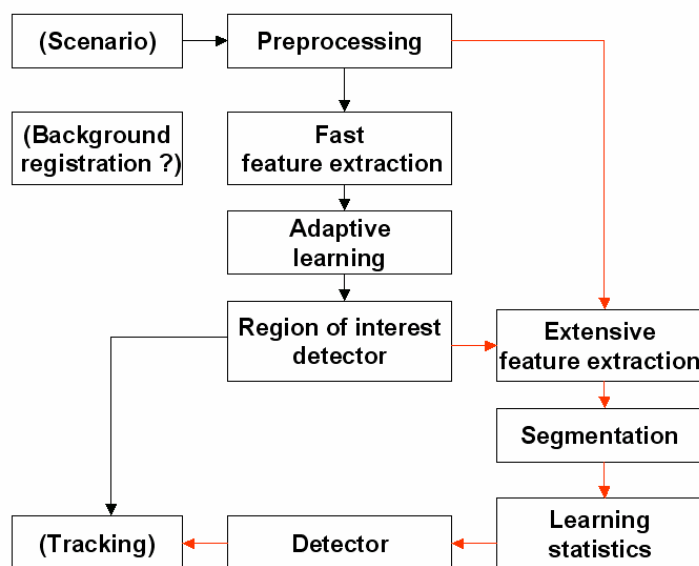
SensorVision är ett verktyg för att generera syntetiska data. Det kan hantera en stor mängd av olika bakgrundstyper. Att från början skapa en modell med detta verktyg kräver en stor arbetsinsats. I SensorVision har det gjorts en avvägning mellan detaljnoggrannhet och hastighet. Utgångspunkten har varit att kunna köra i realtid. I vissa lägen är det nödvändigt att primitiva signaturbeskrivningar måste komma till användning.

Med hänsyn till tillgänglig tid kommer sannolikt en mycket enklare bakgrundssimulering att användas i samband med IR-sensormodellen. Utgångspunkten kan vara den karta som radarsensorn är tänkt att arbeta mot. Denna karta från Lantmäteriverket ger för önskad koordinat uppgift om terrängtyp eller vägtyp. Utgående från sådana uppgifter borde en ir-bakgrund kunna göras genom inklistring av bakgrundsbilder med passande ir-statistik från mätningar av motsvarande terrängtyp.

Ett schema för signalbehandling visas i figur 2. Denna beskrivning är allmänt hållen (Karlholm et al, 2000). I den implementerade modellen finns ej alla blocken representerade eftersom det experimentella systemet ej använder riktiga indata. Första delen består i att hitta intressanta områden som kan innehålla mål. Denna process används på hela synfältet och skall vara snabb. Avkall får då ges på noggrannheten. I blocket "Preprocessing" kan en enklare bildbehandling göras, t ex skärpeförbättring eller brusfiltrering. En första snabb analys görs i blocket "Fast feature extraction". I blocket "Region of interest detector" detekteras de delar som kan vara av speciellt intresse. För dessa områden görs sedan en noggrann analys. Då analysområdet bara är en mindre del av scenen kan en mer avancerad signalbehandling tillämpas på dessa områden. Detta görs med en noggrann egenskapsanalys ("Extensive feature extraction"). I blocket "Segmentation" delas bilden upp i områden som representerar olika bakgrundstyper. Syftet är att de statistiska data man vill få ej skall vara en sammanblandning av statistik från vitt skilda delar i scenen. De statistiska egenskaperna samlas upp och bearbetas i nedersta blocket till höger ("Learning statistics"). Den

bearbetade statistiken används sedan av detektorn för detektion och eventuellt för klassificering av måldata.

IR Sensor model for ground reconnaissance



Figur 2. En signalbehandling för måldetektion.

Bilden från scenariobeskrivningen måste överföras till sensorns bildplan via ett antal geometriska transformationer, som i huvudsak beror på plattformens position och riktning relativt markplanet. Även sensorns inriktning påverkar transformationerna. Med omvända transformationer överförs utdata från sensorn till ett jordfast koordinatsystem för att användas vid följningen.

Förutom den reduktion av falsklarm som kan göras med den visade sensormodellen, kan även enkel rörelsedetektion, dvs skillnaden från föregående bild, skilja rörliga mål från fasta indikationer. I denna modell lämnas detta till att göras i efterföljande följning.

2.1 Sensorn

Beskrivningen av den modellerade sensorn blir relativt summarisk eftersom den implementeras på en nivå som är fri från många detaljer. Som förebild för sensorn har Flir Systems QWIP-sensor använts. Sensorn är av fokalplanetyp med en detektorstorlek på 240 rader med 320 bildpunkter per rad. Detektorns brus är i praktiken försumbart. Den brusekvivalenta känsligheten ligger på 0.03 grader Kelvin. Detta är i alla normala fall långt under bakgrundens temperaturvariationer.

För en simulering intressanta parametrar är synfältet och därmed sammanhängande brännvidd. Det är vanligt att övervakningssensorer har två lägen på synfältet. Ett stort synfält behövs för att få en god översikt och ett litet för att få detaljskärpa. Det senare behövs i regel för att kunna klassificera och känna igen ett objekt.

I det allmänna fallet är det många parametrar som används för att specificera en sensor. Kommersiella sensorprestandamodeller, t ex NVTherm2000 (NVTherm2000), använder omkring 100 parametrar. Då får man en beskrivning som väl stämmer med verkligheten. I andra mindre krävande sammanhang är följande parametrar av intresse:

- Våglängdsintervaller
- Sensoraperturarea
- Optikens transmission
- Integrationstid
- Detektionströskel
- Data för snr-beräkningar
- Noise-equivalent irradiance of the sensor
- Irradiance vid sensoraperturen som krävs för att få ett SNR = 1 för the NEI

Farkostmodellen har att ange geometridata så att en bildpunkt i sensors bildplan kan relateras till ett markkoordinatsystem. För detta behövs följande parametrar:

- Farkosten position relativt markplanet: longitud, latitud och höjd.
- Farkostens riktning relativt markplanet: gir, tipp och roll (yaw, pitch and roll)
- Sensors position på farkosten: 3 parametrar.
- Sensors inriktning (mha gimbal) relativt farkostens: azimut och elevation.
- Målets position och rörelse relativt markplanet.

Skall sensormodellen generera falsklarm av olika slag måste dessa relateras till markplanet.

Noggrannheten i sensors inriktning är en viktig parameter med hänsyn till samutnyttjande av data från olika sensorer. Kravet blir olika beroende på vilken nivå man fusionerar data. På bildpunktsnivå krävs det en noggrannhet på åtminstone 5 cm medan det på särdragsnivå kan räcka med några decimeter. På objektnivå, t ex fordon torde en meters noggrannhet räcka.

2.2 Signalbehandling

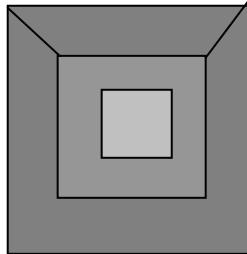
Signalbehandlingen i en verklig sensor kommer att bli mycket avancerad. Det kommer inte att finnas möjlighet att i normalfallet skicka ned all data till en markstation där någon bearbetar den. Detta med hänsyn till den mängd sensorer som samtidigt är i luften. I stället krävs en avancerad analys ombord på plattformen och analysen bör vara autonom. I regel benämns signalbehandlingen för ATR som betyder "Automatic Target Recognition". Prestanda måste vara sådana att mål kan upptäckas och helst klassificeras. Det som kan skickas till en markstation är målpositioner och andra målegenskaper. Ett exempel på ett system med avancerad signalbehandling finns i en rapport från Sireosprojektet (Nygårds et al 2002).

Figur 4 visar ett exempel på blockschema för en signalbehandlingskedja för måldetektion och målföljning. Kedjan består av ett antal block för olika delfunktioner.

Förbearbetningen kan innefatta bildförbättring, kalibrering etc. I nästa block, bakgrundsregistrering, så anpassas nya bilder så att de ligger i samma koordinatsystem hela tiden. Denna bildstabilisering måste löpa i samma hastighet som den övriga bearbetningen.

Segmenteringen har till uppgift att dela upp scenen i olika regioner som var och en är relativt homogen. Syftet är att försöka isolera målet från bakgrunden, och att få tillförlitlig statistik från bakgrunden.

I filteringsblocket görs mycket av signalbehandlingen. Bearbetningen avser i normalfallet spatiell, spektral och temporal filtrering. Design och styrning av de ingående filtren kräver att yttre a priori information finns. Ibland måste filtren vara adaptiva, d v s de skall kunna anpassa sig efter vad som finns i scenen. I den aktuella modellen har ett enkelt filter för "template matching" implementerats. I figur 3 visas den operator som appliceras i varje bildpunkt i sensorbilden.



Figur 3. Ett enkelt matchat filter för detektion av fordon.

Det inre ljusgrå fönstret anpassas i storlek till förväntad målstorlek (Blackman et al, 1999). Eftersom vi vet position mm för sensorn kan vi räkna ut hur många bildpunkter som motsvarar ett fordonens storlek. Alla bildpunktsvärden i innerrutan summeras och utgör ett mått på signalstyrkan. Bakgrunden mätes i den mörkgrå yttre ramen. Både den mellangrå zonen, som inte används, och den mörkgrå zonen har storlekar som är direkt i proportion till målstorleken. Figur 3 visar ungefär de använda proportionerna. För detektion av fordon sätts storleken på det inre området till 5 * 5 meter. Mellanområdet skall skilja fordonet åt från bakgrunden och sätts till några meter. I modellen används 5 meter. Bakgrunden mäts med en bredd på den yttre ramen som bör väljas så stor som möjligt, förutsatt att bakgrunden är homogen. I praktiken väljs även här en storlek på 5 meter. Bakgrunden är uppdelad i fyra segment. Detta görs för att i någon mån ta hänsyn till de variationer som kan finnas i bakgrunden. Vid beräkning av filtersväret används den del av ramen som i medelnivå ligger närmast målets medelnivå för att minska de falska alarmen något. Detta filter kan ge en snabb respons på mål. För noggrannare analys bör en riktig segmentering göras.

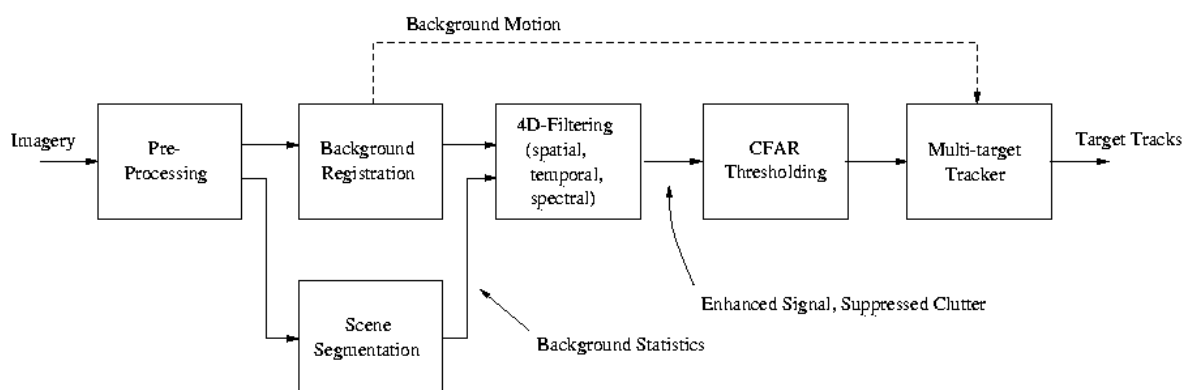
CFAR (Constant False Alarm Ratio) trösklingen har till uppgift att separera målet eller målen från bakgrunden.

En CFAR-detektor jämför bakgrundens statistik med det potentiella målområdet (Lovén 2001). Detektorn ger konstant sannolikhet för falsklarm beroende på hur trösklarna väljs. Den definieras enligt följande

$$\begin{array}{ll} \text{bakgrund} & \text{om } \frac{x_i - \hat{\mu}_b}{\hat{\sigma}_b} < K \\ \text{mål} & \text{annars} \end{array}$$

där x_i är värdet på testpixeln, $\hat{\mu}_b$ är estimerat medelvärde för bakgrunden, $\hat{\sigma}_b$ är estimerad standardavvikelse för bakgrunden samt K är en konstant som avgör sannolikheten för falsklarm. Om fördelningen på bilddatan är Gaussisk samt spatiellt oberoende fås en detektor med konstant sannolikhet för falsklarm. Bilder är emellertid ofta icke-stationära så vid övergång mellan olika vegetationstyper kan sannolikheten för falsklarm variera. Trots det brukar denna typ av detektor ändå betecknas som en CFAR-detektor. Finns det en noggrannare statistik om målet kan andra metoder användas (Blackman et al 1999).

Följning av målen görs i det efterföljande målföljningsblocket. Kravet på detta block är att kunna följa ett antal mål, även om det då och då blir avbrott i måldetektionen. Detta händer när ett fordon t ex skymts av en byggnad. Associeringen av mål från bild till bild är ett svårt och avancerat problem.

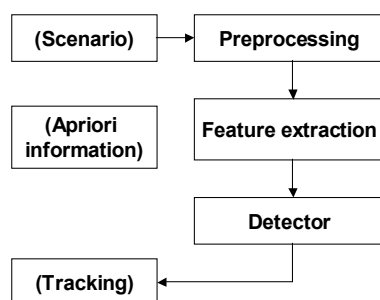


Figur 4. Ett blockschema för signaldetektion.

En översikt över algoritmer för måldetektion och –följning finns i rapporten (Karlholm et al, 2000).

En förutsättning för den aktuella studien är att en och samma karta skall kunna ligga till grund för både IR-sensorn och radarsensorn. Eftersom naturtrogna bilder inte används som indata bortfaller en hel del av blocken i figur 2. Den förenklade sensorn visas i figur 5.

IR sensor model



Figur 5. Blockschema för en förenklad signalbehandling.

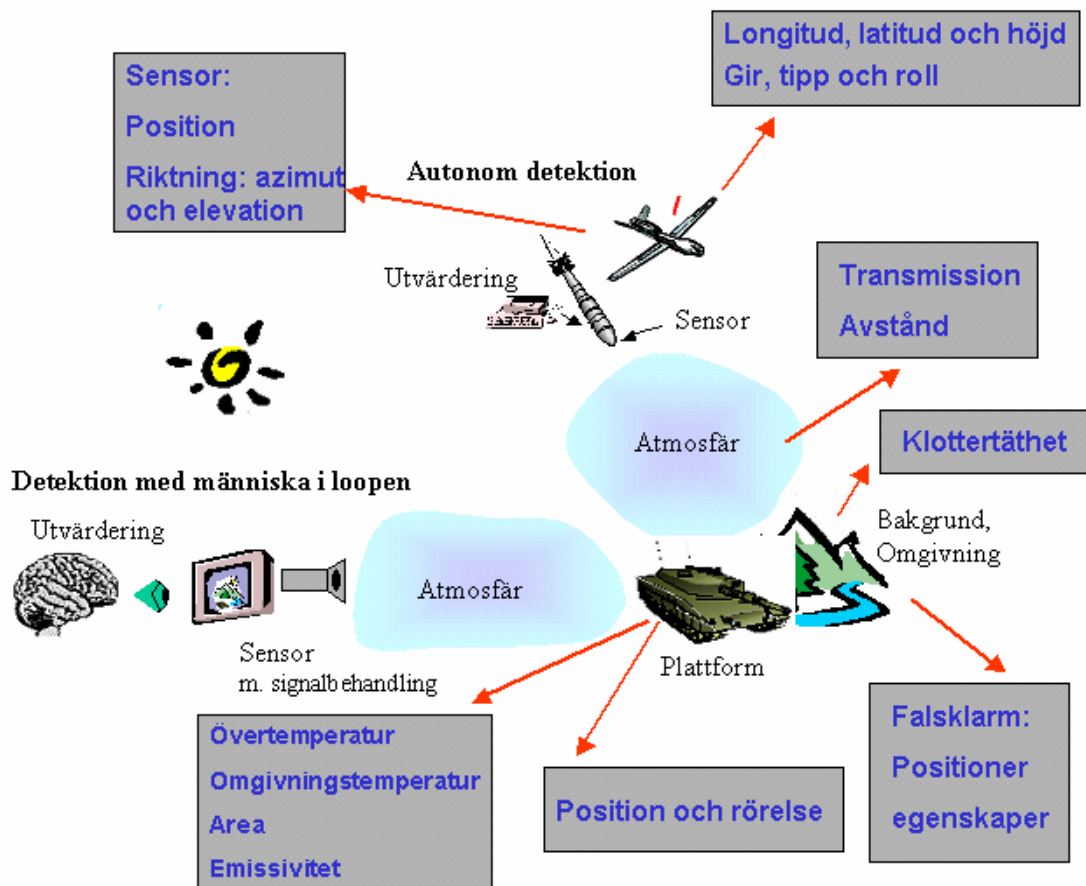
I denna modell används indata från scenariomodellen, som utgående från kartinformation genererar en bild. Denna bild är ytterst schematisk. Olika markområden har getts olika temperaturer. Till detta är adderat dels målobjekt, dels brus som skall symbolisera en terrängdels temperaturspridning. Målobjektet ges en temperatur som med något värde överstiger bakgrunden. Det passar ihop med det specifika syftet som gäller för denna modell. Denna skall lämna en följd av målandikationer som i en annan modul skall följas och associeras. Signalbehandlingen utgörs av ett matchat filter, där fönsterstorleken anpassas till målens storlek. Efter tröskeldetektion med fix tröskel så genereras en lista med målandikationer.

Ytterligare en variant av sensormodell skall kortfattat beskrivas. Denna är avsedd att användas i storskaliga experiment med sensornät, vilket förhindrar signalbehandling över alla bildpunkter i en bild. Istället levereras indata från en scenariomodell som en lista av koordinater för de mål som antas finnas i scenen. Ut från sensormodellen kommer i detta fall en uppskattning av den sannolikhet med vilken målet hittas. Normalt används en detektionsmodell såsom NVTherm 2000 för att beräkna den önskade sannolikheten. Denna modell består i princip av två delar, en som karakteriserar sensorn mha av MRTD-kurvan (Minimum Resolvable Temperature Difference) och en som använder denna kurva tillsammans med andra faktorer för att beräkna sannolikheten. De andra faktorer som behövs är målets yta, avstånd till målet samt atmosfärens inverkan. I föregångaren till NVTherm 2000, som heter Flir92 och Acquire, är dessa funktioner separerade så att MRTD-kurvan beräknas av Flir92 och sannolikheten av Acquire. Eftersom MRTD-kurvan enbart beskriver sensorn kan denna kurva beräknas en gång för alla. Acquire-delen måste däremot användas för varje mål i en scen. Bearbetningen blir mycket snabb eftersom det är ett fåtal beräkningar som gör i Acquire-modulen. NVTherm 2000 används för att beräkna MRTD-kurvan eftersom denna nyare modell kan hantera sensorer med fokalplanarrayer, vilket Flir92 inte kan.

En enkel modell av det senare slaget finns också implementerad.

2.3 Indata till IR sensormodell

Indata illustreras i figur 6. Andra indata också kunna finnas för en noggrannare beskrivning av sensorn men den valda simuleringsnivån gör detta obehövligt.



Figur 6. Illustration av indata till sensormodellen.

Position:

Farkostmodellen har att ange geometridata så att en bildpunkt i sensors bildplan kan relateras till ett markkoordinatsystem. För detta behövs följande parametrar:

- Farkosten position relativt markplanet: longitud, latitud och höjd.
- Farkostens riktning relativt markplanet: gir, tipp och roll (yaw, pitch and roll).
- Sensors position på farkosten: 3 parametrar.
- Sensors inriktning (mha gimbal) relativt farkost: azimut och elevation.
- Målets position och rörelse relativt markplanet.

Skall sensormodellen generera falsklarm av olika slag måste dessa relateras till markplanet.

En del av ovanstående parametrar kan troligen ges värdet 0.

Signatur:

Atmosfärstransmission/emission: Temperatur, sikt och relativ fuktighet.

Mål och bakgrunds-statistik (fördelningar, t ex medelvärde och spridning).

Falsklarmsfrekvens (tids- och rumsegenskaper).

2.4 Lokalisering

För att vara en effektiv nod i ett sensornätverk, måste sensors position vara väl känd. För att kunna styra signalbehandlingen på ett bra sätt måste dessutom målets position vara känd. Detta ställer höga krav på lokaliserings- och positioneringsdata. I modellen antages att positionerna för mål och plattform är väl kända. Vidare antas plattformens riktning relativt ett markkoordinatsystem vara känd. I praktiken behövs en noggrannhet i position på 1 till 10 cm.

3 MODELLEN IRMAP

3.1 IR-sensormodell

Klassnamn: CIrSensorMap

Filnamn: IrSensorMap.cpp

3.1.1 Klass för internt bruk

Klassnamn: COptics

Filnamn: Optics.cpp

3.1.2 Metoder för externt bruk

Följande åtta metoder definierar fokalplanetets avbildning på markplanet.

GetLowerLeft_x

GetLowerLeft_y

GetUpperLeft_x

GetUpperLeft_y

GetLowerRight_x

GetLowerRight_y

GetUpperRight_x

GetUpperRight_y

Utdata fås med hjälp av följande metod.

Tracedata

4 INDATA TILL IRMAP

4.1 Indata från optik

Optiken är ingen separat modell men är av praktiska skäl en egen klass.

Klassnamn: COptics

4.1.1 Objektiv:

field_of_view_el: Synfält i höjddled i radianer

field_of_view_az: Synfält i sidled i radianer

focallength: Fokallängden i meter

4.1.2 Fokalplan:

rows: Antal bildpunkter i sidled

cols: Antal bildpunkter i höjddled

4.2 Indata från plattform

Klassnamn: CUav

Filnamn: uav.cpp

Beskrivningen här är kortfattad eftersom hjälpmodellerna här endast används för att ge indata till IR-sensormodellen för programtestning.

Indata från plattformen behövs för att relatera lägen i markplanet med motsvarande lägen i sensorns fokalplan.

Standardmässigt vid simulering av flygfarkoster pekar x-axeln framåt, y-axeln pekar åt höger och z-axeln nedåt.

4.2.1 Position

x, y, z: Farkosten position relativt markplanet: longitud, latitud och höjd

4.2.2 Vridning.

yaw, pitch, roll: Farkostens riktning relativt markplanet: bäring (gir åt sidan), tippvinkel (upp eller ner) och roll (vridning runt längdaxeln)

För enkelhets skull antas sensorns position på farkosten sammanfalla med det lokala koordinatsystemets origo.

Sensorn är monterad i en gimbal som kan vridas i sidled och höjddled.

4.2.3 Gimbalvinklar

azimuth: Gimbalens utvridning i sidled relativt plattformen (radianer, positiv åt höger)

elevation: Gimbalens utvridning i höjddled relativt plattformen (radianer, positiv uppåt)

4.3 Indata från målmodell

Denna modell är i IrMap ej separat utan är en del av omvärldsmodellen.

Falsklarm hanteras på samma sätt som vanliga mål. Av naturliga skäl är signaturer för verkliga fordon inget som publiceras öppet och kan därför inte användas vid en simulering i detta fall.

4.3.1 Position

x, y, z: Målets position relativt markplanet: longitud, latitud och höjd

4.3.2 Signatur

Eftersom vi har en mycket enkel modell anges bara två parametrar, projicerad yta samt övertemperatur.

area: Den yta som sensorn ser av målet. Denna varierar i det allmänna fallet med sensorgeometrin, t ex elevationsvinkel och målets vridning i markplanet. Här görs den grova approximationen att målytan är konstant.

övertemperatur: Övertemperatur, dvs skillnad i temperatur mellan mål och bakgrund. Även i detta fall används ett konstant värde, vilket är en grov approximation.

4.4 Indata från omvärldsmodell

Klassnamn: CEnvProb

Filnamn: EnviProb.cpp

Denna modell förser sensorn med relevanta indata vad gäller terrängen och omgivningen. Sensorn frågar efter en temperatur i varje bildpunkt i fokalplansarrayen. Vissa komponenter är inte logiskt möjliga att dela upp i olika modeller. Till det här fallet hör bl a atmosfärssegenskaper och därtill beroende målsignaturer. Även positionering kan räknas till denna grupp. Ibland används en separat modell för att ta hand om de tidigare nämnda komponenterna. Denna modell, som skulle kunna kallas kopplingsmodell, förser sensorn med uppgifter om atmosfär och signatur.

4.4.1 Atmosfär

Endast en mycket approximativ hantering används. Värden för nedanstående parametrar kan räknas fram med en atmosfärsmodell, t ex MODTRAN4. Dämpningen antas bero på två delar, normal atmosfär och ett område med rök. Transmissionen för en rökskärm beräknas enligt:

$$T_{rök} = \exp(\text{Smoke_alpha} * \text{Smoke_cl}),$$

där

Smoke_alpha: Aerosolkonstant (Smoke Attenuation or mass extinction coefficient (m²/g)),
Smoke_cl: Aerosolkonstant (Smoke CL or concentration length (g/m²)).

Den normala transmissionen beräknas enligt:

$$T_{normal} = \text{Atmtrans}^{Dist},$$

där

Atmtrans: atmosfärstransmission per kilometer (1/km),
Dist: avståndet från sensorn till marken i kilometer.

Totala transmissionen ges av

$$T = T_{rök} * T_{normal}.$$

5 DISKUSSION

Föreliggande implementation är en kraftig förenkling av verkligheten. Den beskriver de ingående delar på ett enkelt sätt. Valet av komplexitet har styrts av behovet att modellen skall vara snabb. Den scen som sensorn får från omvärdsprogrammet bygger på Lantmäteriverkets karta. Sedan har olika kartobjekt tilldelats en temperatur samt brus med viss liten spridning. Med denna artificiella scen begränsas behovet att ha en kvalificerad signalbehandling i sensormodellen. Modellen tillåter att många parametrar sätts från ett simuleringsprogram så att t ex sensorstyrning kan studeras. Sambandet mellan simuleringsnivå på indata till modellen och behov av komplexitet i bildbehandlingen kan uttryckas som följer i tabell 1 nedan.

Tabell 1. Behov av bildanalys vid olika simuleringsnivåer.

Simuleringsnivå	Indata	Bildanalys
Hög	Verkliga registreringar	Samma som för riktiga system, dock ej realtidskrav
Medelhög	Noggrann scensimulering med tex SensorVision eller CameoSim	Samma som för riktiga system, dock ej realtidskrav
Medel	Enkla indata med kraftigt förenklad bakgrundsstatistik dock fortfarande med bilder	Ett enkelt matchat filter samt någon detektionsalgoritm, t ex Cfar
Låg	Ej bilder, enkel parametrisk beskrivning av bakgrund och fordon	Enklaste formen av tröskeldetektion

6 REFERENSER

- (Sensor vision 1998) SensorVision Technical Description, Paradigm Simulation Inc., 1998.
- (Biberman 2000) Biberman, L.M., Editor "Electro-Optical Imaging: System Performance and Modelling", Bellingham, WA, SPIE, 2000.
- (Blackman et al 1999) S. Blackman, R. Popoli, "Design and Analysis of Modern Tracking Systems", Artech House, 1999.
- (Moorehead et al 1999) I.R. Moorhead et al, "CAMEO-SIM: a physics-based broadband scene simulation tool for assessment of camouflage, concealment, and deception methodologies", Optical Engineering, Vol 40, No. 9, Sept 2001.
- (Karlholm et al, 2000) J. Karlholm, M. Ulvklo, J. Nygård, M. Karlsson, S. Nyberg, M. Bengtsson, L. Klasén, A. Linderhed, M. Elmqvist, "The Target Detection and Tracking Processing chain: A survey of methods with special reference to EO/IR Sequences", FOA R-00-01767-408,616-SE, Dec 2000.
- (Lovén 2001) J. Lovén, "Robust detektion av fordon i naturlig miljö", FOI-R—0196—SE, Sept 2001.
- (NVTherm 2000) Night Vision Thermal Imaging Systems Performance Model, Jan 2002.
- (Nygård et al 2002) J. Nygård, T. Högström, M. Ulvklo, "The Qwip/Masp system, An airborne experiment platform with georeferenced EO/IR sensors for research on image processing in UAV applications", FOI-R-0505—SE, June 2002.

BILAGA 1, EXEMPEL PÅ SIMULERING

I detta exempel visas de utdata som erhålles om ett mycket enkelt scenarium körs. Simuleringsprogrammet antas anropa modellen en gång per sekund.

Inparametrar

Optik

Objektiv:

field_of_view_el: 30 grader
 field_of_view_az: 40 grader
 focallength: 0.1meter

Fokalplan:

Rows: 240
 cols: 320

Målsignatur

area: $2.3*6 = 13.8 \text{ m}^2$.

Image processing

target_size 5m. Ungefär anpassad till målarean.
 Blobfilter_size Beräknas i modellen mht en målstorlek på 5 m (tidigare blobfilter_size=5) .
 cfa 3.5;
 Threshold Beräknas i modellen (tidigare threshold=3.0). Beräknad mht en cfarkonstant på 3.5.

Plattform:

x, y, z: 1000, 0, -100 meter
 vx = 20
 vy = 0 (dessa parametrar berör ej irsensorn utan det är simuleringsprogrammet som styr målmodellen)
 yaw, pitch, roll: 0,0,0
 azimuth: 0 grader
 elevation: -90 grader

Målposition

x, y, z: 10, 130, 0 meter
 vx,vy,vz: 50, 0, 0 meter/sek. (dessa parametrar berör ej irsensorn utan det är simuleringsprogrammet som styr målmodellen)

Atmosfär

atmtrans = 0.90
 smoke_alpha = 0.01
 smoke_cl = 0.01

Testprogram

```
// IrMapMain.cpp : Defines the entry point for the console application.
//

#include "stdafx.h"
#include "stdio.h"
#include "conio.h"
#include "irsensormap.h"

int main(int argc, char* argv[])
{
    int i,j,t;
    double tracedata=2.0;
    struct Trackpoints TrackPnts;
    CIrSensorMap *irsensor = new CIrSensorMap();
    irsensor->Init();

    printf("Start track!\n");
    for(i=0;i<10;i++)
    {
        t=1;
        TrackPnts=irsensor->Tracedata(t);
        for(j=0;j<TrackPnts.num;j++)
        {
            printf("\n Tracedata(x,y,size,type) = %8.2f, %8.2f , %8i , %8i
",
            TrackPnts.xpos[j],TrackPnts.ypos[j],TrackPnts.area[j],TrackPnts.type[j]);
        }
        printf("\n");
    }
    delete irsensor;

    printf("\n\nReady!\n");
    printf("\nPress a key to exit\n");
    _getch();
    return 0;
}
```

Testkörning

I det här scenariet ligger målet stilla på positionen x=130 och y=0 meter. Plattformen rör sig från origo och framåt i x-riktningen. Sensorn tittar rakt nedåt. Varje gång simuleringsprogrammet skickar en förfrågan, i denna körning görs detta en gång per sekund, så returneras en liten lista över de observationer som fått genom signalbehandling av fokalplansinformationen. Utdata utgörs av uppskattad position, storlek samt typ av objekt. Det finns bara två typer, varmare (värdet 1) eller kallare (värdet 0) än bakgrunden.

Utskrift

Start track!

```
Time =    0
Tracedata(x,y,size,type) =    57.63,    20.93 ,    5 ,    1

Time =    1
Tracedata(x,y,size,type) =   129.92,    0.00 ,   105 ,    1
```

```

Time =      2
Tracedata(x,y,size,type) = 129.90,      0.00 ,      106 ,      1

Time =      3
Tracedata(x,y,size,type) = 169.98,     -16.38 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 173.23,     -52.32 ,      6 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 208.58,     -30.48 ,      4 ,      1

Time =      4
Tracedata(x,y,size,type) = 238.23,      33.21 ,     14 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 275.48,     -68.24 ,      6 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 294.00,     -35.49 ,      4 ,      1

Time =      5
Tracedata(x,y,size,type) = 259.87,      41.40 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 276.19,     -60.96 ,      6 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 298.13,      63.69 ,      4 ,      1

Time =      6
Tracedata(x,y,size,type) = 376.01,      18.65 ,      6 ,      1

Time =      7
Tracedata(x,y,size,type) = 366.92,     -34.58 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 412.54,     -15.47 ,      5 ,      1

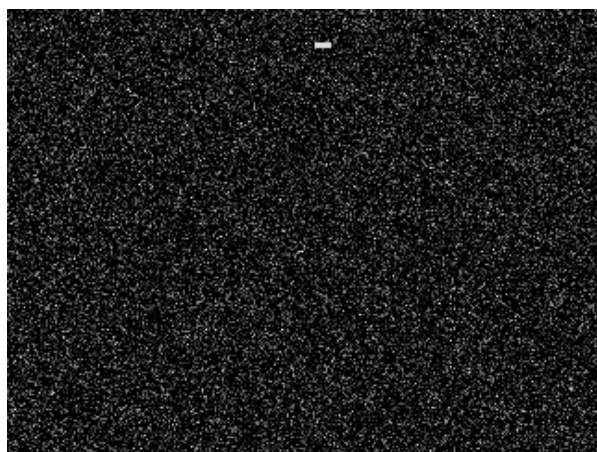
Time =      8
Tracedata(x,y,size,type) = 412.04,       2.73 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 414.47,      23.66 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 432.38,      30.94 ,      4 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 460.82,     -28.21 ,      4 ,      1

Time =      9
Tracedata(x,y,size,type) = 465.97,      35.94 ,      5 ,      1
Tracedata(x,y,size,type) = 505.02,     -42.77 ,      6 ,      1

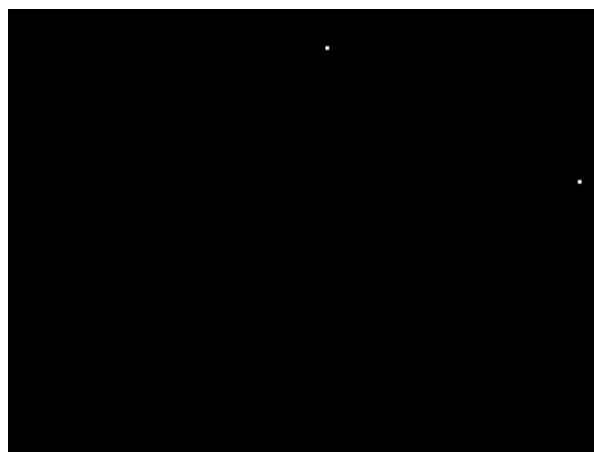
```

Ready!

I figur 7 (a) visas en bild av markplanet (obs, ej ovanstående exempel). I (b) visas de detektioner som gjorts. I detta fall har bara ett falskt mål hittas. Den anpassade filtreringen färgar bruset så att det får en struktur av samma storleksordning som fordonet. Bilderna visar inte exakt den ovan beskrivna körningen.



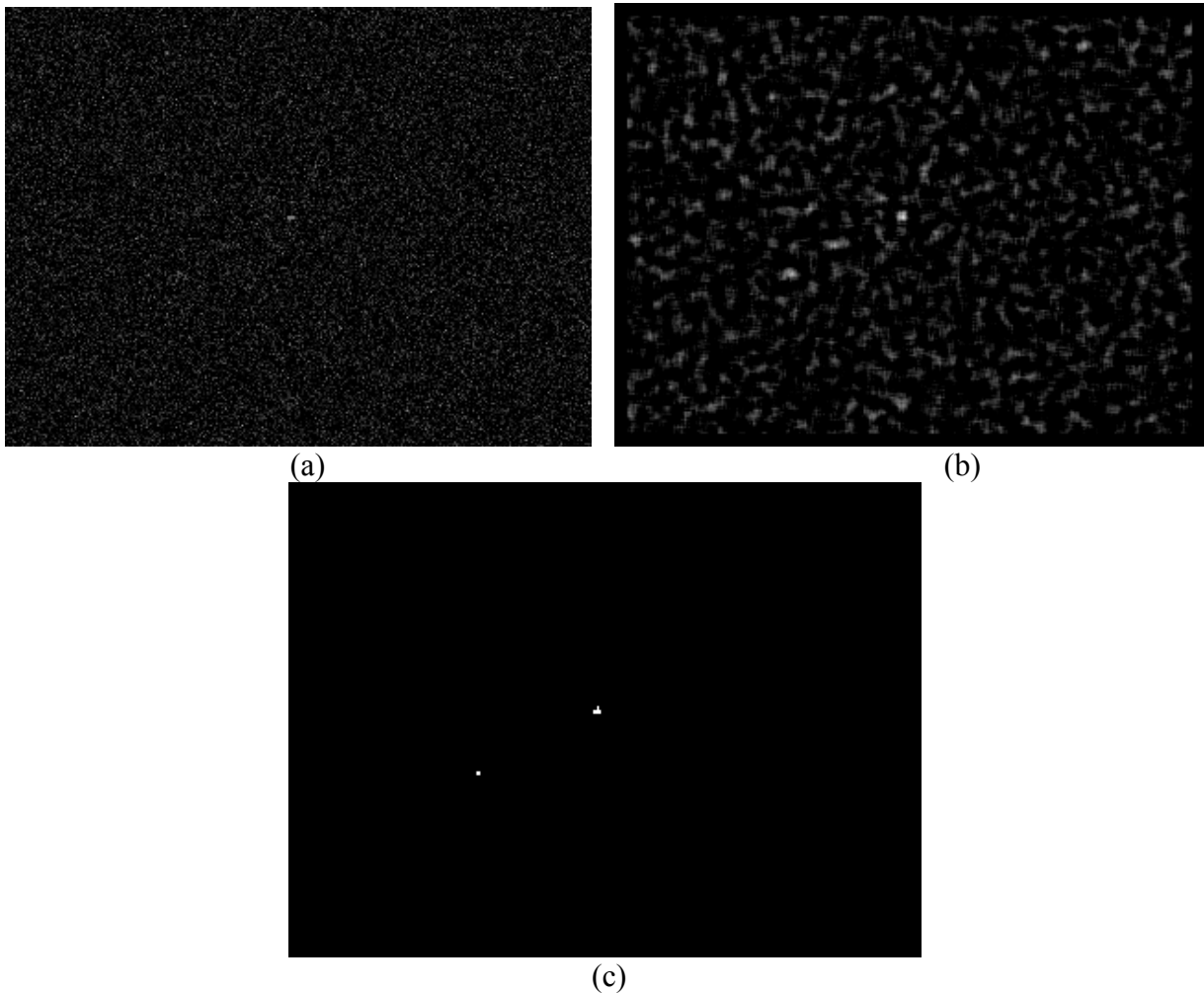
(a)



(b)

Figur 7. Bild av det simulerade markplanet (a). Gjorda detektioner (b)

I figur 8 visas vad som finns i fokalplanet (a). Efter anpassad filtrering fås en bild som visas i (b). Slutligen görs en tröskling för att separera mål från bakgrunden. (c). Observera att den bild sensorn ser vid den aktuella tidpunkten ligger förskjutet relativt marken pga plattformens rörelse.



Figur 8. Infallande bild på fokalplanet (a), efter anpassad filterering (b) samt efter tröskling (c).