

Börje Andersson, Bengt Boberg, Göran Bolander, Anders Eneroth, Staffan Gadd,
Ove Gustavsson, Nils Karlsson, Peter Klum, Claes Nelsson, Ove Steinvall,
Thomas Svensson, Christer Wigren

Störning av multisensorsystem - en förstudie

TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSinSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0879--SE

Juni 2003

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Börje Andersson, Bengt Boberg, Göran Bolander, Anders Eneroth, Staffan Gadd,
Ove Gustavsson, Nils Karlsson, Peter Klum, Claes Nelsson, Ove Steinvall,
Thomas Svensson, Christer Wigren

Störning av multisensorsystem - en förstudie

Sammanfattning

En utvecklingstrend för moderna militära system är att utnyttja multisensorsystem för att öka deras prestanda och då bl.a. systemens störtålighet. I denna studie har vi undersökt vad det finns för multisensorsystem och vad som finns undersökt om störning av dem. Multisensorsystem för användning i tre olika typer av uppgifter har studerats och utifrån författarnas erfarenheter och kunskap förs i rapporten en diskussion om möjliga störstrategier och metoder.

Studien visar att:

- Det finns många operativa multisensorsystem och fler är under utveckling. Många av systemen utnyttjar sensorinformationen sekventiellt i en invisande eller stöttande kedja. Det finns även system som använder sensordata parallellt och väger samman denna med t.ex. sensordatafusion. Robustheten hos dessa system kan medföra att en utstörd sensor ej hindrar systemet att utföra sin uppgift.
- Det finns mycket lite tillgänglig forskning om störning av multisensorsystem. Speciellt finns det liten kännedom om hur datafusionen hos multisensorsystem behandlar information från störda sensorer.
- Forskning i området rekommenderas.

Förslag på fortsatta projekt:

- Kontinuerlig kunskapsuppbyggnad inom multisensorområdet krävs för att kunna utveckla och värdera egna robusta system samt störmetoder.
- Simuleringsarbete inriktat på hur multisensorsystem med datafusion hanterar störd sensorinformation.
- Demonstration och verifiering av störtåligheten hos multisensorsystem med datafusion som utsätts för konkret störning.

Innehåll

Sammanfattning	3
Innehåll	4
1 Inledning	6
2 Rapportens uppläggning	6
3 Vad är ett multisensorsystem och vilken delmängd behandlas i förstudien?	7
4 Multisensorsystem	8
5 Vilka multisensorsystem finns modellerade?	8
5.1 Vilka system finns teoretiskt utvärderade eller bra beskrivna. Vad finns gjort med studier av fiktivt kombinerade system?	8
5.2 Vad kan och bör värderas med hjälp av simulering?	10
5.3 Vad krävs för att simulera multispektrala system och verkan av störformer mot dessa?	11
5.4 Kan det göras ett generellt simuleringsverktyg? Olika nivåer/förenklingar på modeller?	12
6 Vad finns utvärderat/rapporterat om störning av multisensorsystem?	13
7 Störstrategier	14
7.1 Invisande systemkedja	14
7.2 Stöttande systemkedja	14
7.3 Kompletterande system	15
8 Förslag på fortsatt arbete	16
9 Markbaserade multisensorsystem för spaning/övervakning	17
9.1 Inledning	17
9.2 Sensorer som kan ingå i en multisensor	18
9.2.1 IR-sensor	18
9.2.2 TV-VIS	20
9.2.3 Ljusförstärkare	20
9.2.4 Akustisk	20
9.2.5 Seismisk	20
9.2.6 Magnetisk	20
9.2.7 Radar	21
9.2.8 Laser 3D	21
9.2.9 GV (gated viewing)	22
9.3 Multisensorsystem	25
9.3.1 Markbaserade multisensorsystem	25
9.3.1.1 Befintliga system	25
9.3.1.2 Fiktiva multisensorsystem	26
9.4 Störmetoder	28
9.4.1 Störning av sensorer	28
9.4.1.1 VIS/EO/IR	28
9.4.1.2 Akustik	36
9.4.1.3 Radar	36

9.4.1.4 HPM	36
9.4.2 Störning av multisensorsystem	37
9.4.2.1 Markbaserade multisensorsystem	37
9.5 Fortsatta studier	39
10 Ett fiktivt spaningssystem	41
10.1 Störstrategier	43
10.1.1 Invisande systemkedja	43
10.1.2 Stöttande systemkedja	44
10.1.3 Kompletterande system	44
10.2 Fusion	46
11 Multisensorsystem i robotar	47
11.1 Sjömålsfallet	47
11.2 Markmålsfallet	48
11.3 Luftmålsfallet	50
11.3.1 Jaktrobot	50
11.3.2 Luftvärnssystem	51
12 Referenser	52
BILAGA	55

1 Inledning

En tydlig utvecklingstrend i moderna militära system är att i ökad grad utnyttja multisensorteknik. På FOI pågår sedan flera år forskningsverksamhet inom området, bland annat i form av IR-mm-projektet [1]. Svenskbaserad försvarsindustri genomför parallellt t. ex. Multisensormålsökarprojektet MUMS [2, 3]. Ett av motiven för satsningar avseende multisensorsystem är en förväntad högre störfasthet. Det finns därmed ett behov av att öka kunskapen om störning av multisensorsystem, såväl för att värdera störtåligheten hos egna system som att på sikt nå en förmåga att störa motsidans system.

2 Rapportens uppläggning

Förstudien är uppdelad i ett antal delar. Den inleds av en definierings- och inventeringsdel. Då multisensorsystem är ett brett begrepp har vi ett resonemang om detta och vad som behandlas i denna studie. Detta finns redovisat under en egen rubrik ”Vad är ett multisensorsystem och vilken delmängd behandlas i förstudien?”. Vi har gjort en inventering av multisensorsystem som omfattas av den beskrivning vi gjort. Resultat av detta finns som bilaga till denna rapport.

Vidare har vi undersökt vad som redan finns gjort i området störning av multisensorsystem. Detta finns redovisat i kapitel 6 och 7. Sammanfattningsvis kan sägas att mycket lite information finns att tillgå om störning av multisensorsystem.

För att försöka klargöra en del specifika krav på störning av just multisensorsystem har tre olika typer av multisensorsystem studerats av olika delar av projektgruppen. De tre typerna är:

- Markbaserade multisensorsystem för spaning/övervakning.
- Ett fiktivt spaningssystem
- Multisensorsystem i robotar

Valet av system är baserat både på resultat av inventeringsarbetet som pekat på förekomsten av dessa typer samt att projektgruppen besitter kompetens inom dessa områden.

Grupperna har studerat de olika systemen på något olika sätt varför alla gruppernas arbete ger olika bidrag till studien. Varje grupp redovisar resultaten i separata kapitel av rapporten. En del resultat lyfts dessutom fram till den gemensamma delen av rapporten.

Markbaserade multisensorsystem för spaning/övervakning

I kapitlet om markbaserade multisensorsystem finns en förteckning av sensorer som kan vara lämpliga att ingå i en multisensor samt störmetoder för olika typer av sensorer. Fokus för detta har varit markbaserade system men kan ändå ses som relativt allmängiltigt. Ett antal befintliga system samt två generiska system presenteras. En störningsmatris har tagits fram för ett kommersiellt system med endast två sensorer. Storleken på denna matris illustrerar hur komplext och mångdimensionellt problemet är.

Ett fiktivt spaningssystem

I kapitlet om ett fiktivt flygburet spaningssystem har ett spaningssystem som kan vara helikopter eller UAV-buret studerats. Där behandlas ett generiskt system som begåvats med alla tänkbara aktuella sensorer. Sensorer och störning av dessa finns sammanfattat i tabellform. Möjligheterna att effektivt kombinera de olika sensorerna begränsas av det avståndintervall inom vilket de verkar. Vissa sensorer är invisande till varandra medan andra kompletterar varandra på vissa avstånd. Detta resonemang följs upp med störstrategier för de olika typerna av system. En del av stycket om störstrategier har lyfts in i den gemensamma delen av rapporten.

Multisensorsystem i robotar

Kapitlet om robotar är i huvudsak avgränsat till målsökare. Sjömålsfallet, markmålsfallet och luftmålsfallet har studerats separat. Generiska system med valda sensorkombinationer har studerats. Det är delvis olika kombinationer beroende på vilket fall som har studerats. Utifrån sensorernas olika arbetsområden och prestanda redovisas ett resonemang om störning av systemen.

3 Vad är ett multisensorsystem och vilken delmängd behandlas i förstudien?

Med en vid tolkning av begreppet multisensorsystem kan man säga att alla system som innehåller mer än en sensor är multisensorsystem. Ett antal kriterier ska emellertid vara uppfyllda för att ett system ska ses som ett multisensorsystem i studien.

Det ska ge ett mervärde att använda ett multisensorsystem gentemot ett traditionellt monosensorsystem. Mervärdet skulle kunna vara redundans, kompletterande information, (kanske) kostnadseffektivitet (två ”billiga” sensorer ersätter en dyr), och störfasthet.

På en plattform med flera sensorer ska sensorerna lösa samma uppgift för att utgöra ett multisensorsystem.

Ingående sensorer bör ha jämförbara prestanda, d.v.s. en sensor som bara finns för att ge marginellt stöd till en huvudsensor klassar vi ej som ett multisensorsystem. Exempelvis medför en termometer som enbart kontrollerar att en huvudsensor har korrekt arbetstemperatur inte att systemet klassas som ett multisensorsystem.

Med en bred syn på begreppet multisensorsystem kan de utgöras av system med:

- Olika typer av sensorer på en plattform (t.ex. robotmålsökare)
- Flera samverkande likadana system på olika plattformar (t.ex. samverkande robotar)
- Flera samverkande olika system på olika plattformar (t.ex. robotmålsökare och markbunden spaningsradar)

Man kan även dela in multisensorsystemen i två typer beroende på hur sensorerna samverkar:

- Multisensorsystem som består av ihopkopplade monosensorsystem. Detta är t.ex. sekventiella system där en sensor ger indata till nästa sensor.
- Multisensorsystem där olika sensorers information sammanvävs medelst t.ex. sensordatafusion till att ge redundant information. D.v.s. störning av endast en sensor ska ej helt kunna hindra systemet att utföra uppgiften.

Det nätverksbaserade försvaret, (NBF) eller delmängder av detta kan vara en typ av multisensorsystem. Erfarenheter och resultat från denna förstudie kan vara användbara i arbetet med NBF. I motsvarande mån ska resultat från NBF nyttjas i förstudien. Det ingår emellertid inte i denna studie att explicit ansvara för en utredning om störningen/störtålgigheten av NBF. Vissa delar av NBF kan trots detta vara en naturlig del av förstudien.

Förstudien behandlar främst vapensystem och då främst system som faller inom området för telekrig.

Alternativa förklaringar på begreppet multisensorsystem ges t.ex. av referenserna [4, 5].

4 Multisensorsystem

Ett inledande arbete har varit att göra en inventering av militära multisensorsystem. Detta har resulterat i en listning av ett stort antal system med en kortfattad beskrivning. Då det finns en mycket stor mängd system som kan kallas för multisensorsystem gör vi inte anspråk på att inventeringen helt täcker samtliga. Inventeringen omfattar i huvudsak system som kan tänkas sortera under ”telekrigsområdet”. Resultatet av detta arbete utgör en bilaga till denna rapport.

5 Vilka multisensorsystem finns modellerade?

5.1 Vilka system finns teoretiskt utvärderade eller bra beskrivna. Vad finns gjort med studier av fiktivt kombinerade system?

Följande översikt avser arbeten vid FOI.

Multisensormålsökardemonstrator (MUMS) för radar/IR. För att studera ett system med en multisensorkonfiguration bestående av radar och IR används olika modeller. För IR finns en laserkarterad 3D-modell över Kvarns skjutfält med en överlagrad IR-textur. I denna 3D-terräng kan stridsfordon placeras på lämplig plats. Bildsekvenser från en IR-sensor med ett synfält som svarar mot målsökarens kan sparas för senare bearbetning från ett närmandeförlopp som simulerar robotens färd mot marken. För radar finns en modell där radarmålarean för målet beskrivs med en avståndsprofil som beror av infallsriktning. Bakgrunden beskrivs med hjälp av en klottermodell. Ingen

koppling finns mellan stridsfordon och markklotter (d.v.s. stridsfordonet kommer inte att påverka klotternivån och marken kommer inte att påverka stridsfordonets radarmålearea). Även här kan data sparas under ett närmandeförlopp. Radardata- och IR-sekvenser kan sedan bearbetas i ett MATLAB program för att studera karakterisering av mål i ett multisensorsystem med hjälp av datafusion.

MULTISENSORMÅLSÖKARE IR och millimetervåg - simulering av målsökare med olika algoritmer sker mot uppmätta sekvenser från stirrande IR och mm-vågsradarsensorer.

I varken MUMS eller IRmm har störningsaspekterna direkt studerats. Däremot finns det en planerad ambitionshöjning att i framtiden studera sådana aspekter.

Intelligenta verkanssystem. Projekt som studerar multisensorsystem med IR, laser och radar. Utnyttjar samma IR- och radarmodell som ovan för att generera IR- och radardata. IR-modell är även tänkt att utnyttjas för avbildande laser (laser utnyttjas för att bygga upp en 3D bild i sensorn).

Simuleringsplattform för ett multifunktionssystem inom Strategiska Forskningskärnor. Här studeras mikrovågsbaserade multifunktionssystem där de olika funktionerna (kommunikation, radar, störning) delar hårdvara som t.ex. antennaperturer. Inom studien har en enkel MATLAB modell som inkluderar kommunikation och störning implementerats.

Inom projektet *Samverkande robotsystem* har en simuleringsmiljö i FLAMES utvecklats för studium av samverkande robotar. En framtida utvecklingsinriktning som har diskuterats inom projektet är val av sensorer och målidentifiering. Det samverkande robotsystemet kan ju ses som ett multisensorsystem, där möjligheten finns att inte bara väga samman sensordata, utan också låta sensorerna samverka för att effektivare klassificera mål och göra skadeutvärdering. Möjligheter till att studera störning (kommunikationsbortfall mellan robotar) har också diskuterats.

I projektet *Telekrigvärdering i radarmålsökare* pågår en studie med simuleringsmodell av samverkande robotar. Tyngdpunkten i denna studie är målsökarnas sensorinformation och hur informationsöverläge kan fås genom utbyte av sensorinformation mellan skilda robotar. (En bedömning har gjorts där man konstaterat att denna studie ej överlappar med arbetet i projektet *Samverkande robotsystem*.)

Tvåfärgsmålsökare, d.v.s. målsökare med två sensorer där den ena fungerar som en vaktkanal för diskriminering av IR-facklor, finns implementerad i ett antal simuleringsmodeller. Funktionen är implementerad genom att facklornas tidsberoende radians finns tabulerad separat för respektive våglängdsband. Det är dock tveksamt om detta störskydd kan kallas ett multisensorsystem.

Navigeringssystem

I projektet *Störning av navigeringssystem* har en simuleringsmiljö utvecklats för ett GPS/INS-baserat navigeringssystem med gruppantenn på en flygande plattform. I denna miljö kan flygbanan samt atmosfärsstörningar varieras. Likaså kan antalet störare samt den geometriska störarkonstellationen varieras. GPS och tröghetsnavigeringssystemet har komplementära egenskaper som utnyttjas.

Med gruppantenn och olika lobformningsalgoritmer kan satellitsignalerna förstärkas och även störare undertryckas.

Denna simuleringsmiljö är baserad på MATLAB och kan delas upp i följande delar (1) Sensorintegrationsdelen (2) Stördelen samt (3) Lobformningsdelen.

I nuläget genereras olika flygbanor med tillhörande accelerometer- och gyro-signaler samt även GPS rådatasignaler (pseudoavståndsmätningar samt fasmätningar) som används som insignal till navigeringsfiltret som skattar både GPS-mottagar-fel, GPS-satellit-fel och INS-fel som används för att korrigera navigeringssystemet.

5.2 Vad kan och bör värderas med hjälp av simulering?

I nuläget värderas olika sensorsystem och störning mot dessa i enskilda monospektrala simuleringar, där olika värderingsfrågeställningar är i fokus. Några exempel är:

- **Radar** mot aktiv och passiv störning
 - Värdering: optimering av störformer och remssekvenser inklusive manöver
 - Mått: följefel, signalbrus- respektive signal/stör-förhållande
- **IR/Vis** bildalstrande och tyngdpunktsföljande sensorer mot facklor, rök, vattendimma, laser (DIRCM)
 - Värdering: optimering av fackelsekvenser, vattendimma, och laserbelysning inklusive manöver.
 - Mått: följefel, följbarmått (t.ex. GLCM/TM).
- **HF/VHF** kommunikation mot närstörare, fjärrstörare och pejl
 - Värdering: möjlighet till kommunikation med inverkan av störning, telekonflikt, terräng och vågutbredning. Möjlighet till pejlning.
 - Mått: tröskelsatta signal/brus- respektive signal/stör-förhållande ger kommunikationsmöjligheten. Pejlfelsanalys.

Vi kan inte se några direkta problem att kombinera dessa simuleringar till att hantera multispektrala scenarier. Redan i dag skulle ganska enkelt IR/Vis kunna kombineras då dessa simuleringar sker i samma miljö (EwSim). En multispektral simuleringsmiljö som nyttjar punktmålsmodeller bedöms vara den enklaste att utveckla, dock med begränsad möjlighet att studera bildalstrande system.

Några värderingsfrågeställningar som skulle kunna besvaras i en multispektral simuleringsmiljö är bl.a.:

- Vilken förbättring kan åstadkommas med ett multispektralt sensorsystem? Vilka komponenter ger mervärden (ekonomiskt, stridsekoniskt)?
- Vilken verkan har störning och signaturanpassning på datafusionen? Skapar monospektral störning eller signaturanpassning tillräckliga associationsproblem i datafusionen?
- Hur korreleras en multispektral störning för att störåtgärden ska framstå som ett trovärdigt mål för datafusionen?
- Hur kan kommunikationen mellan ingående sensorer i ett multisensorbaserat system störas eller skyddas mot störning?

- Hur används störning mot ett invisande system (exempelvis SIS-Radar-EO-Lidar)? Hur bryts kedjan optimalt?
- Vilka tidsramar har olika sensorsystem för att fungera tillsammans i ett multispektralt system?
- Vilken påverkan har en multispektral störning på en operatör?

I många verksamheter har fokus varit på studie av störning av robotmålsökare. FM borde ha ett stort, om inte större, intresse av att värdera störning mot funktioner tidigare i kedjan som spaning, invisning och eldledning. Ett problem i värderingen av dessa funktioner är att de ofta är operatörsstöttade, vilket kan vara svårt att modellera och värdera. Alternativt kan människan användas i simuleringarna (HIL, Human In the Loop) vilket då kräver realtidssimulering vilket måste ställas i relation till den detaljeringsgrad värderingsfrågeställningen kräver. Inom projektet ”Duellsimulering Telekrig” pågår en mindre studie av modellering av störd operatör och inom FoT 21 (Modellering och Simulering) pågår ett projekt kring datorgenererade styrkor (CGF, Computer Generated Forces).

5.3 Vad krävs för att simulera multispektrala system och verkan av störformer mot dessa?

Ett enkelt svar är tid och pengar, ett mer komplext svar är att simuleringsmodeller kräver att olika komponenter som ingår i simuleringen skall kunna modelleras i en simuleringsmodell. Dessa komponenter är:

- Multispektrala målmodeller - måldata från modellen i flera olika våglängdsband skall kunna genereras (automatiskt) beroende på var multisensorsystemet som betraktar målet befinner sig. Beroende på typen av simulering och ingående sensorer kan måldata vara i form av bilder eller bestå av ett eller ett fåtal värden (punktmålsbeskrivning).
- Multispektrala bakgrundsmodeller (klotter) - inverkan från bakgrund med klotter kan starkt påverka resultatet av t. ex. en målföljarsimulering. Beroende på typen av simulering och ingående sensorer kan bakgrundsmodellen vara en 3D-modell som genererar bilder eller också kan bakgrunds-/klotterbeskrivningen ske genom att t. ex. ange ett S/C värde. För både multispektrala mål- och bakgrundsmodeller bör dessa byggas på underlag som grundar sig på samma objekt och vid samma tillfälle vad gäller beräknade signaturer eller signaturmätningar.
- Flera olika motmedelsmodeller för olika våglängdsband - en simulering som innehåller en bildalstrande IR-sensor och en radar kan t.ex. ha motmedel i form av IR-rök (IR) och remsor (radar). Eventuella effekter som röken har inom radarområdet och remsorna har inom IR-området bör också beaktas.
- Multispektral atmosfärsmodell - effekten av atmosfären (transmission, turbulens) är våglängdsberoende.
- Sensormodeller - sensorsystemets egenskaper kan påverka den information som sensorn uppfattar (diffraktion, brus, vinkelupplösning, synfält, integrationstid, transmission genom sensorn, ...). Våglängdsområde och känslighet inom detta bör förmodligen modelleras direkt i objekt och bakgrundsmodellerna.
- Datafusion (logik)
- Målföljare

- Robot-/sensordynamik - hur rör sig sensorplattformen (t. ex. en robot) genom lufthavet.
- Nätverk/kommunikation - i det fallet att de olika sensorerna i multisensorsystemet finns utspridda i ett nätverk bör nätverkets funktion också ingå i simuleringen.
- Styrning av sensorer - vem äger sensorerna i ett nätverk, d.v.s. vem bestämmer åt vilket håll sensorerna skall riktas och vilken information som skall skickas vidare.

5.4 Kan det göras ett generellt simuleringsverktyg? Olika nivåer/förenklingar på modeller?

Det finns några pågående projekt på FOI där simuleringsverktyg byggs upp som skulle kunna användas som bas eller komponent vid utvecklandet av ett simuleringsverktyg för multisensorsystem.

Referensbiblioteket är ett bibliotek med modeller av olika robotar och plattformar som används i många simuleringsmiljöer, ex.-vis FLSC. Detta bibliotek hanteras av avdelningen för Systemteknik. Ett generellt och modernt gränssnitt, kallat *Merlin*, mot de befintliga modellerna i referensbiblioteket samt mot nya modeller är under utveckling. Detta gränssnitt är tänkt att vara tillgängligt inom FM men även inom industrin. Genom att FM och industrin följer Merlin-gränssnittet kommer modeller utvecklade inom olika organisationer att kunna kopplas till en gemensam simuleringsmiljö. I första hand kommer gränssnittet att behandla radar och radarstörning. Dock är planen att gränssnittet ska kunna hantera andra frekvensområden i framtiden.

EWSim är ett multispektralt ramverk för telekrigssimulering inom projektet *Duellsimulering telekrig*. Telekrigsmoduler byggs upp inom optronik, radar och kommunikation. Modulerna skall direkt kunna användas i ett ramverk med 3D grafik. 3D grafiken används direkt vid simulering inom det visuella och IR-området och för visualisering i radar- och kommunikationssammanhang. 3D-beskrivningen används för alla våglängdsområden för att bl. a. kunna ta hänsyn till vågutbredning i kuperad terräng. I denna 3D-miljö kommer positioner för sensorer, objekt och motmedel att synkroniseras i de olika våglängdsområdena. EWSim har en modulär design och kommer att vara HLA (high level architecture) kompatibel för att kunna anpassas till olika applikationer på ett smidigt sätt.

MOSART - Ett projekt som strävar efter att skapa en simuleringsplattform med ett öppet gränssnitt där olika forskningsprojekt kan koppla upp sina modeller. Funktionaliteter som eftersträvas i MOSART är bl. a. förmåga att lagra och hantera verkliga, simulerade och bearbetade sensordata, funktioner för bibliotek med modeller (sensorer, fusionsalgoritmer, etc.), stöd för olika former av visualisering och operatörsinteraktion, stöd för integration och återanvändning av olika forskningsresultat/programvaror i större demonstratorer, samt ramverk för integrering och scenariosimulering.

Beroende på vad som skall simuleras och vilka frågor som skall besvaras av simuleringen kan olika förenklingar göras. Alla komponenter som modelleras i en simulering måste ha tillräcklig detaljnivå. Hög detaljnivå eftersträvas ofta men en

alltför detaljerad modell bör undvikas då detta kan kräva allt för mycket datorkraft vilket därmed tenderar att göra modellen långsam att exekvera. Exempel på klassificeringar av detaljnivåer kan vara:

- Punktmål - målet beskrivs geometriskt som en punkt eller någon annan enkel geometrisk form (sfär) men intensiteten kan variera beroende på betraktningssvinkel och avstånd.
- Punktmåls mängder - målets intensitet och area beskrivs med fler än ett punktformigt mål (kan även bestå av enklare geometriska former), där punktmålen har fasta positioner i förhållande till varandra. Denna beskrivning ger samma resultat som punktmålsbeskrivningen när hela målet finns inom synfältet men kan ge ett väsentligt annorlunda resultat när endast delar av målet ryms inom synfältet för sensorn.
- Bild - bilder genereras av målet placerat i någon bakgrund.

En modell kan innehålla moduler som har olika detaljnivåer beroende på våglängdsområde och typen av sensor. Exempelvis kan ett objekt som betraktas på nära håll av en bildalstrande IR sensor inte modelleras som ett punktmål utan i detta fallet är det lämpligare att modellen innehåller en 3D-representation av modellen och bakgrunden och att en bild skapas som sedan kan behandlas av sensormodeller. För samma objekt i radarområdet är det kanske tillräckligt att modellera objektet med hjälp av en enkel punktmålsmodell och bakgrunden kanske kan ignoreras helt eller modelleras med en enkel klottermodell.

6 Vad finns utvärderat/rapporterat om störning av multisensorsystem?

Det finns vissa kunskaper om multispektrala störsystem (Radar/IR). Dessa har tagits fram för sjörobotsituationer då robotar med olika målsökare kan skjutas i salvor. Även i luftvärnsdueller finns exempel på hur attackflygplan och helikoptrar samtidigt kan störa luftvärnssystem baserade på radar och EO-sensorer. Då denna information är av mycket känslig natur och berör operativa system har den utelämnats i denna rapport. I IR/mm projektet har en uppskattning av störverkan på systemet gjorts, men en fullständig analys och tester saknas.

Inom området störning av navigeringssystem finns en hel del forskning utförd med bl.a. projekt på FOI som resulterat i ett flertal rapporter. Referenser [6, 7] är exempel på rapporter i ämnet.

Vid undersökning inom projektgruppen finns det i övrigt ingen vetenskap om något multisensorsystem som är utvärderat ur störsynpunkt.

7 Störstrategier

I kapitlet diskuteras olika störstrategier mot olika typer av sensorkombinationer (invisande, stöttande och kompletterande). Här har dessa gjorts renodlade, men troligen är systemkedjorna kombinationer av sensorer som arbetar invisande, stöttande och kompletterande.

En stor del av detta kapitel återfinns i kapitel 10.1 där resonemangen är mer utförligt beskrivna och exemplifierade ur perspektivet med ett fiktivt spaningssystem.

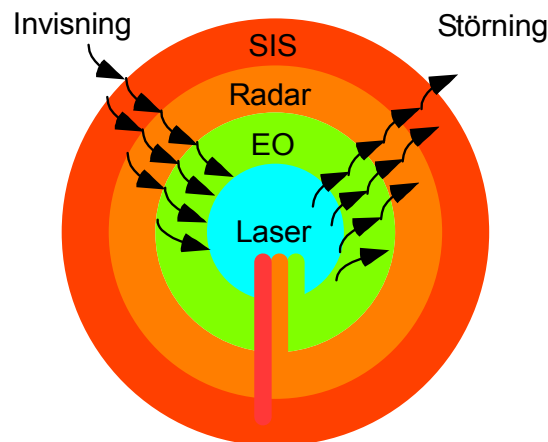
7.1 Invisande systemkedja

Ett rent invisande system bör ej kunna klassificeras som ett multisensorsystem då den ena sensorn överlämnar invisningsinformation till den bättre fokuserade sensorn utan överlappning.

Denna typ av sekvenskedja blir lätt att störa då störningen mot ett sådant system varken behöver vara multispektral eller multispektralt korrelerad vad avser skenmålsbeteende.

7.2 Stöttande systemkedja

I den stöttande systemkedjan stödjer sämre fokuserade sensorer kontinuerligt bättre fokuserade sensorer. Den huvudsakliga målinformationen fås dock från den bäst fokuserade sensorn.



Figur 7.1 Figuren visar hur ett multisensorsystems förmåga att mäta in ett mål ökar med att antalet sensorer som samverkar ökar. De minskande cirkelarna illustrerar en minskad onoggrannhet; ett bättre fokus.

Denna systemkedja blir svårare att störa ju fler sensorsystem som stöttar målinmätningen. En effektiv störning då stöttning har etablerats kräver att de inblandade systemen kan störas effektivt enskilt. Rent avhakande störning mot inblandade system blir svår då denna kräver multispektral korrelering vad avser skenmålets beteende vilket annars resolveras i datafusionen som störning. Störningen bör sättas in så tidigt som möjligt mot den minst fokuserade sensorn.

7.3 Kompletterande system

Mot ett mer korrekt multisensorsystem kommer fusionen att spela en större roll. Beroende på hur detektioner görs i de olika sensorerna och fusioneras bör olika slutsatser om målförekomst kunna dras. Målbeteende över tiden i ett statusläge bör kunna nyttjas för att avgöra huruvida målet är sant eller falskt.

Vid störning av ett multisensorsystem är det viktigt att systemet inte detekterar att det är stört. Detta kan innebära att det räcker att störa en enda sensor. Sensorerna ger olika information varav en är sann och den andra falsk, men systemet vet inte vilken information som är riktig. Beroende på datafusionen och hur sensorinformationen viktas samman kan man få en utstörning av systemet med endast en utstörd sensor om systemet inte misstänker att denna är störd. Har systemet en misstanke om störning om en störd sensor viktas datafusionen bort denna sensors information och redundansen i systemet gör att systemet kan utföra sin uppgift.

I de fall då systemet upptäcker att det är stört om endast en sensortyp störs bör man störa mot alla tänkbara sensortyper. För att nå bra störeffekt bör störningen vara samordnad så att alla sensortyperna upplever samma förändring.

Störning som inte är samordnad av flera typer av sensorer kan troligtvis detekteras. Man gör det emellertid svårare för systemet. Störningen ställer krav på dess prestanda; att det ska hinna utföra alla mätningar, beräkningar och jämförelser i tid. Man kan i detta fall tänka sig att systemet mätas med information.

8 Förslag på fortsatt arbete

Störning av multisensorssystem är ett område med många dimensioner. Ett multisensorsystem i sig kan bestå av ett stort antal av sensorkombinationer som dessutom kan operera i olika moder och nyttja varandras information på ett flertal sätt. Dessa system kan sedan utsättas för störning med ett flertal medel på ett flertal sätt. För att utvärdera området krävs en stor insats med simuleringar med ett mycket stort antal av olika kombinationer att undersöka. Man kan även tänka sig att utföra försök med hårdvarudemonstratorer. Dessa försök kan emellertid bara ses representera en liten delmängd av alla de fall som kan uppstå med multisensorsystem. Inte desto mindre är det värdefullt att göra mätningar med demonstratorer då dessa kan ha förmåga att visa på ofullkomligheter i simuleringsmodeller samt att de är riktiga system med förmåga att visa på verklighetens svårigheter. Det bör även gå att generalisera en del slutsatser från demonstratorförsök.

Under förstudiens gång har det visat sig att det finns mycket lite tillgänglig information om störning av multisensorsystem varför nästan allt arbete inom området bidrar till ny kunskap. Området är stort med flera dimensioner vilket ger möjlighet till belysning i ett flertal snitt. Fortsatt arbete beror därför på ur vilken aspekt, i vilket snitt, man vill studera problemet med störning av multisensorsystem. Nedan följer några förslag på fortsatt arbete utifrån reflexioner från projektgruppen under förstudiens gång.

Man har god kunskap om monosensorsystem. Komplexiteten i hårdvarusystem och simuleringsmodeller blir hög vid multisensorsystem. För att fokusera på just störning och hur denna påverkar resultatet av sensordatafusionen bör man kanske ej ha för stor detaljeringsgrad på själva sensorerna i systemen utan arbeta med enklare principiella sensorer.

Vidare kan det av pedagogiska skäl vara intressant att studera enskilda system, då man belyser de speciella förutsättningar som gäller för multisensorsystem och konkretiserar frågeställningar och problem. Värdefull kunskap och verifiering av modeller kan uppnås med hårdvarusystem. En lämplig kombination kan vara ett radar och IR-system, alternativt laser och IR. Dessa sensorkombinationer ger kompletterande information och är ej heller ovanliga kombinationer. Speciellt IR och radar och skiljer sig dessutom våglängdsmässigt. Dessa system kan konkret utsättas för t.ex. radar- och laserstörning kombinerat med signaturanpassningsåtgärder.

Observera att det finns fler förslag på fortsatt forskning i kapitel 5.2 och 9.5.

9 Markbaserade multisensorsystem för spaning/övervakning

Thomas Svensson, Ove Gustavsson, Nils Karlsson, Ove Steinvall

9.1 Inledning

Det finns flera motiv för att förse en plattform med flera sensorer – ett *multisensorsystem*

- En robustare funktion – en multisensor är svårare att störa ut
- Redundans
- Fler särdragsegenskaper
- Ökad rymdupplösning – avstånd och yttäckning
- Effektivitet avseende kostnad/effektbehov – en liten, billig sensor kan användas för att trigga igång en sensor som ger bättre prestanda men kräver ett större effektbehov

Ett starkt motiv för multisensorsystem är den förbättrade störtåligheten jämfört med system med en enda sensor.

I denna studie har följande definitioner/avgränsningar multisensor betonats

- ingående sensorer ska lösa samma uppgift
- ett multisensorsystem ska ge ett mervärde gentemot ett monosensorsystem
- väsentligt är att sensorerna ska ha jämförbara prestanda; med det menas att ingående sensorer ska vara väsentliga för optimal funktion hos multisensorn
- system för minletning och sensorer under vatten studeras inte (Viss avgränsning har gjorts till ”telekrigsområdet”.)

Exempel på struktureringar som gjorts i studien

- sekventiellt alt. parallellt arbetssätt hos multisensorn
- finns på marknaden alt. framtida tänkbart system
- aktiv störning = störning av själva sensorn alt. passiv störning – påverkan av det sensorn ser
- störgrad – total/ej detekterbar/detekterbar/ingen påverkan
- enkelt (portabelt, billigt) /avancerat multisensorsystem

9.2 Sensorer som kan ingå i en multisensor

9.2.1 IR-sensor

Man kan dela in IR-sensorer i SWIR (1-3 μm), som huvudsakligen registrerar reflekterad kortvågig strålning och MWIR+LWIR (3-12 μm , det termiska IR-området) som huvudsakligen registrerar emitterad strålning.

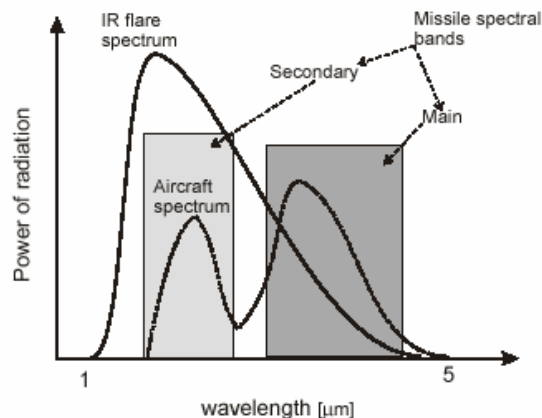
- Oberoende av ljusförhållanden (MWIR+LWIR)
- Passiv – ingen röjande strålning
- Hög vinkelupplösning
- God klassificeringsförmåga
- MWIR+LWIR ger ingen finstruktur

Räckvidden för ett termiskt IR-system beror, förutom på själva sensorn, av en rad andra faktorer såsom intensitetsskillnad mellan mål och bakgrund, atmosfärsdämpning, klotter och signalbehandling. Under gynnsamma förhållanden anges för stridsfordon detektionsavstånd och igenkänningsavstånd på 45 km resp. 11 km. CMC electronics Cincinnati [8] anger följande räckvidder för en 256×256 InSb-detektor med känslighetsområdet 3.6 – 5.0 μm , där objektet är en stridsvagn med yttermått 2.3×6.4 m och ett $\Delta T=1.25$ K.

Tabell 9.1 Räckvidden hos en IR-sensor med NFOV och WFOV-optik

Synfält	Detektion	Igenkänning
FOV = $0.88^\circ \times 0.82^\circ$	23 km	13 km
FOV = $8.8^\circ \times 8.2^\circ$	5.8 km	1.5 km

En trend är att registrera i flera band samtidigt – multispektral IR – vilket bl.a. ger betydligt bättre möjligheter att identifiera falskmål. Figuren visar en schematisk skiss av en tvåfärgsmålsökarens funktion [9].



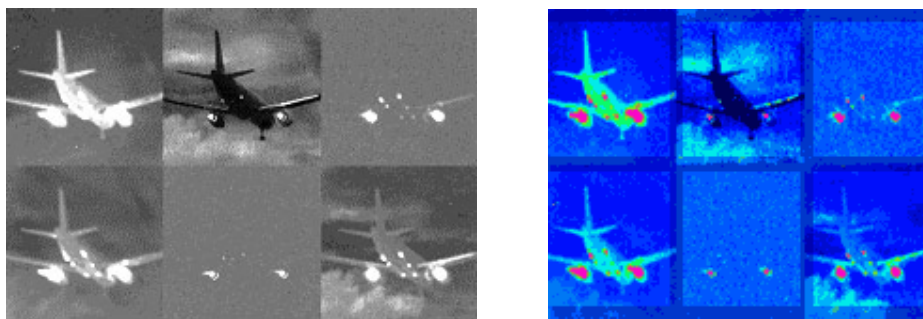
Figur 9.1 En enkel fackla kan lura en IR-sensor som registrerar i ett band. En tvåfärgssensor avslöjar skillnader i IR-signatur mellan facklan och ett flygplan. Figuren är hämtad ur [9].

Ett exempel på en multispektral IR-sensor är ORION som marknadsförs av CEDIP [10]. Den är baserad på en MCT-detektor (FPA 128×128) och ett roterande filterhjul med sex filter. Den registrerar i 6 band i MWIR (2 – 5 µm) eller i LWIR (8 – 12 µm).



Figur 9.2 Den multispektrala kameran ORION [10].

Nedan finns ett exempel på en scen registrerad med ORION.



Figur 9.3 Den multispektrala IR-sensorn ORION [10].

Tabell 9.2 Multispektral IR-sensor ORION [10]

Status	Finns på marknaden
Användning	Signaturanalys, måligenkänning, multispektral analys
Princip	Baserad på en MCT-detektor med roterande filterhjul.
Motiv	Ökad detektions- och igenkänningskapacitet

En annan trend är att okylda IR-system används i allt fler tillämpningar eftersom prestanda blir allt bättre. De kommer i framtiden att användas i avancerade tillämpningar såsom följning och identifiering [11]. Okylda IR-system fungerar vid rumstemperatur och har fördelar i form av små ytermått, låg vikt, lågt pris, kort starttid och att de är tysta.

9.2.2 TV-VIS

- ”Mogen” teknik
- Små yttermått
- Billig
- Hög vinkelupplösning
- God klassificeringsförmåga
- Fungerar bara i dagsljus

9.2.3 Ljusförstärkare

- Billig
- Små yttermått
- Hög vinkelupplösning
- God klassificeringsförmåga
- Kräver någon ljuskälla

Räckvidden för Gen III framgår av Tabell 9.3 [12] där målet är en 1.80 m hög person. En jämförelse har gjorts med termisk IR.

Tabell 9.3 Jämförelse av räckvidd hos ljusförstärkare (Eng. night vision) och termisk IR (eng. thermal imaging) [12, 8]

	Räckvidd Gen III	Jämförelse med CMC electronics cincinnati InSb-sensor (WFOV) ovan
Fullmåne	800 m	1200 m
Stjärnljus	500 m	1200 m

9.2.4 Akustisk

- Billig
- Små yttermått
- Extremt litet effektbehov
- Räckvidden är beroende av terrängen (träd t.ex.) och av frekvensen. I gynnsamma fall fås en räckvidd på 1 km. Låga frekvenser ger längre räckvidd, höga frekvenser en kortare räckvidd. Ofta används 100 Hz. [13]

9.2.5 Seismisk

- Mäter vibrationer med en räckvidd upp mot 150 m
 - Identifierar såväl fordon som personer som går till fots
- [14]

9.2.6 Magnetisk

- Identifierar fordon upp till 40 m
 - Identifierar en soldat utrustad med ett vapen upp till 10 m
- [14]

9.2.7 Radar

- ”Väderokänslig” – signaldämpningen är betydligt mindre än vad är fallet med ex. IR
- Lång räckvidd
- Dålig vinkelupplösning jämfört med IR

En radar (stridsfältssradar) är mycket lämplig för övervakningsuppgifter. Spaning och övervakning av mark är inget undantag. Det finns både fordonsburna och manburna system för dessa ändamål. Klassificering av mål; trupp/soldat, hjulfordon, bandfordon eller helikopter sker medelst signalbehandling av dopplerinformationen i radarsignalen.

Ett typiskt manburet system som kan bäras av två man kan ha följande prestanda:

Målupptäckt	
Gående soldat	10 km
Fordon	15 km
Stridsvagn	24 km
Helikopter	14 km

Avsökningshastigheten kan vara 15 grader/s.

Upptäcktsavstånden reduceras något vid regn, mellan 10% till 25% beroende på hur kraftig nederbörd det är.

Ett fordonsburet system kan framförallt p.g.a. möjligheten till högre uteffekt ha bättre prestanda än ett manburet system. Reduceringen av upptäcktsavstånden är i detta fall 10% till 20% beroende på hur kraftig nederbörden är. Avsökningshastigheten är ca 30 grader/s.

Mål	Upptäcktsavstånd
Gående soldat	15 km
Ålande soldat	2,5 km
Fordon	25 km
Stridsvagn	40 km
Helikopter	30 km

Det finns ett stort antal kommersiella radarsystem för stridsfältsovervakning [15, 16].

9.2.8 Laser 3D

- Avståndsinformation
- Dolt uppträdande kan vara väsentligt för vissa uppdrag - i dessa fall får man anpassa utsänd lasereffekt genom att minska den eller ännu bättre arbeta kring någon absorptionslinje i atmosfären som kraftigt dämpar ut strålningen på längre avstånd och försvårar detektion.
- Aktiv

Se t.ex. [17] för mer info om GV.

9.2.9 GV (gated viewing)

- Bildalstrande

Grindad avbildning (gated viewing, GV), eller avståndsselektiv avbildning, grundar sig på en tidsstyrd kamera som avbildar ett mål som belyses med en pulsad belysningskälla, vanligtvis laser. Principerna och teori för grindad avbildning finns väl beskriven i relaterade arbeten vid FOI [18, 19, 20]



Figur 9.4 Exempel på grindad avbildning för måligenkänning på långa avstånd (14 km) från FOI-prov i Älvdalen. Överst t.v. terrängbil på nära håll, i mitten bild från en laserpuls och t.h. 8 pulser. Laservåglängd 0,532 μm .

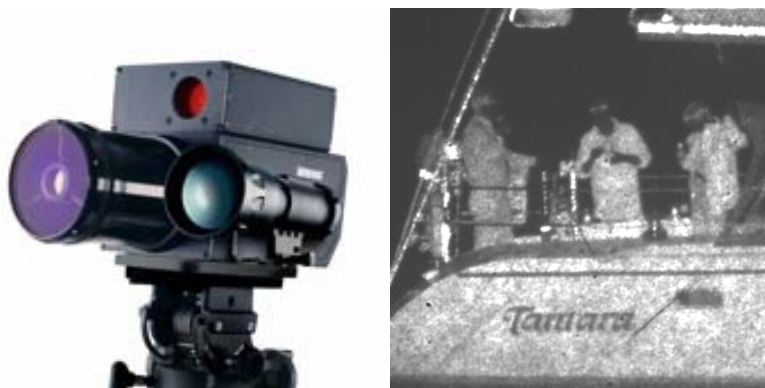
Grindade rör har funnits en längre tid för kortare icke ögonsäkra våglängder. Intevac i USA har utvecklat ett rör känsligt vid 1.5 μm som prövats i USA för flera utvecklingsprogram inom alla vapengrenar.

Tabellen som följer ger lite data om röret samt lite om de system i vilka man i USA planerar att införa denna teknik. Liknande planer finns i flera Europeiska program, bl.a. England-Frankrikes flygburna pod Joanah.

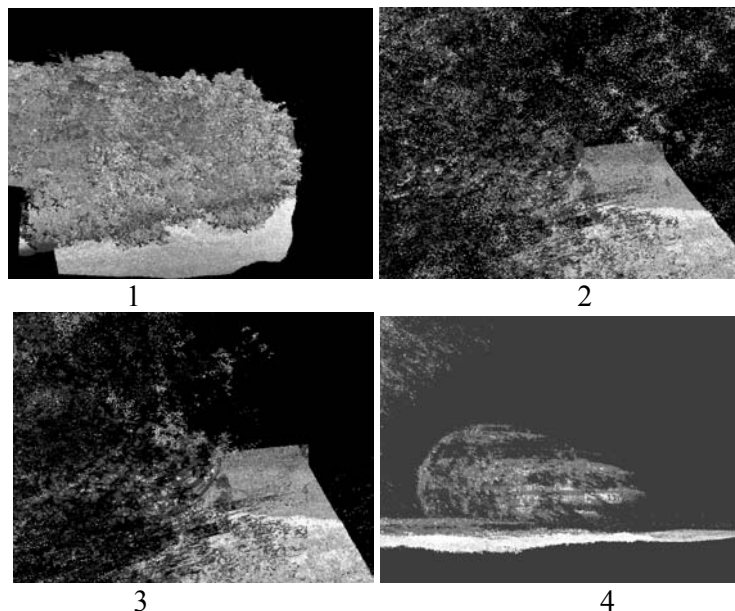
Tabell 9.4 Lite data och användningsområden för Intevacs grindade rör.

Camera/Sensor	Model 120 (TE-EBCCD) SWIR gated camera
	13 μm square pixel
	Resolution > 32 lp/mm
	QE > 15% @ 1.5 μm
	Cathode dark current < 50 nA/cm ²
	Camera Frame Rate = 17 Hz
Gating	Range Resolution 2.5 ft
	Gate width resolution 2.5 ft
	Minimum gate width 150 ns
	Electro-Optic rise / fall time approximately 30 ns
Video	10 bit Digital Video, 512 x 512 pixel format

Intevac marknadsför även en komplett laserradarutrustning (LIVAR) för långgräckviddig övervakning för t.ex. tull och polis.

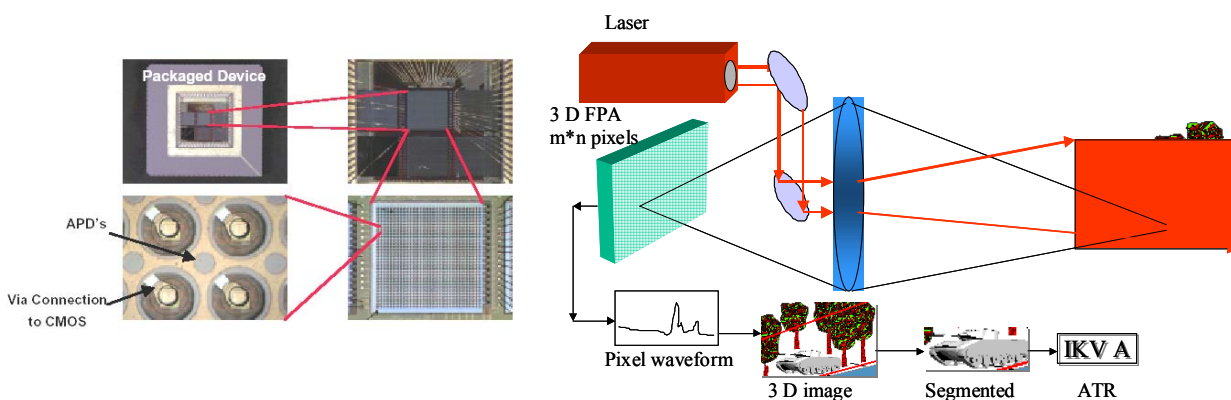


Figur 9.5 T.v. Intevacs LIVAR utrustning innehållande laser, optik och GV kamera .
T.h. Exempel på bilder för detaljigenkänning av t ex båtnamn/nummerplåtar etc. på
långa håll (1-2 km). Bilder Intevac.



Figur 9.6 Sekvens av 3 D laserradarbilder från olika vyer ger möjlighet att se vad som befinner sig under den täta dungen genom att kombinera multipla vyer av 3 D data. Bild FOI med scannande laserradar (ILRIS 3 D, Optec).

På sikt kommer 2D avbildning med grindad teknik att ersättas av full 3D avbildning. En intensiv utveckling av 3D avkännande arrayer pågår bl a i USA och är under uppstart i Europa. En sammanställning av teknikläget beträffande 3D avbildning har nyligen skett i en kommande FOI rapport. Principen för en 3 D array visas i figur 9.7.



Figur 9.7 T.v. Exempel på en 3 D FPA baserad på s.k. avalanchefotodiodmar (APD). Figuren visar en 32*32 array från Lincoln Laboratories. T.h. Principen för 3D FPA.

9.3 Multisensorsystem

9.3.1 Markbaserade multisensorsystem

9.3.1.1 Befintliga system

Det finns befintliga multisensorsystem [21-25] av vilka ett flertal återfinns i bilagan. Nedan har vi valt att beskriva ett av systemen, LRAS3 som representerar en kommersiellt vanlig kategori TV/IR. Detta system används även som exempel i kapitel 9.4.1 "Störning av multisensorsystem".

LRAS3

LRAS3 (Long Range Advanced Scout Surveillance System) är en multisensor som består av en termisk IR-sensor (FLIR), en CCD TV-sensor och en laseravståndsmätare [21].



Figur 9.8 Multispektral sensor LRAS3 med IR/VIS [21].

LRAS3 representerar ett mycket vanligt MSS på marknaden, bestående av kombinationen VIS-TV/termisk IR. Den har också kompletterats med en laseravståndsmätare och GPS. En TV-kamera ger goda prestanda under förhållanden som råder dagtid, i synnerhet vid bra siktförhållanden. Den är också kompakt, enkel och billig. Till skillnad från TV-kameran är IR-sensorn oberoende av ljusförhållanden och, jämfört med TV-kameran, mindre känslig för dåliga siktförhållanden som dis och rök.

Tabell 9.5 LRAS3 med visuell, IR, laseravståndsmätare (ögonsäker), GPS [21]

Status	Marknadsförs av DRS Technologies
Användning	Systemet är avsett för US Army:s terrängfordon. Uppgifter: detektion, igenkänning, identifiering
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Motiv: TV/IR ger 24 h operabilitet (dag/natt)

9.3.1.2 Fiktiva multisensorsystem

Grindad avbildning bör kunna förbättra möjligheterna till måligenkänning över långa avstånd, genom att kombinera tekniken för passiva elektrooptiska bildgenererande system med laserteknik till ett aktivt bildsystem. Just nu är utvecklingen av GV system för ögonsäker våglängd intensiv med program både i USA och i Europa. Tillgången på bra bildförstärkarrör för 1,5 μm våglängd är dock f.n. förbehållet USA med exportförbud till andra länder.

IR, visuellt sikte, bildförstärkare och laseravståndsmätare ingår i många system för stridsfordon och luftvärnssystem. Bildförstärkare är oftast idag för körning eller korträckviddiga siktessystem. Grindade kameror + laser kommer att uppgradera denna typ av sikten för säkrare igenkänning, längre räckvidd samt andra funktioner t.ex. optikspaning.

Kravet på ringa mänskliga förluster kommer att öka, speciellt vid internationella insatser. Detta leder till ökad användning av obemannade farkoster och bevaknings-system för mark, luft och sjö och följaktligen ett krav på sensorsystemens autonomitet. För obemannade markfarkoster (UGV) kommer sensorer för vägval, upptäckt och undvikande av hinder att vara central. Om dessa sensorer kan störas kanske det är ett enkelt sätt att eventuellt stoppa en UGV. De sensorer som kan vara aktuella är i första hand optiska (IR, TV, laserradar) men även radarsensorer kan vara aktuella.

Två framtida tänkbara system skisseras nedan

1. Ett enkelt system med vilket avses ett system som kan vara manburet och där fler små enheter ev. kan ingå i nätverk
2. Ett avancerat system med utrustning av en UGV som en tänkbar applikation.

Tabell 9.6 Tänkbara framtida multisensorsystem

	Enkelt, manburet system	Avancerat system
Sensorer	Akustisk VIS Okylld IR (VIS) Radar	Akustisk VIS IR (MCT, d.v.s. kylt system) GV (3D laser) Radar

Sensorerna i dessa system kan samverka på flera olika sätt. Passiva sensorer kan användas för indikation av fara och igångtriggning av aktiva sensorer som ger en exakt utpekning. VIS, IR och radar kompletterar varandra eftersom de ger olika karakteristiska signaturer. Akustiska sensorer omnämns ofta som sensorer lämpade att trigga igång exempelvis radarsensorer [23, 26].

Omvänt kan aktiva sensorer användas för detektion och de passiva för klassificering och identifikation. Här passar aktiv radar väl in med en lång räckvidd och robusthet i olika vädertyper. Radar kan peka ut mål och avstånd och när målet kommit tillräckligt nära kan IR-sensorn, som typiskt har en god yttäckning, klassificera målet.

Det finns således flera arbetssätt för de tänkta systemen:

Enkelt, manburet system

- Den akustiska sensorn används för detektion och triggar igång VIS, IR och radar.
- Radar och akustisk sensor används för detektion och triggar igång VIS och IR.

Avancerat system

- Den akustiska sensorn används för detektion och triggar igång IR-sensorn och radar vilka inisar lasersystemen. GV använder kortare våglängder än IR och har kapacitet att ge en bättre upplösning. GV har också betydligt längre räckvidd och förstärker klassificerings- och identifieringsförmågan.
- Radar och akustisk sensor används för detektion och triggar igång IR och GV.

9.4 Störmetoder

9.4.1 Störning av sensorer

Störmetoder kan delas in i passiva och aktiva. Med passiva avses störmetoder som inte påverkar själva sensorn. Med aktiva avses metoder som direkt verkar på själva sensorn och påverkar och försämrar dess funktion.

9.4.1.1 VIS/EO/IR

Passiva metoder är signaturanpassning (målning, isolering, nät), skenmål (attrapper, facklor) och ”blockering” (dimma). När det gäller passiv störning skiljer sig VIS och IR i det att sensorer i det visuella området är enklare att störa ut med dimmor och rök samt kamouflage.

Aktiv störning görs genom emittering av strålning i riktning mot den spanande sensorn. För att kunna tillgripa en aktiv metod måste sensorn först lokaliseras med optikspaning. Optikspanare/motmedelssystem för fordon är under utveckling. Vissa system t.ex. Stingray (se nedan) i USA var planerad i anskaffning i en första serie om 140 enheter under början av nittio-talet. Denna anskaffning har så vitt bekant inte skett. Gemensamt för dessa system är att optikspaning ingår som en väsentlig spaningsfunktion vid sidan av visuell eller termisk spaning med TV/FLIR eller IR spanare. Inriktning sker via retroreflex och/eller passiva EO sikten. Kedjan kan vara passiv spaning - aktiv spaning, som kan se inom vissa sikten eller efter IR invisning eller invisning från extern information. Laserstrålen kan låsa på retroreflex och störa/förstöra hotsensorn. Temporär bländning av TV/IR-sensorer sker vid effekttätheter av ca 10^{-5} W/cm² för TV/IR-sensorer och vid 10^{-7} W/cm² för EO bildförstärkare. Bildförstärkare är mycket känsliga för aktiv laserstörning. Resultatet av en bländning av videokamera visas nedan, figur 9.9. För att åstadkomma en permanent skada av sensorn krävs effekttätheter upp mot 10^{-1} W/cm².



Figur 9.9 Resultatet av bländning av videokamera (VIS) med 1 mW dubblad Nd:YAG-laser [27].

Nedan, figur 9.10, visas det amerikanska BOSS som är ett försökssystem ibland omtalat i namn av icke letalt vapen. Ingående sensorer framgår av figuren hämtad från nätet-annan information om hur systemet arbetar är okänd.

BOSS= Battlefield Optical Surveillance System



- IR-kamera 8-12 μm detekterar mål
- 20 W luftkyld diodlaser:
 - Detekterar optik
 - Identifierar mål
 - Belysning + lågljus TV/BF
 - 1 W 532 nm laser bländar hotet

Räckvidd: 2-5 km

Figur 9.10 BOSS.

Det system som bäst blivit känt är det amerikanska Stingray [28] som började utvecklas redan 1982 och två system användes (med framgång) under Gulfkriget. Stingray gör en skanning – en retroreflex-spaning/inmätning – efter sensorer med hjälp av en NIR-laser med låg energi varvid en liten del reflekteras tillbaka när ett optiskt system träffas. Energin hos lasern ökas då momentant i syfte att förstöra eller störa sensorn (förstörande verkanslaser mot ögon, streckplattor, bildförstärkare, TV etc.). Systemet har byggts i några exemplar men vidare utveckling och produktion är enligt W.L Machmer från Lockheed Sanders betingat av den politiska bedömningen mot bakgrund av Genevekonventionen. Man kan notera att Pentagon officiellt tillkännagett att detta system inte kommer i konflikt med Genevekonventionen eftersom det är avsett att verka mot optik och inte mot obeväpnade ögon.

Stingray uppges ha > 4 km räckvidd för både inmätning och skadeverkan. En vinkelprecision i sida på < 0.1 mrad ger tillsammans med meterprecision i avstånd en positionering av ett mål på 4 km avstånd med en meters osäkerhet relativt den egna positionen. Man täckte en 180 graders sektor på < 10 sekunder och systemet verkade mot både land och luftmål (hkp, attackflyg). Lasern var diodpumpad och våglängdsavstämbar. Skadeverkan av Stingray uppges vara permanent avseende bildförstärkare, TV-system och streckplattor i sikten. Stingraysystemet har även utvecklats i en version som kallas Combat Protection System (CPS). I detta fall monteras systemet på en HMMW (High Mobility Multiwheeled Vehicle). Här ingår FLIR, TV och lasersystem.

Stingray



Tillverkats i fåtal antal. Prövats i Gulfkriget.

Stoppad via Röda Kors konventionen ??

Laser . Avstämbar med ögonskadeverkan ut till flera km

Se brännfläckar på strv-streckplattorna !

Figur 9.11 Stingray.

Exempel på utveckling av fordonsbaserade antisensorlaser system finns även från andra länder t. ex. Ryssland [29]. Företaget Granat Design Bureau - State Unitary Enterprise, etablerades 1969 som "Laser Department of the Astrophysics Research and Production Association". Vi finner följande information avseende laserutveckling vid Granat:

- high-power pulsed solid-state lasers with low emission divergence and a pulse power of up to 2 KJ (in one laser module);
- systems with automatic aiming of high-power laser beam at reflecting (glittering) objects;
- high-power multicolor pulsed dye laser-pumped lasers with transformation of the emission wavelength;
- high-power repetitively-pulsed CO₂ lasers, including those using wave front conjugation with a pulse energy of 1 kJ and more;
- special laser-optical systems, including high-precision laser retroreflectors for converting laser emission wave front;



Figur 9.12 Exempel på "first-generation optical countermeasures laser system" utvecklat av Granat Design Bureau, Ryssland.

DIRCM-system (Directed Infrared Countermeasures) utvecklade främst för flygande plattformar, kan också användas för att skydda plattformar som stridsvagnar och olika typer av stridsfordon. Sanders i USA utvecklar TARDEC, ett integrerat motmedelssystem för stridsfordon. Trenden i USA är att göra stridsfordonen lättare varvid man behöver förbättra det "elektroniska skyddet".



Figur 9.13 Exempel på utveckling av fordonsbaserat motmedelssystem som använder laser för att vilseleda ATGM="anti tank guided missile"s. Bild Northrop Grumman.

Tabell 9.7 Optikspaning-antisensorlasersystem på fordon

Status	Försökssystem, prototyper.
Användning	Övervakning, spaning och målinmätning, följning och laserverkan genom störning, bländning eller förstörande verkan.
Samverkan av sensorerna	Termisk IR och/eller TV och/eller visuella sikten plus laserradar för upptäckt, inriktning via retroreflex. Även klassificeringsförmåga mot optik kan utvecklas. Samverkan parallellt för spaning och följning. Verkanslaserstrålens riktning bestäms av någon av de ingående sensorernas följe/pekförmåga (Laser radar, IR,TV, visuellt) manuellt eller automatisk följning.
Gruppering av sensorerna	Sitter ihop i ett paket-liten optisk integration-ofast separata aperturer. Spaningslaser och verkanslaser kan vara samma laser men inte nödvändigtvis.
Motiv	Optikspaning mycket verkningsfullt för att detektera och följa optiska hot-omedelbar verkan efter upptäckt. Invisning kan ske med scannande laser och/eller IR/TV/radar. Klassificering av optiska hot kan ske, speciellt sådana med mekanisk avsökning-metoder för igenkänning av stirrande system finns också.

Enkla manburna optikspanare/laserverkanssystem

Flera handhållna eller stativmonterade spaningssystem är i produktion och utveckling. De mest omskrivna i öppen press är det amerikanska TAS numera TLOS (figur 9.14) och ett system från CILAS (figur 9.15). Det amerikanska TLOS-systemet var sammonterat i systemet ANPLQ/5 från Lockheed Sanders som var ett kombinerat spanings- och verkansgevär. Man använder förmodligen en pulsad diodlaser och ett gatat

bildförstärkarrör för att lokalisera optik. Reflexen blir direkt synlig på bildförstärkarbilden. TLOS började levereras till US Army 1999. Kan integreras med IR och visuella sikten.



Figur 9.14 Systemet TLOS, http://www.defensedaily.com/progprof/army/nv_i2.pdf

I figur 9.15 visas det franska systemet från CILAS. Räckvidder 2-3 km. Avsökningshastigheten är ej känd. Eventuellt använder man sig av en scannande laser. Målangivelsen är överlagrad på videobild. Systemet säljs öppet även för "VIP protection" (jfr prinsessan Dianas problem med närgångna fotografer).

V.I.P. Protection

Automatic lock on target

Eye-safe
4° to 30°
\$100 W
\$ 7 kg



Designed to detect and locate any kind of optical or optronic hostile sight on the battlefield or sensitive zones









Figur 9.15 T.v. Det franska optikspaningssystemet från CILAS. En handhållen version uppges vara under utveckling. T.h. SpyFinder ett lasersystem för detektion av dolda kameror enl. tillverkaren, <http://shop.store.yahoo.com/shop-seatech/spyfinder.html>

Enkla optikspaningssystem av denna typ finns även utvecklade på flera andra håll i världen, ofta i kombination med någon verkansfunktion.

PAPV- spaning och verkan

Nedanstående underlag baseras på öppna uppgifter från FMV.

På försvarsmaterielutställningen IDEX 2003 presenterades en rysk antisensorlaser PAPV. Systemet marknadsfördes bl.a. som ”motmedel mot krypskyttar” men kan även detektera och störa eller förstöra elektrooptiska sensorer som t.ex. IR-sikten. PAPV (Perenosnyj Avtomatitjeskij Pritselnyj Vizir, ungefär ”Bärbart automatiskt siktningsikte”) är ett antisensorlasersystem som ställdes ut av det ryska företaget Nudelman Precision Engineering Design Bureau (KB TotjMasj). Systemet detekterar och förstör eller stör optiska och elektrooptiska sensorer. Exempel på användnings-områden är att upptäcka och förstöra bildförstärkare, vapen- och stridfordonssikten samt som ”motmedel mot krypskyttar”.

PAPV innehåller:

- dagsljussikte för grovriktning
- mörkersikte, troligen bildförstärkare
- sikteslaser, lågeffektlasersändare och mottagare för upptäckt av retroreflex i optik
- verkanslaser, med hög effekt, för att skada alternativt störa detektor i optiska- och elektrooptiska system.

Ett typiskt bekämpningsförlopp kan se ut som följande:

1. Avsökning eller spaning görs genom att för hand rikta utrustningen så att de önskade riktningarna avsökas. Till hjälp har operatören dagsljussikte och mörkersikte.
2. Sikteslasern sänder ut laserljus med låg effekt. Om det utsända ljuset ger någon retroreflex detekteras detta i siktet och detta indikeras med en ton i operatörens hörtelefon. En retroreflex är en reflex från en optik i t.ex. ett sikte.
3. När en retroreflex detekteras kan en verkanslaser med hög effekt kopplas in. Verkanslasern kopplas in manuellt eller automatiskt beroende på om manuell eller automatisk mod valts.

Verkanslasern kan maximalt avge 180 pulser per timme. Enligt tillverkarens rekommendationer ska lasern efter 30-100 pulser kylas i 1-2 timmar innan den kan användas igen. Efter 1000 timmar ska kylvätskan bytas.

Tabell 9.8 Uppgivna tekniska data för antisensorlaser PAPV

Verkansavstånd:	300-1500 m
Våglängd:	0,53 μm (sikteslaser) resp 1,06 μm (verkanslaser)
Pulsenergi:	0,2 J (sikteslaser) resp 2 J (verkanslaser)
Utblicksvinkel i elevationsled:	2,3 mrad (sikteslaser) resp 0,15 mrad (verkanslaser)
Pulsrepetitionsfrekvens:	6 pulser/minut (verkanslaser)
Indikeringstoner:	600 Hz (vid användning av sikteslaser), 1200 Hz (vid användning av verkanslaser)
Max antal pulser per timme:	180 pulser
Batterilivslängd	2000 pulser (vid temperaturer under -40° : ≥ 100 pulser)
Drivspänning	27 V
Vikt:	56 kg

I broschyrmaterialet anges att PAPV inte är avsett att skada mänskliga organ som inte försetts med någon form av optik. Detta gör att PAPV ej kan anses omfattas av ”Protokoll om förbud mot användning av synförstörande laservapen” (UN Inhumane Weapons Convention, Protokoll IV) då det uttalade syftet inte är att skada obeväpnade ögon (ej försedda med någon form av optik).



Figur 9.16 Det ryska PAPV systemet för upptäckt och verkan mot optiska sensorer.

Framtida optikspaning

Utveckling av kompakta spaningssystem för bl.a. upptäckt av kikarförsedda krypskyttar, robotskyttar etc. kommer att fortsätta. Ökad automatfunktion kopplad till olika verkansformer kan förväntas liksom förmåga att klassificera reflexerna från de optiska systemen, inklusive stirrande system utan mekanisk avsökning. Systemen förväntas även få multifunktionskapacitet i form av avståndsmätning, målinmätning, målbelysning, laserkommunikation etc. På mottagarsidan används CCD, bildförstärkare mm. Under utveckling är 3-D fokalplansarrayer för målinmätning, måligenkänning och intelligenta målsökare/zonrör. Dessa arrayer kommer att ha vågformssampling i varje pixel vilket

ökar detektionssannolikheten relativt bakgrunden liksom möjligheten att klassificera hotsensorn.

Kompakt scannerteknik är under utveckling, t.ex. utnyttjande mikrolinsarrayer där en dryg kubikcm stor scanner snabbt kan avsöka ca 20*20 grader. Annan teknik inkluderar MEMS (figur 9.17), SLM mm.



- **Based on optical MEMS technology**
 - Lightweight, low power, compact
 - Low cost

Figur 9.17 MEMS-baserad scanner utvecklad av Lockheed Martin.

9.4.1.2 Akustik

Passiva störmetoder är ljudgenerator och bullerdämpning. Med en ljudgenerator ändras/överlagras den egna ljudbilden vilket resulterar i att man tror sig detektera ett annat fordon/flera fordon. Bullerdämpning, vilket nog är det effektivaste sättet, ger en avsevärt kortare räckvidd.

Att aktivt störa ut en akustisk sensor är svårt. Det kan ske genom en kraftig ljudpuls på kort håll, men förmodligen är det enklare att helt enkelt störa ut mekaniskt. [13]

9.4.1.3 Radar

Man kan undvika upptäckt av radar genom att utnyttja maskerande metoder såsom signaturanpassningsteknik (SAT). För markmål kan SAT vara ett gott alternativ då även mark och vegetation ger radarklotter. Det som är svårt att maskera är rörelse som mycket lätt upptäcks av en dopplerradar. För att störa en radar kan man skapa skenmål med remsor eller andra typer av reflektorer. Man kan även ha pyrofora remsor som både ger en radar och IR signatur. Genom att aktivt generera en radarsignal kan man med brus störa ut en radar. Man kan även använda s.k. repeterstörsändare som tar emot den sändande radarns signal och sänder tillbaka den så att radarn uppfattar målet på fel position. Man kan även generera ett antal skenmål på detta sätt. Aktiva störkapslar går att utforma så enkelt att de skulle kunna släppas från luften eller skjutas in med artilleri över ett bevakat område och störa ut markbaserad radarspaning.

9.4.1.4 HPM

Högeffektpulsad mikrovågsstrålning (HPM) är en metod som kan slå mot alla typer av sensorsystem med elektronik. Mest utsatta är system med antenner avsedda för ett

frekvensområde inom vilket man kan skapa HPM pulser. All typ av elektronik som inte specifikt är skyddad mot HPM är emellertid sårbar för HPM. HPM är ett trubbigt men effektivt sätt att störa eller förstöra okända system. Med HPM kan man beroende på dess intensitet uppnå olika grader av verkan. Man kan, för höga HPM-fältstyrkenivåer, orsaka permanent skada som kan ha till följd att systemet som utsätts kräver reparation och alltså slås ut under en längre tid. Det kan då betecknas som ett verkanssystem, jämför verkanslaser [30].

9.4.2 Störning av multisensorsystem

9.4.2.1 Markbaserade multisensorsystem

Störning av tre multisensorsystem studeras

- ”LRAS3”, som representerar den kommersiellt mycket vanliga kategorin TV/IR
- Enkelt framtida system som representerar ett mobilt, manburet system, med ev. flera små enheter ingående i nätverk
- Avancerat framtida system

Om enbart resultatet av störningen betraktas kan störnivån på sensorerna grovt graderas i ”ingen påverkan”, ”detekterbar”, ”ej detekterbar”, ”total”. För systemet kan störningarna få följande konsekvenser

Totalt störd	– ingen information, avhakad
Felaktig funktion	– korrupt
Nedsatt funktion	– endast del av systemet fungerar, en följd av detekterad störning
Nästan optimal	– marginell påverkan, systemet ger korrekt information men ex. sämre S/N
Optimal funktion	– ingen påverkan

LRAS3 kan man tänka sig som ett ”renodlat” multisensorsystem som innehåller dels en datafusionering och dels en smart funktion som hakar av en störd sensor som bara tillför brus till fusioneringen. Om ovan tillämpas på LRAS3 kan ett resultat likt det i tabellen erhållas.

Tabell 9.9 LRAS3. Resultatet av störning beror av ljusförhållanden. I tabellen har antagits att en sensor bara kan vara störd då den ger en signal – således har bortsetts från ex. en störd TV-VIS nattetid vilket inte skulle ge någon påverkan.

Sensorer		Störinverkan på multisensorsystemet				
TV-VIS	IR	Totalt störd	Felaktig funktion	Nedsatt funktion	Obetydl. påverkan	Ingen påverkan
Total	Ingen			X (klart)	X (dis)	
Total	Det			X		
Total	Ej det		X			
Total	Total	X				
Ej det	Ingen			X		
Ej det	Det		X (klart)	X(dis)		
Ej det	Ej det		X			
Ej det	Total		X			
Det	Ingen			X		
Det	Det			X		
Det	Ej det		X(dis)	X(klart)		
Det	Total			X		
Ingen	Ingen					X
Ingen	Det			X(dis)	X(klart)	
Ingen	Ej det		X(dis)	X(klart)		
Ingen	Total			X		

Som framgår av Tabell 9.9 erhålls många fall redan vid ett minimalt enkelt multisensorsystem med två sensorer. Dock har ej beaktats om alla fall är sannolika. För en IR-sensor kan ”totalt störd” vara resultatet av aktiv laserstörning. Är det sannolikt att laserstörning helt skulle störa ut den ena optiska sensorn och lämna den andra helt opåverkad?

Störning av de två övriga multisensorsystemen nedan diskuteras utifrån vad som förefaller vara mest sannolikt.

Manburet enkelt system

För att helt undvika att systemet detekterar närvaro bör varken den akustiska sensorn eller radarn detektera närvaro. Således bör förflyttning ske tyst och utan vibrationer. Man bör dessutom ha signaturanpassat sig för att smälta in i bakgrundsklottret. Ett problem med detta är att radarn är av dopplertyp och lätt detekterar rörelser. Lyckas man undgå upptäckt av radarn och den akustiska sensorn startar eventuellt ej de andra systemen varför man ej behöver beakta dem. Man kan inom området fälla aktiva störsändare mot radarn. VIS och IR kan eventuellt bemästras med kamouflage. Optikspanare och störlaser är en aktiv metod mot VIS/EO/IR.

Är systemets samtliga sensorer i drift krävs förmodligen en kombination av störåtgärder för att störa systemet.

Avancerat system

Detta system fungerar som ovan men har en bättre IR sensor som försvårar störning av denna. Det laserbaserade systemet med "gated viewing" är svårstört. Det ger information med god upplösning i tre dimensioner. Dess nackdel är att det bör in visas av andra sensorer då det tar tid att avsöka ett stort område med systemet. Har man lyckats att störa ut samtliga andra system blir systemets prestanda kraftigt degraderad även då GV är ostört.

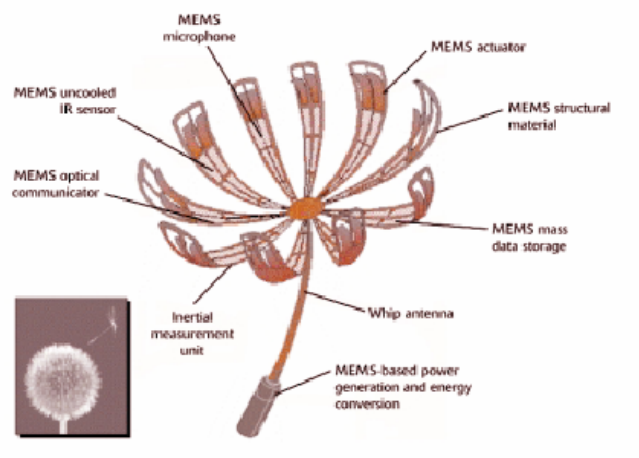
9.5 Fortsatta studier

- Testa inverkan av störmetoder på multisensorsystem med ett simulerverktyg (modellering) av något slag
- Verifiera resultatet med att testa störning av ett riktigt multisensorsystem.
- Det finns rikligt med litteratur som behandlar störning av långgräckviddiga spaningssensorer. *En* trend är att systemen blir allt mindre, billigare och enklare. Vad innebär dessa små (många, utspridda) enheter ur störsynpunkt ?

Dagens minsta
IR-sensorer
(OmegaTM från
Indigo Systems)



Framtidens mikro-
sensor, ev.
kamouflerad till en
blomma



Figur 9.18 Mikrosensorer.

10 Ett fiktivt spaningssystem

Peter Klum, Börje Andersson, Bengt Boberg, Göran Bolander, Staffan Gadd, Claes Nelsson

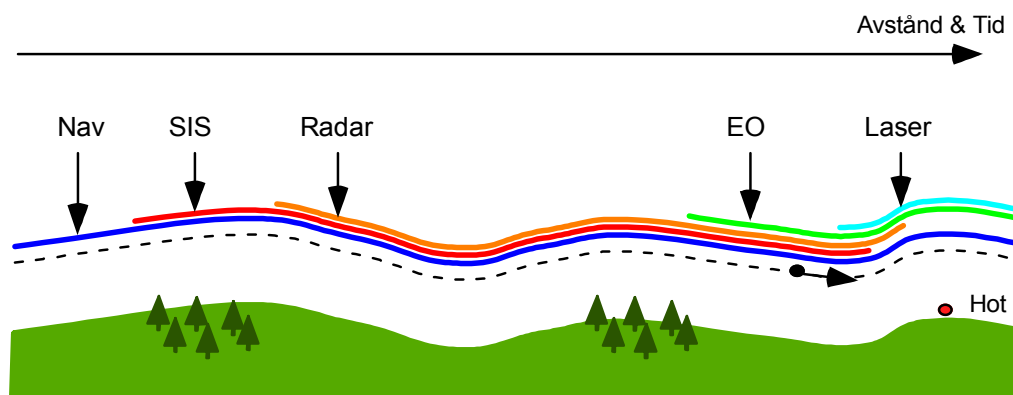
I gruppen spaningssystem har en fokusering skett på att försöka beskriva ett fiktivt framtida flygande spaningssystem. Det flygande systemet avses kunna detektera, klassificera och identifiera olika markhot. Plattformen skulle kunna vara en UAV eller en helikopter. Tabell 10.1 utgör en sammanställning över tänkbara sensorer och deras egenskaper. Kolumn A/P avser Aktiv eller Passiv sensor.

Tabell 10.1 Spaningssystemets sensorer

Grupp	System	A/P	<10 km	>10 km	Störning/SAT	Notering
SIS	Kommunikation	P	X	X	Störning försvåras av att SIS-sensorn är passiv. SAT möjliggenom signaler med låg signatur (LPI).	God klassificeringsförmåga, kan i vissa fall identifiera individ.
	Radar	P	X	X		
Radar	Parasiterande radar, RadarSIS	P		X	Svårt att avgöra vid vilken frekvens störningen ger verkan. Svårt med SAT.	Nyttjar civil trafik. Exotisk teknik
	SAR+GMTI	A		X	Störning se [35] SAT	Kräver scanning, god kontroll på position
	VHF SAR	A		X	Störning se [35] SAT	Kräver scanning, god kontroll på position
	mm-våg	A	X	X		Identifikation mha doppler
EO	Visuellt	P	X		SAT	
	IR	P	X		SAT	
Laser	GV	A	X		Svårstört pga smala lobar och korta exp. tider.	
	LIDAR	A	X		Svårstört pga smala lobar och korta exp. tider.	Vibrationsanalys
	Optikspanare	A	X		Svårstört pga smala lobar. Skenmål ev. effektiva.	

Den flygande spaningsplattformen kan anses ha en orealistisk sensorkombination (i alla fall ekonomiskt) men syftet har varit att se huruvida olika sensorkombinationer kompletterar varandra. Denna sensoruppsättning har dock mer använts för studie av hur störstrategier skulle kunna ske.

Rent generellt fann vi att systemen sammantaget fungerar som invisande/stöttande (från tabellens topp till botten) och i några fall kan de vara kompletterande som i fallet mm-våg/IR.



Figur 10.1. Denna figur visar vilka sensorer och system som kan användas beroende på avståndet till hotet med en aktiv användning av sensorer.

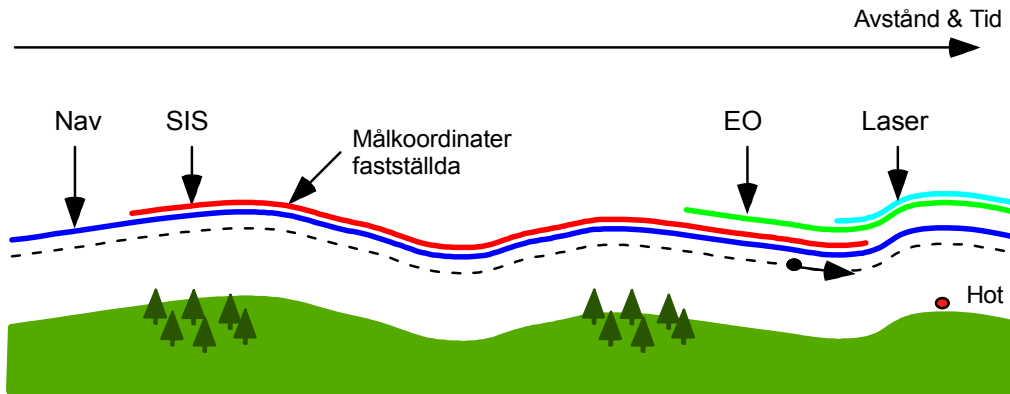
Navigations- och TN system kan fungera som limmet mellan olika invisande/stöttande system för att ensa sensordata från de olika sensorerna vid överlämningar. Det är dessutom viktigt att systemet känner sin position väl för att kunna lämna en riktig position på hotet vidare till andra system.

Tabell 10.2 Navigationssystem

Grupp	System	A/P	<10 km	>10 km	Störning/SAT	Notering
NAV	GPS	P	X	X	Störning satellit	
	Terrängföljning	A/P	X	X	Möjligt mot terrängföljande sensor.	

Navigationssystem skulle också kunna ersätta vissa sensorer med en ”tyst gång” under ett attackförlopp om tillräcklig invisning kan fås från t.ex. en SIS (hotet identifieras och positioneras genom egen sändning), med syfte att plattformen ska kunna verka passivt under en större del av förloppet.

När antalet tillgängliga GPS satelliter minskar p.g.a. avsiktlig störning så ökar felen för ett integrerat GPS/TN system. Navigationsystemets osäkerhet ökar i närheten av hotet då det är troligt att det här finns en bredbandig störare i frekvensbandet för GPS.



Figur 10.2. Denna figur visar vilka sensorer och system som kan användas beroende på avståndet till hotet med en del aktiva sensorer utelämnade för att ha en "tyst gång" i närmandeförloppet.

Även om stöttning och komplettering mellan olika sensorer ger fördelar vad avser förbättrad inmättningsnoggrannhet och störtlighet så finns nackdelar. Den fördel som ett rent passivt system har går till viss del förlorad då den kombineras med ett aktivt system, då det aktiva systemet signalerar dess förekomst.

10.1 Störstrategier

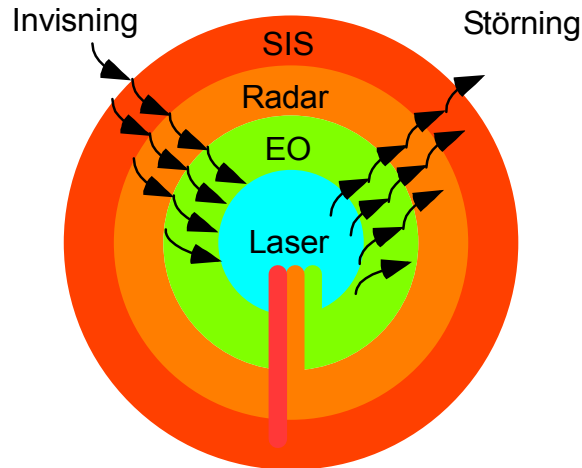
I kapitlet diskuteras olika störstrategier mot olika typer av sensorkombinationer (invisande, stöttande och kompletterande). I sammanställningen har dessa gjorts renodlade, men troligen är systemkedjorna kombinationer av sensorer som arbetar invisande, stöttande och kompletterande.

10.1.1 Invisande systemkedja

Ett rent invisande system bör ej kunna klassificeras som ett multisensorsystem då den ena sensorn överlämnar invisningsinformation till den bättre fokuserade sensorn utan överlappning. Denna typ av sekvenskedja blir lätt att störa då störningen mot ett sådant system varken behöver vara multispektral eller multispektralt korrelerad vad avser skenmålsbeteende. Vid invisningsförfarandet kan t.ex. en enkel brusstörning förhindra systemet att invisa bättre fokuserade sensorer som EO och Laser. Vid etablerad följning hos en sensor kan en lyckad avhakning/vilseledning leda till måltappande varefter en sämre fokuserad sensor får träda i kraft för att leta upp målet och återinvisa den störda sensorn. Detta avhakningsförlopp skulle kunna ske i en sekvens från den mest till den minst fokuserade sensorn men kan även hoppa över något "skal". Vid krav på t.ex. passiv spaning kan radarn hoppas över från SIS till EO.

10.1.2 Stöttande systemkedja

I den stöttande systemkedjan stödjer sämre fokuserade sensorer kontinuerligt bättre fokuserade sensorer. Den huvudsakliga målinformationen fås dock från den bäst fokuserade sensorn.



Figur 10.3. Figuren visar hur ett multisensorsystems förmåga att mäta in ett mål ökar med att antalet sensorer som samverkar ökar. De minskande cirklarna illustrerar en minskad onoggrannhet; ett bättre fokus.

Denna systemkedja blir svårare att störa ju fler sensorsystem som stöttar målinmätningen. En effektiv störning då stöttning har etablerats kräver att de inblandade systemen kan störas effektivt enskilt. Vid en etablerad EO följd som mest fokuserad sensor skulle t.ex. facklor som avhakning mot EO, och tyst uppträdande från plattformen samt brusstörning från annan plattform mot radarföljningen, kunna vara effektiv (brusstörning från den egna plattformen skulle kunna detekteras av SIS systemet vilket skulle få störstrategin att falla). Rent avhakande störning mot inblandade system blir svår då denna kräver multispektral korrelering vad avser skenmålets beteende vilket annars resolveras i datafusionen som störning. Störningen bör sättas in så tidigt som möjligt mot den minst fokuserande sensorn.

10.1.3 Kompletterande system

Mot ett sådant mer fundamentalt korrekt multisensorsystem kommer fusionen att spela en större roll. Beroende på hur detektioner görs i de olika sensorerna och fusioneras bör olika slutsatser om målförekomst kunna dras.

Anta att vi har två kompletterande sensorer (sensor 1 och sensor 2). RoE (Rules Of Engagement) eller datafusionen kräver att bägge sensorerna indikerar mål för att en målkandidat ska presenteras.

		Sensor 2	
Detektion		0	1
Sensor 1	0	Ökad sannolikhet inget mål eller multispektralt signaturanpassat mål	Mot sensor 1 signaturanpassat mål eller Skenmål mot sensor 2
	1	Mot sensor 2 signaturanpassat mål eller Skenmål mot sensor 1	Ökad sannolikhet mål eller multispektralt signaturanpassat skenmål

Figur 10.4. Matris som visar de fall som uppstår vid kombination av två kompletterande sensorer.

Vid ett normalt närmandeförlopp

- 00: Om inget mål eller ingen uppenbar störning indikeras i någon av sensorerna kan detta tolkas med hög sannolikhet som inget mål men även vara ett multispektralt signaturanpassat mål.
- 01, 10: Identifierar bara den ena sensorn ett mål kan detta tolkas som ett skenmål mot sensorn eller ett signaturanpassat mål mot den andra sensorn.
- 11: Indikerar båda sensorerna måldetektion kan det med hög sannolikhet tyda på ett mål men även ett multispektralt korrelerat skenmål.

Vid en plötsligt samtidig detektion (målet kommer fram ur terrängmask)

- 11: Indikerar båda sensorerna måldetektion kan det med hög sannolikhet tyda på ett mål (i högre grad än ovan) men kan även vara ett multispektralt korrelerat skenmål.
- 01, 10 Om målet försvinner i ena kanalen kan det tyda på en ev. maskerande störning
- 00: Om målet försvinner i bägge kanalerna kan det tyda på en ev. maskerande störning eller att målet hamnar i mask igen. (Stöttning med en terrängdatabas kan vara till god hjälp)

Målbeteende över tiden i ett statusläge bör kunna nyttjas för att avgöra huruvida målet är sant eller falskt.

10.2 Fusion

Man kan utföra fusion av sensordata på olika sätt utifrån olika strategier.

Tidig respektive sen fusion

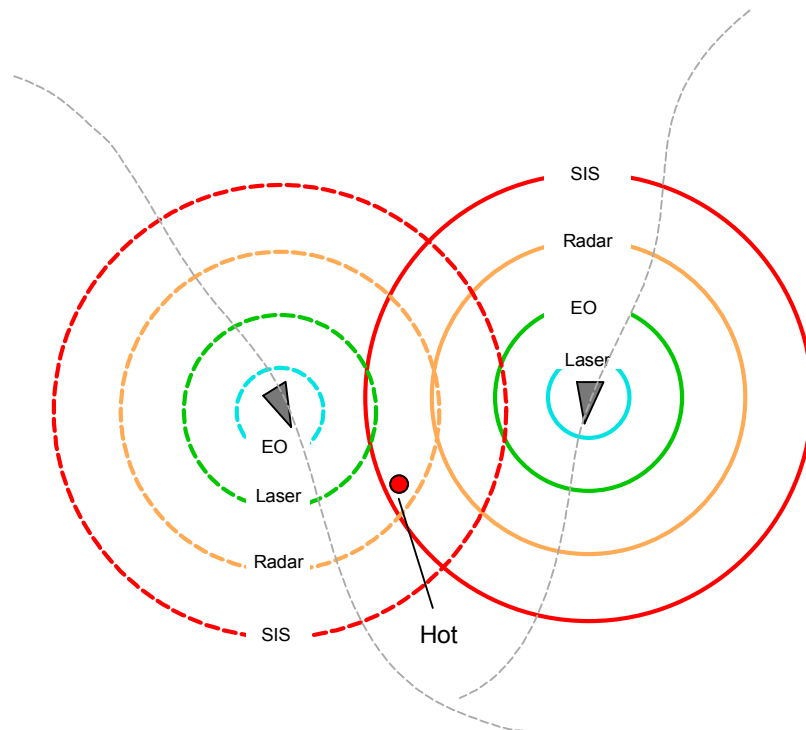
Man kan ha sensornära rådatafusion respektive fusion av filtrerade värden, t.ex. målplottar. Vid sen fusion där t.ex. målplottar från olika sensorer fusioneras finns det risk för att information förloras om den filtreras bort vid respektive sensor innan fusion sker. Sensorvärden bör dessutom sparas i en tidssekvens för att möjliggöra jämförelser i tiden och för uppbyggnad av eventuella målspår.

Intern respektive extern fusion

Vid extern sensornära fusion ska mycket data skickas till fusionsnoden vilket medför bandbreddsproblem. Vid extern fusion öppnas även för möjlighet till störning av t.ex. datalänken till fusionsnoden.

Lokala eller distribuerade samverkande sensorer

Möjlighet till sensorsamverkan förändras under uppdraget. Olika typer av komponenter samverkar vid olika tidpunkter. Detta ändras dynamiskt beroende på vilka komponenter som har bäst information vid respektive tillfälle.



Figur 10.5. Samverkan mellan två sensorsystem.

11 Multisensorsystem i robotar

Nils Karlsson, Anders Eneroth, Staffan Gadd, Christer Wigren

Vi har valt att studera tre olika fall: sjömålsfallet, markmålsfallet och luftmålsfallet. För varje fall har vi valt ett antal generiska robotar med olika typer av sensorkombinationer.

11.1 Sjömålsfallet

Diskussion om scenariet: sjömålsrobot och dess mål

Sjömålsrobotarna kan enligt scenariot vara av typerna: aktiv radar och imaging IR (RR/IIR), aktiv radar och signalsökande radar (RR/ARM), signalsökande radar och imaging IR (ARM/IIR).

Vid diskussionerna framkom att det är svårt att veta vilken typ av robot som anfaller. Med signalspaning vet man om det är en aktiv radarrobot som anfaller. Typiskt kan man tänka sig att en aktiv radarmålsökare öppnar på ca 20 km avstånd. Den kan vara i kombination med ARM och IR.

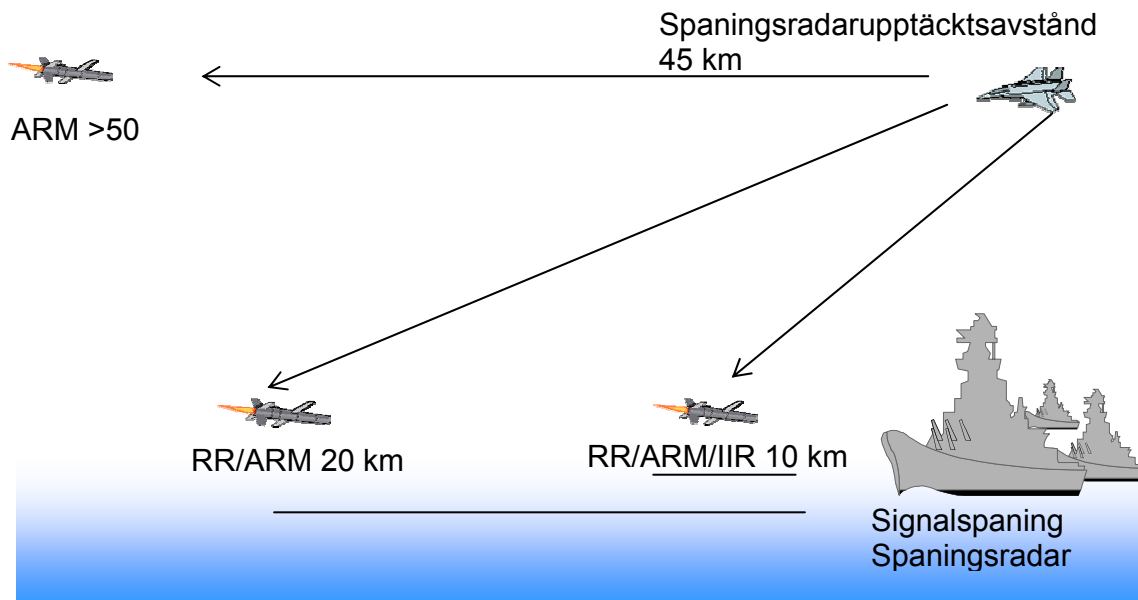
Upptäcker fartyget med sin spaningsradar en inkommande robot utan att få indikation från signalspaning kan det vara en helt passiv robot av typen ARM/IIR. Det skulle även kunna vara en kombination med aktiv radar där man ännu inte öppnat målsökaren, t.ex. RR/ARM. Den signalsökande målsökaren kan verka på mer än 50 km avstånd, förutsatt att den är över horisonten.

Genom att belysa roboten med laser och studera retroreflexer kan man avgöra om det är en IR robot och till viss utsträckning göra en klassificering av vilken typ av IR målsökare roboten har.

Utifrån räckvidder för olika system ARM 50-60 km, RR 20 km, IR ca 10 km kan man välja störsätt. Man bör hela tiden beakta att roboten kan ha en passiv signalsökare som fungerar på minst 50 km avstånd eller är begränsad av radarhorisonten. En ARM kan på stort avstånd skickas mot målområdet i en riktning med öppen målsökare med eller utan att låsning på målet. Den kan även få koordinater för målet och öppna målsökaren på närmare avstånd. Då roboten är inom 20 km avstånd kan den öppna sin aktiva radarmålsökare. Mot en aktiv radarmålsökare bör man inleda med maskerande störning. Denna störform är uthållig i tid och kan maskera dels den egna plattformen men även andra enheter. (Med tanke på ARM kan kanske en offboard störare vara intressant.)

Då roboten är inom 10 km avstånd kan en eventuell IIR målsökare användas. Man kan nu använda en laserstörare för att dels störa IR målsökaren samt genom tolkning av retrosignalen få en uppfattning om målsökartyp. För att laserstöringen ska fungera måste målsökaren oftast vara riktad mot denna. För att kunna störa åt andra enheter på detta sätt krävs stora effekter.

För att störa IIR-målsökaren kan rök anpassad för aktuellt våglängdsområde användas. Röken maskerar målet för IIR målsökaren. Remsor kan även skickas ut för att skapa skenmål för radarmålsökaren. Man kan tänkas använda pyrofora remсор för att skapa ett skenmål både för radar och IIR. Det är dock troligt att en IIR kan särskilja att det ej är en korrekt IR bild.



Figur 11.1. Sjömålsfallet med räckvidder för olika sensorer markerade

11.2 Markmålsfallet

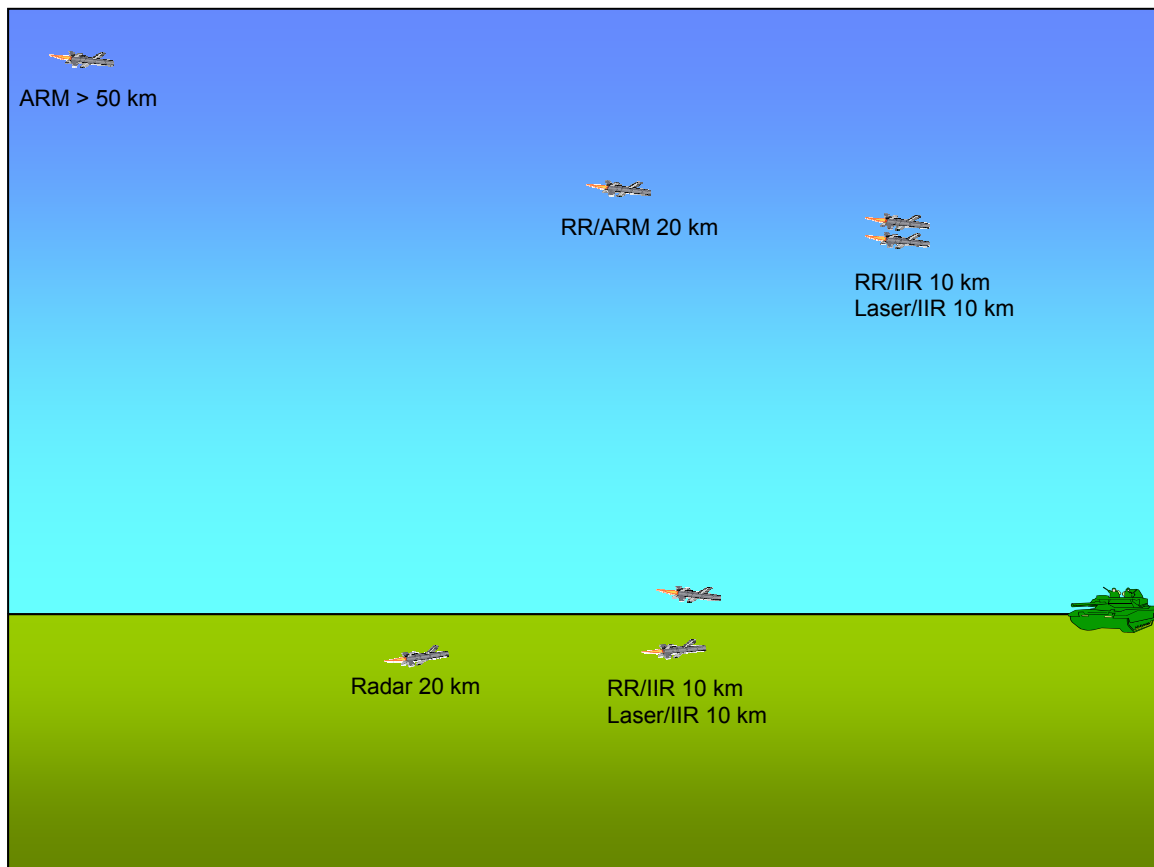
Den målsökarkombination som främst skiljer sig från sjömålsfallet är laser och IIR kombinationen. Man kan tänka sig laserradar (LADAR). Ladar har räckvidd på 30-40 km beroende på lasereffekt och väder. Upplösning i vinkel är 50 μ rad och kanske 10 cm i avstånd, vilket ger avståndsupplöst avbildning. Kan användas till urskiljning av mål samt målklassificering. En realistisk räckvidd för LADAR i målsökartillämpning är förmodligen ca 10 km, d.v.s. samma som för IIR. Systemet kan störas genom att en laser lyser in i mottagarens synfält. Eventuellt kan detta ske något från sidan om man har god signalövertakt. Moln, rök, lövverk m.m. dämpar signalen. Signalen kan emellertid utnyttja luckor i maskeringen. Dock dämpas signalen då den ska igenom de dämpande områdena två gånger [31]. IR kan fungera vid 15 km avstånd, men ger här endast upptäckt (ca två pixlar upptas av målet). Vid ca 7 km avstånd kan man få en målsilhuett. IR kan ha 0,1 mrad vinkelupplösning och se i ett 5 graders vinkelområde. Man har information från laser som ej fås från IR, nämligen avståndsinformation och kan bilda en 3D bild. Man får även signal från "kalla" ytor.

Flera fall föreligger beroende på om roboten kommer med strykande infall eller s.k. toppattack och om fordonen rör sig eller är stilla. I markfallet är det svårt med kontrast mot bakgrunden.

Laserstyrda vapen styr mot en laserfläck från en belysare. De kan eventuellt luras av en laserfläck som via fiber genereras vid sidan om. Fläcken måste förmodligen efterlikna originalfläcken avseende våglängd och pulsform o.s.v. Lasermålsökare med god upplösning kan vara svåra att lura på detta sätt.

Man kan störa mot radar på större avstånd samt maskera mot upptäckt från IR och laser på kortare avstånd. Maskering är svår då man är under rörelse. Mot ARM kombinationer finns t.ex. motmedelssystemet "Gazetchik" med larmradar och skensändare mot signalsökaren, men även kombinerat med remskastare för att klara kombinationen RR/ARM och "aerosol dispenser". Se även referens [32, 33].

Utifrån de sensorkombinationer vi valt är sensorerna verksamma i avstånd enligt figur.



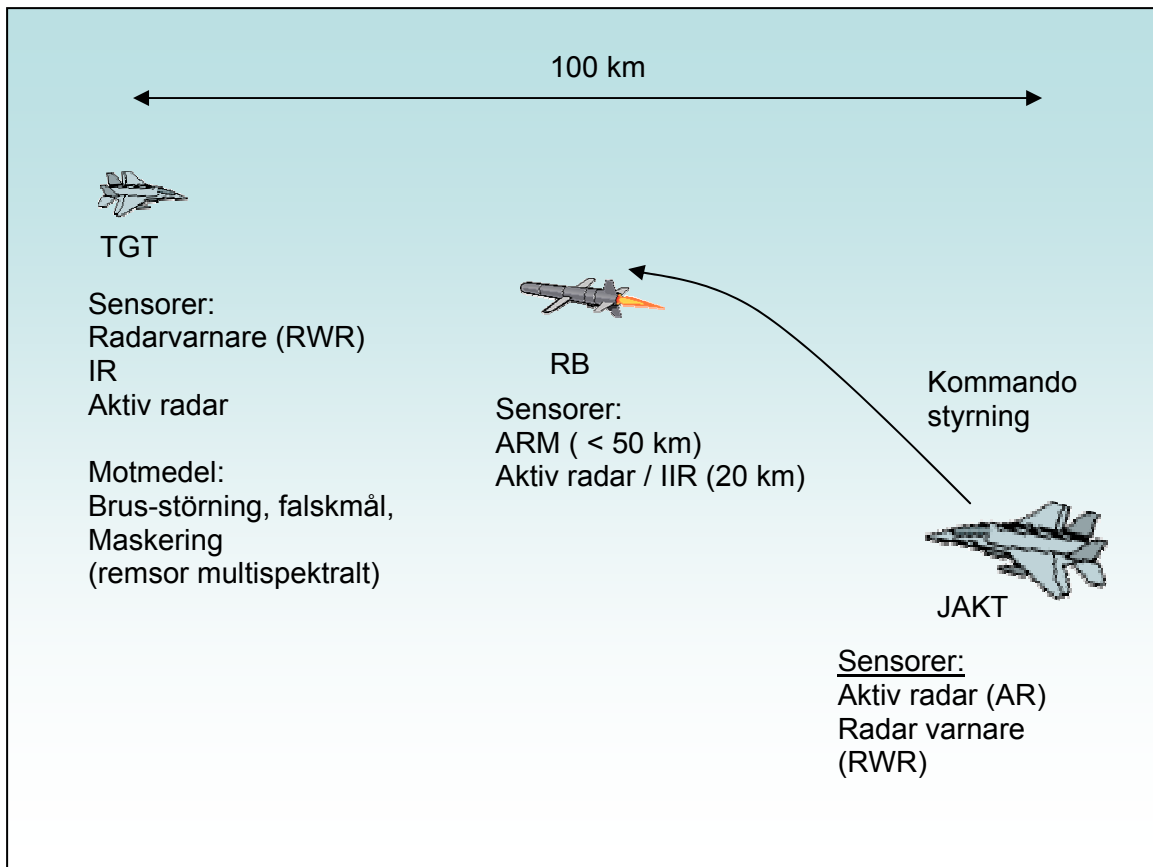
Figur 11.2. Markmålsfallet med räckvidder för sensorer markerade

11.3 Luftmålsfallet

Luftmålsfallet är uppdelat i två fall: jaktrobot och luftvärnsrobot

11.3.1 Jaktrobot

Ett scenario med en jaktrobot som styrs av ett flertal sensorer har studerats. Roboten styrs initialt med kommandostyrning från jaktflygplan som får sensorinformation från radarvarnare och aktiv radar alternativt ettIRST system. Roboten är själv utrustad med signalsökare (ARM) och aktiv radar, alternativt IR. På stort avstånd, från ca 100 km, styrs roboten via kommando från jaktflygplanet. Om målet då stör jaktflygplanets radar med brus kan roboten använda ARM för "home-on-jam" för styrinformation. Då roboten närmar sig målet ytterligare kan den använda egen aktiv radar (t.ex. mm-våg) för att vara på frekvensband som är ostört eller IIR. Målet kan nu använda sig av maskerande remsor, helst multispektrala, för att maskera sig mot radar och samtidigt utföra en undanmanöver. Roboten använder eventuellt endast en sensor åt gången, men beroende på störsituationen kan man genom systemets uppbyggnad välja hur man mäter in målet.



Figur 11.3. Luftmålsfallet med jaktrobot

11.3.2 Luftvärnssystem

När det gäller luftvärnssystem har vi valt det existerande luftvärnssystemet SA-8. SA-8 är ett ryskt luftvärnssystem som i huvudsak är radarbaserat men har möjlighet till robotstyrning med TV målföljning. Detta innebär att om man använder radarstörning kan en skicklig operatör fortfarande styra roboten mot målet med hjälp av TV-målföljaren. Detta förutsätter att det finns optisk sikt. Man kan därför ej störa ut systemet med enbart radarstörning. Det är även svårt att störa eldledningsradarn, [33, 34].

12 Referenser

En stor del av denna rapport grundar sig på kunskap från författarna. Utöver de referenser som redovisas nedan finns det även ett antal hänvisningar till de inventeringsresultat som finns som bilaga.

- [1] M. Karlsson, J. Nygårds, "Systemspecifikation, mätsystem IRmm", FOI-R--0285--SE, 2001.
- [2] M. Karlsson, A. Lauberts, "Användning av datafusion vid klassificering av markmål, en inledande studie", FOI-R--00-01655-314--SE, 2000.
- [3] L. Carlsson, M. Gustafsson, P. Hermansson, M. Karlsson, N. Karlsson, A. Lauberts, F. Näsström, M. Wilow, "Multisensormålsökare, klassificering av markmål med datafusion", FOI-R--0652--SE.
- [4] Wu, Xuezhong, "Theoretical perspective in multi-sensor fusion," *Proceedings of SPIE* vol. 3832, pp 163-169, 1999.
- [5] *Telekrig Lärobok för armén*, (M7746-168001), Försvarsmakten, Stockholm, 1997.
- [6] J. Malmström, "Robust Navigation with GPS/INS and Adaptive Beamforming," FOI-R--0848--SE, 2003 (under tryckning).
- [7] P. Strömbäck, "Centralized GPS/INS integration for urban navigation," FOI-R--0847--SE, 2003 (under tryckning).
- [8] <http://www.cmccinci.com>
- [9] K. Chrzanowski, "Testing of military optoelectronic systems", *Opto-Electronics Review*, 9 (4), 2001
- [10] <http://www.cedip-infrared.com>
- [11] <http://www.darpa.mil/mto>
- [12] <http://www.lceo.com>
- [13] Hans Habberstad; muntlig kommunikation
- [14] <http://www.combat-online.com/sensors.htm>
- [15] Ground surveillance radar, Squire, Product description, Hollandse Signaalapparaten B.V. 1997.
- [16] <http://www.thales-airdefence.com/medias/RB12.pdf>
- [17] F. Näsström m.fl., "Intelligenta verkanssystem, slutrapport av genomförda aktiviteter år 2000," FOI--R-0746--SE, februari 2003.
- [18] O. Steinvall, H. Olsson, G. Bolander, C. Carlsson, and D. Letalick, "Gated viewing for target detection and recognition," *Laser Radar Technology and Applications IV, Proceedings of the International Society for Optical Engineering, SPIE*, vol. 3707, pp. 432-448, April 1999.
- [19] Lena Klasén, Ove Steinvall, Göran Bolander, Magnus Elmqvist, "Grindad Avbildning – Inledande prov vid långa avstånd," FOI-R--0302--SE, december 2001.
- [20] Lena Klasén, Ove Steinvall, Göran Bolander, Magnus Elmqvist, "Gated Viewing in the atmosphere: A study of performance limits," *Laser Radar Technology and Applications VI, Proceedings of the International Society for Optical Engineering, SPIE*, April 2002.
- [21] <http://www.raytheon.com>
- [22] <http://www.army-technology.com/contractors/navigation/l-3/>

- [23] <http://www.systems.textron.com>
- [24] C. Rasmussen, "Combining Laser Range, Color, and Texture Cues for Autonomous Road Following," *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Washington, DC, May 2002.
- [25] *Multisensor, Multispectral Developments*, Sensors for Army Transformation, Dr Milton, Night Vision and Electronics directorate, Fort Belvoir Virginia, föredrag på OPTRO Paris, 2002.
- [26] *Journal of Electronic Defence*, vol. 26, no. 4, April 2003.
- [27] H. Kariis, S.Svensson, "Skydd mot laser – en introduction," FOI-R—0266--SE, november 2001.
- [28] W. L. Machmer, "Laser Counter Measures Sets," *Conf. on Battlefield Lasers and Laser Countermeasures*, SMI Ltd., London Nov. 17-18 1998.
- [29] http://www.milparade.com/2001/48/03_05.shtml
- [30] FOI orienterar om "Electromagnetiska vapen och skydd" nr 1, 2001.
- [31] M. Karlsson, A. Lauberts, D. Letalick, S. Nilsson, J. Nygårds, "Laserradar/ IR/ Millimetervågsradar i målsökare", FOA-R--00--01552-314--SE, 2000.
- [32] R. C. Passmore, R. E. Hayes, "Perspectives on army multispectral missile seekers", *Gaciac Bulletin*, vol. 19, no. 2, June 1996.
<http://wstiac.alionscience.com/Bulletins/BULL192.HTML> (2003-04-04)
- [33] *Sensor fusion for EW*, <http://www.aisri.com/~gister/ew.html> (2003-03-12)
- [34] <http://fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/sa-8.htm>
- [35] J. Einarsson, "Signalanalys och val av störsignal mot syntetisk apertur radar", FOI-R--0526--SE, 2002.

BILAGA

Innehåll

Multisensorsystem med laser.....	57
<i>Bildgenererande system med laser</i>	57
Marina sensorsystem, sök- och övervakningssystem.....	57
Marina sensorsystem, vapenkontroll samt siktes och styrsystem.....	58
Marina sensorsystem, optroniska master.....	59
Tornsensorer, optroniska master.....	59
Mastmonterade sensorsystem, optroniska.....	60
Mark fristående: Målövervaknings och inmätningssystem	61
<i>Lasersvapen</i>	61
Riktade energivapen.....	61
<i>Laserstörare</i>	62
Flygburna Laserstörare	62
Mark-Laserstörare.....	63
Handburna Laserstörare	63
<i>Optikspaningssystem</i>	64
Marksystem för optikspaningssystem	64
Handhållna system för optikspaning	64
<i>Laserstyrning och laserstyrda system</i>	64
Ledstrålesystem.....	64
Belysarsystem (Pekarsystem)	65
Inmätningssystem (Målutpekningssystem)	66
<i>Styrning med akustiska sensorer</i>	67
Robotar med akustisk sensor	67
Minor	68
<i>Sensornätverk med akustiska sensorer</i>	68
ADUGS	68
UMBRA	69
<i>Referenser</i>	69
Inventering av multisensorer med passiva optiska system.....	70
<i>Inledning</i>	70
<i>TV-kamera (VIS) och IR-sensor</i>	71
<i>IREMBASS</i>	74
<i>Terrain Commander</i>	75
<i>IR, TV och laserradar ("XUV")</i>	76
<i>IR, laseravståndsmätare och GV</i>	77
<i>(Visuell) IR, mm-vågsradar</i>	80

Multisensorsystem med radar som ingående sensor i robotar	81
<i>Robotar/målsökare</i>	81
Advanced Anti Radiation Guided Missile, AARGM	81
ARMIGER	81
Common Modular Missile	82
Dual Range Missile	82
IR-mm	82
Rb-15	82
Zvezda Kh-31 (AS-17 Krypton).....	82
<i>Robotar med navigation och/eller kommandostyrning, radar ingår</i>	83
Raduga KSR-5 (AS-6 Kingfish).....	83
SSC-4 Slingshot	83
C-101 / YJ-16.....	83
C-801 YJ-1 / YJ-8 (Eagle Strike)	83
C-601 / YJ-6.....	84
BGM-109 Tomahawk	84
AGM-130A	84
AS.34 Kormoran	84
Type 80 ASM-1.....	84

Multisensorsystem med laser

Ove Gustavsson

Den här givna listan på system är tänkt som en indelning i och en uppräknings av typiska elektrooptiska system. De givna exemplen under varje del rubrik är inte en komplett lista med skall kunna användas som lista på exempel för att studera typiska system eller uppsättningar.

Bildgenererande system med laser

Marina sensorsystem, sök- och övervakningssystem

Dessa system benämns på engelska som "surveillance" och "Infra-red search and track". De system som benämns "surveillance" har möjlighet att innehålla laseravståndsmätare (vanligt).

- **Namn eller beteckning system**

Ball Aerospace All-light-level Marine Television Camera (ALLMTV)
Boeing Thermal Imaging Surveillance system (TISS)
Boeing NMMS
ELOP AdvancedIRST system
FLIR Systems SeaFLIR
SAGEM VAMPIR (DIRV-1A)/VAMPIR MB (DIBV-2A)
Thales Optronics ARISE
Thales, Spar Aerospace SIRIUS
Vistar IM405 family

- **Beskrivning (kort)**

Här tas endast sök- och övervakningssystem upp som minst har dubbla våglängdsband. Funktionen är annars som ett normalt övervakningssystem för marin applikation. Systemet består av kamera med optik som har ett eller två synfält på ca 1-5° respektive 10-20° samt ett stativ för att kompensera för fartygsrörelser. Synfältets storlek är beroende av val av sensortyp, d.v.s. ifall det är TV-, MWIR- eller LWIR-sensor.

Laser är ofta av ögonsäker sort med räckvidder från 0,3 km till ca 5 – 10 – 20 km, räckviddsupplösning 5 m, våglängd 1,54 µm, stråldivergens ca 1,50 mrad (max), uteffekt 10 MW, PRF ca 1 – 12 Hz. Kan i vissa fall användas som laserutpekare.

I systemet ingår presentationsutrustning som innehåller både mjukvara, monitor och styrkonsol för inriktning av synfältet. I mjukvaru-uppsättningen ingår ofta målföljare.

- **Sensorsystemets status**

Stor användning på hos i stort sett alla marina enheter med ytbevakning som deluppgift. Förekommer ofta även hos kustbevakningen samt i tullorganisationer.

Marina sensorsystem, vapenkontroll samt siktes och styrsystem

De här upptagna siktes- och styrsystemen är fristående enheter som placeras på lämplig plats på fartyget. Det finns naturligtvis vapensikten som har i stort sett samma funktion och prestanda som kan monteras direkt på vapnet eller vapenstativet. De senare systemen räknas inte upp här.

- **Namn eller beteckning system**

Alenia Marconi Medusa Mk3
Alenia Marconi Systems NA 10
BAE Systems Sea Archer 30 (GSA 8)
Brashear Systems LSEOS Mark II/ Mark III/ Sea Hawk
FABA DORNA (utrustad med radar)
ELOP Multisensor Stabilised Integrated System (MSIS)
Oerlikon Contraves Seagurad/TMK-EO
Radamec System 1500
Radamec Series 2400
Radamec System 2500
Saab Bofors Dynamics EOS-400/450
Saab Tech 9LV 100
Saab Tech 9LV Mk3E
Saab Tech CEROS 200
SAGEM EOMS
Thales LIROD Mk2

- **Beskrivning (kort)**

Systemen består av optroniska övervakningssystem (elektrooptiska sikteskameror för antingen visuellt ljus, NIR- eller IR-strålning), avståndsmätarlaser, stativ för att kompensera för fartygets rörelser samt skytt- eller presentationsutrustning. Till dessa hårdvaruutrustningar krävs avancerade mjukvarusystem (i vissa fall dedicerad elektronik) för att upptäcka, låsa samt följa mål.

Laser är ofta av ögonsäker sort med räckvidder från 0,3 km till ca 5 – 10 – 20 km, räckviddsupplösning 5 m, våglängd 1,54 μm , stråldivergens ca 1,50 mrad (max), uteffekt 10 MW, PRF ca 1 – 12 Hz. Kan i vissa fall användas som laserutpekare.

Övervakningskamerorna:

TV-CCD klarar ca 10 lux till 200 klux utrustad med zoomlins och AGC.

MWIR typiskt InSb FPA detektorer med två optiska syn

LWIR typisk

Stabilitet hos siktlinjen typiskt 20 μrad , ett exempel rapporterar att de klarar styrning till 0,8 mrad vid sjöstillstånd 3 (fartyg okänt ev. korvett). Vridbart runtom. Vridhastighet 60 – 90 $^{\circ}/\text{s}$

Det finns system som är utrustade med radarsensorer för övervakning och styrning.

- **Sensorsystemets status**

Denna typ av utrustning finns på i stort sätt alla fartyg med styrda vapen som automatkanoner, robotar etc. för övervakning försvar.

- **Användningsområde**

Vapenstyrning och för identifiering eventuell kontroll av identitet, undantagsvis för övervakning och spaning.

Marina sensorsystem, optroniska master

I dagligt tal benämnt periskop men med optronisk utrustning.

- **Namn eller beteckning system**

Kollmorgen Model 76
Kollmorgen Model 90
LOMO PLC Classical periscope
LOMO PLC non-retractable periscope
Raytheon Nessie Gen II program
SAGEM attack periscope (APS)
SAGEM search periscope (SPS) (PIVAIR)
SAGEM SFIM industries periscopes
Thales Optronics CK038 (search periscopes)
Thales Optronics CK088 (attack periscopes)
Thales Optronics CK043, CK093 (attack periscopes) (ran Collins class)
Thales Optronics CK037, CK039, CK041, CK044, CK044d, CK060 (formerly Pilkington)
Zeiss Optronics SERO 14
Zeiss Optronics SERO 40/40 STAB/400

- **Beskrivning (kort)**

Optroniska periskop använder ofta både TV- och IR-sensorer med hög upplösning. IR-sensor kan ha antingen MWIR eller LWIR sensorer. Optiskt använd minst två synfält för respektive sensor. Typiskt synfält är (h×b) 15°×12° samt 5°×3.7°, där det större synfältet används på höjden tillskillnad från marksystem.

Tornsensorer, optroniska master

I dagligt tal benämnt på engelska 'turret sensors' men endast system med optronisk utrustning och laser. Består av gimbal med sensorpaket, slarvigt kallas de bara för sensorkula eller klot (p.g.a formen).

- **Namn eller beteckning system**

Aselsan ASELFLIR-200 airborne FLIR
FLIR Systems AN/AAQ-22 Star SAFIRE
FLIR Systems LEO-II-QWIP
FLIR Systems STAR-Q
FLIR Systems Star SAFIRE II

SAGEM Multisensor payloads UOMZ Gyrostabilised Optical Electronic System (GOES)

- **Beskrivning (kort)**

Optroniska övervakningstorn använder ofta både TV- och IR-sensorer med hög upplösning. IR-sensor kan ha antingen MWIR eller LWIR sensorer. Optiskt använd minst två synfält för respektive sensor. Typiskt för system med tre synfält är ($h \times b$) $22^\circ \times 30^\circ$, $4,3^\circ \times 5,7^\circ$ samt ett smalt synfält ca $1^\circ \times 2^\circ$ ($1,5^\circ$). Det smala synfältet kan variera beroende på system, en styrande faktor är användningsområde men även hur bra gyroplattformen i sig är. Typisk stabilitet är $<100 \mu\text{rad}$ men vissa tillverkare hävdar att deras system klarar $<15 \mu\text{rad}$.

Rörligt sensortorn som ger möjlighet att söka av i ca 360° azimuth (vissa system har $\pm 180^\circ$) och beroende hur det är monterat $+105^\circ$ respektive -40° i elevation. Vridhastighet hos tornet ca 3 rad/s

- **Sensorsystemets status:**

Operativt, finns för marin användning, markfordon, på hkp eller för flygplan med övervakningsuppgifter.

- **Användningsområde**

Övervakning, spaning samt för identifiering eller identitetskontroll. Används militärt men även av polis och tull i stort antal länder.

Mastmonterade sensorsystem, optroniska

- **Namn eller beteckning system**

Saab Bofors SEOS 400

SAGEM Day and Night Artillery observer system

STN ATLAS Elektronik BAA observation and reconnaissance equipment

System and Electronics, USA, STRIKER

VisionAbell, Thales Airborne Systems, Radar Plus Thermal Observation and Recognition (RAPTOR)

VTÚVM SNEZKA, CZ

Raytheon Comp., USA, Long-Range Advanced Scout Surveillance System (LRAS³)

- **Beskrivning (kort)**

Stativmonterad spaningsutrustning, oftast monterade på fordon, för att kunna stå i skyl och skydd och spana över terräng med sensorpaket som höjs över terrängen.

Ingående sensorer är IR-kamera, TV (dag och natt), laseravståndsmätare, radar och vindmätare. IR-system, ofta LWIR med flera optiska synvinklar. Ett vidvinkel för övervakning ca $6^\circ \times 4,5^\circ$ samt ett smalare för identifiering $2^\circ \times 1,5^\circ$.

Vissa system är konstruerade för att rotera för övervakningsfunktion. Använder flera typer av sensorer

Mark fristående: Målövervaknings och inmätningssystem

Det finns ett antal olika varianter som kan delas in i två huvudgrupper, dels fristående (på tripod) eller annat eget stativ och dels fordonsmonterade. Här kommer endast fristående system att betraktas.

Benämningen är ibland "laser range-finder goniometer" eller "reconnaissance and target acquisition system"

- **Namn eller beteckning system**

BGT, Leica, Zeiss Optronik, TAS 10

Diel Eagal 1.5 och Eagal 2

DRS Nightstar

Elop Portable Advanced laser (PAL), Israel

Enosa SIRO, SA

Fotona ARTES-1000 och RLD-3/EMK-4P

Leica SG 12 digital goniometer

Litton Ground Laser Target Designator GLTD II

Litton Laser Systems Advanced Laser Targeting Systems (ALATS)

Thales Optronics LITE artillery observation system

- **Beskrivning (kort)**

Systemen består av kikare eller siktesfunktion (visuellt-, ljusförstärkar- eller IR-system alternativt flera) som används för att inriktas mot mål. En laseravståndsmätare används för att bestämma avståndet till målet. Ett vinkelmätningssystem används för att bestämma riktningen mot en referensriktning eller absolut och ett positioneringssystem (GPS eller annat) för att bestämma observationssystemets position. Dessa data, som systemet i vissa fall kan sammanställa, ger målets koordinater som kan överföras till andra enheter.

Alla system innehåller inte alla delar. Ibland måste operatören hantera delar av positioneringen av målet.

Systemet kan i vissa fall utrustas med laserutpekare och utgör då en del av pekarsystemet.

- **Sensorsystemets status**

Finns ute på marknaden i stort antal.

Ingen kunskap huruvida Sverige har system av denna typ.

- **Användningsområde**

Målpositionering även eldledningsinstrument.

Lasersvapen

Riktade energivapen

- **Namn eller beteckning system**

Air Born Laser - ABL

ATL

HABE

TRW Nautilus programme/Tactical High-Energy Laser (THEL) programme.

TRW MTHEL

TRW MIRCL

Raytheon Sea Lite Beam director (anses demonstrerad 1996)

US Navy NRL, Lockheed Martin MATES (demonstrator)

Lockheed Martin Outrider sombat protection system

Lockheed Martin Stingray laser detection system

Space Born laser – SBL

- **Beskrivning (kort)**

System som detekterar mål samt riktar laserstrålning mot vapen eller sikten för att störa eller förstöra sikten eller vapen.

- **Sensorsystemets status:**

Beställningar avseende utveckling av system samt färdiga system till amerikanska försvaret drogs tillbaka efter det att USA skrev under konventionen om att inte använda laservapen. Utvecklingen av andra större system, för exempelvis deras skydd mot ballistiska missiler, fortsatte.

TRW hävdar att de demonstrerat nedskjutningen av missiler och artillerigranater med hjälp av THEL system.

Laserstörare

Skillnaden mot ovan nämnda system är framförallt lasers energi nivå.

Flygburna Laserstörare

- **Namn eller beteckning system**

BAE Systems AN/ALQ-144 and 144A

BAE Systems ATRICM/CMWS (AN/ALQ-212(V)

BAE Systems HIDAS (Helicopter Integrated Defensive Aids System

Northrop Grumman AAQ-24 DIRCM (Directed IR Countermeasure System)

Northrop Grumman MIRTH (Modularised IR Transmitting System) (för civila flygplan)

NEMISI

- **Beskrivning (kort)**

Motverkanssystem för flygplan eller helikopter. Dessa system använder IR eller UV (ibland båda) MAWS för att "väcka" systemet. När systemet är väckt inriktas ett IR system mot inkommande hot varefter en IR-strålare eller laser slavas i bestämd riktning. När strålkällan är inriktad sänds en serie pulser som stör inkommande missils målsökarfunktion. Använd laser använder 3-5 µm strålning. Tidiga system använder fast IR-stålkälla som blinkstörare.

- **Sensorsystemets status**

Marknadsförs. System finns på transportflyg hos amerikanska försvaret. Ytterligare västerländska flygvapen har köpt system (oklart huruvida dessa system är levererade).

Mark-Laserstörare

- **Namn eller beteckning system**

China North Industries Corp. (NIRINCO), Kina, ZM-87 (tripod system)
Laser Dazzler Sight, GB (fartygsmonterat)
Stingray, USA (fordonsmonterat)
Portable Automatic Sighting Device, PAVP, Ryssland, (fordonsmonterat eller tripodmonterad)

- **Beskrivning (kort)**

Används för att störa och irritera oskyddade piloter eller andra personal bakom sikten eller optiska spaningsutrustningar eller observatörer. Stör även ljusförstärkare, TV-system och LRF (laser range finder). Systemet består av en eller flera kopplade lasersystem som är monterade för att belysa området i inriktningsriktningen för aktiv optiskspaning och därefter verkanslaserbelysning. Systemet finns även utan aktiv optikspaningsfunktion. Systemet konstruerades för att även störa irritera eller skada även oskyddade ögon finns (ZM-87 ovan är exempel på det senare), trots att det näppeligen kan falla vid sidan av konventionen för laservapen.

- **Användningsområde**

Motmedelsfunktion (counter measure), eldledning

Handburna Laserstörare

- **Namn eller beteckning system**

Lockheed Sander, USA, AN/PLQ-5 LCMS (Laser Counter Measure System)
Dazer, USA
Cobra, USA

- **Beskrivning (kort)**

I stort sett samma användning som för fordonsmonterade system. Mindre vikt och levererar mindre effekt. De ovan uppräknade systemen drogs tillbaka när USA skrev under konventionen om Laservapen i mitten av 1990-talet.

Optikspaningssystem

Marksystem för optikspaningssystem

- **Namn eller beteckning system**

CILAS, SDL 400, Frankrike
SEA Technology, Spy Finder, USA
Turn, SeaLynx, Ryssland.

- **Beskrivning (kort)**

Sveper en utsträckt laserstråle över terrängen varvid retroreflexen hos optiska system detekteras. Detta innebär att hotande eller störande optiksystemens position kan bestämmas med hög noggrannhet.

Optikspaningsfunktionen finns som del funktion i laserstörsystem både de fordonsburna som de manburna systemen.

- **Sensorsystemets status**

Operativa system finns. Marknadsförs även som civil produkt.

- **Användningsområde**

Spaning, övervakning och eldledning

Handhållna system för optikspaning

- **Namn eller beteckning system**

TAS: Target Acquisiton System, Lockheed Sanders USA (ingår i Laser Countermeasure System, LCMS)

- **Beskrivning (kort)**

Samma funktion som optikspaningssystemen ovan men avsedda för att handhållas eller framförallt att monteras på eldhandvapen.

Laserstyrning och laserstyrda system

Ledstrålesystem

- **Namn eller beteckning system**

Det finns en stor mängd system på marknaden som har likartad princip men skillnader i prestanda och uppbyggnad. Inom svenskt försvar och inom svensk industri finns system. Några kända exempel listas nedan.

Thales, Starburst, GB
Thales, Starstreak, GB
Saab Bofors Defence Rb70

Saab Bofors Defence Rb90
Oerlikon Aerospace ADATS missile system
KBP Kornet-E, Ryssland
Kentron, Ingwe, Syd Afrika
Kentron, Mokapa, Syd Afrika

- **Beskrivning (kort)**

Ledstrålesystem bestående av laser samt siktessystem som kan vara antingen visuellt eller med IR-system.

Vissa system kan vara utrustade med övervakningsradar alternativt kopplas till fristående övervakningsradarsystem. Robot kan dessutom innehålla avståndssensor, anslagssensor eller andra triggmekanismer.

- **Sensorsystemets status**

Ledstrålesystem av den typen som listas ovan har funnits sedan 1970-talet, eventuellt tidigare. Systemen krävde att laserutvecklingen nått den nivån att tillförlitliga lasrar med relativt hög effekt, små dimensioner och relativt hög pulsrepetitionsfrekvens kunde tillverkas.

- **Användningsområde**

Eldledning, styrning **Hur samverkar de ingående sensorerna?**

Siktesfunktionen följer och inriktar laserledstrålen mot målet. Roboten följer laserledstrålen mot målet.

Belysarsystem (Pekarsystem)

Belysarsystem eller peksystem finns som mark-, sjö- och luft-system och har fått en stor spridning över hela världen.

Det finns ett antal olika vapen och ett antal olika belysarenheter. Hur mycket arbete som krävs för att anpassa ett specifikt vapen till en specifik belysarenhet är naturligtvis beroende av system.

- **Namn eller beteckning system**

Laserpekare

BAE Systems Type 105 airborne steerable laser rangefinder
BAE Systems Type 121 laser designator rangefinder
BAE Systems Type 121 laser designator rangefinder
BAE Systems Type 126 laser designator rangefinder
Boeing AN/AAS-32 laser designator sensor
CILAS TIM family laser
ELOP RFTDL laser rangefinder/designator
ELOP Comanche Laser Range-Finder/Designator
ELOP Kiowa Warrior Switchable eye-safe rangefinder /designator
Litton Laser Systems AN/AVQ-25 Pave Tack rangefinder /designator
Litton Laser Systems LTD/R laser target designator and ranger for F/A – 18.
Litton Laser Systems Dark Star/LAMPS laser transmitter

Vapen:

Raytheon Paveway II GBU-12 (det finns ett antal Paveway system)
Raytheon Paveway III
Spetzteknik Vympel AS-14 'Kedge' (Kh-29)
Boeing Bofors Hellfire (Sverige har en variant i försvaret som har beteckningen RB 17)
Lockheed Martin, Boeing Hellfire/ Hellfire II, AGM-114A/B/C
Kentron ZT-6 Mokopa, S.A.

- **Beskrivning (kort)**

Belysarsystem består av ett sikte som inriktar en utpekare (peklaser) mot ett mål varefter ett system med målsökare styrs in mot laserfläcken.

- **Sensorsystemets status**

Operativa system. Finns på marknaden. Finns inom försvaret, med svensk industri som systemleverantör.

- **Användningsområde**

Eldledning, styrning **Hur samverkar de ingående sensorerna?**

Laserpekare, vapen och vapenbärare kan vara skilda enheter som samverkar.

- **Motiv för multisensorsystemet gentemot "monosensorsystem"?**

Systemfunktionen finns inte för monosensorsystem.

Inmätningssystem (Målutpekningssystem)

- **Namn eller beteckning system**

System finns i många länder däribland även Sverige (både i svenska försvaret samt i svensk industri). Sverige har Rb 56
Saab Bofors Defence, Bill (Rb 56) samt Bill 2
Euromissile, Milan 3 och Milan AJ
Euromissile, HOT och HOT3
MBDA, Eryx samt Trigan

TOW (många olika varianter varav Sverige har typen TOW-2B)
TOW 2, TOW 2A, TOW 2B

- **Beskrivning (kort)**

Siktesfunktionen följer målet och vapnet under engagemanget samt beräknar vapnets flygväg till målet. I vapnet finns en kodad signalkälla, kan vara laser eller termisk IR-källa (det finns system som bygger på radarsystem men dessa behandlas inte här), som indikerar dess position gentemot andra mål och bakgrund. Koder eller signaler sänds över länk eller tråd till vapnet som styr mot målet från dessa koder. Siktesfunktionen kan bestå av visuellt eller IR-sikte.

- **Sensorsystemets status**

Inmätningssystem av den typen som listas ovan har funnits sedan 1980-talet eventuellt tidigare. En tidigare variant av inmätningssystem är de gamla Bantam-systemen som innebar att skytten styrde in mot målet med en joystick som direktpoplades till styrfunktionen i roboten.

- **Användningsområde**

Eldledning, styrning

- **Hur samverkar de ingående sensorerna?**

Integrerade sensorer i siktesmoduler samt sändarfunktion ofta integrerad i robotelektronik.

- **Motiv för multisensorsystemet gentemot "monosensorsystem"?**

Systemfunktionen finns inte för monosensorsystem.

Styrning med akustiska sensorer

Robotar med akustisk sensor

- **Namn eller beteckning system**

Northrop Grumman, BAT, USA

- **Beskrivning (kort)**

Akustisk sensor med IR-målsökare. Övriga ingående sensorer: anslagssensor samt höjdmätare.

- **Sensorsystemets status:**

Operativt system, finns på marknaden.

- **Användningsområde**

Bekämpning av typen anti-tank.

- **Hur samverkar de ingående sensorerna?**

Akustisk sensor samverkar med andra sensorer i slutskedesstyrningen.

- **Motiv för multisensorsystemet gentemot "monosensorsystem"?**

T.ex. få bättre funktion, störfasthet eller särskilja störning från annan naturlig funktionsnedsättning

Minor

- **Namn eller beteckning system**

Dragon, Tyskland (sidverkande mina mot fordon)

Parm 2, Tyskland (sidverkande mina mot fordon).

Textron System, Hornet, XM93, (autonom mina med akustisk sensor)

Textron System, Advanced Hornet (autonom mina med akustisk sensor som inriktas mot fordonet)

- **Beskrivning (kort)**

Sidverkande mina som använder sensor som monteras till raketvapen för att bekämpa fordon på avstånd. Vapnet ställs ut för att övervaka vägavsnitt eller passage med en kombination av sensorer (optiskt, akustiskt, laser). Utrustningen väcks av akustiska sensorer. Typ av fordon och avstånd kan analyseras utifrån akustiska sensorn medan en IR-sensor oftast, ibland tillsammans med lasersensor, triggar verkansdelen. Ibland bestäms fordonshastigheten med hjälp av flera IR-sensorer. System som använder akustik tillsammans med seismik för väckning och inriktning finns.

- **Sensorsystemets status**

Marknadsförs och finns utvecklad. Operativt.

Sensornätverk med akustiska sensorer

ADUGS

- **Beskrivning (kort)**

Akustisk sensor med tre mikrofoner

Övriga ingående sensorer: seismisk sensor. Positionering: GPS, kompass
Kommunikation via radio.

- **Sensorsystemets status**

Operativt system, finns på marknaden.

- **Användningsområde**

Områdesbevakning.

- **Motiv för multisensorsystemet gentemot “monosensorsystem”?**

Med hjälp av tre akustiska sensorer samt i kombination med den seismiska sensorn kunna ge bäring till ett objekt på upp till 10km.

UMBRA

- **Beskrivning (kort)**

Två akustiska, seismiska samt magnetiska sensorer.

- **Sensorsystemets status**

Under utveckling, marknadsförs.

- **Användningsområde**

Bevakning av passage.

- **Motiv för multisensorsystemet gentemot “monosensorsystem”?**

Akustiska och seismiska sensorer fusioneras så att identifiering och klassificering kan ske. Magnetsensorn används som triggnings för de nämnda sensorerna.

Referenser

Bolander Göran: Inledning av sensorhotbild. FOI-RH- -0078- -SE, December 2002.

Atkin Keith (ed.) Jane's Electro-Optical Systems, Seventh Edition 2001-2002.

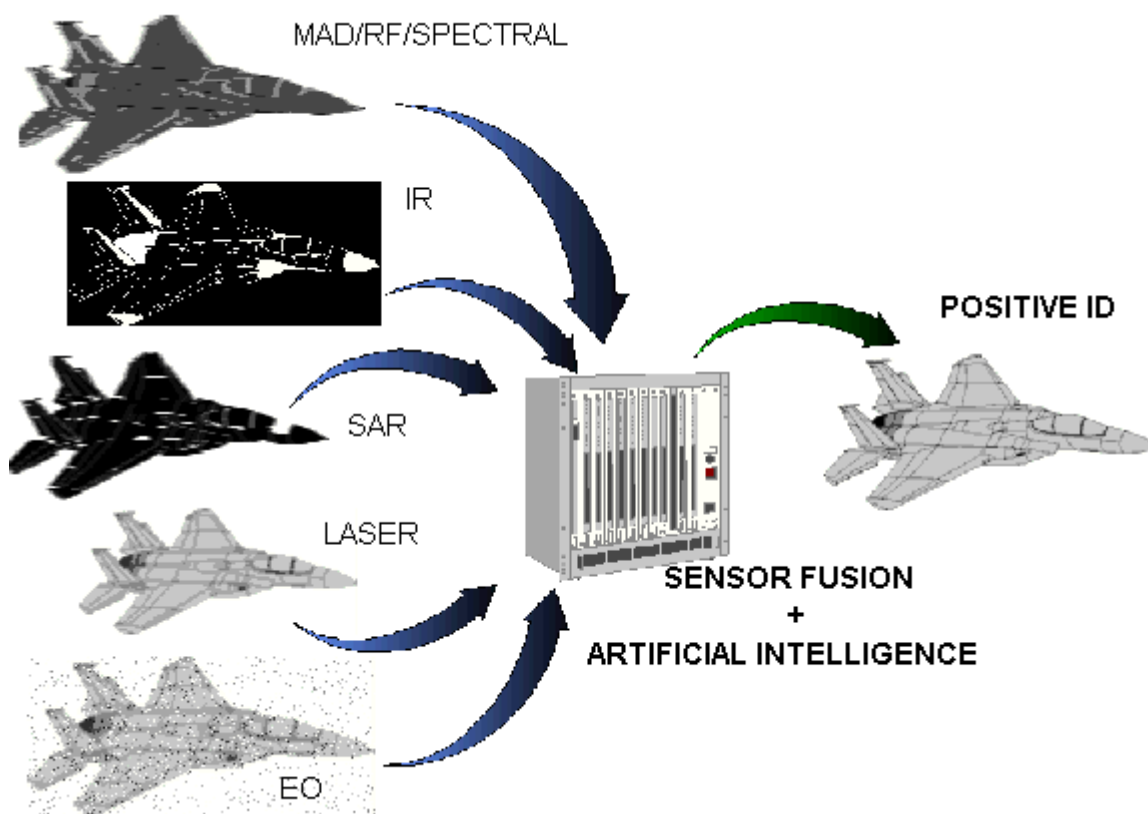
Jane's Electro-Optic Systems, Seventh edition 2001-2002, ed. Keith Atkin, Jane's Information Group Limited Alexandria, 2001.

Inventering av multisensorer med passiva optiska system

Thomas Svensson

Inledning

Nedan följer en kort inventering av multisensorer med passiva optiska system, såväl system som finns på marknaden som system i form av utvecklingsprojekt. Passiva optiska system förekommer ofta i multisensorer. Figuren nedan är hämtad ur rapporten "Counterair – The Cutting Edge 2025" (<http://www.au.af.mil/au/2025/volume3/chap08/v3c8-2.htm#v3c8-2>). Systemen beskrivs schematiskt. System med anknytning till minletning har ej tagits med.



Några typer av befintliga multisensorsystem beskrivs

- TV-kamera (VIS) och IR-sensor
- ”IREMBASS” med seismisk, akustisk, IR och magnetisk sensor
- ”Terrain Commander” med bl.a. akustiska, elektrooptiska och infraröda sensorer
- IR, TV och laserradar (”XUV”)
- IR, laseravståndsmätare och GV (”CETS”, ”ELVISS”)
- (Visuell) IR, mm-vågsradar

TV-kamera (VIS) och IR-sensor

Det finns rikligt med system baserade på visuella och IR-sensorer och ofta även någon laseravståndsmätare. Nedan visas några exempel.

LRAS3

LRAS3 (Long Range Advanced Scout Surveillance System) är en multisensor som består av en termisk IR-sensor (FLIR), en CCD TV-sensor och en Laseravståndsmätare [21].



Multispektral sensor LRAS3 med IR/VIS [21]

LRAS3 representerar ett mycket vanligt MSS på marknaden, bestående av kombinationen VIS-TV/termisk IR. Den har också kompletterats med en laseravståndsmätare och GPS. En TV-kamera ger goda prestanda under förhållanden som råder dagtid, i synnerhet vid bra siktförhållanden. Den är också kompakt, enkel och billig. Till skillnad från TV-kameran är IR-sensorn oberoende av ljusförhållanden och, jämfört med TV-kameran, mindre känslig för dåliga siktförhållanden som dis och rök.

TV-kameran och IR-sensorn i LRAS3 har WFOV = $6.0^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ resp. $8.0^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ och NFOV = $2.0^{\circ} \times 4.5^{\circ}$ resp. $2.6^{\circ} \times 4.5^{\circ}$. IR-sensorn är en andra generationens FLIR (480×4) med en MCT-detektor som är känslig i spektralområdet 8-12 μm .

LRAS3 med visuell, IR, laseravståndsmätare (ögonsäker), GPS [21]

Status	Marknadsförs av DRS Technologies
Användning	Systemet är avsett för US Army:s terrängfordon. Uppgifter: detektion, igenkänning, identifiering
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Motiv: TV/IR ger 24 h operabilitet (dag/natt)

TISS

AN/SAY-1 thermal imaging sensor system, TISS (<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/an-say-1.htm>) består av en termisk IR-sensor, två CCD TV-sensorer och laseravståndsmätare.



TISS: Visuell, IR (laseravståndsmätare)

Status	Finns hos US Navy
Användning	Övervakning, detektion, spårning
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Motiv: bättre funktion och robustare funktion (t.ex. olika klimatförhållanden). Systemet detekterar, igenkänner, laseravståndsmäter och spårar mål under dag, natt och dåliga siktförhållanden.

MMS

DRS Technologies marknadsför MMS (mast mounted sight, <http://www.drs.com/products/index.cfm?gID=4&productID=284>) som är ett övervakningssystem med sensorer i det synliga och IR-området – högupplöst TV-kamera + IR-sensorer och laseravståndsmätare. Laseravståndsmätaren är till hjälp för laserstyrda vapen.

IR-sensor: 8 – 12 μm , 120 element HgCdTe, wide: 10°, narrow: 2.8°



MMS: Visuell, IR (laseravståndsmätare)

Status	Finns på marknaden
Användning	Övervakning
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Bättre funktion – IR-sensorn ger detektion och igenkänning nattetid, laseravståndsmätaren anger avstånd för laserstyrda vapen

BRIGHTStar Safire™

FLIR systems marknadsför BRIGHTStar Safire™

(<http://www.flir.com/maritime/products/index.htm/lang=EN/ln=n6>) som är en multisensor med TV-kamera, IR-sensor (3 – 5 μm InSb) och laseravståndsmätare.



BRIGHTStar Safire™: Visuellt, IR (laseravståndsmätare)

Status	Finns på marknaden
Användning	Övervakning
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	bättre funktion. Ökad detektions- och igenkänningskapacitet för olika målsignaturer

IREMBASS

REMBASS (remotely monitored battlefield sensor system) är en multisensor med akustisk, seismisk, magnetisk och IR-sensor [22]. Systemet har genomgått utveckling sedan 1970-talet. De första versionerna hade endast kapacitet att detektera om något fanns inom sensorns räckvidd. Senare förbättrade (improved) versioner, ”IREMBASS”, har även fått kapacitet att lokalisera målet, bestämma rörelseriktning och klassificera. REMBASS är små enheter (se figur) som kan sammankopplas i nätverk.



Multispektral sensor IREMBASS med IR, akustisk, seismisk, magnetisk sensor[22]

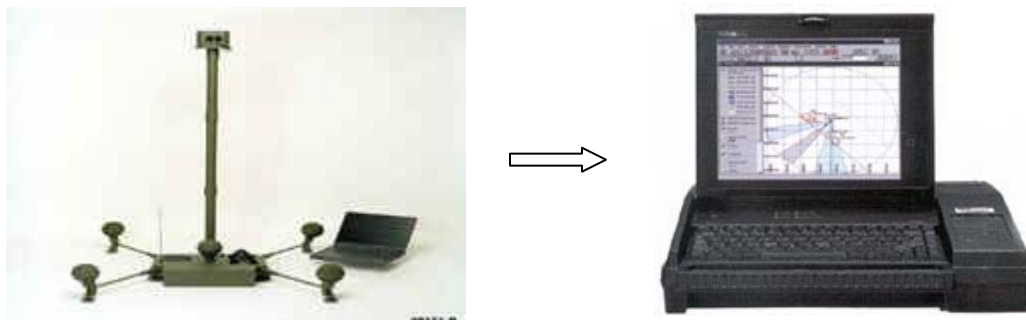
IREMBASS med IR, akustisk, seismisk, magnetisk sensor [22]

Status	Finns på marknaden
Användning	Övervakning
Samverkan av sensorerna	Parallellt
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	fler särdragsegenskaper

Terrain Commander

Textron Systems marknadsför multisensorsystemet ”Terrain Commander” som är en övervakningsenhet vari ingår akustiska, seismiska, magnetiska, elektrooptiska och infraröda sensorer [23]. Systemet kan kompletteras med ytterligare sensorer såsom väder, kemiska och biologiska. BAE Systems marknadsför ett liknande system – MIUGS (micro-internetted unattended ground sensors).

”Terrain Commander” består av en fältenhet och en övervakningsenhet CMF, Central Monitoring Facility. Det finns två varianter av fältenheten, OASIS (Optical Acoustic Satcom Integrated Sensor, se figuren nedan) och ADAS (Air Deliverable Acoustic Sensor) som inte innehåller någon elektrooptisk del.



OASIS (vänster) och tillhörande CMF (höger) [23]

OASIS med IR, akustisk, seismisk, magnetisk, EO (väder, kemisk, biologisk) [23]

Status	Finns på marknaden
Användning	Övervakning
Samverkan av sensorerna	Sekventiellt (parallellt); akustiska sensorer detekterar och klassificerar föremålet. Efter den akustiska urskiljningen panorerer en underordnad sensor automatiskt mot målet. Bilder tas som processas, komprimeras och skickas via satellit till CMF
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Bättre funktion; fler särdragsegenskaper (akustiska signaturer, elektrooptiska signaturer); information från en enda passiv sensor ger i princip bara information om riktningen – de fyra akustiska sensorerna kan ge avståndsinformation med en noggrannhet ner till 20 m.

IR, TV och laserradar ("XUV")

Ett exempel hur sensorer kan samverka för autonomt vägval och körning ges av Rasmussen [24] som visar hur laserradar kan kombineras med färg-TV-bilder för att underlätta körning. Via avståndsbilden och TV-bilden i kombination underlättas tolkningen av scenen väsentligt och hinder, deras absoluta storlek och avstånden till hindren, kan presenteras för kördatorn.



XUV. T.v. ett provfordon för autonom navigation. T.h. fusionerad laseravstånd och färd TV bild . Från Rasmussen [24].

XUV. IR, TV, laserradar för körning

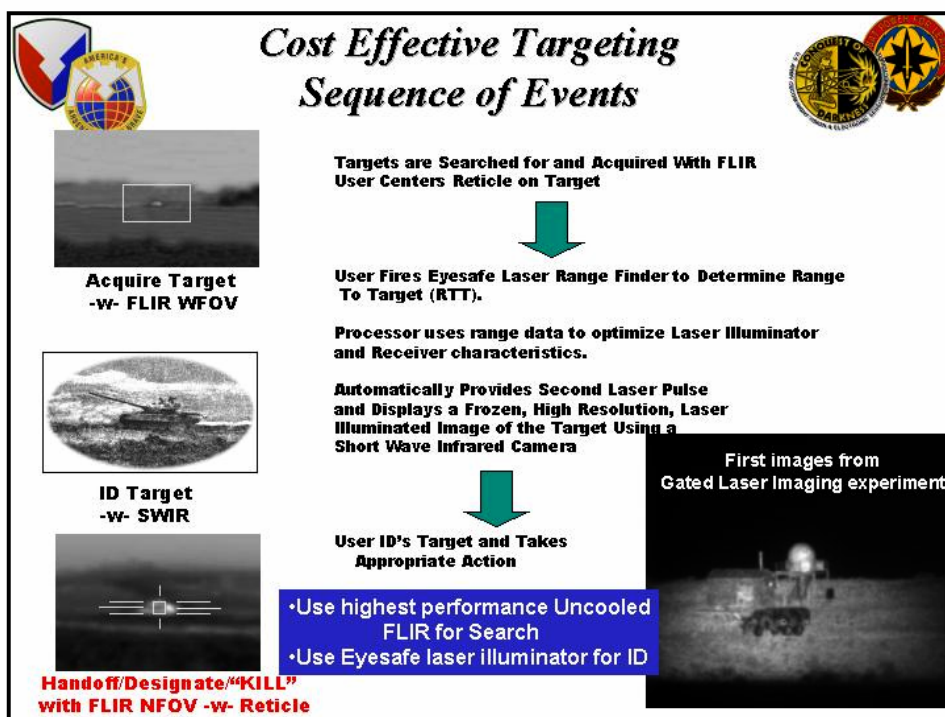
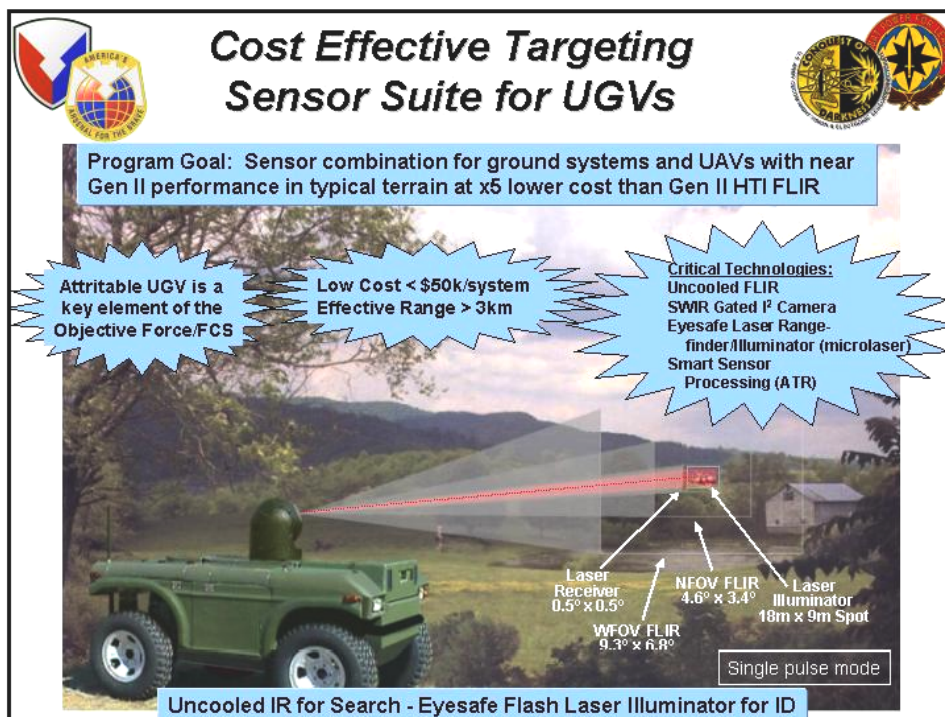
Status	Avancerade demonstratorer
Användning	Övervakning, spaning och målinmätning
Samverkan av sensorerna	Fusion av TV/IR skannade 3 d laserradar för scentolkning och vägval, hinderindikering.
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Avstånd och passiva bilder i fusion ger god segmentering och uppfattning av scenen för ruttplanering, körning, positionering, hinderindikering (även plötsligt uppdykande hinder) etc.

IR, laseravståndsmätare och GV

En intressant kombination för spaning, målidentifiering och målinmätning ges i följande figur från ett föredrag av Dr. Milton CECOM. Man kombinerar okyld IR, GV vid 1.5 mm och laseravståndsmätning som ett system med en projekterad kostnad som är 5 ggr mindre än för en högupplösande kyld FLIR.

CETS. Okyld IR+1,5 μ m laser + grindad bildförstärkare.

Status	Avancerade demonstratorer
Användning	Övervakning, spaning och målinmätning
Samverkan av sensorerna	Fusion olyld stirrande IR plus ögonsäker laser för avtsåndsmätning och grindad avbildning för igenkänning.
Gruppering	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	IR detekterar, laser identifierar och mäter in. Grindad avbildning ger bättre identifiering samt förmåga att se dolda mål (grindning genom vegetation, kamouflagenät samt rök.



CETS. Överst användning av spaning och måligenkänning/avståndsmätning med okylad IR, Laser och grindad kamera för 1.5 μm . Under användningssekvens. Från Föredrag OPTRO 2002 [25]

ELVISS

Defence R&D Canada (<http://www.drev.dnd.ca/fr/upload/pdf/OS-30222.pdf>) har utvecklat ELVISS (Enhanced Low-light-level Visible and Infrared Surveillance System), som består av ALBEDOS (Airborne LaserBased Enhanced Detection and Observation System = gated viewing) och en IR-sensor i 3-5 μm . Vidare ingår en laseravståndsmätare och GPS.



A typical ELVISS screen presentation, showing the same area viewed by the two sensing systems, geographic reference data and the operating controls and parameters for the system.

ELVISS: IR, GV, (laseravståndsmätare)

Status	Finns hos Defence R&D
Användning	Övervakning. Specifik tillämpning: läsa namn på båtar på långt avstånd.
Samverkan av sensorerna	Sekvensiellt (parallellt)
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Bättre funktion. Ett detekterat objekt i IR-bilden pekas ut med laseravståndsmätaren och studeras i detalj med GV.

(Visuell) IR, mm-vågsradar

Det har publicerats en del om multisensorer med IR och mm-vågsradar. Nedan ges några exempel.

CAMUS

CAMUS (Common Aperture Multi-Sensors) är en multisensor med IR (3 – 5 μm), visuell sensor samt milimetervågsradar 94 GHz. Systemet presenteras i referensartikeln nedan.

Y.d.Villers, J-R Simard, *CAMUS: an infrared, Visible and Millimeter-Wave Radar Integration System*, SPIE Vol.3436 (1998) 696-704

CAMUS: Visuell, IR, mm-vågsradar

Status	Utvecklingsprojekt
Användning	Övervakning
Samverkan av sensorerna	Sekvensiellt: mm-vågsradar upptäcker ett 10 m ² -föremål på 7 km, EO-systemet tar över på 3 km med spårning och klassificering
Gruppering av sensorerna	Olika sensorer på samma plattform
Motiv	Bättre funktion såsom detektionsförmåga, spårning, ger kontur+varma ytor

FOI-rapport:

Lindström Staffan

Multisensorplattform, IRmm.

Linköping, FOA 1996, 25 p.

(FOA-D--96-00254-3.3--SE)

”Millimeter-wave and Infrared Multisensor Design and Signal Processing”, av L. Klein, utgiven av Artech House (1997).

Multisensorsystem med radar som ingående sensor i robotar

Nils Karlsson

De listade systemen utgör inte en helt komplett inventering utan kan ses som exempel på typiska system.

Robotar/målsökare

Advanced Anti Radiation Guided Missile, AARGM

AARGM är en efterföljare till den signalsökande roboten HARM (High speed Anti Radiation Missile). Systemet befinner sig i försöksstadiet. Lyckade provskjutningar har gjorts.

Passiva radarmålsökaren har kombinerats med en aktiv W-band mm-vågs radar för slutfasen. Roboten har även ett tröghetsnavigeringssystem stöttat med GPS.

Motiv för multisensorsystemet:

Har möjlighet att slå ut fiendens luftförsvar även då detta slutat att sända egen radarsignal.

Referens:

"AARGM moves towards development", International Defense Digest, International Defense Review, januari 2003.

David C. Isby, "AARGM future clouded by contractor problems", JANE's Missiles and rockets, oktober 01, 2002.

"Quick Bolt kills a radar target", JANE's Missiles and rockets, januari 2003.

ARMIGER

Demonstrator-projekt. Armiger är en signalsökande robot med "intelligent" styrning med en kombinerad radar och IR målsökare. Midcourse guidance av GPS/TN

Samverkan mellan sensorerna

Passiv radar upptäcker radarn. Passiv radar samverkar med TN/GPS för att ta roboten till position (handover) där IR tar över. IR i slutfasen använder en IR signatur för bildigenkänning.

Motiv för multisensorsystemet

Maximalt skydd mot motmedel och träffnoggrannhet

Referens:

<http://www.europaeische-sicherheit.de/ES01-07-02.htm>

<http://www.airforce-technology.com/contractors/weapons/bod/>

Common Modular Missile

Kombinerar mm-vågor, semi-aktiv laser och IRelement. Även utrustad med data-länk för manuell bekräftelse av mål.

Är på försöksstadiet.

Ska ersätta Hellfire, AGM-65 Maverick, eventuellt beväpna UCAV.

Dual Range Missile

Air Superiority Missile Technology (ASMT)

Elektroniskt styrd målsökare med brett synfält

IR-mm

Forskningsprojekt på FOI. Stirrande bildalstrande mm-vågsradar kombinerad med bildalstrande IR. Bilderna fusioneras till en bild med tredimensionell information.

Målsökare som kan klassificera/identifiera, välja och följa mål.

Motiv för multisensorsystemet

Precision och störfasthet, robustheten och säkerheten i klassificeringen och målval förbättras. Krav på motmedel skärps p.g.a. flera våglängdsband och koordinering av insatser.

Rb-15

Aktiv radarmålsökare och radarhöjdmätare. Ska kombineras med IR och datalänk.

Zvezda Kh-31 (AS-17 Krypton)

AS-17 Krypton är en operativ signalsökande robot. Hybrid aktiv/passiv radar målföljning. Designad med tanke på hög störningsimmunitet och att radarn slås av vid angrepp.

<http://fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/as-17.htm>

Miroslav Gyurösi, JANE's Missiles and rockets, oktober 2002.

Robotar med navigation och/eller kommandostyrning, radar ingår

Raduga KSR-5 (AS-6 Kingfish)

Kryssningsrobot. Förprogrammerad autopilot vid avfyring och stigningsfas, i mellanfasen använd ett TN system eller autopilot med radiokommando, i slutfasen används i sjöfallet en aktiv radarmålsökare.

Anledning till systemen att överbrygga stora avstånd.

Jämför även **3M55 Oniks**, **P800 Yakhont**, **P-800 Bolid**, **SSN-X-26** som har aktiv/passiv radarmålsökare.

<http://fas.org/nuke/guide/russia/bomber/as-6.htm>

<http://fas.org/man/dod-101/sys/missile/row/ss-n-26.htm>

SSC-4 Slingshot

Kh-55 Granat

AS-15 Kent

SS-N-21 Sampson

Kryssningsrobotar som går mot kända koordinater. Navigationssystemet använder TN-doppler och terrängjämförelser med lagrade bilder i dator ombord.

Kh-65 är en variant som använder aktiv radar i slutfasen.

<http://fas.org/nuke/guide/russia/bomber/as-15.htm>

C-101 / YJ-16

CSS-C-5 SAPLES

SY-2 / FL-2

CSS-N-5

TN navigering samt aktiv radarstyrning.

C-801 YJ-1 / YJ-8 (Eagle Strike)

CSS-N-4 SARDINE

Kryssningsrobot.

”Automatic control” samt radarmonopuls-målsökare samt radarhöjdmätare.

C-601 / YJ-6

CAS-1 KRAKEN

”Automatic control” samt radarmonopuls målsökare. Flyger till målområde enligt förprogrammerat program och litar på radarmålsökaren för slutfasens styrning.

BGM-109 Tomahawk

Navigerar med TERCOM, DSMAC och GPS (vissa även med PST), kommunicerar i slutfasen med en markbaserad kontrollstation via satellit för precisionsstyrning. TERCOM konturmatchning med radar och tröghetsstyrning. DSMAC Digital Scene Matching Area Correlation används bland annat i slutfas för igenkänning av mål.

AGM-130A

Guided bomb

Tröghetsnavigering stöttad med GPS använder man-in-the-loop styrning med TV eller IR målsökare. Har radarhöjdmätare.

Efter avfyrning navigerar AGM-130 till ett förprogrammerat område med hjälp av GPS och TN (tröghetsnavigering). I mellanfasen fås GPS position och navigeringsinformation via datalänk. När målet är inom synhåll kan vapenofficern välja mellan manuell styrning eller automatisk slutfasstyrning (automatic terminal homing). Det finns en variant som har en autonom LADAR målsökare. Detta minskar belastningen för flygplansbesättningen men avsaknaden av datalänken i detta system minskar möjligheten att bli utstörd.

AS.34 Kormoran

TN samt aktiv radarmålsökning i slutfasen.

Type 80 ASM-1

TN och aktiv radar.

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0879--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år Juni 2003	Projektnummer E3053
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
Författare/redaktör Börje Andersson Nils Karlsson Bengt Boberg Peter Klum Göran Bolander Claes Nelsson Anders Eneroth Ove Steinvall Staffan Gadd Thomas Svensson Ove Gustavsson Christer Wigren	Projektledare Nils Karlsson	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Störning av multisensorsystem - en förstudie		
Sammanfattning (högst 200 ord) En utvecklingstrend för moderna militära system är att utnyttja multisensorsystem för att öka deras prestanda och då bl.a. systemens störtaålighet. I denna studie har vi undersökt vad det finns för multisensorsystem och vad som finns undersökt om störning av dem. Multisensorsystem för användning i tre olika typer av uppgifter har studerats och utifrån författarnas erfarenheter och kunskap förs i rapporten en diskussion om möjliga störstrategier och metoder. Studien visar att: • Det finns många befintliga multisensorsystem och fler är under utveckling. Många av systemen utnyttjar sensorinformationen sekventiellt i en invisande eller stöttande kedja. Det finns även mer redundanta system som använder sensordata parallellt och väger samman denna med t.ex. sensordatafusion. • Det finns mycket lite tillgänglig forskning om störning av multisensorsystem. Speciellt finns det liten kännedom om hur datafusionen hos redundanta multisensorsystem hanterar störda sensorer. • Forskning i området rekommenderas. Förslag på fortsatt arbete: • Kontinuerlig kunskapsuppbyggnad inom multisensorområdet krävs för att följa utvecklingen. • Simuleringsarbete inriktat på hur redundanta multisensorsystem hanterar störda sensorer. • Hårdvarudemonstrator där ett multisensorsystem med redundanta sensorer i skilda våglängdsband utsätts för konkret störning.		
Nyckelord multisensorsystem störning		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 86 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0879--SE	Report type User report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare	
	Month year June 2003	Project no. E3053
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Börje Andersson Nils Karlsson Bengt Boberg Peter Klum Göran Bolander Claes Nelsson Anders Eneroth Ove Steinvall Staffan Gadd Thomas Svensson Ove Gustavsson Christer Wigren	Project manager Nils Karlsson	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Multi sensor systems and countermeasures -a pilot study		
Abstract (not more than 200 words) The use of multisensor systems is on the rise in order to increase the performance of the systems and to reduce their vulnerability to countermeasures. This pilot study investigates the state of research in the field of countermeasures against multisensor systems. For some cases the report discusses how to counter the threat of mulisensor systems. The study points out: There exist a large number of multi sensor systems with more are under development. There is very little research available in the field why research in the field is proposed. Recommended research fields: Simulations with emphasis upon multi sensor systems with redundancy that are exposed to countermeasures. Studies of demonstrators with redundant sensors working at separate wavelengths. Exposing the system to different kinds of real countermeasure methods. To follow the stage of development in the field, continuous work in the field is needed.		
Keywords multi sensor systems, countermeasures		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 86 p.	
	Price acc. to pricelist	