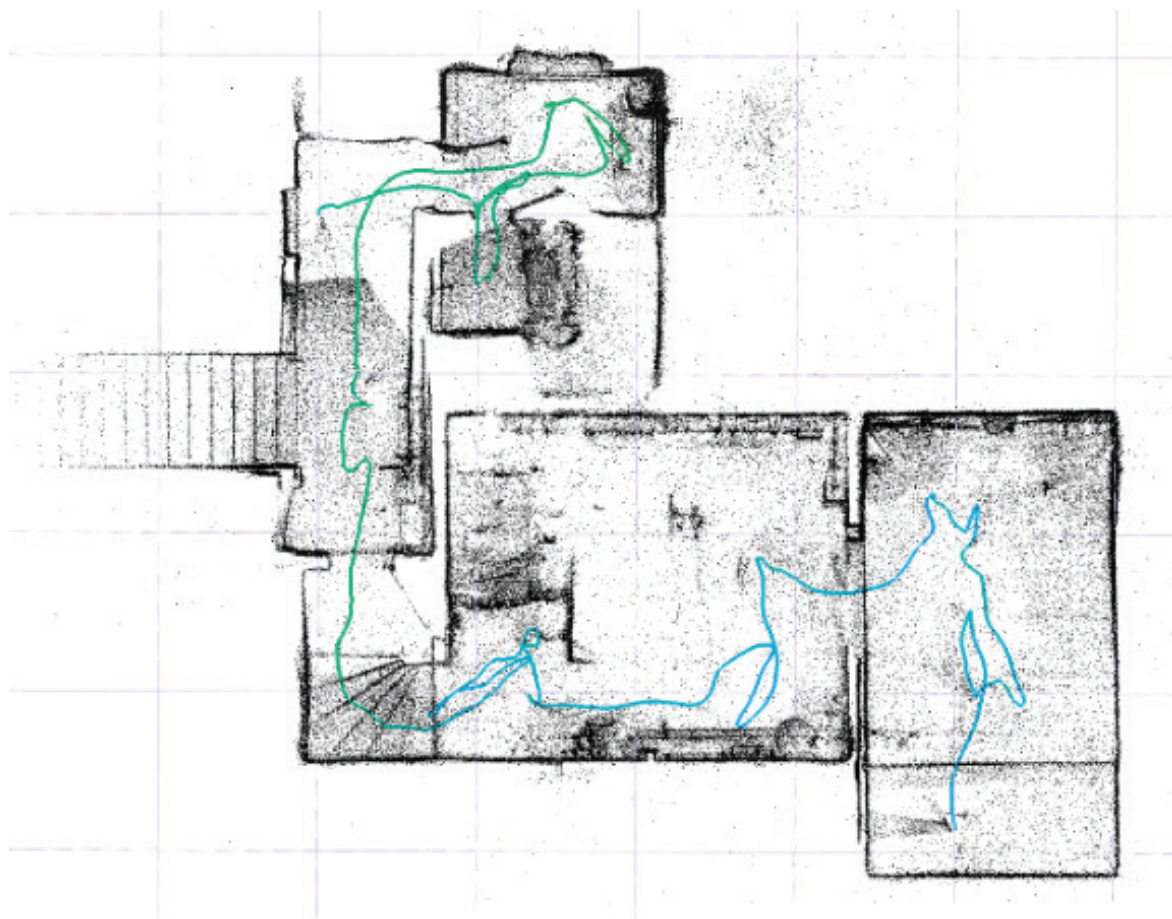


STEFAN NILSSON, MARIA ANDERSSON, THORD ANDERSSON,  
ERIKA BILOCK, VIKTOR DELESKOG, DAVID LINDGREN,  
JONAS NYGÅRDS, FREDRIK NÄSSTRÖM, JOAKIM RYDELL





Stefan Nilsson, Maria Andersson, Thord Andersson,  
Erika Bilock, Viktor Deleskog, David Lindgren,  
Jonas Nygårds, Fredrik Näsström, Joakim Rydell

# Multisensorsystem för övervakning

Lägesrapport 2015

|                        |                                                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Titel                  | Multisensorsystem för övervakning<br>Lägesrapport 2015    |
| Title                  | Multi-sensor surveillance systems<br>Progress report 2015 |
| Rapportnr/Report no    | FOI-R--4240--SE                                           |
| Månad/Month            | Februari                                                  |
| Utgivningsår/Year      | 2016                                                      |
| Antal sidor/Pages      | 25 p                                                      |
| ISSN                   | ISSN 1650-1942                                            |
| Kund/Customer          | Försvarmakten                                             |
| Forskningsområde       | Sensorer och signaturanpassning                           |
| FoT område             | Sensorer och signaturanpassning                           |
| Projektnr/Project no   | E54568                                                    |
| Godkänd av/Approved by | Per Johannesson                                           |
| Ansvarig avdelning     | Ledningssystem                                            |

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

## Sammanfattning

Denna lägesrapport redovisar genomförd verksamhet och framkomna resultat 2015 inom det treåriga FoT-projektet *Multisensorsystem för övervakning*. Projektet har studerat hur olika sensorsystem kan samverka för att åstadkomma förbättrad militär situationsuppfattning i den urbana miljön.

Projektet undersöker och värderar hur olika konfigurationer av samverkande och nätverksbaserade multisensorsystem bör utformas för att automatiskt *upptäcka*, *klassificera* och *följa* hot i svåra övervakningssituationer. Projektet undersöker också hur data från de enskilda sensorsystemen kan distribueras till en centralenhet som skapar en gemensam lägesbild, samt hur multisensorsystem kan utvecklas för att följa egna styrkor – Blue Force Tracking – i komplexa miljöer.

Inom området *multisensornätverk* studeras hur ett multisensornätverk bör vara utformat för att på ett robust och uthålligt sätt stödja övervakningen under huvudsakligen militära insatser. Målsättningen för verksamhetsåret var att genomföra en omvärldsstudie på temat distribuerade sensorer och fusion i övervakningstillämpningar. Preliminära resultat föreligger, men studien i sin helhet redovisas nästa år.

Årets *målföljningsverksamhet* har byggt vidare på det ramverk som byggts upp och som baseras på bayesiansk statistik och klassisk målföljningsteori och målet är att komplettera befintliga centraliserade målföljare med algoritmer för distribuerad multisensormålföljning. En studie över befintliga metoder för association och målföljning i distribuerade system har genomförts i samverkan med verksamhet i P5. En speciellt intressant metod har valts ut för fortsatta studier. Dessutom har olika algoritmer för detektion av människor i visuella bilder, utvärderats i en separat studie.

Inom arbetspaketet *Anomalidetektion* studerar vi hur system för övervakning av urban miljö ska vara utformade för att i ett tidigt skede upptäcka hotfulla händelser i framförallt folksamlingar. Metoder för anomalidetektion har vidareutvecklats och utvärderats. Vi har speciellt studerat hur anomalidetektion kan förbättras med zonindelning, där zonerna motsvarar olika delar av övervakningsområdet som karakteriseras av ett visst rörelsemönster. I enkla fall är de aktiviteter som normalt förekommer i de olika zonerna kända från början. I fall där sådan kunskap saknas har vi visat att zonindelningen kan skapas automatiskt genom att med sensorer bygga upp statistik över rörelsemönster, vilket kan ske under pågående övervakning. Resultat med inspelade data visar att anomalier kan upptäckas i ett tidigare skede när hänsyn tas till zonindelning.

Inom *Egenpositionering och kartering* (Blue Force Tracking) har ett nytt realtidssystem för positionering och kartering i okända inomhusmiljöer utvecklats. Det nya systemet utnyttjar en aktiv avståndsmätande sensor, vilket dels ger mörkerkapacitet och dels avsevärt förbättrar systemets karteringsförmåga jämfört med tidigare lösningar med passiva stereokameror. Det nya systemet har utvärderats i fältförsök bland annat tillsammans med *Skyddscentrum i Umeå* och med *Södertörns brandförsvär*. Mätningarna har validerats med hjälp av ett referenssystem och visat sig ge god noggrannhet. Fortsatt samverkan med Skyddscentrum planeras.

I en särskild förstudie har vi studerat utvecklingstrender inom sensorer, sensorplattformar och styrningsmjukvara som kan möjliggöra en drönarplattform för autonom kartering och bevakning i komplexa miljöer. Dessutom har datainsamling från två olika sensorplattformar genomförts, vilka utgör grund för framtida metodutveckling för t.ex. kollisionundvikande och kartering.

Internationell samverkan sker genom NATO-grupperna *Multi-Sensor Integration for Urban Operations* och *Battlefield Acoustic Sensing*, *Multi-modal Sensing and Networked Sensing for ISR Applications*, samt EU FP7-projektet *P5*. Denna samverkan tillför ny kunskap om hur sensor-system lämpligen konfigureras för förbättrad situationsuppfattning.

**Nyckelord:** multisensorsystem, sensornätverk, detektion, distribuerad målföljning, klassificering, multisensorfusion, urban miljö, urbana operationer, anomalidetektion, avvikelседetektion, övervakning, UAV, kartering, Blue Force Tracking, SLAM

## Summary

This progress report gives an account of the activities carried out, and the results produced in the first year of the three-year Swedish Armed Forces sponsored project *Multi-sensor surveillance systems*. The project has studied how different sensor systems can work together to provide enhanced military situation awareness in the urban environment.

The project examines and evaluates how different configurations of collaborative and network-based multi-sensor systems should be designed to automatically detect, classify and track threats in difficult monitoring situations. The project is also investigating how the data from the individual sensor systems can be distributed to a central unit which creates a common situational awareness, and how multi-sensor systems can be developed for blue force tracking in complex environments.

We have also studied how a *multi-sensor network* should be designed for a robust and sustainable manner to support surveillance in mainly military scenarios. The goal for the year was to implement a study on the topic of distributed sensors and fusion of surveillance applications. Preliminary results exist, but a comprehensive study will be reported next year.

The *target tracking* activities this year have built on the framework that is based on Bayesian statistics and classical target tracking theory. The goal is to complement the existing centralized tracking algorithms for distributed multi-sensor target tracing. A study of existing methods of association and tracking of distributed systems has been carried out in cooperation with activities in the EU FP7 project *P5*. A particularly interesting method has been selected for further studies. In addition, different algorithms for detection of people in visual images, have been evaluated in a separate study.

Within the work package *Anomaly Detection*, we study how systems for monitoring the urban environment should be designed for early detection of threatening events, particularly in crowds. Methods for anomaly detection have been further developed and evaluated. We have particularly studied how the anomaly detection can be improved by zoning, where the zones, corresponding to various parts of the surveillance area, are characterized by a specific pattern of movement. In simple cases, the activities normally found in the various zones are known from the beginning. In cases where such knowledge is missing, we have shown that zoning can be created automatically by using sensors to build up statistics on the movement patterns. Results of recorded data show that anomalies can be detected at an earlier stage when we take account of zoning.

Within the work package *Blue Force Tracking*, a new real-time positioning and mapping system of unknown indoor environments has been developed. The new system utilizes an active distance measuring sensor, which gives darkness capacity, and significantly improves the system's mapping capability compared to previous solutions with passive stereo cameras. The new system has been evaluated in field trials, for example together with the *Swedish Armed Forces Protection Center* in Umeå and with the *Södertörn Fire Department*. The measurements were validated using a reference system and have proven to give good accuracy. Continued cooperation with the *Protection Center* is planned.

In a separate pilot study, we have investigated trends in sensors, sensor platforms and management software that can enable a drone platform to perform independent mapping and monitoring in complex environments. In addition, data collection from two different sensor platforms has been carried out. This data will be the basis for future methodology development, e.g., collision avoidance and mapping.

International cooperation is carried out by participation in the two NATO groups *Multi-Sensor Integration for Urban Operations* and *Battlefield Acoustic Sensing, Multi-modal Sensing and Networked Sensing for ISR Applications*, and participation in the EU FP7 project *P5*. This interaction contributes with new knowledge about sensor system configurations for improved situation awareness.

**Keywords:** multi-sensor systems, sensor networks, detection, distributed target tracking, classification, multi-sensor fusion, urban environment, urban operations, anomaly detection, deviation detection, surveillance, UAV, mapping, Blue Force Tracking, SLAM

# Innehållsförteckning

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INLEDNING.....</b>                                                                    | <b>7</b>  |
| <b>2. PROJEKTBSKRIVNING.....</b>                                                            | <b>7</b>  |
| <b>3. MULTISENSORNÄTVERK – UTFORMNING OCH FÖRMÅGA.....</b>                                  | <b>8</b>  |
| 3.1. INSTITUTIONSSTUDIE.....                                                                | 8         |
| 3.2. BEFINTLIGA SYSTEM .....                                                                | 8         |
| 3.3. FÖRETAG.....                                                                           | 9         |
| <b>4. DISTRIBUTUERAD MULTISENSORMÅLFÖLJNING .....</b>                                       | <b>10</b> |
| 4.1. SIMULERINGAR .....                                                                     | 10        |
| 4.2. STUDIE AV METODER FÖR DETEKTION I VISUELLA BILDER.....                                 | 11        |
| <b>5. ANOMALIDETEKTION .....</b>                                                            | <b>12</b> |
| 5.1. ZONINDELNING .....                                                                     | 12        |
| 5.2. GRUPPDETEKTION .....                                                                   | 13        |
| 5.3. HISTORIK I ANOMALIDETEKTIONEN.....                                                     | 13        |
| 5.4. LEVERANSER.....                                                                        | 14        |
| 5.5. SAMVERKAN MED LiU .....                                                                | 14        |
| <b>6. EGENPOSITIONERING OCH KARTERING.....</b>                                              | <b>15</b> |
| 6.1. INTRODUKTION - SLAM.....                                                               | 15        |
| 6.2. VIDAREUTVECKLING AV POSITIONERINGSSYSTEMET .....                                       | 15        |
| 6.2.1. <i>Sensorer</i> .....                                                                | 15        |
| 6.2.2. <i>Algoritmer</i> .....                                                              | 16        |
| 6.3. UTVÄRDERING AV POSITIONERINGSSYSTEMET .....                                            | 16        |
| 6.3.1. <i>Experiment med SkyddC Umeå: genomsökning av hus</i> .....                         | 17        |
| 6.3.2. <i>Utvärdering av noggrannhet</i> .....                                              | 18        |
| 6.4. PRESENTATIONER.....                                                                    | 18        |
| 6.5. FORTSATT ARBETE .....                                                                  | 19        |
| <b>7. LITEN DRÖNARPLATTFORM FÖR AUTONOM KARTERING OCH BEVAKNING I KOMPLEXA MILJÖER.....</b> | <b>20</b> |
| 7.1. AKTIVITETER.....                                                                       | 20        |
| 7.2. UTVECKLINGSTRENDER .....                                                               | 20        |
| 7.2.1. <i>Sensorplattformar och sensorer</i> .....                                          | 21        |
| 7.2.2. <i>Mjukvara</i> .....                                                                | 21        |
| 7.2.3. <i>Kollisionsundvikande och SLAM</i> .....                                           | 21        |
| 7.2.4. <i>Sport och fritid</i> .....                                                        | 21        |
| 7.3. DATAINSAMLING.....                                                                     | 21        |
| <b>8. DEMONSTRATION.....</b>                                                                | <b>22</b> |
| <b>9. INTERNATIONELL SAMVERKAN .....</b>                                                    | <b>23</b> |
| 9.1. P5 (2013-2016) .....                                                                   | 23        |
| 9.2. NATO-ARBETSGRUPPER .....                                                               | 23        |
| <b>10. REFERENSER .....</b>                                                                 | <b>24</b> |





# 1. Inledning

Denna lägesrapport redovisar genomförd verksamhet och hittills framkomna forskningsresultat under det första året av det treåriga FoT-projektet *Multisensorsystem för övervakning (MSÖ)*. Projektets forskning har vidareutvecklat den kompetensplattform som etablerades inom de tidigare projekten *Övervakningssystem (ÖS)* (2012-2014) [1] och *Sensorsystem för urbana operationer (SUO)* (2009-2011) [2]. Rapporten är upplagd så att redovisningen av projektets delverksamheter presenteras i separata avsnitt.

I rapportens inledande kapitel beskrivs projektets motiv, inriktning och frågeställningar. I kapitlen 3-7 ges en kortfattad redovisning av projektets forskningsinsatser inom olika delområden under året. För mer ingående information hänvisas till refererade egna eller andras arbeten (se sista kapitlet). Kapitel 3 ger en lägesbeskrivning av arbetet med att studera hur ett multisensornätverk bör vara utformat för att ge ett robust och uthålligt stöd till övervakningen under huvudsakligen militära insatser och för att ge användaren önskad kvalitet på lägesbilden. I kapitel 4 redovisas arbetet med distribuerad målföljning. Kapitel 5 presenterar aktuell forskning inom anomalidetektion, där vi studerar hur system för övervakning av urban miljö ska vara utformade för att i ett tidigt skede upptäcka hotfulla händelser i folksamlingar. I kapitel 6 redovisas arbetet med att undersöka och utveckla robusta systemlösningar för egenpositionering och kartering i miljöer utan GPS-täckning. Kapitel 7 beskriver arbetet med att studera en liten sensorplattform för autonom kartering och bevakning i komplexa miljöer. I kapitel 8 sammanfattas den demo för FM och FMV som projektet genomförde den 5 november 2015. I kapitel 9 redovisas EU FP7-projektet P5 som MSÖ medfinansierade under 2015.

# 2. Projektbeskrivning

Projektet undersöker och värderar hur olika konfigurationer av samverkande och nätverksbaserade multisensorsystem bör utformas för att automatiskt upptäcka, klassificera och följa hot i svåra övervakningssituationer. Projektet undersöker också hur data från de enskilda sensorsystemen kan distribueras till en centralenhet som skapar en gemensam lägesbild.

Robusthet i detektion och följning samt realtidsförmåga är grundkrav för det studerade multisensorsystemet. Metoder för sensornära datafusion, sensorstyrning och avvikelsetekning är centrala, liksom metoder som möjliggör att sensorerna själva kan bedöma sin tillförlitlighet under olika förhållanden, och vid behov stänga ner. I projektet angrips också problemet med egenpositionering i miljöer där GPS är otillförlitlig, exempelvis inomhus, ombord på fartyg, eller i närheten av störsändare. I denna problematik ingår ofta att miljöerna är okända, och att man samtidigt med egenpositioneringen behöver bygga upp eller komplettera sitt eget kartmaterial. De multisensorbaserade metoder som utvecklas i projektet kan exempelvis ge livsviktigt stöd för soldater som snabbt behöver gå in i och säkra okända byggnader eller fartyg där motstånd kan förväntas.

I huvudsak undersöks fasta sensornätverk, men projektet undersöker också möjligheten att integrera systemet med en eller flera rörliga sensorplattformar. Projektets resultat avser bidra till förbättrad militär situationsuppfattning i urban miljö, där viktiga tillämpningar kan vara övervakning av skyddsobjekt, t.ex. ambassader, camper och viktiga infrastrukturer.

Slutmålet för projektet är att kunna besvara följande frågeställningar:

- Hur ska ett multisensorsystem för övervakning vara utformat för att automatiskt upptäcka, klassificera och följa hot i realtid och 24/7?
- Hur ska ett multisensorsystem för övervakning vara utformat för att effektivt skapa en gemensam lägesbild?
- Hur ska soldatburna sensorsystem utformas och användas för att effektivt bidra till den gemensamma lägesbilden?

### 3. Multisensornätverk – utformning och förmåga

Vi studerar hur ett multisensornätverk bör vara utformat för att på ett robust och uthålligt sätt stödja övervakningen under huvudsakligen militära insatser och för att ge användaren önskad kvalitet på lägesbilden. Utvecklingen idag strävar efter effektivare system som i högre grad kan upptäcka och följa mål automatiskt. I forskningsarbetet ingår att undersöka hur lika eller olika typer av sensorer bäst kombineras, samt hur de bör lokaliseras och integreras. Sensorernas numerär och typvariation motiveras i regel av täckningskrav i miljöer med begränsande och väderberoende sensormedier (sikt/siktlinjer). Vi studerar också hur olika former av degradering påverkar övervakningsförmågan, och hur vi kan kompensera för detta. Kunskap tas fram via simuleringar och experiment.

Målsättningen för verksamhetsåret var att genomföra en omvärldsstudie, vilken delvis är klar med preliminära resultat. Temat är distribuerade sensorer och fusion i övervakningstillämpningar och fokus är på befintliga system som exemplifierar temat, på företag som utvecklar produkter, samt på institutioner som bedriver forskning som har bäring på temat. De metoder som används i omvärldsstudien inkluderar sökning på relevanta konferenser och tidskrifter, sökning på Internet samt FOI-interna workshops. För mer detaljerad information och resultat hänvisas till det kommande FOI-memot Omvärldsstudie – distribuerade sensorer och fusion.

#### 3.1. Institutionsstudie

Än så länge har institutionsstudien väsentligen varit begränsad till Sverige. Vid en genomgång av landets ca 50 universitet och högskolor (UoH), visar det sig att det är ganska få som bedriver forskning inom det tematiska området. Då vi söker efter relevant projekt- och forskningsverksamhet på institutionernas hemsidor, finner vi att cirka 7 UoH har uttrycklig verksamhet med koppling till distribuerade sensorsystem, men endast Linköpings universitet (LiU) och Chalmers forskar explicit på sensorfusion i sensornätverk med nära koppling till övervakning och säkerhetstillämpningar. Vi får även räkna FOI till de institutioner som är relevanta i sammanhanget.

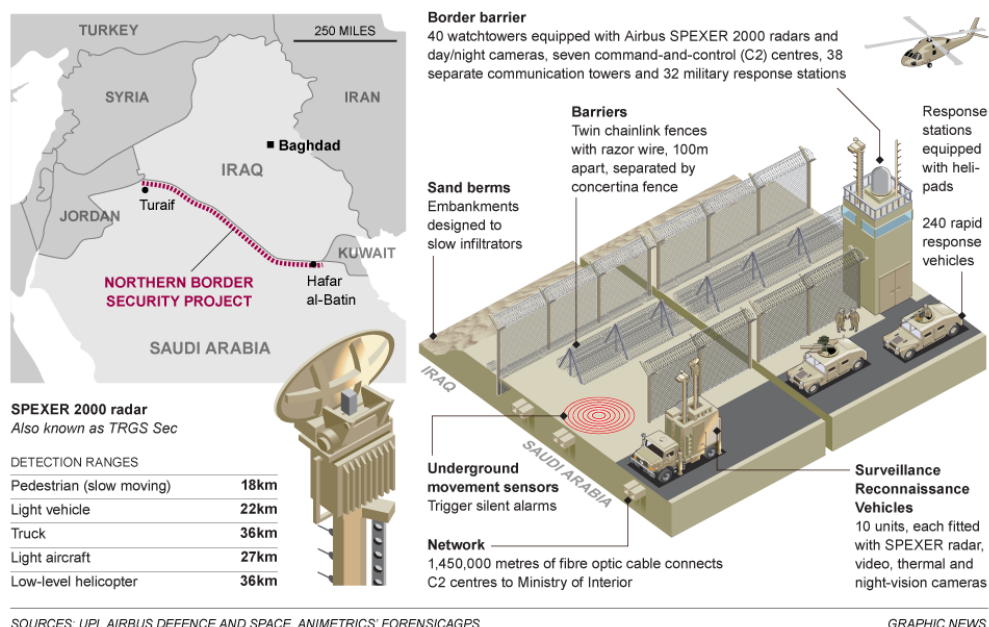
Ett par i sammanhanget intressanta och regelbundet återkommande konferenser är IEEE International Conference on Information Fusion (Fusion) och SPIE Defence and Security (SPIE). Båda konferenserna är välbesökta av forskare och experter inom säkerhet och militär teknik. Fusion drar dock åt det akademiska hållet, SPIE åt det militära. Bibliometri på Fusion åren 2012, 2013 och 2015 visar att nästan 2% av knappt 1800 artiklar har medförfattare från LiU, följt av FOI med 0.8%, Chalmers 0.6%. Resten av de svenska aktörerna ligger på cirka 0.2% eller mindre (4 artiklar eller färre), med undantag av SAAB som utmärker sig med 0.7%. Denna statistiska övning stödjer studien ovan; LiU, FOI och Chalmers dominerar bland instituten, och därtill får vi lägga SAAB som aktiv forskningsutförare.

Av de 186 artiklarna i SPIE har FOI svensk dominans med ca 4% av artiklarna. Uppsala universitet någon enstaka artikel, i övrigt inga ytterligare svenska kontributörer.

#### 3.2. Befintliga system

Exempel på mycket mångfaldiga sensorsystem hittas inom gränsövervakning; Saudiarabiens övervakning av gränsen mot Irak, se Figur 1, Sydkoreas övervakning av gränsen mot Nordkorea, USAs övervakning av gränsen mot Mexiko. Vi ser här exempel på multioptiska spaningssensorer och komplexa radarer, men det är överlag svårt att få kunskap om vilken typ av distribuerad automatik och sensorfusion som tillämpas i dessa system. Ännu ett i numerär slående exempel är kameraövervakningen i London. Här har demonstrerats användandet av automatik i forensisk analys först efter tillbud. Det återstår dock att undersöka om automatik används on-line.

Nätverk av marksensorer är vanliga idag, men den kommunikation som nätverken medger används sällan för fusion. Ofta läggs marksensorerna ut för glesst för att det ska vara meningsfullt att göra fusion – täckningsområdena överlappar inte.



**Figur 1.** Ett exempel på mångfaldigt sensorsystem är det som stödjer gränsövervakningen mellan Saudiarabien och Irak [3]. Det är dock svårt att få kunskap om vilken typ av övervakningsautomatik och fusion som används.

### 3.3. Företag

I Sverige utmärker sig SAAB som utvecklare av distribuerad sensorteknik. Bland de utländska företag och institutioner vi fått tips på och som vi kommer att titta närmare på framgent kan nämnas Thales, SAGEM, Fraunhofer FKIE, Airbus, McQ.

## 4. Distribuerad multisensormålföljning

Årets målföljningsverksamhet bygger vidare på det ramverk som byggts upp under det föregående projektet Övervakningssystem baserat på bayesiansk statistik och klassisk målföljningsteori, se t.ex. [4] och [5]. Målet är att komplettera befintliga centraliserade målföljare med algoritmer för distribuerad multisensormålföljning. En studie över befintliga metoder för association och målföljning i distribuerade system har genomförts i samverkan med verksamhet i P5. En speciellt intressant metod har valts för vidare studier under nästa år [6].

Ett antal kända metoder för att fusionera tillståndsestimat från olika källor har implementerats:

- *Generalized Information Matrix Fusion* (GIMF) [6],[7]
- *Covariance Intersection* (CIF) [8]
- *Safe Fusion* (SF) [9]
- *Exact Fusion* (EF) [7], [10]

Varje metod jämförs mot ett centraliserat Kalman filter (CKF). Resultaten har hittills verifierats mot en enkel rörelse-/sensor modell som bara påvisat funktionalitet. För att möjliggöra mer relevanta försök och utvärdering pågår uppbyggnad av ett simuleringsramverk inspirerat av Markstridsskolans befintliga nätverk av fasta sensorer i Kvarn. En ytterligare verksamhet för att stödja värderingen är implementation av en "state-of-the-art" detektor för detektion av människor i visuella bilder.

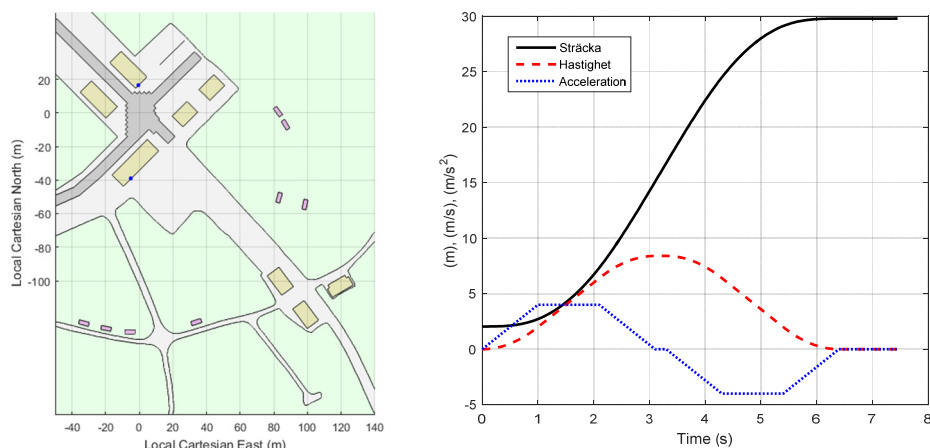
### 4.1. Simuleringar

Utveckling och initial utvärdering av målföljningsalgoritmerna baseras delvis på simulerade detektioner med välkontrollerade målrörelser. Simuleringsmiljön utgörs av en modell av SIB<sup>1</sup>-anläggningen vid MSS i Kvarn, se exempel på kartunderlag i Figur 2, vänster. Kombinationen virtuell och verklig miljö ger flerfaldiga synergier.

För att simulera naturligt mjuka målrörelser får de virtuella målen följa naturliga splines (kontinuerliga kurvor) som anpassats till manuellt lagda brytpunktsbanor. Längs med splinekurvan programmeras punkter där målet får stanna tillfälligtvis, exempelvis vid mötesplatser för individer eller vägkorsningar för fordon. Acceleration och retardation planeras med en särskild algoritm som undviker abrupta gaspådrag och inbromsningar för att återge realistiska rörelsemönster eller körcykler, se exempel i Figur 2, höger. Numeriska metoder används för att parametrisera om splinekurvan i termer av båglängd för att därigenom kunna etablera en noggrann referens för hastighet, acceleration, och vinkelhastighet. Detta är viktigt för att i förlängningen kunna simulera både hastighetsmätning, dopplermätning och gyromätning, vilket nyttjas vid utveckling av navigeringsfilter. Dessa simuleringsmetoder resulterar från projektarbetet 2015.

---

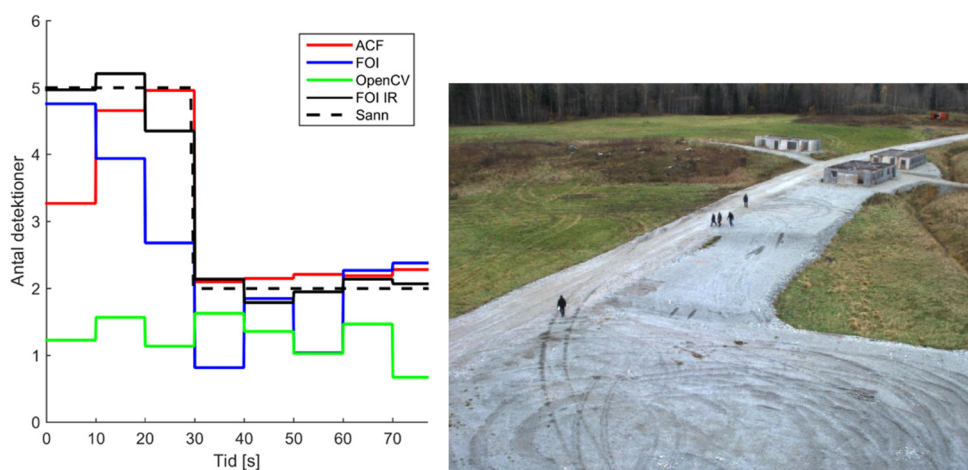
<sup>1</sup> Strid i bebyggelse (SIB)



**Figur 2.** Vänster: Kartunderlag för simulering av målrörelser. Simuleringsmiljön är hämtad från MSS Kvarn. Höger: Exempel på omsorgsfullt simulerad fordonsrörelse med kontinuerligt varierande acceleration; rörelseplanering för en förflyttning av drygt 27 meter, med en maxhastighet på 30 km/h (8.3 m/s) och en maxacceleration på 4 m/s<sup>2</sup>.

## 4.2. Studie av metoder för detektion i visuella bilder

Inom projektet genomfördes en inventering av existerande metoder (både inom och utom FOI) för att detektera människor i visuella bilder. Studien resulterade i tillgängliga implementationer av tre metoder för detektion. Resultaten jämfördes med en vid FOI välutvecklad befintlig detektor ursprungligen avsedd för IR-bilder. Resultatet visar att den mest moderna detektorn *Aggregated Channel Features* (ACF) [11] ger ett jämförbart resultat med FOIs IR detektor så länge som målen är tillräckligt stora (IR-detektorn klarar mindre mål då personerna normalt genererar en IR- signatur). För att uppnå likartade resultat med FOIs kod på visuella bilder behövs ett större urval träningsbilder eller anpassning av använda särdrag. Den äldre detektorn tillgänglig i programbiblioteket *OpenCV* [12] för datorseende gav de sämsta resultaten. Genom implementationen av ACF har projektet nu tillgång till en detektor som möjliggör enkelt utnyttjande av visuellt data från tidigare fältförsök vid utvärdering av distribuerad målföljning. Detektorn kan också användas för att skapa demonstrationer av distribuerad målföljning på visuellt data. Ett exempel på en jämförelse mellan de olika detektorerna visas i Figur 3. Arbetet finns dokumenterat i [13].



**Figur 3.** Jämförelse mellan tre detektorer (ACF, FOI, OpenCV) för visuell sensor och FOIs befintliga IR- detektor som testats på det övervakningsscenario som syns till höger. Initialt ingår fem personer i scenariot, varav tre lämnar scenen i slutet av sekvensen. Den vänstra grafen visar antal detektioner (personer) som de olika detektorernas algoritmer registrerar.

## 5. Anomalidetektion

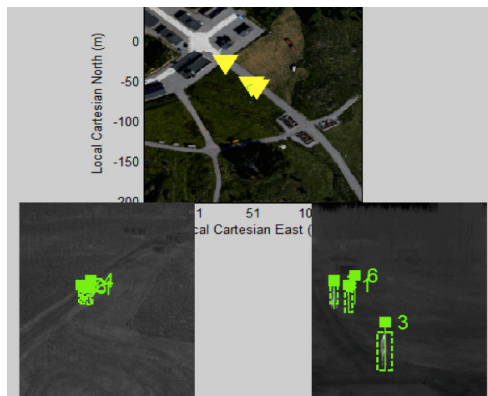
I arbetspaketet *Anomalidetektion* studerar vi hur system för övervakning av urban miljö ska vara utformade för att i ett tidigt skede upptäcka hotfulla händelser i folksamlingar. Vi använder klusteranalys och signalbehandlingsmetoder (inklusive sensorfusion) med data från visuella (VIS) och termiskt infraröda (TIR) videokameror. Metoderna sorterar och prioriterar automatiskt stora mängder bilddata och identifierar viktiga händelser. När metoderna detekterar avvikande händelser är det tänkt att de sänder ett larm till en operatör. En typisk tillämpning är övervakning av olika typer av skyddsobjekt (t ex militära camper). Vi har testat metoderna på flera olika datamängder och använt både detektioner och följningsdata som indata. Datamängderna har vi tagit fram själva inom projektet i form av simuleringar och mätningar (data från inspelningar i Kvarn) samt hämtat från Internet. I följande avsnitt redovisas de resultat som tagits fram under 2015.

### 5.1. Zonindelning

En viktig information för situationsanalysen är att fastställa var inom övervakningsområdet som olika aktiviteter sker. Ett område kan ses som indelat i zoner, där vissa zoner är mer kritiska än andra. Zonindelning kan göras på olika sätt. Ibland är det känt på förhand vilka zoner det finns och i vilka grader olika zoner är kritiska. Den förutbestämda zonindelningen kan ges som indata till anomalidetektionsmetoden som tillsammans med analysen av kinematiska data skattar hotfulla situationer. Tester med sådan zonindelning har gjorts med inspelade data från Kvarn (se ett exempel i Figur 4).

I andra fall är det inte känt på förhand vilka zoner det finns, och speciellt vilka zoner det finns där aktiviteter sker normalt. Kunskap om sådana zoner kan fås genom att utnyttja s.k. ”unsupervised learning”, vilket betyder att metoden får tränas på data som är okända, d.v.s. som inte har annoterats. Man behöver inte ha någon förkunskap om vilka zoner som finns, utan låter anomalidetektionsmetoden skapa statistisk över hur och var människor rör sig över tiden. Tester har gjorts med PETS-dataset som finns på Internet i ett examensarbete [14] som utfördes inom projektet under våren av Jonas Nordlöf från Umeå universitet.

Examensarbetet undersökte även om en kombination av PHD-filter (Probability Hypothesis Density filter), HMM (Hidden Markov Model) och klustring kan ge ökad förmåga för anomalidetektion av grupper. Arbetet ledde till intressanta resultat, bl. a att zonindelning, som nämndes ovan, kan göras online samt att anomalier i den inlärd zonmiljön kan upptäckas i ett tidigare skede d.v.s. genast då personer byter riktning till en riktning de inte tidigare gått. Denna kunskap skulle ha varit svårare att fånga i det undersökta scenariot utan automatisk zonindelning.



**Figur 4.** Resultat från gruppdetektionen baserade på inspelade IR-data från Kvarn. Målföljningen av enskilda individer visas i de två nedre bilderna. Gruppdetektionen visas i den övre bilden, där grupperna motsvaras av gula trianglar.

## 5.2. Gruppdetektion

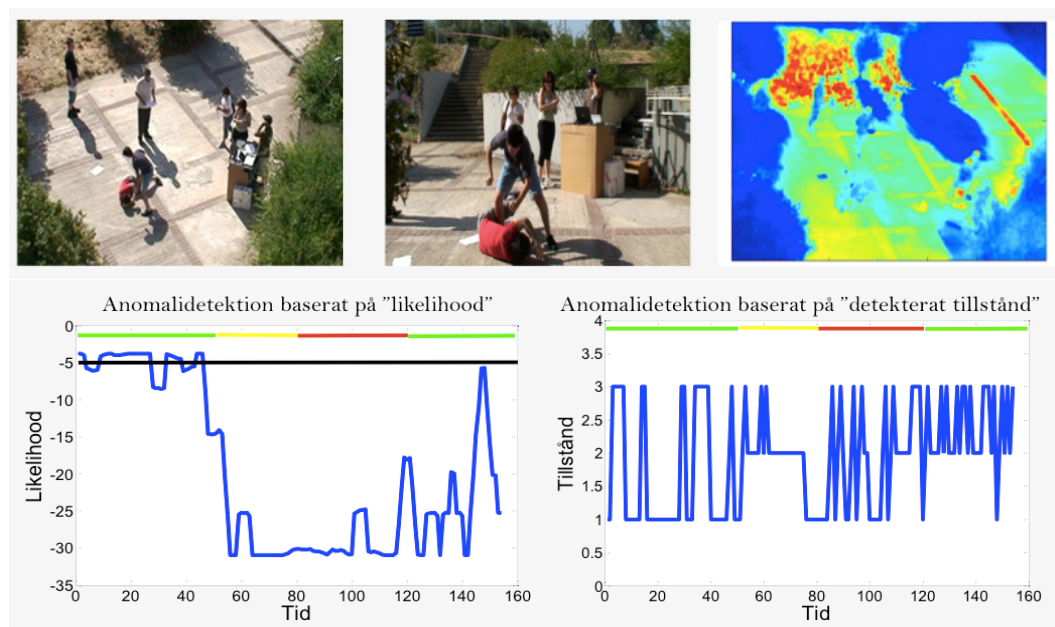
Vi har integrerat gruppdetektionen, som är baserad på klustring, i ramverket för Kvarndata (se Figur 4). Som indata till klustringen används målinformation (position och hastighet) från målföljningsalgoritmen. Testerna visar att då hastigheten tas med så sker en förbättring av gruppdetektionen, jämfört med om bara positionsdata används.

## 5.3. Historik i anomalidetektionen

Vi har introducerat historik i anomalidetektionen samt förbättrat förmågan att prediktera situationer. Detta har gjorts genom att använda HMM och Viterbi-algoritmen [15] i anomalidetektionen och studera detta för tillämpningen ”detektion av slagsmål”. Data har använts från det tidigare EU FP7-projektet PROMETHEUS, som medfinansierades av ett tidigare FoT-projekt inom samma forskningsområde som detta projekt [16].

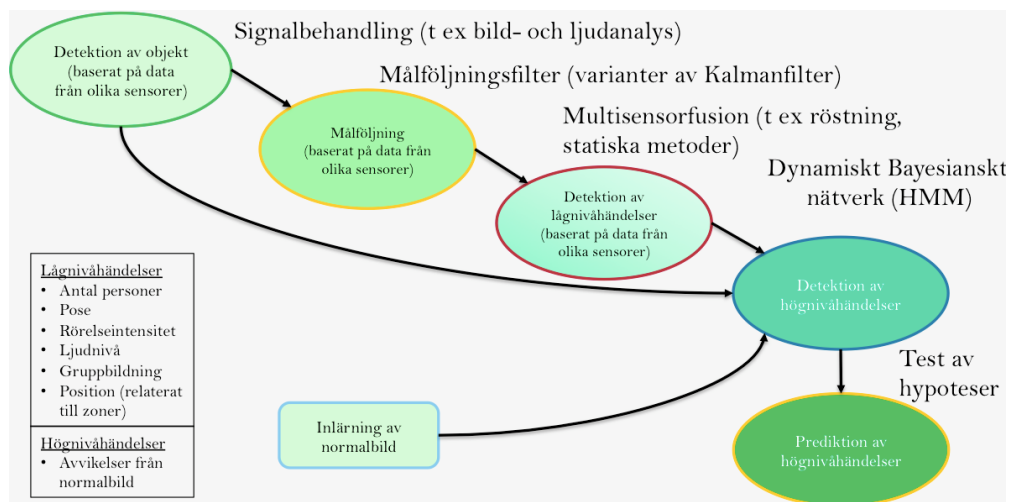
Historiken förbättrar detektionen av starten av slagsmålet. Men detektionen kvarstår istället en viss tid efter att slagsmålet har avslutats. Med Viterbi-algoritmen kan man få intressant information angående tillstånden hos grupperna och det är möjligt att identifiera tillstånd som är direkt kopplade till anomalierna. Några av resultaten visas i Figur 5. Den blå linjen i diagrammen visar utdata från anomalidetektionen. Den svarta linjen är det skattade tröskelvärde som skiljer normalt från onormalt. De gröna, gula och röda linjerna beskriver de olika händelserna såsom de inträffar i verkligheten (”ground truth”). Grönt är normal situation, gult är ökade oroligheter och rött är en hotfull situation, dvs. själva slagsmålet. För gul och röd linje så kan man i det vänstra diagrammet se att utdata från anomalidetektionen är under tröskelvärde, vilket betyder att oroligheterna och slagsmålet är detekterade. Det högra diagrammet visar samtidigt vilka tillstånd som är aktiva under scenariot. Bland annat så kan man se att speciellt ett tillstånd, tillstånd 2, är mer aktivt under oroligheter och slagsmål.

I sin helhet består anomalidetektionen av följande steg: 1) detektion av objekt, 2) målföljning, 3) multisensorfusion, 4) HMM och 5) test av hypoteser. Algoritmen för anomalidetektion startar vid steg 3. Analyser kan göras enligt den kedja av processer som visas i Figur 6, men det är också möjligt att hoppa över vissa steg, som t ex målföljning av enstaka individer, och istället utnyttja detektioner direkt i multisensorfusionen eller i HMM.



**Figur 5.** Resultat från detektion av slagsmål med en vidareutveckling av HMM-metoden [16]. Den gröna linjen i de två diagrammen representerar normal situation, den gula linjen motsvarar ökade oroligheter och den röda linjen representerar en hotfull situation, vilket i detta fall är slagsmålet.





**Figur 6.** De olika stegen för att detektera anomalier.

## 5.4. Leveranser

En artikel med titeln *Anomaly detection in surveillance applications using multiple sensor fusion and the hidden Markov model* skickades in till tidskriften *Journal on Advances in Signal Processing*. Artikeln, som var en milstolpe inom projektet [17], redovisar resultat från detektionen av slagsmål. Några av de resultaten kan ses i Figur 5.

Resultat med titeln *Nya forskningsresultat inom automatisk målföljning och avvikelседetektion* presenterades som en del i en milstolperedovisning på FMV den 5/11 (se kapitel 8).

## 5.5. Samverkan med LiU

Projektet har deltagit i studentprojektkursen CDIO (Control Project Laboratory, TSRT10) på Linköpings universitet, där projektet definierade en projektuppgift som handlade om autonom spaning med en s.k. quadcopter. Åtta studenter deltog i arbetet med att utveckla kod och demonstrera följning av objekt med quadcopter. Resultaten, som presenterades den 3/12 på Linköpings universitet, var mycket bra och studenterna visade att quadcoptern automatiskt mycket väl kunde detektera och följa ett rörligt mål i inomhusmiljö (utan tillgång till GPS).



## 6. Egenpositionering och kartering

Inom detta arbetspaket undersöker vi möjligheten att med multisensorsystemlösningar skapa förutsättningar för den enskilde soldaten att bestämma sin egenposition i nya okända miljöer (t.ex. inomhus) där GPS-täckningen är dålig eller helt saknas. En operativ fördel som också studeras är att den valda tekniken samtidigt ger möjlighet att kartera den miljö som registreras.

### 6.1. Introduktion - SLAM

SLAM, *Simultaneous Localization and Mapping*, syftar på tekniker för att bygga upp en karta över en tidigare okänd miljö, samtidigt som man positionerar sig relativt denna karta. SLAM-metoder är alltså oberoende av tidigare installerad infrastruktur i form av visuella markörer, radiofyrar etc, vilket gör tekniken intressant i bland annat inomhusmiljöer, där GPS och andra satellitbaserade positioneringssystem, såsom Galileo och GLONASS, inte fungerar tillfredsställande.

Tekniker för kamerabaserad SLAM utvecklades i de båda föregående FoT-projekten *Sensorsystem för urbana operationer* (SUO, 2009-2011) och *Övervakningssystem* (ÖS, 2012-2014). Arbetet har därefter tagits över av det föreliggande projektet *Multisensorsystem för övervakning* (MSÖ, 2015-2017). I de tidigare projekten har arbetet inom *Blue Force Tracking* (BFT) fokuserats på utveckling och utvärdering av system baserade på passiva avbildande sensorer (visuella kameror och termiska IR-kameror) i kombination med tröghetsnavigations-sensorer (*Inertial Measurement Unit*, IMU), som mäter acceleration och vinkelhastighet. Kamerorna arrangerades i stereopar, vilket möjliggör avståndsmätning till observerade objekt.

Under 2015 har ett nytt prototypsystem tagits fram. Detta utnyttjar nu istället en aktiv avståndsmätande kamera baserad på modulerat laserljus. Övergången till en aktiv avbildande sensor har huvudsakligen två fördelar: den nya sensorn fungerar i mörker, och avståndsmätningar blir betydligt tätare och mer precisa. I likhet med de tidigare positioneringssystemen används även här en tröghetssensor tillsammans med kameran.

Utöver IMU och aktiv kamera, består prototypsystemet av en dator, med prestanda motsvarande en snabb bärbar dator (Intel i7 mobile), samt egenutvecklad elektronik för synkronisering av sensorerna. Komponenterna är monterade i en låda av trä, som enkelt kan fästas på en stridsväst<sup>2</sup> (se Figur 9). Systemet beräknar positioner och genererar kartor i realtid.

Utöver utvecklingen av ett nytt system, har verksamheten under 2015 inkluderat ett antal fältförsök samt förbättringar av positionerings- och karteringsalgoritmerna. De mest framstående förbättringarna har medfört att positioneringsfiltret nu kan upptäcka och korrigera för synkroniseringsfel mellan bild- och tröghetsdata, samt att de genererade kartorna nu är av betydligt högre kvalitet. Det sistnämnda bedöms underlätta det planerade arbetet med loopslutning (se avsnitt 6.5 nedan). Fältförsöken har dels medfört goda möjligheter att utvärdera de positioneringssystem som utvecklats, och dels medfört en god kontakt med Skyddscentrum i Umeå, som är en tänkbar användare av denna typ av utrustning.

### 6.2. Vidareutveckling av positioneringssystemet

#### 6.2.1. Sensorer

I systemet ingår en Microsoft Kinect v2. Denna enhet har i första hand utvecklats som styrenhet för TV-spel, men inkluderar en kvalificerad aktiv sensor som mäter avstånd med hjälp av en s.k. *time of flight*-teknik. Något förenklat används modulerat laserljus tillsammans med en bildsensor, där varje pixel är indelad i två halvpor. Den ena halvpixeln integrerar ljus när lasern är aktiv, medan den andra integrerar ljus när lasern är avstängd. Om ljuset studsar på ett objekt

<sup>2</sup> Ett slutligt system bör vara hjälmmonterat för att maximera kamerans synfält, men de komponenter som används i prototypen är för stora och tunga för att detta ska vara praktiskt görbart.

mycket nära sensorn, fångas det upp av den första halvpixeln. Om objektet flyttas längre bort, tar det längre tid för ljuset att reflekteras tillbaka, och en allt större del fångas i stället upp av den andra halvpixeln. Genom att summera det ljus som träffar de båda halvpixlarna, erhålls en bild som visar hur mycket laserljus som reflekteras i varje punkt. Därmed samlas både en avståndsbild och en intensitetsbild in från samma kamera vid samma tidpunkt. Detta medför att de båda bilderna är perfekt registrerade till varandra, vilket underlättar den fortsatta bildanalysen.

Utöver Kinect används en tröghetssensor, Xsens MTi-10, med en maximal acceleration på 5 G och en maximal rotationshastighet på 1000 grader/sekund.

### 6.2.2. Algoritmer

I princip är det möjligt att beräkna systemets position och orientering endast utifrån IMU:ns mätningar av acceleration och vinkelhastighet, I praktiken gör dock brus och långsamt varierande avvikelser i mätningarna att detta bara fungerar under en kort tid (redan efter några få sekunder kan estimeringsfelet bli flera tiotals meter). Detta löses genom att använda bilddata från kameran för att begränsa feltillväxten. Så kallade landmärken (stabila punkter som relativt lätt kan kännas igen från bild till bild) följs genom sekvensen av bilder. Genom att känna till kamerans geometri och de bildkoordinater där landmärken observeras, kan systemets förflyttning beräknas. Data från IMU:n används för att prediktera var i bilderna landmärken bör synas, vilket förbättrar associationen mellan de landmärken som observeras och de som följs sedan tidigare. (Under den korta tiden mellan två bilder, 1/30 sekund, är felen i IMU:ns estimat av rörelsen mycket små). Datafusionen mellan tröghetsdata och landmärken görs med ett s.k. *Extended Kalman Filter* (EKF). I den nuvarande implementationen läggs landmärken till i positioneringsfiltret om nya sådana observeras och färre än 30 redan följs. När ett landmärke inte observerats i ett antal bilder i rad tas det bort från filtret.

Trots den elektroniska synkroniseringen mellan den avståndsmätande sensorn och IMU:n, händer det att data från de båda sensorerna blir osynkroniserade. Detta beror på att den avståndsmätande sensorn ibland tappar bort en bild. För att hantera detta används flera positioneringsfilter parallellt, vart och ett med olika antaganden om tidsfördröjningen mellan sensorerna. Varje filter beräknar ett kvalitetsmått baserat på hur väl det (med hjälp av IMU-data) predikterat observationer av landmärken. Filtret med högst kvalitetsmått används för att estimerar systemets position och orientering.

Varje avståndsbild från kameran kan betraktas som ett punktmoln där punkterna ligger på ytan av objekt i den scen som observeras. Genom att använda positioneringssystemets skattning av position och orientering kan enskilda punktmoln från olika bilder längs en rörelsebana transformeras till ett gemensamt koordinatsystem. De transformerade punktmolnen bildar tillsammans en 3D-modell över hela området. En projektion av modellen på ett horisontellt plan genererar en översiktskarta. För att undvika att brus i avståndsbilderna leder till slumpmässigt placerade punkter i 3D-modellen filtreras punkter i avståndsbilderna bort om det inte finns flera närliggande punkter med liknande estimerade avstånd. Ett exempel på en översiktskarta visas i Figur 8.

### 6.3. Utvärdering av positioneringssystemet

För att utvärdera hur väl positionerings- och karteringssystemet kan återskapa miljöer, genomfördes ett försök tillsammans med en grupp från SkyddC, Umeå, i samband med en övning där de sökte efter B-stridsmedel, se Figur 7. Detta experiment beskrivs mer utförligt nedan. Systemet har också utvärderats tillsammans med en grupp soldater vid P7 Revingehed, samt tillsammans med rökdykare (från Södertörns brandförsvarsförbund) i Ågesta. Resultat från dessa försök återfinns i [18].

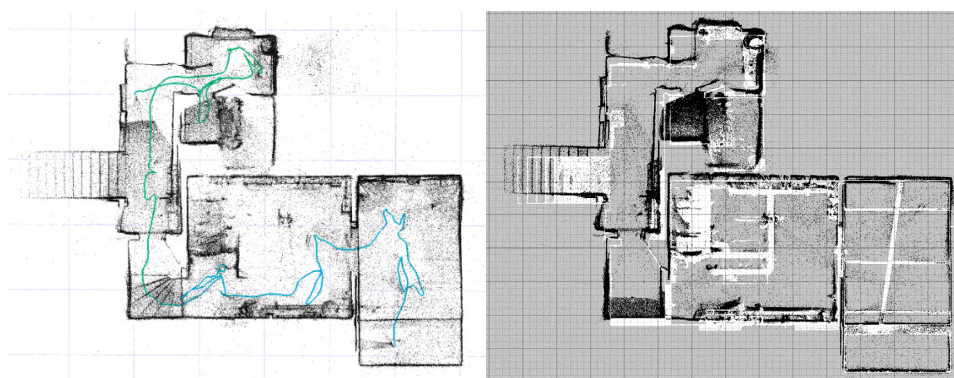


**Figur 7.** Soldater från SkyddC, Umeå, testar prototypsystemet för positionering och kartering i samband med en övning.

### 6.3.1. Experiment med SkyddC Umeå: genomsökning av hus

Insamling av bevis på en brottsplats involverar normalt fotografering av objekt från många vinklar och avstånd. Att hålla reda på vilken bild som är tagen från vilken plats, samt vid vilken tid, är mödosamt och tidskrävande arbete. SkyddC utför denna typ av uppgifter i miljöer där det misstänks finnas kemiska, biologiska, radioaktiva eller nukleära ämnen (CBRN). I de fall då farliga objekt påträffas, kan positionerings- och karteringssystemet förbättra planeringen av hur objekten skall tas om hand, och längs vilken väg soldaterna kan ta sig ut för att minimera tiden som de utsätts för den farliga miljön.

Under försöket, som genomfördes i samband med en övning för SkyddC, rensades en byggnad av en grupp innan två soldater skickades in för att dokumentera miljön. På den ena soldatens stridsväst monterades positioneringssystemet. (Den andra soldaten fick samtidigt testa utrustning från Mantis Vision, som används för detaljerad 3D-modellering av mindre områden.) Soldaternas huvudsakliga uppgift var att dokumentera byggnaden för att bevara bevis och kunna hantera eventuella farliga ämnen. Den vänstra delen av Figur 8 visar en karta som genererats av positioneringssystemet i denna miljö, samt hur soldaten med positioneringssystemet rörde sig.



**Figur 8.** Vänster: Positions- och karteringsresultat från prototypsystem. Höger: Karteringsresultat (svart) överlagrade på laserbaserad referensmätning (vit).

Figur 9 visar en soldat med positioneringssystemet monterat på stridsvästen tillsammans med en bild från NIR-sensorn, tagen i samband med att de två soldaterna dokumenterade byggnaden. Försöket tillsammans med SkyddC var framgångsrikt, och det är sannolikt att ytterligare gemensamma försök kommer att genomföras.



**Figur 9.** Vänster: Soldat från SkyddC, Umeå, utrustad med positionerings- och karteringssystem monterat på stridsvästen. Höger: Bild från den aktiva sensorn i positionerings- och karteringssystemet.

### 6.3.2. Utvärdering av noggrannhet

För utvärdering av positions- och karteringsresultat gjordes även en referensmätning av byggnaden med ett mycket noggrant laserbaserat system (Riegl VZ 400). En jämförelse mellan referensmätningen och karteringssystemets estimat visar att lokalt, inom ett rum, är felen mindre än 5 cm. Se Figur 8 (höger) där referensmätningen visas i vitt tillsammans med prototypsystemets karta i svart. Över större avstånd leder drift till större positionsfel, vilket syns som felplacerade väggar.

## 6.4. Presentationer

Under 2015 har positions- och karteringssystemet, samt de algoritmer som utvecklas inom projektet, presenterats vid följande tillfällen:

- Workshop angående positionering i gruvor, Boliden
- ION ITM (konferens, Dana Point, CA, USA) [19]
- SSBA (konferens), Ystad
- TAMSEC (konferens), Stockholm
- Demonstration och presentation för potentiella användare i samband med fältförsök med P7 Revingehed och SkyddC, Umeå
- Demonstration på FMV, Stockholm
- Demonstration och presentation för NATO GPS Technical Group

Ett konferensbidrag har även accepterats till IEEE/ION PLANS 2016 [18].

## 6.5. Fortsatt arbete

*Loopslutning:* Eftersom landmärken tas bort från filtret när de inte observerats under en kort tid, kommer systemets positionsosäkerhet att växa långsamt med tiden. Om tidigare landmärken kändes igen, skulle de kunna användas för att minska osäkerheten. Detta kallas ofta loopslutning. Nackdelen med att spara gamla landmärken är att beräkningskomplexiteten växer med antalet landmärken som följs. För att landmärkesbaserad loopslutning ska fungera, krävs oftast att landmärken återobserveras från ungefär samma position. Detta är osannolikt i många scenarion. Vi planerar därför att sluta loopar genom att i stället känna igen tidigare observerad geometri, genom att jämföra det ackumulerade punktmolnet med de avståndsbilder som samlas in. Denna typ av loopslutning bedöms ha bättre möjlighet att fungera t.ex. när en korridor passeras andra gången, i motsatt riktning relativt den första passagen. Detta förväntas vara betydligt lättare att åstadkomma med de tätare kartor som kan genereras med det nyutvecklade, aktiva, systemet, än det varit tidigare. Ytterligare förbättringar, som också bör underlätta detta arbete, har uppnåtts genom filtrering av punktmolnen. Förhoppningen är att kartbaserad loopslutning i princip ska eliminera driften hos den estimerade positionen.

*Samverkan mellan flera positioneringssystem:* De funktioner för igenkänning av geometri, som beskrivs ovan, kan även användas för att relatera 3D-modeller från flera olika positioneringssystem till varandra. Detta möjliggör positionering av flera användare i samma koordinat-system, och med delad kartinformation.

*Filtrering av mätdata i samband med skott:* I samband med försöket som genomfördes vid P7 Revingehed påvisades att systemet behöver modifieras för att kunna hantera situationer där skott avlossas. En möjlig lösning är att ignorera sensordata från IMU:n i dessa situationer, och tillfälligt förlita sig helt på bildbaserad positionering.

*Miniatyrisering av prototypsystem:* I samband med de försök som gjorts hittills har systemet monterats på en stridsväst. Systemet är i dag för stort och tungt för att monteras direkt på soldatens hjälm. Miniatyrisering av systemet, genom att använda motsvarande algoritmer men mindre komponenter, kan möjliggöra användartester med ett hjälmmonterat system. Detta gör att soldaten har båda händer fria och minskar bl.a. risken att sikten skyms av t.ex. andra soldater under en längre tid.

## 7. Liten drönarplattform för autonom kartering och bevakning i komplexa miljöer

Den snabba utvecklingen av små COTS-drönare, sensorer och beräkningshårdvara möjliggör autonom bevakning ”från insidan” av komplexa miljöer såsom urban miljö, skog och inomhusmiljö. Inom projekt på och utanför FOI pågår utveckling av system för positionering och kartering (se avsnitt 6) samt för spaning och övervakning, inkluderande detektion av människor. En naturlig fortsättning på denna utveckling är att utnyttja de nya COTS-drönarna som sensorplattform för användning av de befintliga teknikerna i nya applikationer och komplexa miljöer.

Att verka inuti komplexa dynamiska miljöer där plattformen är omgiven av objekt som påverkar val av 3D-rutt, orientering och sensorstyrning, ställer stora krav på autonomi, ruttplanering och förmåga till kollisionsundvikande. Arbetspaketet är avgränsat till att i första hand fokusera på signalbehandling som möjliggör och stödjer dessa funktioner. Försök kan genomföras med COTS-hårdvara, som till stor del redan finns tillgänglig på FOI. Exempel på användningsområden för en liten drönare som sensorplattform är:

- *Rekognosering inomhus/urban miljö*: genomsökning av delvis raserade byggnader i t.ex. katastrof-områden samt militär genomsökning vid terroristbekämpning. Vid genomsökning byggs geometriska och topologiska kartor upp där detekterade händelser och människor löpande registreras.
- *Rekognosering i skog*: autonom flygning bland träden i terräng med täta trädkronor. Kartor byggs kontinuerligt upp över olika terrängtyper såsom gläntor, stigar och träsk. Intressanta detektioner av t.ex. fordon och människor registreras på kartorna. Ett konkret exempel är som verktyg vid skallgång då t.ex. en IR-kamera kan användas.
- *Ruttbevakning*: möjlighet att agera scout eller använda ”follow-me”-funktionalitet. Möjliggör upptäckt och spaning.
- *Skiltnadsdetektion*: IED-detektion, tillkomna eller bortplockade objekt, grävningar i väg, nya hyggen, nya stigar etc.

### 7.1. Aktiviteter

Arbetspaketet har haft två aktiviteter:

- En litteratur- och omvärldsöversikt har genomförts där utvecklingstrender inom sensorer, sensorplattformar, styrningsmjukvara och dylikt har analyserats.
- En datainsamling från två olika sensorplattformar har genomförts. Dessa utgör en grund för framtida metodutveckling för t.ex. kollisionsundvikande och konstruktion av topologiska kartor.

### 7.2. Utvecklingstrender

Det sker en väldigt snabb utveckling av små drönare i både hårdvara och mjukvara. Parallellt med detta kommer allt fler användningsområden och användare, där även allmänheten i allt högre grad tar till sig tekniken. Nedan följer ett litet urval:

### 7.2.1. Sensorplattformar och sensorer

De tillgängliga utvecklingsplattformarna blir allt kraftfullare och mer produktlika. Under Consumer Electronics Show (CES-2015) visade Intel en drönare kallad Firefly [20] från tyska Ascending Technologies. Den var bestyckad med 6 stycken Intel RealSense [21] kameramoduler som var och en levererar RGB, stereoskopisk IR och djup. Under live-demonstrationen [22] flög drönarna autonomt genom en hinderbana.

Microsoft har också en RGB-D sensor kallad Kinect V2 [23]. Google har sitt projekt Tango [24] som siktar på att ge spatiell perception till sin Android-plattform genom en rad sensorer i kombination med avancerad signalbehandling.

### 7.2.2. Mjukvara

En autonom drönar-sensorplattform kräver många mjukvarukomponenter för signalbehandling, regler- och styrsystem. Allt fler öppna programvaror finns här tillgängliga. Dronecode [25] siktar på att bli en gemensam öppen källkodsbas för UAV:er. ROS [26] är en samling öppna mjukvarubibliotek och verktyg för generella robotplattformar. ROS använder en rad andra öppna bibliotek som t.ex. Point Cloud Library (PCL) [27] för punktmolnsbehandling samt OpenCV [28] för datorseende-metoder. Simulering av många olika typer av robotar och sensorer kan göras med Gazebo [29].

### 7.2.3. Kollisionsundvikande och SLAM

En grundläggande funktion för en autonom drönare är kollisionsundvikande. Här pågår forskning av många aktörer. DARPA startade projektet Fast Lightweight Autonomy (FLA) [30] i december 2014. Målet är att hitta en ny klass av algoritmer för "minimalistisk höghastighetsnavigering i omgivningar med hinder". På MIT har man tagit fram metoden "Pushbroom Stereo" [31,32] som hjälper en liten UAV med relativt hög fart (knappt 50 km/h) att undvika hinder. Denna mjukvara finns tillgänglig som öppen källkod [33].

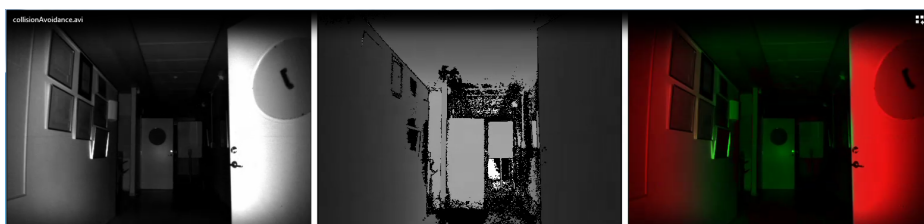
På en högre systemnivå måste drönaren kunna bygga upp en karta samtidigt som den bestämmer sin position och sin orientering (6D) i denna karta. En SLAM-metod lämplig för drönarapplikationer och som skalar till stora miljöer presenterades nyligen av Shaowu Yang et al [34]. Robusta SLAM-metoder som inte bara använder punktmoln utan även högre ordningens strukturer, såsom linjer och plan, är också under utveckling [35]. Dessa är nödvändiga då stabila bildkontraster är ovanliga men plana områden och linjer är vanliga; en vanlig situation inomhus i t.ex. korridorer.

### 7.2.4. Sport och fritid

En tydlig trend bland allmänheten är drönare som följer ägaren och spelar in alla aktiviteter som denne utför. Exempel på produkter är AirDog [36], Flyr [37] och Hexo+ [38].

## 7.3. Datainsamling

För att samla in data som kan användas vid metodutveckling, t.ex. för generering av topologisk karta, användes ett handhållet Kinect-baserat system inomhus (se avsnitt 5) samt en operatörsstyrd mikrodrönare med en Lepton IR-sensor och en visuell sensor utomhus. Scenariot var att navigera från punkt A till punkt B, men när systemet stöter på hinder måste alternativa vägar prövas. Som ett exempel på hur datat kan användas, genererades "fly/no-fly" bilder där "farliga" områden markerades, se Figur 10 nedan.



**Figur 10.** Exempel på bild från datainsamlingen inomhus. Vänster: Reflektansbild. Mitten: Djupbild. Höger: Beräknad "fly/no-fly" markering.

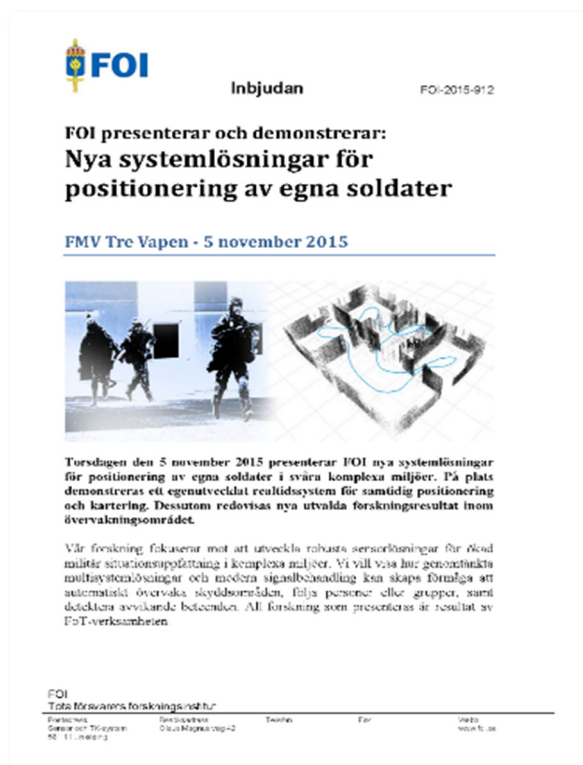


## 8. Demonstration

Den 5 november 2015 gav projektet en muntlig resultatredovisning för inbjudna representanter från FM och FMV som fick en presentation och demonstration av *nya systemlösningar för positionering av egna soldater i svåra komplexa miljöer*. Den två timmar långa redovisningen var förlagd till FMV (Tre vapen) och för detta speciella tillfälle nyttjades den ändamålsenliga kurslokalen SMART-lab. Inför ett tiotal åhörare inledde projektledaren Stefan Nilsson med att berätta om programmet och forskningens syfte och mål. Sedan presenterade Joakim Rydell och Staffan Abrahamson två av FOI:s egenutvecklade systemlösningar för positionering av egna soldater, baserade på SLAM- respektive RF-teknik. Maria Andersson avslutade det första passet med att visa några nya forskningsresultat inom övervakningsområdet som handlade om automatisk målföljning och avvikelседetektion. Efter pausen demonstrerade Joakim Rydell FOI:s handhållna kamerabaserade positionerings- och karteringssystem som baseras på SLAM-teknik (se avsnitt 5). Under demonstrationen vandrade operatören runt i SMART-labs lokaler, samtidigt som åhörarna på storbildsskärm i realtid fick se en karta av lokalerna byggas upp tillsammans med systemets aktuella position i kartan.

Alla forskningsresultat som presenterades och de försökssystem som tagits fram är resultat av FoT-finansierad verksamhet, som i detta fall handlar om att undersöka och utveckla robusta multisensorlösningar för ökad militär situationsuppfattning i komplexa miljöer.

Den muntliga redovisningen och demonstrationen utgjorde en milstolpe inom FoT-projektet och leveransen redovisas formellt som ett memo [39].



**Figur 11.** Framsidan på den inbjudan som FOI i maj skickade ut till FM, FMV, FHS m.fl. inför presentationen och demonstrationen av nya systemlösningar för positionering av egna soldater.



## 9. Internationell samverkan

*Multisensorsystem för övervakning* och det tidigare FoT-projektet *Övervakningssystem* har medfinansierat FOI-deltagande i *EU FP7* forskningsprojektet *P5*. EU-projekt är inriktade mot att ta fram metoder och tekniker för att upptäcka säkerhetsrisker och hot mot det civila samhället, vilka har tydliga kopplingar till den militära hotproblematiken. Genom medfinansieringen har forskningen kunnat fördjupas inom gemensamma problemställningar och internationella forskningsresultat från EU-projekten har blivit tillgängliga för det föreliggande FoT-projektet. Mätdata från fältförsök har använts för att utvärdera multisensornlösningar och metoder för militär övervakning.

### 9.1. P5 (2013-2016)

Teknik för att stödja tidig hotupptäckt kring stationära installationer är alltjämt en militärt intressant förmåga (camper) men blir också allt intressantare civilt (kritisk infrastruktur som kraftstationer, serverhallar, telekommunikationscentra *et cetera*). Som ett exempel kan nämnas senare års incidenter kring svenska kärnkraftverk som lett till nya krav på kontinuerlig övervakning av betydligt större områden kring anläggningarna. I P5 ska vi möta det behov av effektiva sensorlösningar som följer på dessa krav, samtidigt som sensorlösningarna kan accepteras i integritetshänseende. Speciellt viktig blir sensorteknik som kan säkra bruten terräng med starkt begränsade siktnlinjer, dygnet runt, året om. Centrala frågeställningar för FOIs vidkommande är:

- Sensorfusion. Hur kvalitetsmärks och sammanställs information från det stora antal sensorer och sensortyper som krävs för att säkra stora terrängavsnitt under varierande väderleksförhållanden?
- Tillförlitlighet. Hur ska algoritmer för automatisk upptäckt av hot vara utformade för att fånga alla hot, men samtidigt inte larma för något ofarligt som t.ex. rådjur och bärplockare?
- Kalibrering. Hur kan sensorsystemet kalibreras med avseende på geografiska referenssystem och en gemensam tidsbas (synkronisering)?
- Radarsignalbehandling. Hur kan mindre övervakningsradarer stödja hotupptäckt och hotklassificering i aktuella miljöer, exempelvis baserat på mikrodoppler?

Visuella kameror, värmekameror och radar är de viktigaste sensorerna som studeras i P5. Bland P5s mål finns framtagande av nya metoder med både kommersiell och akademisk bärkraft samt två teknikdemonstrationer, varav en kommer att hållas på Oskarshamns Kärnkraftverk. Till resultaten hittills kan räknas en genomförd behovsanalys som ligger till grund för morgondagens systemarkitekturer, se [40], utvecklade fusionsmetoder för klassificering och följning, nya detektionsmetoder i termiska kameror, utredning och förslag på lösningar för att hantera integritetsaspekter i bevakningssystem samt avvikelsetektor för tidig upptäckt.

### 9.2. NATO-arbetsgrupper

Internationellt samarbete sker genom deltagande i NATO-grupperna SET-153 *Multi-Sensor Integration for Urban Operations* och SET-189 *Battlefield Acoustic Sensing, Multi-modal Sensing and Networked Sensing for ISR Applications*. SET-153 studerar hur olika sensorer och sensorsystem kan kombineras för en förbättrad situationsuppfattning vid urbana operationer. Gruppen leds av USA genomförde 2011 ett storskaligt multisensorförsök i Tyska Bonnland. Slutrapporten är fortfarande under utarbetande. För mer detaljerad information, se [41].

Projektet medverkar även i NATO SET-189 *Battlefield Acoustic Sensing, Multi-modal Sensing and Networked Sensing for ISR Applications*. Gruppen leds av USA och Turkiet och ett viktigt syfte är att undersöka vilka nya förmågor dagens och morgondagens ISR-sensorer (distribuerade nätverk av billiga och strömsnåla multimodala akustiska system) kan ge på slagfältet och hur de ska integreras vid koalitionsoperationer.

## 10. Referenser

- [1] S. Nilsson m.fl., ”Övervakningssystem, slutrapport”, FOI-R--3971--SE, 2014.
- [2] S. Nilsson m.fl., ”Sensorsystem för urbana operationer, slutrapport”, FOI-R--3324--SE, December 2011.
- [3] <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/middleeast/saudi-arabia/11344116/Revealed-Saudi-Arabias-Great-Wall-to-keep-out-Isil.htm>
- [4] S. Blackman and R. Popoli, *Modern tracking systems*, Artech House, 1999.
- [5] X. R. Li and Y. Bar-Shalom, *Estimation and Tracking: Principles, Techniques, and Software*, Artech House, Inc, 1993.
- [6] C.-Y. Chong, F. Govaers, S. Mori and W. Koch, “Comparison of Augmented State Track Fusion Methods for Non-full-rate Communication”. Washington DC, *18th International Conference on Information Fusion*, 2014.
- [7] X. Tian and Y. Bar-Shalom, *On Algorithms for Asynchronous Track-to-Track Fusion*, 2010.
- [8] S. J. Julier and J. K. Uhlmann, “A non-divergent estimation algorithm in the presence of unknown correlations”. s.l., In *Proceedings of the American Control Conference*, 1997.
- [9] F. Gustafsson, *Statistical sensor fusion*, Studentlitteratur, 2001.
- [10] X. Tian and Y. Bar-Shalom, *Exact algorithms for four track-to-track fusion configurations: All you wanted to know but were afraid to ask*, 2009.
- [11] P. Dollár, Piotr's Computer Vision Matlab Toolbox (PMT). [Online], 2012. Available at: <http://vision.ucsd.edu/~pdollar/toolbox/doc/index.html> [Accessed 2015].
- [12] O. D. Team, *OpenCV*. [Online], 2015. Available at: <http://opencv.org/> [Accessed 2015].
- [13] V. Deleskog, ”Utvärdering av några persondetektorer ur ett målföljningsperspektiv på visuellt data”, FOI-D--0685--SE, 2015.
- [14] J. Nordlöf, ”Anomaly detection in video surveillance feeds”, (Umeå universitet) FOI-S--5097--SE, 2015.
- [15] L. Rabiner, “A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, no. 2, pp. 257-286, 1989.
- [16] M. Andersson, S. Ntalampiras, T. Ganchev, J. Rydell, J. Ahlberg, N. Fakotakis, ”Fusion of acoustic and optical sensor data for automatic fight detection in urban environments”, Proc. of 13th International Conference on Information Fusion, July, 26-29, Edinburgh, UK, 2010.
- [17] M. Andersson, ”Redovisning av milstolpe kv3 2015 för projektet Multisensorsystem för övervakning AF:9220412”, FOI Memo 5409, 2015.
- [18] J. Rydell and E. Bilock, “Navigate into Danger”, *Proceedings of IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS)*, Savannah, GA, USA, April 2016 (accepted).
- [19] J. Rydell and E. Bilock, ”Panther Chameleon: Real-time Image-based Positioning and Mapping” *Proceedings of ION International Technical Meeting*, San Diego, CA, USA January 2015.
- [20] Ascending Technologies, Firefly drone. URL 2015: <http://www.asctec.de/en/uav-uas-drones-rpas-roav/asctec-firefly/>
- [21] Intel RealSense Technology. URL 2015: <https://software.intel.com/en-us/articles/realsense-r200-camera>

- [22] Consumer Electronics Show 2015, Intel RealSense live demonstration. URL 2015: <https://youtu.be/Gn83Psbv61I?t=333>
- [23] Microsoft Kinect for Windows. URL 2015: <https://dev.windows.com/en-us/kinect/tools>
- [24] Google Project Tango. URL 2015: <https://www.google.com/atap/project-tango/>
- [25] The Drone Code Project. URL 2015: <https://www.dronecode.org/>
- [26] The Robot Operating System (ROS). URL 2015: <http://www.ros.org/>
- [27] The Point Cloud Library (PCL). URL 2015: <http://pointclouds.org/>
- [28] Open Source Computer Vision (OpenCV). URL 2015: <http://opencv.org/>
- [29] Gazebo. Robot Simulation. URL 2015: <http://gazebo-sim.org/>
- [30] Darpa Program: Fast Lightweight Autonomy (FLA). URL 2015: <http://www.darpa.mil/program/fast-lightweight-autonomy>
- [31] Pushbroom Stereo. The Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL, MIT). URL 2015: [http://www.csail.mit.edu/drone\\_flies\\_through\\_forest\\_at\\_30\\_mph](http://www.csail.mit.edu/drone_flies_through_forest_at_30_mph)
- [32] A. J. Barry and R. Tedrake, "Pushbroom Stereo for High-Speed Navigation in Cluttered Environments", *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015. URL 2015: <http://arxiv.org/pdf/1407.7091.pdf>
- [33] Flight code for MIT CSAIL Robot Locomotion Group flying-through-forests project. URL 2015: <https://github.com/andybarry/flight>
- [34] S. Yang, S. A. Scherer and A. Zell, "Robust Onboard Visual SLAM for Autonomous MAVs", *International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, 2014. URL 2015: [http://www.cogsys.cs.uni-tuebingen.de/publikationen/2014/ias14\\_yang.pdf](http://www.cogsys.cs.uni-tuebingen.de/publikationen/2014/ias14_yang.pdf)
- [35] R.F. Salas-Moreno, B. Glocken, P.H.J. Kelly, A.J. Davison, "Dense planar SLAM", *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 157-164, 2014. URL 2015: <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/17835/2/salas-moreno2014ismar.pdf>
- [36] AirDog, Auto-Follow Drone For Adventure Sports. URL 2015: <https://www.airdog.com/>
- [37] The FlyR1. URL 2015: <http://www.trace.com/products#flyr>
- [38] HEXO+, Your self-flying camera. URL 2015: <https://hexoplus.com/>
- [39] S. Nilsson, "Redovisning av milstolpe 2015 för projekt Multisensorsystem för övervakning, Försvarmaktens ref.nr. - AF.9220412", FOI Memo 5454, 2015.
- [40] E. Jungert, N. Hallberg, N. Wadströmer, "A system design for surveillance systems protecting critical infrastructures", *Journal of Visual Languages & Computing*, ISSN 1045-926X, 2014.
- [41] Stefan Nilsson, Dietmar Letalick, "Status report, NATO RTO/RTA SET-153 RTG-083, Multi-sensor Integration for Urban Operations", FOI Memo 3272, september 2010.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)