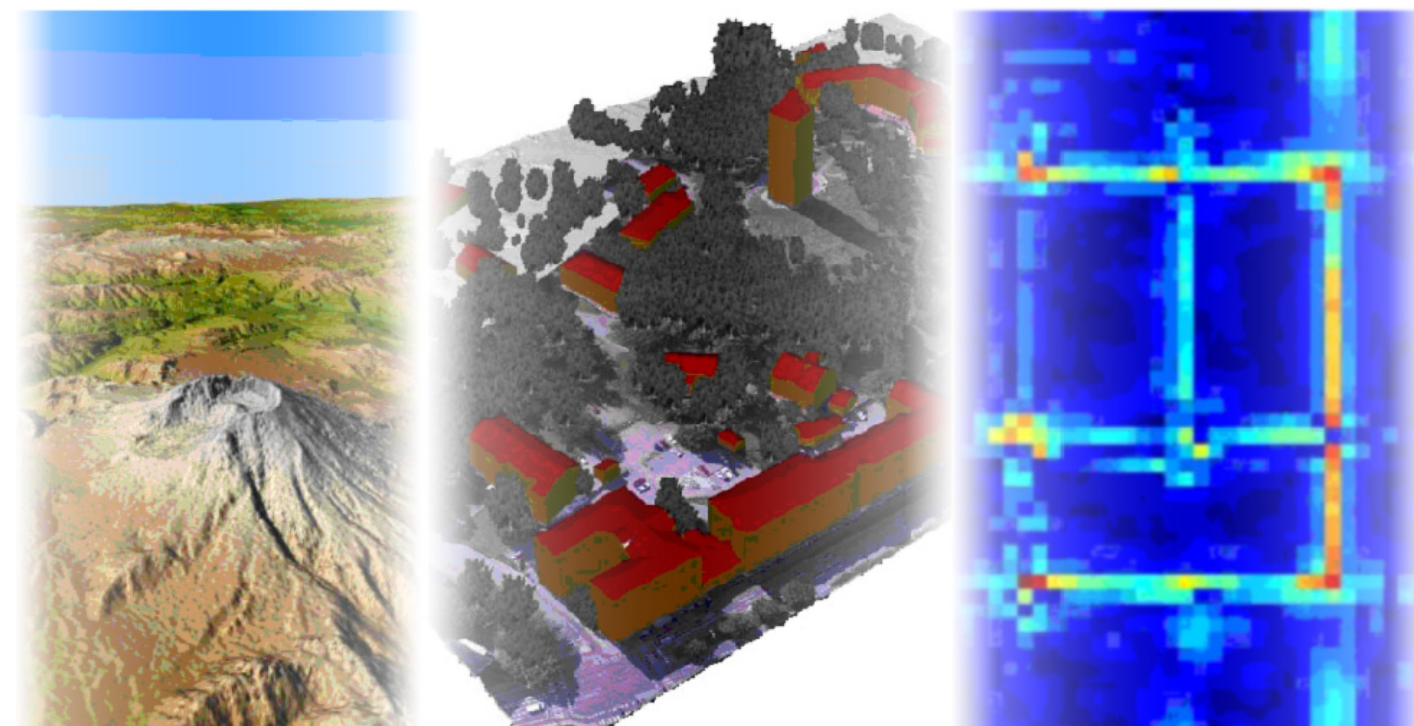


TOMAS CHEVALIER, MARIE ANDERSSON, ANDERS GUSTAVSSON, JOHAN RASMUSSEN



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

Tomas Chevalier, Marie Andersson, Anders
Gustavsson, Johan Rasmusson

Lägesbildsunderlag inför insatser i urban miljö

Titel	Lägesbildsunderlag inför insatser i urban miljö
Title	Situational picture base for operations in urban environments
Rapportnr/Report no	FOI-R--2385--SE
Rapporttyp	Teknisk rapport
Report Type	Technical report
Sidor/Pages	
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2007
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
	68 p
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and Low Observables
Delområde Subcategory	42 Sensorer 42 Above surface Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance
Projektnr/Project no	E3087
Godkänd av/Approved by	Jörgen Ahlberg
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut Avdelningen för Sensorsystem Box 1165 581 11 Linköping	FOI , Swedish Defence Research Agency Sensor Technology SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Förmågan att etablera en lägesbild är beroende av tillgängliga sensorer samt givna tidsramar före insats. Denna rapport sammanställer möjligheter att med sensorsystem med varierande förmågor och operationsförutsättningar etablera en lägesbild inför en insats i en urban miljö.

Rapporten behandlar endast bakgrundsdata, som är den statiska delen av lägesbilden, och som sedan kan utökas med dynamisk data med mer begränsad aktualitet. Exempel på bakgrundsdata kan bland annat vara topografi, komplexitet, funktion, geometri och material hos byggnader.

Rapporten presenterar först en översikt över kommersiellt tillgängliga sensorförmågor, för att inhämta bakgrundsinformation, exempelvis satelliter och flygburna lasersystem. Ett separat avsnitt beskriver sedan bi- och monostatisk SAR för kartläggning av yttre och inre strukturer i byggnader. Dessa avsnitt används sedan som stöd för att redovisa metoder att använda lägesbildsunderlaget på olika militära beslutsnivåer. Nivåindelningen följer *planering*, *framryckning* samt *kartläggning av byggnad*. En bilaga beskriver även principen Syntetisk aperturradar (SAR).

- *Nivå 1, planering*: Datamängden är liten. Konturer hos landskap och landskapets innehåll ges, som t.ex. kustlinje, infrastruktur och bergslandskap. Informationen kan ges i tredimensionell miljö. Informationen är pålitlig under lång tid. Informationsunderlaget avses att användas på brigad- eller bataljonsnivå.
- *Nivå 2, framryckning*: Informationsnivån kan innebära att alltifrån kvarter, till enskilda byggnader, och eventuella vägblockeringar är kända. Informationen är något mer resurskrävande (än på nivå 1) att generera och hantera. Tillförlitligheten i data minskar snabbare i tid jämfört med den högre nivån. Informationen avses att användas på kompani- eller plutonsnivå.
- *Nivå 3, kartläggning av byggnad*: Hus, träd, broar och infrastruktur kan identifieras. Det inre av en byggnad kartläggs, först utifrån, och sedan även från insidan. Större datamängd krävs men i gengäld fås också en noggrannare beskrivning. Informationen blir ganska snabbt otillförlitlig. Informationen avses att användas på plutons- eller gruppnivå.

Nyckelord: Lägesbild, urban miljö, sensorer, laser, EO, radar, satellit, kartering

Summary

The ability to establish a situational picture is depending on available sensors and level of premonition. This report describes the possibilities to use sensors to establish a situational picture to support operations in a urban environment.

The report covers the background part of the situational picture. This background can consist of topography, geometry, material and function of buildnings and is a base that can be enhanced with dynamic data, which faster become inaccurate.

First is an overview of commercially available sensor abilities to acquire background information, for instance satellites and aircraft carried lasersystems. A separate section describes bi- and monostatic SAR for mapping of inner structures of buildnings. These section is used to discuss about the use of the situational picture on different military levels and phases of the operation. These phases are *planning*, *advancing*, and *mapping a building*. An appendix describes the principles of Synthetic aperture radar (SAR).

- *Level 1, planning*: Small amount of data. Overview of a region with coastline, infrastructure, and mountains. The information is reliable for a long time and can be three dimensional.
- *Level 2, advancing*: This level covers building blocks, indivual buildings and perhaps road blocks. The reliability in data is decreasing faster compared to the higher level.
- *Level 3, mapping a building*: Detailed information of the outer and the inner of a buildning is known. Larger amount of data is required and the data is faster becoming unreliable.

Keywords: Situational picture, urban environment, sensors, laser, EO, radar, satellite, mapping

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	6
1.1	Hypotes	6
1.2	Mål	6
2	Sensorer för insamling av data	7
2.1	Flygburen EO-sensor	7
2.2	Satellitburen optisk sensor	10
2.3	Toporadar (SRTM)	17
2.4	Satellitburen hyperspektral sensor	18
2.5	Satellitburen radarsensor	20
2.6	Flygburen lasersensor för detaljerad inmätning	25
2.7	Markbaserad radarsensor för markpenetrering	27
3	Bi- och monostatisk SAR för kartläggning av yttre och inre strukturer i byggnader	31
3.1	Inledning	32
3.2	Användbarhet för presentationssätt och planering	33
3.3	Monostatisk SAR i satellit, flygplan eller UAV	35
3.4	Bi- och monostatiska lågfrekventa SAR-system nära marken	38
3.5	UWB-radar	40
3.6	Passiv radar	42
3.7	Detektion och följning av fordon och människor med passiv radar	45
3.8	Elektromagnetiska simuleringar	47
4	Lägesbild för planering, framryckning och vid kartläggning	49
4.1	Nivå 1, Lägesbild för planering	50
4.2	Nivå 2, Lägesbild för framryckning	54
4.3	Nivå 3, Lägesbild vid kartläggning av byggnad	56
4.4	Sammanfattning	59
5	Framtida verksamhet	60
Bilaga A.	Syntetisk aperturradar (SAR)	61

1 Bakgrund

Denna rapport är en sammanställning av arbetet inom delprojektet *Lägesbildsunderlag inför insats* som utgjort en del av Försvarmaktens FoT-projekt Sensorsystem i Urban Miljö.

Förmågan att etablera en lägesbild är beroende av tillgängliga sensorer samt givna tidsramar före insats. Ju längre tid desto större möjligheter att inhämta information och även större möjligheter till ett aktivt urval av sensorförmågor. Kortare tidsramar ger färre möjligheter till urval, dock skall förmågan hos tillgängliga system vägas mot nyttan och mot avsaknaden av information (eller förekomsten av inaktuell information). Rapporten sammanställer möjligheter att med sensorsystem med varierande förmågor och operationsförutsättningar (operationsmod, väderkänslighet, luftrumskränkning, osv) etablera en lägesbild inför en insats i en urban miljö.

Lägesbilden kan sägas bestå av två komponenter: bakgrundsdata samt dynamisk data som hanterar det dynamiska förloppet. Bakgrundsdata kan sägas vara en relativt statisk typ av information medan dynamisk data har en mer begränsad aktualitet. Exempel på bakgrundsdata kan vara topografi, komplexitet, funktion hos byggnader, material, osv. Exempel på dynamisk data kan vara positioner hos emitterar, rörliga objekt, osv. Detta arbete hanterar bakgrundsdata som är en förutsättning för att rätt kunna presentera dynamisk data på ett för användaren lämpligt sätt.

1.1 Hypotes

Rapporten utgår ifrån följande hypoteser:

- Planering av uppdrag sker i 3D: På en hög militär beslutsnivå, och där planering sker, kan 3D-informationen vara till god hjälp för exempelvis siktlinjeberäkning och framkomlighetsanalys. Det ger även en stärkt förståelse för förutsättningarna för olika beslut.
- Genomförande i 2D: På kompani/plutonsnivå sker händelser så snabbt att 3D-information kan bli svårtolkat och rörigt. Lägesbild i två dimensioner erbjuder en enkel men ändå kraftfull översikt.
- Genomsök av byggnad i 3D: Genomsök av byggnader är ett specialfall som kräver lägesbild med höjdinformation. Lägesbilden måste delas upp i ett höjdsikt för varje våning för att bli användbar.

1.2 Mål

Målen med delprojektet *Lägesbild före insats* har varit att få:

- Underlag för värdering av sensorsvit/kombinerade/kompletterande system inför insats i urban miljö.
- Underlag för kravställning avseende önskade sensorförmågor givet uppdrag och tidsramar samt hur underlaget skall presenteras för användaren.
- Underlag för fortsatt och utökad verksamhet kopplad till experiment och simuleringar.

2 Sensorer för insamling av data

Genomgång av olika tillgängliga system/tekniker avseende deras förmågor att bidra till lägesbildsunderlag vid urban insats. Systemens förmågor givet förutsättningar och operationsmoder går igenom och sammanställs för att skapa en bild av hur systemen kan användas enskilt eller i samverkan för att skaffa information om en urban miljö.

2.1 Flygburen EO-sensor

Flygspaning är en datainsamlingsmetod som har växt i omfattning de senaste åren, i takt med utvecklingen på sensorfronten. Dessutom har antalet möjligheter att samla in data med obemannade system ökat eftersom marknaden även på UAV-fronten har ökat. Detta avsnitt innehåller en kort genomgång av några tillgängliga UAV-system. Därefter redovisas olika elektro-optiska (EO) sensortyper och exempel på deras prestanda och kapaciteter för olika tillämpningar.

2.1.1 UAV-system

En översikt på många UAV:er finns exempelvis på hemsidan för Aviation Now¹. En kort genomgång följer i detta avsnitt.

RQ-4 Global Hawk

RQ-4 Global Hawk är ett HALE (high-altitude, long-endurance) UAV-system för spaning (RQ = reconnaissance UAV), se Figur 1. UAV:n är 13,5 meter lång och med 35 meters vingspann kan den lyfta lastad med 900 kg last till maxvikten 10400 kg. Med 35 timmars drifttid per flygning kan den övervaka 100'000 km² per dygn. Sensorlasten består av dagljuskamera samt LWIR-kamera, samt en syntetisk aperturradar med GMTI-mod. Ett system kostar omkring 35 miljoner USD. Tillverkare är Northrop Grumman.



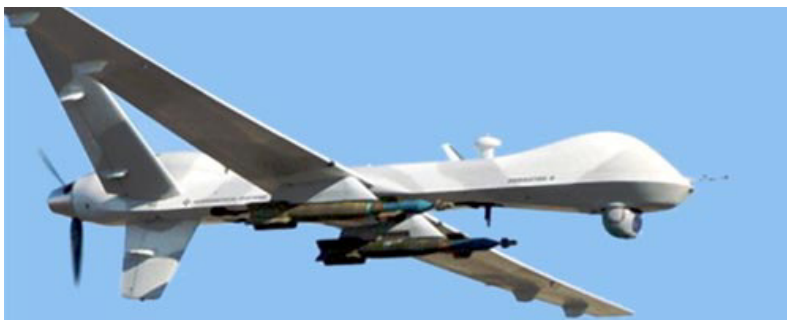
Figur 1. RQ-4 Global Hawk, HALE-UAV. Bild från www.defenseindustrydaily.com

MQ-1 Predator

MQ-1 Predator är ett MALE (medium-altitude, long-endurance) UAV-system för ett antal tillämpningar (MQ = multipurpose UAV), se Figur 2. UAV:n är 8,2 meter lång och med 15 meters vingspann kan den lyfta lastad med 200 kg last till maximal vikt på 1020 kg. Den maximala hastigheten är 210 km/h, och aktionsradien är över 700 km. Efter att från början varit ämnad för spaning bytte den inriktning 2002 till att bestyckas med exempelvis 2 st hellfire-missiler². Sensorlasten består av en dagljuskamera och en LWIR-kamera, och det finns möjlighet att sätta i en syntetisk aperturradar. UAV-systemet består av 4 flygfarkoster och drivs av 55 personer, för 24-timmarsdrift. Ett system kostar omkring 50 miljoner USD. Tillverkare är General Atomics Aeronautical Systems.

¹ http://www.aviationnow.com/media/pdf/spec_04_uav.pdf

² AGM-114 Hellfire: En laserstyrd anti-stridsvagnsmissil



Figur 2. MQ-1 Predator, MALE-UAV. Bild från www.defenseindustrydaily.com

Skylark I SUAV-02 Falken

Denna UAV används för stridsteknisk spaning, se Figur 3. UAV:n är 2,2 meter lång och med 2,4 meters vingspann lyfter den ett litet sensorpaket till maxvikten 5,5 kg. Aktionsradien är upp till 50 km. Hastigheten är 35-70 km/h. Sensorpaketet består av en utbytbar dagsljuskamera samt LWIR-kamera. K3 UAV i Karlsborg utbildar personal som skall ingå i ISTAR i NGB 08. Tillverkare är israeliska Elbit Systems³.



Figur 3. Skylark I, Mini-UAV. Bild från <http://www.defense-update.com/products/s/skylark1-uav.htm>

TUAV Ugglan

TUAV Ugglan är ett taktiskt UAV-system inköpt från Frankrike för spaning, se Figur 4. UAVn är 3,3 meter lång och med 4,2 meters vingspann lyfter den max 75 kg till max startvikt 320 kg. Aktionsradien är upp till 200 km. Hastigheten är 150-200 km/h. Sensorpaketet består bland annat av dagsljuskamera samt LWIR-kamera. De tre av Försvarsmakten inköpta UAV:erna utgör idag ett UAV-kompani inom Underrättelsebataljonen⁴. Tillverkare är franska SAGEM.



Figur 4. TUAV Ugglan. Bild från www.k3.mil.se/article.php?id=16549.

³ <http://www.elbitsystems.com/>

⁴ Information från www.k3.mil.se/article.php?id=16549

2.1.2 Bildalstrande optiska sensorer

Normala insamlingsmetoden för en bildalstrande optisk sensor är att solen belyser en omgivning och en del av det reflekterade ljuset strålar in i en kamera och registreras på fotofilm eller ett elektroniskt chip. Filmen eller chipet kan vara känsligt för olika våglängder och eventuellt ge möjligheten att samtidigt samla in flera parallella våglängder, som exempelvis i en färgkamera. Det vanligaste registrerade våglängderna i kameror är synliga våglängder och det omges av ultravioletter (UV-) bandet (kortare våglängder) och det infraröda (IR-) bandet (längre våglängder). IR-våglängder delas även in i nära infrarött (NIR), kortvågsinfrarött (SWIR), mellanvågsinfrarött (MWIR) och långvågsinfrarött (LWIR). Ju längre våglängder desto mer energi emitteras genom höga omgivningstemperaturer. Exempelvis för LWIR behövs varken egen ljuskälla eller solens reflekterade ljus, eftersom man direkt kan mäta temperaturen som emitterad energi.

Ifall behov skulle finnas av nattmätningar kan man alltså antingen använda sig av långa våglängder, eller så får man använda en egen ljuskälla (anpassad för kamerans känsliga våglängder).

Liksom i färgkameror behöver man inte nöja sig med att samla in energin i ett bredd våglängdsband utan man kan dela upp ljusets energi i flera parallella kanaler. Ifall antalet band är två till fem benämns sensorn som multispektral (där färgkameran är ett specialfall), medan fler än sex band innebär en hyperspektral sensor. Ju smalare band som används desto svårare blir det att få ihop tillräcklig energi för att överstiga bruset. Hyperspektrala kameror skannar normalt i ena dimensionen vilket gör att sekvenser ej kan spelas in. Bilden blir istället statisk. Det är ännu okänt om någon UAV är utrustad med en hyperspektral sensor.

Tidigare krävdes kylning av termiska (LWIR-) kameror vilket gjorde dem både energi-krävande och skrymmande, men nya smartare sätt att konstruera dessa på har reducerat både volym och energiförbrukning. Dock gäller fortfarande att termiska kameror har lägre upplösning än visuella kameror.

Alla dessa typer av sensorer finns för flygplansmontering. För UAV:er är ofta de optiska systemen skräddarsydda för att vara anpassade för montering, vikt och prestanda. Ofta finns möjligheten att växla mellan flera olika sensorer, som exempel LWIR-kamera och visuell kamera. I flygplan erbjuds vanligtvis friare möjligheter att bära tung högpresterande sensorlast.

2.1.3 Användningsområden

Spaning	Denna typ av övervakning är mycket väl lämpad för spaning. Beroende på höjd och prestanda hos sensorn kan olika stora objekt identifieras, följas och övervakas. Normalt samlas informationen in och presenteras i realtid i full videotakt.
Kartering	Sensorinformationen är tvådimensionell och måste först ortorektifieras för att på bästa sätt användas för kartering. Sedan beror det på vilken typ av kamera som används hur bra karteringen blir. Hyperspektrala kameror är synnerligen bra på att klassificera vilket är en nödvändig grund för kartering. Ofta vill man istället ha en bra igenkänningsfaktor i det genererade bildmaterialet och då använder man helst visuella bilder, sammansatta till en stor ortorektifierad mosaik för att motsvara en ny och högupplöst karta.
Klassificering	En hyperspektral kamera är speciellt väl lämpad för detta eftersom de många banden ger en mycket god särskiljningsmöjlighet mellan olika typer av objekt. Denna särskiljning kan se på varje bildpunkt eftersom man använder den spektrala informationen snarare än den spatiella som utgångspunkt för särskiljning.

	Multispektrala kameror är också bra, men överskuggas av hyperspektral prestanda. Dock saknar ännu hyperspektrala kameror ännu ofta sekvensinspelningsmöjligheter.
Inmätning	Genom att ortorektifiera data ges möjlighet att mäta absoluta avstånd i data. På grund av den höga upplösningen i flygburna optiska sensorer finns mycket gott stöd för inmätning.
Skillnads-detektion	Skillnadsdetektion kan vara svårt på grund av den varierande belysningen när man använder solen som belysningskälla och mäter olika tidpunkter varje dag. Dessutom krävs en mycket noggrann ortorektifiering för att få exakt överlapp mellan bilderna.
Underjordiska strukturer	Ingen förutsättning att se genom marken finns med dessa sensorer. Enda möjligheten är att man kanske kan se att det har grävts i jorden.

2.1.4 Operationsförutsättningar/urban miljö

Generellt kan sägas att en av de mest avgörande för påverkan av yttre parametrar är flyghöjden. Högre höjder medför större atmosfärsdämpning och väderpåverkan.

Atmosfärs-begränsningar	Optiska sensorer kräver fri sikt. Olika våglängder har olika atmosfärsprestanda, vilket gör att man väljer våglängder med omsorg. Mätavståndet är avgörande för om atmosfärsdämpningen har betydelse.
Nattkapacitet	Om sensorn sänder ut sitt eget ljus, eller om det är en LWIR-sensor, så fungerar nattmätning, annars inte.
Urban canyons	Beroende av den valda flyghöjden fås olika problem i stadsmiljöer. Ju lägre flyghöjd desto lättare blir det att vägarna skuggas av höga hus.
Material	Materialanalyser sker bäst med hyperspektrala kameror, men viss förutsättning att lösa detta med multispektrala kameror finnes också. Med dessa sensorer kan klassificering ske inom enskilda bildpunkter, genom användande av spektral information.
Tillgänglighet	Tillgängligheten beror tills största delen var i världen man befinner sig och vilken plattform man tänker sig. FM har tillgång till en lågflygande UAV, Skylark, med alternativen färgkamera och LWIR-kamera. Denna kan bedömas ha stor tillgänglighet. Alternativen är att ha andra UAV:er, exempelvis Global Hawk eller Predator, men de finns idag inte tillgängliga för svensk trupp. Ett tredje alternativ är att hyra flygplan på plats i en insatsmiljö och utrusta denna med sensorer. Då ges en friare möjlighet att välja sensortyp/kamera, i mån av tillgänglighet, men tillgången på sensorer måste säkras.
Hotbild	Beroende på flyghöjd är hotbilden olika, men generellt är de system som är tillgängliga för svenska förband lågtflygande och hotbilden är därför stor. Global Hawk och Predator flyger på 50000 fot respektive 25000 fot och kan anses ha en reducerad hotbild.

2.2 Satellitburen optisk sensor⁵

Några exempel på optiska satelliter ges nedan⁶. Översikten visar vilka satelliter som är kommersiellt tillgängliga. För militära kunder kan möjligtvis bättre prestanda uppnås, men till ett högre pris.

⁵ Muntligt förmedlad information för detta avsnitt samt för avsnittet om hyperspektrala sensorer har bland annat kommit från: Lantmäteriet, Metria, Konferensen "ICQP Military Satellites" i London 2006, samt rapporten "SamMarin 2002"

Landsat-7: Sändes upp 15:e april 1999.

Ungefär 2 månader mellan överflygningar över samma plats. Upplösningen är 15 m för pankromatisk bild, 30 m för separata band (Blått: 450-515 nm, Grönt: 525-605 nm, Rött: 630-690 nm, NIR: 750-900 nm, eller 2xSWIR: 1550-1750 nm respektive 2090-2350 nm). En kanal för LWIR⁷ samlas även in med 60 meters upplösning. Data samlas in i 11 bitars upplösning. Enligt SOPAC⁸ är bilderna gratis. Satelliten ägs av NASA och USGS⁹.



IKONOS: Sändes upp 24:e september 1999 och flyger på 681 km höjd. Ungefär tre dagar mellan överflygningar över samma plats men beror på latitud. Insamlade bilder är 11x11 km. Upplösningen är 1 m för pankromatisk bild och 4 m för separata band (Blått: 450-520 nm, Grönt: 520-600 nm, Rött: 630-690 nm, eller NIR: 760-900 nm). Data samlas in i 11 bitars upplösning. Kostnaden är ca 13,5 USD per km² för nytagna bilder. Minsta beställning är 100 km². Satelliten ägs av GeoEye, www.geoeye.com. Exempel visas i Figur 5 och Figur 6.



Figur 5. Exempel på pseudofärgat satellitfoto över San Diego från IKONOS, (R:NIR, G:Rött, B:Grönt) Upplösningen är 1 meter.
Källa: www.geoeye.com

⁶ <http://www.sopac.org/tiki/tiki-index.php?page=Satellite+Image+Availability>

⁷ LWIR = långvågs infrarött ljus, ca 8-14 μm

⁸ <http://www.sopac.org/tiki/tiki-index.php?page=Satellite+Image+Availability>

⁹ NASA = National Aeronautics and Space Administration, USGS = United States Geological Survey



Figur 6. FN-tribunalen i Freetown, Sierra Leone. Notera de vita bilarna parkerade i nederkanten. Pankromatisk bild med 1 meters upplösning tagen med IKONOS. Bilden ägs av FOI.

EROS-A1: Sändes upp 5:e dec 2000 och flyger på 480 km höjd. Mellan en och tre dagar mellan överflygningar över samma plats beroende på latitud. Insamlade bilder är 12,5x12,5 km. Upplösningen är 1,8 m för pankromatisk bild. Med bildbehandlingsteknik har en upplösning på 1 m visats av tillverkaren med bildstorlek 6,25 km H 6,25 km. Data samlas in i 8 bitars upplösning. Kostnaden är ca 12 USD per km² för nytagna bilder och ca 5 USD för arkiverade bilder. Minsta beställning är 25 km² för arkiverade bilder och 100 km² för nytagna bilder. Satelliten ägs av israeliska ImageSat International, www.imagesatintl.com.

QuickBird-2: Sändes upp 18:e oktober 2001 och flyger på 450 km höjd. Mellan en och tre dagar mellan överflygningar över samma plats beroende på latitud. Insamlade bilder är 16,5x16,5 km. Upplösningen är 60 cm för pankromatisk¹⁰ bild och 2,4 m för separata band (Blått: 450-520 nm, Grönt: 520-600 nm, Rött: 610-680 nm, eller NIR¹¹: 790-900 nm). Data samlas in i 11 bitars upplösning. Kostnaden är ca 20 USD per km² för nytagna bilder och ca 15 USD för arkiverade bilder. Minsta beställning är 64 km². Satelliten ägs av DigitalGlobe, www.digitalglobe.com.

SPOT-5: Sändes upp 4:e maj 2002 och flyger på 832 km höjd och har 26 dagar mellan överflygningar över samma plats. Insamlade bilder är 60x60 km. Upplösningen är 2,5 alternativt 5 m för pankromatisk bild och 10 m (rött, grönt och NIR) respektive 20 m (SWIR)¹² för separata band (Grönt: 490-610 nm, Rött: 610-680 nm, NIR: 780-890 nm, eller SWIR¹²: 1580-1750 nm). Data samlas in i 8 bitars upplösning. Kostnaden är ca 2 USD per km² för 2,5 m upplösning och ca 1 USD för övriga bilder. Minsta beställning är 3600 km². Satelliten ägs av Spot Image, www.spot.com.

OrbView-3: Sändes upp 26:e juni 2003 och flyger på 470 km höjd. Mindre än tre dagar mellan överflygningar över samma plats. Insamlade bilder är 8x8 km. Upplösningen är 1 m för pankromatisk bild och 4 m för separata band (Blått: 450-520 nm, Grönt: 520-600 nm, Rött: 625-695 nm, eller NIR: 760-900 nm). Data samlas in i 11 bitars upplösning. Kostnaden

¹⁰ Pankromatisk = hela visuella spektrat + NIR, ca 350-900 nm

¹¹ NIR = Nära infrarött ljus, ca 750-1000 nm

¹² SWIR = kortvågs infrarött ljus, ca 1-3 µm

är ca 14 USD per km² för nytagna bilder. Satelliten ägs av GeoEye¹³. På uppdrag av Försvarsmakten gjordes en sammanställning av OrbView 2005¹⁴.

GeoEye-1: Planeras att sändas upp under tredje kvartalet 2007 och flyger på 684 km höjd. Mindre än tre dagar mellan överflygningar över samma plats. Insamlade bilder är 15x15 km. Upplösningen är 41 cm för pankromatisk bild och 1,64 m för separata band (Blått: 450-520 nm, Grönt: 520-600 nm, Rött: 625-695 nm, eller NIR: 760-900 nm). Data samlas in i 11 bitars upplösning. Bilderna är gratis tillgängliga. Satelliten ägs av GeoEye.

2.2.1 Användningsområden

Spaning För kontinuerlig spaning är inte satellitbilder till någon större nytta i dagsläget. Det beror på att det är för lång ledtid från bildtagning till en färdig satellitbild. Under ett försök av Marinen hösten 2002, SamMarin, testades att under en militärövning beställa satellitbilder från olika operatörer för att bl.a. utröna möjligheten till att använda satellitbilder taktiskt. Den snabbaste satellitbilden levererades av Radarsat på ca tre timmar.

De långa ledtiderna beror på flera faktorer. Tekniskt sett är det inga större bekymmer förutom "last mile"-effekten, dvs. då den stora datamängden ska laddas ner. Framförallt är administration den största anledningen till tidsfördröjningen, avtalen är anpassade för kommersiellt bruk. Satellitoperatörer prioriterar inte en enstaka order. För att få reducerad ledtid krävs bl.a. nya avtal med aktuell satellitoperatör vilket kan innebära en stor kostnad.

De optiska satelliterna går i bana så de normalt når Sverige under förmiddagen. Eftermiddagstid och kvällstid undviks p.g.a. att sannolikheten för molnfria bilder är bäst under förmiddag. Den spaning som sker av andra nationer över Sverige sker därför också huvudsakligen under denna tid. För FM kan informationen vara till nytta genom att eventuella övningar, som man vill begränsa insynen i, lämpligen genomförs under annan tid, för att på så sätt undvika den högupplösta optiska satellitövervakningen av andra nationer.

För att bedöma stridsvärdet i ett förband kan satellitbilder vara en möjlighet, t.ex. termisk IR då ett eventuellt kamoufleringsslarv eller andra värmeläckage kan upptäckas. På grund av den låga upplösningen är moral och stridsvilja svårt att övervaka med satellitövervakning.

Optiska satellitbilder skulle kunna vara till hjälp för att avgöra verksamhet, t.ex. upprättande av skenbroar som är ett betydligt enklare uppdrag än att bygga en riktig bro. För spaning kan satellitbild vara ett gott stöd, eftersom bilden visar hur något *ser ut*, inte bara att *det finns*. Ett exempel kan vara satellitbild i kombination med karta inför planering av stormning av en byggnad där vegetation kan vara en avgörande faktor för att fatta beslut om hur rensning skall genomföras. Kartan visar att vegetation *finns*, satellitbilden hur *omfattande* den är, och vilken typ av växtlighet det är.

Något det talas om i "satellitvärlden" är möjligheten med små satelliter och dess betydelse för militärt bruk. De kan tillverkas snabbt och förhållandevis billigt samt kan användas för taktiskt bruk. Storbritannien är världsledande inom området och marknadsför dessa satelliter. Men även Norge har publicerat att de planerar att tillverka två små satelliter, NCUBE.

¹³ www.geoeye.com

¹⁴ Andersson Marie, *Sammanställning av satellitsystemet OrbView*, FOI Memo 1521, Stockholm, 2005

Kartering	Metria¹⁵ använder i huvudsak optiska satellitdata för kartering. Exempel på satelliter de använder bilder från är SPOT, QuickBird och IKONOS. Optiska satellitbilder används mycket för att se miljöförändringar, genom att se algtilfväxt, eroderade kuster, skogsförändringar etc. Det finns en stor databas med satellitbilder över stort sett hela världen. GeoSe¹⁶ är Försvarmaktens stöd för att få tillgång till detta. Enligt Metria är satellitbilder ett utmärkt verktyg för karteringsändamål, särskilt i miljöer där det inte finns uppdaterade kartor.
Klassificering	Med hjälp av satellitbilder är det svårt att skilja på t.ex. grusväg och asfaltväg. Det går inte att avgöra med hjälp av bilden om det är ett bostadshus eller en affär. Däremot kan en erfaren fototolk dra slutsatser om byggnadens placering och omgivande byggnaders utseende om det är ett köpcentra eller liknande. Bildbehandlingsmetoder är ännu inte tillräckligt pålitliga för att klassificera objekt automatiskt. Fototolkar ger än så länge ett bättre resultat. Exempelvis kan buskar och gångvägar runt ett hus ses från t.ex. QuickBird (upplösning 0,6 m). Då kan slutsats dras var dörrarna finns på byggnaden. Förmodligen är satellitbilder ett bra verktyg för att klassificera t.ex. byggnader, men endast lite forskning är gjort inom detta område.
Inmätning	Satellitdata är förmodligen ett bra underlag för inmätning, beroende på krav på noggrannhet och precision. Eftersom satellitbilderna är tvådimensionella projektioner in i kamerorna, så måste bilderna korrigeras för att marken är olika långt från kameran på olika bildkoordinater i bilderna. Detta steg kallas ortorektifiering och inkluderar även kopplingen till något globalt koordinatsystem¹⁷. Man använder sig av en markhöjdstruktur med ganska låg upplösning (exempelvis 50 m). Efter detta steg har man absoluta avståndet mellan olika platser i bilderna, men med en viss osäkerhet. Särskilt stor är osäkerheten då hus förekommer i bilden eftersom dessa inte finns med i den lågupplösta markhöjdstruktur använd för ortorektifieringen. Satelliter med hög upplösning tar bilder med 100-400 km² storlek. Inmätningen av byggnader är mest korrekt rakt under sensorn. Då ses endast taket. Några hundra meter lodlinjen, kommer en del av byggnadernas väggar att ses. I kanterna av bilden ses fasader, men bilden måste korrigeras för att kunna användas för mätningar. Dörrar och fönster kan urskiljas om det inte finns utskjutande tak över byggnaden. Med högre upplösning, exempelvis med QuickBird eller GeoEye (0,6 m resp 0,4 m), kan bättre noggrannhet i inmätning erhållas.
Skillnads-detektion	Skillnadsdetektion går att göra, men upplösningen är en begränsande faktor. Detaljer mindre än en meter är mycket svårupptäckta. En tillämpning man idag använder skillnadsdetektion är längs strandkanter där nya bryggor eller nya byggnader kan upptäckas. Med bilder från SPOT (10 meters upplösning) kan områden med förtätningar i bebyggelse ses. Satellitbilder med högre upplösning, t.ex. 1 m från IKONOS skulle kunna användas som skillnadsdetekterande instrument för urbana miljöer. Två problem för detaljer i urban miljö: - för att göra en förändringsdetektion krävs minst två bilder över samma område.

¹⁵ Metria är en del av Lantmäteriet och levererar produkter och tjänster inom geografisk IT. www.metria.se

¹⁶ GeoSE är Försvarmaktens stödenhet för geografisk information och försörjer Försvarmakten med sådan information. GeoSE är lokaliserade inom lantmäteriet.

¹⁷ Några vanliga globala koordinatsystem är WGS-84 och RT-90.

- QuickBird och IKONOS bilder är dyra och svåra att få fram eftersom satelliterna inte har samma möjlighet att passera samma område på ett smidigt sätt som t.ex. SPOT. SPOT tar bilder över ett större område vilket IKONOS inte kan möjliggöra.

Skiltnadsdetektion borde kunna göras där förändringarna är en meter eller mer. Arbete med detta har inte gjorts i någon större utsträckning, men Metria ser stort intresse av ett sådant uppdrag för att undersöka detta. Programvara måste i så fall anpassas för att se förändringar på byggnader.

Underjordiska strukturer

Av en optisk satellitbild kan inte underjordiska strukturer ses direkt ur bilden. Däremot kan en erfaren fototolk eventuellt dra slutsatser om t.ex. nukleär verksamhet av byggnadernas konstruktion och sammansättning.

2.2.2 Operationsförutsättningar/urban miljö

Atmosfärsbegränsningar

Bildtagning från optiska satelliter har väderbegränsningar. Regn och dimma gör mätningar svåra, om inte omöjliga, vilket styr vilken tid på dygnet som mätning helst genomförs. Satelliterna passerar över Sverige norrifrån förmiddagstid och återigen söderifrån under kvällstid. Kvällstidspassagen ger vanligen inga bilder eftersom det då råder mörker. Sommardag då det är ljust kvällstid ger ofta ingen större fördel p.g.a. dis eller stackmoln. Förmiddagstid är även lämpligt p.g.a. väderpåverkan. Statistiskt sett är det då störst chans till klart väder, medan det efter lunchtid börjar det bli disigt med stackmoln som försvårar bildtagning. Motsvarande tidsramar finns för övriga delar av världen.

Nattkapacitet

Optiska satellitbilder tas enbart under dagtid. Radarbilder kan däremot tas dygnet runt. Optiska bilder har istället fördelen att kunna ge högupplösta bilder, som inte radarbilder kan ge. Inom det termiska IR-våglängdsbandet (LWIR) kan mätning ske under natten, eftersom man då mäter utstrålad värme, exempelvis med Landsat-7.

Urban canyons

För att kartlägga urbana miljöer kan radarbilder från satellit vara bra i utgångsläget, kanske främst för att ha höjdinformation över området. För att få bilder med högre upplösning kan de optiska bilderna komplettera radarbilderna. Med högupplösta bilder skulle det kunna gå att få fram höjddata på byggnader och t.o.m. vissa fönsterplaceringar. Fönsterplaceringarna skulle kunna ses i kanterna av bilderna p.g.a. den snedvinkling som sker från satelliten.

Material

Optiska bilder är inte lämpade för denna typ av klassificering. Optiska bilder visar det ögat skulle se från hög höjd och med en van fototolkare kan möjligen slutsatser dras om vilket material det är på objektet som ska klassificeras.

Tillgänglighet

GeoSE har ett stort arkiv med satellitfoton. Ofta kan bilden fås inom ett par dagar. Om data är svårarbetat kan arbetet ta uppåt två veckor innan kartan är klar för användning.

Tillgänglighet finns om avtal görs med respektive satellitoperatör. Rymdbolaget är lämpliga samarbetspartner. Tillgängligheten behöver anpassas för militära behov. Detta är inte vanligt eller har särskild prioritet hos de kommersiella operatörerna. Nya rutiner kan behövas för detta. Rymdbolaget är lämpliga aktörer för detta arbete. De satellitoperatörer som FM har avtal med, är kommersiella satellitoperatörer och de är anpassade efter det civila behovet. Det medför att bilderna inte tas fram tillräckligt snabbt som FM ibland önskar. De satellitoperatörer som FM använder idag är främst IKONOS, QuickBird och SPOT. Men det finns fler alternativ, t.ex. EROS B.

Lite fakta om tillgängligheten för bilder från EROS B:

- Den israeliska satelliten EROS B kan ge optiska bilder med en upplösning med 0,7 m där enskilda personer kan ses på bilderna. Beställaren av bilder från den nya satelliten har tre beställningsalternativ att välja mellan: PAS, SOP och EPOD.

- PAS (Priority Acquisition Service Concept): Köparen beställer ett jobb. ImageSat programmerar och bilden går direkt till köparens markstation. Bilden ska komma i realtid för att kunna användas för taktiskt behov.

- SOP (Satellite Operating Partner): Full tillgång till allt på satelliten. "Full security" som innebär att ingen får veta var beställaren tar bilder. Beställaren programmerar satelliten och data erhålls i realtid.

- EPOD (Exclusive Pass on Demand): Med detta alternativ väljer beställaren från vilken passage bilder ska tas. Det går att prenumerera på bilder för vissa tidpunkter. Detta beställningsalternativ är billigast, men här fås heller inte full kapacitet

Vissa satelliter är dock inte allmänt tillgängliga, t.ex. OrbView som endast USA:s militär förfogar över.

Våren 2006 blev det stora rubriker när Sveriges ÖB informerade om intresset för en egen svensk spaningssatellit¹⁸. På grund av bristen på oberoendet, tillgängligheten och kostnaden att köpa bilder från andra satelliter kan detta vara ett ekonomiskt intressant alternativ. Förslaget som Rymdbolaget tog fram låg på ca 600 Mkr.

Om man väl har möjligheten att beställa bilder av en satellit krävs att satelliten passerar platsen man vill ha fotad. Se exempelvis Figur 7, som visar var och när SPOT-5 passerar över Sverige. Vissa satelliter återvänder över samma plats så tätt som varje dag, medan andra passerar endast en gång i månaden, se satellitbeskrivningarna ovan.



Figur 7. Bilden visar principen på hur optiska satelliter vanligen passerar Sverige. Exemplet visar en SPOT-satellit som passerar över Europa under ett dygn Kvällstid passerar satelliten Sverige i sydlig riktning och på förmiddagen nordlig riktning. På grund av dagsljus och atmosfärförhållanden sker bildtagning oftast förmiddagen.

Hotbild

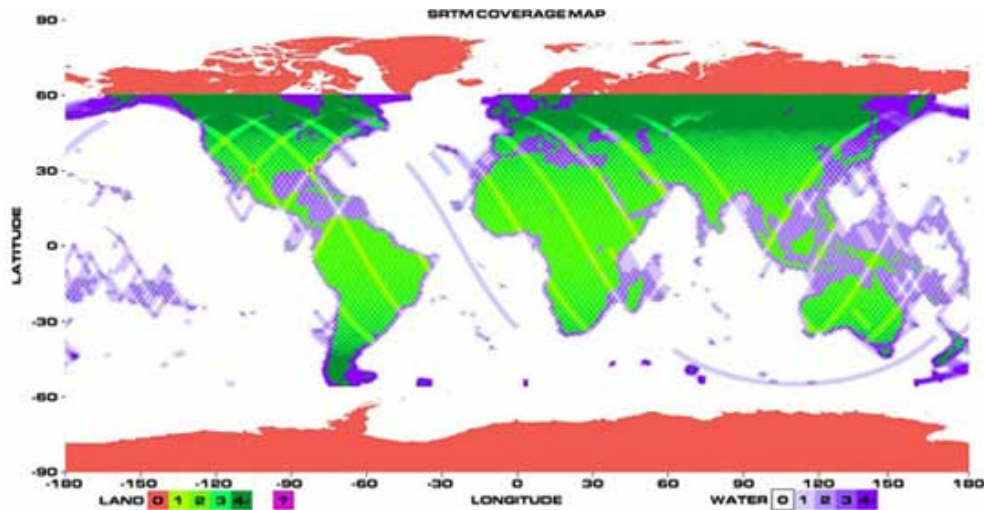
Satelliter är svåra att förstöra, även om det finns bekräftade uppgifter om lasersystem mm. som kan förstöra sensorer hos satelliter. Kina har i januari 2007 bevisat att det går att skjuta sönder en satellit från jordytan. Detta är nog dock inget som kommer att göras ofta, det innebär trots allt för stora risker, inte minst politiskt.

Något som verkar vara en ny trend är små satelliter som har fördelar som billiga och snabba att få i bana. Ett par exempel på detta är DMC (Disaster Monitoring Constellation), TopSat och TacSat. DMC är en satellitkonstellation på fem satelliter som ska övervaka hela Jorden med avseende på katastrofer. Landsat ger bilder över områden stora som 185 km H 185 km medan DMC kommer att ge 600 km H 600 km. Utifrån en scen från DMC kan en 3D-modell snabbt göras.

¹⁸ <http://www.nyteknik.se/art/44222>

2.3 Toporadar (SRTM)

En viktig skillnad mellan detta kapitel och andra är att detta inte är en kontinuerligt flygande sensor, utan istället data från en flygning (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) som redan skett. 80% av jordens yta karterades under 11 dagar i februari 2000¹⁹. Området som är karterat är från 60 graders latitud norr till 54 graders latitud söder. Mellan ca 50-60 nordlig latitud är karteringen gjord 4 ggr, övriga delen 1-3 ggr. En överblick på karterat område visas i Figur 8.



Figur 8. Kartan visar täckningsgraden över jorden för SRTM-data. Det "gröna" i bilden visar var SRTM har data. I röda områden saknas data. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/datacoverage.html>

SRTM-data uppmättes i två band, C-band och X-band. SRTM är ett internationellt projekt, men styrt av National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) och National Aeronautics and Space Administration (NASA). SRTM-data är en höjddatabas. Lantmäteriet använder denna databas för att hjälpa till att korrigera geometriska fel i bilder, så kallad ortorektifiering. I Sverige används en höjddatabas med ca 2 meters noggrannhet. SRTM-databas skulle kunna vara till användning i miljöer där det inte finns mycket kartmaterial lagrat. Data med upplösningen 90 meter är allmänt tillgänglig, utan restriktioner. Höjdnoggrannheten är mellan 15-20 meter. USA har tillgång till full upplösning, 30 meter i sidled, respektive 5 meter i höjddled. Den svenska höjddatabasen²⁰ levererad av Lantmäteriet med 2,5-metersupplösning i höjddled och 50 meter i sidled är mer intressant för användning i syftet, men gäller bara inom Sveriges gränser.

2.3.1 Användningsområden

Kartering För karteringsändamål kan dessa data vara till nytta. Men inmätning av specifika byggnader är inte möjlig. Upplösningen är för låg. Däremot kan områden med urban miljö, terräng, bergskedjor med flyktvägar etc. ses i data.

Med bilderna kan topografin utvärderas avseende jordytans användning. Ett exempel på detta är en kustlinje med städer, t.ex. västkusten i USA. Stora transportleder kan ses och bergskedjors utbredning. Bedömningar kan göras hur den urbana miljön expanderar, respektive var den inte kan expandera.

Även grova översvämningsanalyser är möjliga att göra med dessa data.

¹⁹ <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

²⁰ http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=1009

2.3.2 Operationsförutsättningar/urban miljö

Urban canyons	Tyvärr är det för låg upplösning på data från denna databas att det skulle vara meningsfullt att använda sig av den för att se formen hos enskilda hus.
Material	Material kan inte avgöras från denna databas.
Tillgänglighet	Data finns gratis att ladda ner från Internet, eller så kan CD beställas för en billig peng. Avbildade områden i Sverige är ungefär från Stockholm och söderut. Hela Afrika och mellanöstern täcks av data.

2.4 Satellitburen hyperspektral sensor

Alla objekt reflekterar, absorberar eller emitterar elektromagnetisk strålning beroende på materialets komposition. En hyperspektral sensor kan detaljerat mäta objektets unika spektra vilket gör att en starkt materialklassificering är möjlig. En normal definition på hyperspektral sensor är att den registrerar minst 5 våglängdsband, medan den ofta innehåller 100-tals band. Det finns hyperspektrala sensorer för många olika våglängder, men vanligast är synliga, NIR-, och SWIR-våglängder (0,4 μm - 2,5 μm). En rymdbaserad hyperspektral sensor kan registrera både statisk och dynamiska mål till hög spektral och spatiell upplösning. NASA EO-1 Hyperion var den första satellit (demonstrator) som samlade hyperspektral data från rymden. Det gjordes i november 2000²¹ med syfte att undersöka miljön över stora områden, se Figur 9.



Figur 9. Bilden visar ett exempel på klassificering med hjälp av hyperspektrala satellitdata.

Med hyperspektrala data från rymden kan övervakning av urbanisering och industrialisering göras på ett sätt som varken stör luftrummet eller markverksamhet, eller ens röjer spanaren. Med denna typ av sensor kan förändringar av kust- och vattenmiljö såsom tidvatten också övervakas. Övervakning av eventuella översvämningar skulle säkert vara en applikation med hyperspektral satellitsensor. Den satellit som har flest band är Landsat-7 med sina 8, vilket faller inom definitionen av en hyperspektral sensor. Men om en satellit hade t.ex. 250 band skulle mycket mer information kunna samlas in om t.ex. kamouflage, material hos byggnader mm. Det finns idag ingen kommersiell satellit med sådan hyperspektral avbildningsförmåga. Det beror sannolikt på att dessa sensorer är kostsamma och att det inte finns nog stort civilt behov av sådan sensor idag. Satelliten OrbView-4 hade en hyperspektral sensor, men satelliten kraschade för några år sedan i samband med uppskjutningen.

²¹ http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/hyper_marine.asp

2.4.1 Användningsområden

Spaning	Som nämnts under optiska satelliter är satellitbilder inte till någon större nytta i dagsläget. Det beror på att det är för lång ledtid från bildtagning till en färdig satellitbild.
Kartering	Hyperspektral information kan stärka klassificeringen av markytan. Metria använder dock inte hyperspektrala satellitsensorer för kartering. Det är troligen dålig tillgänglighet på den typen av satellitdata. En hyperspektral satellitsensor skulle vara till god hjälp att stödja bedömningen av byggnaders funktioner och exempelvis skulle nukleär verksamhet sannolikt lättare kunna upptäckas.
Klassificering	Hyperspektrala data är bra underlag för klassificering. Bra metodik är inom FOI framtagen för analys av flygbilder och dessa borde lätt kunna konverteras för användning på satellitdata. Medan exempelvis färgfoto endast har tre dimensioner (rött, grönt och blått) i varje bildelement att använda för klassificering använder hyperspektrala sensorer ofta tiotals förhållandevis oberoende dimensioner att klassificera. Detta ger en möjlighet att klassificera objekt som inte är större än en bildpunkt.
Inmätning	Hyperspektrala sensorer följer optiska satelliters förmåga till inmätning.
Skiltnads-detektion	Hyperspektrala data borde kunna användas för att göra skattnings av klimatförändringar som t.ex. stormar, men även för att göra skillnadsdetektion för klimatförändringar på land. Materialförändringar i byggnader borde även vara möjligt att se. Då inte meterupplösningen skulle ge information angående ombyggnad, kan den spektrala informationen eventuellt göra det.
Underjordiska strukturer	Sannolikt kan hyperspektral information ge bättre svar på om exempelvis utgrävningar har förkommit. Däremot kan sensorn ej se genom marken.

2.4.2 Operationsförutsättningar/urban miljö

Atmosfärs-begränsningar	Liksom för optiska satelliter är hyperspektrala satelliter beroende av fri sikt. Beroende på våglängdsband är atmosfärsbegränsningarna olika allvarliga. Regn och dimma gör mätningar svåra, om inte omöjliga, vilket även styr vilken tid på dygnet som mätning helst genomförs, se motsvarande för optiska satelliter. Anledningen till att det inte är vanligt med hyperspektrala satellitsensorer är just atmosfärspåverkan som genom dämpningen i många våglängdsband försämrar prestandan för mycket.
Nattkapacitet	Hyperspektrala kameror är i de flesta fall passiva. Det betyder att någon annan belysningskälla måste finnas. I de flesta fall använder man sig av solen, och utan den kan ingen bild erhållas.
Urban canyons	Samma problem/möjligheter som för optiska satelliter gäller även hyperspektrala satelliter.
Material	En hyperspektral sensor borde kunna stärka klassificeringen av takmaterialet hos byggnader, och kanske även väggmaterialet. Den typ av sensor borde även kunna användas för att hitta bl.a. guldfyndigheter.
Tillgänglighet	Det finns i nuläget ingen kommersiell satellit med denna typ av sensor.
Hotbild	Se kapitel om optiska satelliter.

2.5 Satellitburen radarsensor

Radarbaserade satellitsensorer för avbildning av jordytan utnyttjar principen för syntetisk aperturradar (SAR) för att generera bilder med hög upplösning. En översikt av denna teknik samt vidareutvecklingar baserad på denna ges i Bilaga A. Den första satelliten var den av NASA utvecklade Seasat som under några månader efter uppskjutningen 1978 genererade en mängd data över olika typer av miljöer till lands och havs.

Det dröjde in på 90-talet innan efterföljare till denna satellit åter kom i bana. Exempel är europeiska ERS-1 och ERS-2, japanska JERS-1 samt ryska Almaz, samtliga nu tagna ur drift. Den europeiska resursen på området är idag SAR-systemet Envisat²² och Japan har satelliten ALOS²³ med såväl optiska som radarinstrument. SAR-systemet ombord på ALOS har även en polarimetrisk kapacitet. Något senare på 90-talet kom kanadensiska Radarsat²⁴ som fortfarande är i drift. USA har på den civila sidan inte haft någon efterföljare till Seasat i en permanent bana utan man har istället genomfört ett antal uppdrag med SAR-avbildningar under kortare perioder där sensorn varit placerad i lastutrymmet på rymdfärjan, t ex Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) beskrivet i Bilaga A samt avsnitt 2.3.

Gemensamt för dessa SAR-satelliter är att de kan betraktas som forskningssensorer där hela utvecklingen och till stor del driften finansierats med statliga pengar. Man kan därmed inte dagsläget tala om en på marknaden kommersiellt tillgänglig produkt kring SAR-bilder från satellit, vilket även får implikationer för med vilken regelbundenhet dessa kan rekvideras. T ex ändras satellitbanorna ibland för att optimera täckningen av vissa typer av miljöer under begränsade perioder som exempelvis studier av havsis. Vanliga banor har varit 3-dagarscykler och respektive 35 dagar för när samma område avbildats och där man vid korta cykeltider får områden som inte täcks in, framför allt närmare ekvatorn. För några av radarsystemen kan detta till del förbättras genom att man har möjlighet att styra ut antennen tvärs banan och således välja en avbildning med brant eller flack infallsvinkel inom den belysta markscenen och därmed få tätare intervall för avbildningen men där avbildningsgeometrin istället varierar till del. För militärt bruk har dessa SAR-system upplösningssiffror som i de flesta sammanhang är för dåliga för att komma till nytta som underlag för planering på detaljnivå, t ex inför en insats i urban miljö. Typisk upplösning hos ovan beskrivna satellitsensorer utnyttjande radar är av storleksordningen 20 m - 30 m. Undantagen är ALOS och Radarsat där man i vissa operationsmoder kan få bilder med upplösningen 7 m - 8 m. För att ge en uppfattning av en typisk scen från någon av dessa satelliter visas i *Figur 10* ett exempel från ERS-1 kring Göteborg med omgivningar. Den troligen första militära SAR-satelliten sköts upp av USA i samband med det första Irakkriget i slutet av 80-talet. Detaljer kring denna, som går under benämningen Lacrosse, är inte öppna men den antas arbeta på X-band (3 cm våglängd, 10 GHz) med en upplösning kring 1 m. Till dags dato har det rapporterats att ytterligare fyra SAR-satelliter i Lacrosseserien placerats i bana. Med stor sannolikhet har någon/några av dessa ersatt äldre enheter när de upphört att fungera. Det andra rent militära systemet driftsätts från 2007 av Tyskland med en satellitserie om totalt fem enheter i ett koncept benämnt SAR-Lupe²⁵. I vad mån Försvarmakten kan komma att få tillgång till SAR-bilder från SAR-Lupe är okänt. Enligt vad som öppet publiceras om systemet är den högsta upplösningen bättre än 1 m och fås genom avbildningsmoden "spotlight SAR". Med alla fem satelliter placerade i ur täckningssynpunkt optimerade banor skall det vara möjligt att över ett intresseområde få tillgång till 30 SAR-bilder per dag. Responstiden att få systemet att leverera en första SAR-bild över ett nytt ej tidigare inplanerat markområde skall i medeltal kunna ske inom 11 timmar och i 95% av fallen efter högst 19 timmar.

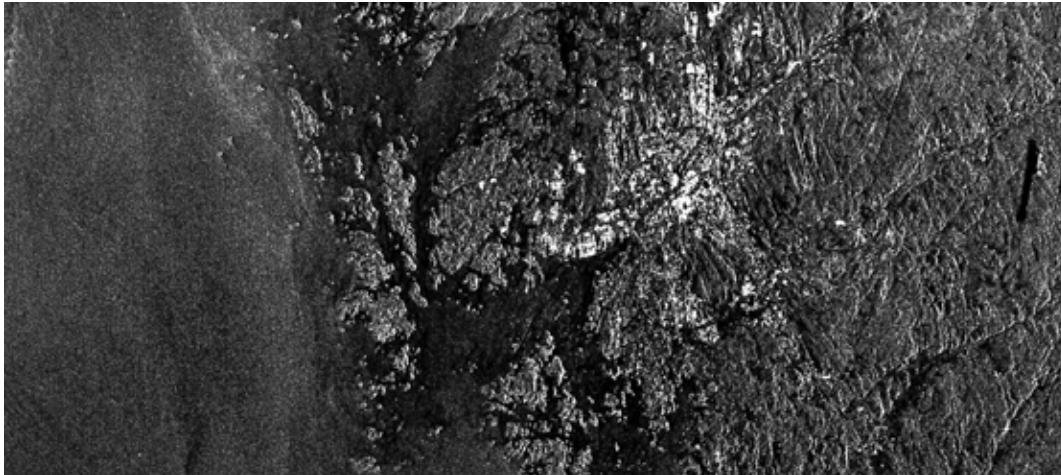
²² <http://www.esa.int>

²³ http://www.jaxa.jp/index_e.html

²⁴ <http://www.space.gc.ca>

²⁵ www.ohb-system.de/gb/Satellites/Missions/sarlupe.html

Ett annat SAR-system med hög upplösning är den israeliska radarsatelliten TECSAR som planeras skjutas upp under 2007²⁶ ²⁷. Upplösningen för detta system är kan förmodas vara i meterklass eller bättre i den högupplösande moden. Huruvida detta system är helt militärt eller om SAR-bilder, möjligen med en upplösning lägre än den bästa, även kommer att erbjudas kommersiellt på liknande sätt som den israeliska optiska satelliten EROS-A1 är idag osäkert. I vad mån ytterligare TECSAR-system planeras för placering i bana av Israel är okänt, dock kan man notera att Northrop Grumman Space Technology under 2007 bildat partnerskap med tillverkaren Israel Aerospace Industries för att erbjuda en lösning med TECSAR som komplement/ersättare till det amerikanska Lacrosse.



Figur 10. En icke kartriktig SAR-scen från västkusten med Göteborg i centrum registrerad 1992 med den europeiska satelliten ERS-1 (Earth Resource Satellite) som utvecklades på uppdrag av ESA (European Space Agency). Upplösningen är 30 m x 30 m. Landvetters flygplats syns i mitten av scenen, längst åt höger, som ett mörkt rektangulärt område. Ute i havet nere till vänster finns en större sammanhängande mörk struktur som återspeglar att de fina kapillärvågorna på havsytan har dämpats ut. En möjlighet kan vara ett oljeutsläpp. Vid en inzoomning av Göteborg fås en grov indikation av bebyggelsens utbredning men upplösningen är för dålig för att med god kontrast lösa upp merparten av stadsmiljön i form av enskilda klasser som hus, gator, torg eller grönområden. (ERS-1 bild © ESA).

Även på den civila sidan planeras det under 2007 uppskjutningar av SAR-system med avsevärt förbättrade upplösningsprestanda vilket gör dem intressanta även i militära sammanhang. I början av juni skall det tyska systemet TerraSAR-X skjutas upp²⁸ ²⁹. SAR-sensorn arbetar på X-bandet och kan i sin högupplösande "spotlightmod" generera SAR-bilder om 1 m x 1m inom ett markområde med storleken 5 km x 15 km. Med en satellit av denna typ i bana utlovas för denna "spotlightmod" en responstid på mellan 10 och 60 timmar samt möjligheten att avbilda samma område i intervall om 2,5 dagar för 95% av fallen. Satelliten skall, om ej fullständigt, så till stor del operera mot en kommersiell marknad. I Figur 11 visas en jämförelse av upplösningen mellan ESAs nuvarande operativa radarsatellit Envisat och en simulerad bild för sensorn TerraSAR-X över samma område.

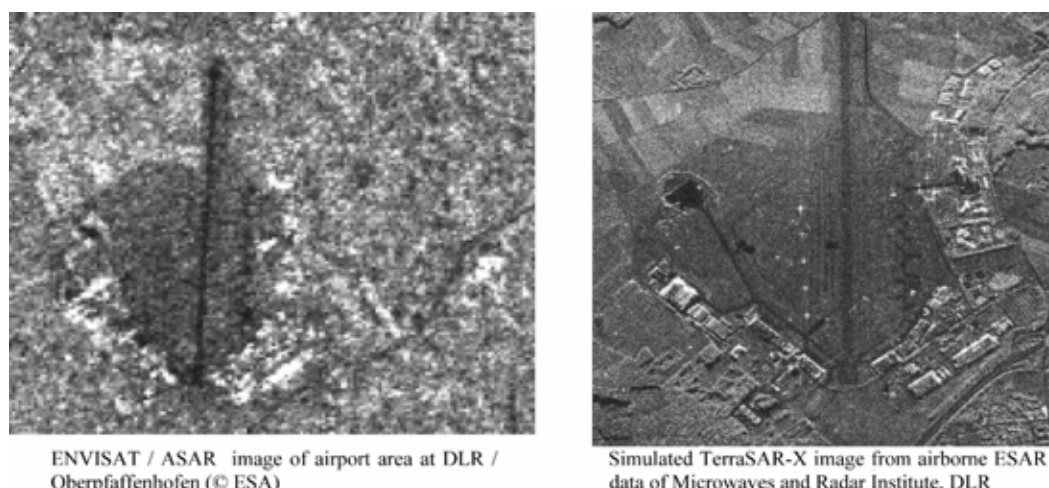
I Figur 12 finns ett delområde inom marksegmentet i Figur 11 men nu simulerat för den högsta upplösningsmoden i TerraSAR-X.

²⁶ Y. Sharay and U. Naftaly, "TECSAR: design considerations and programme status," *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.*, Vol. 153, No. 2, pp. 117-121, 2006.

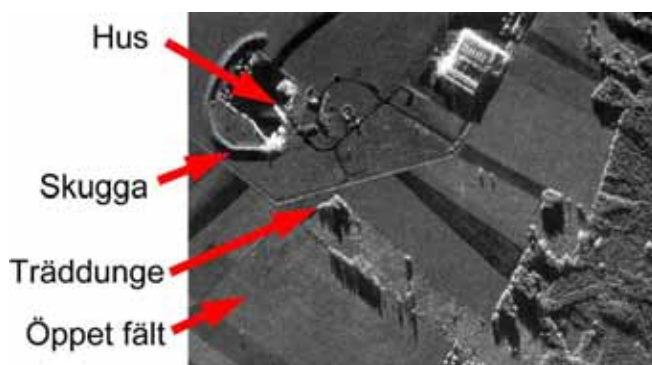
²⁷ http://www.iai.co.il/sip_storage/files/7/31097.pdf

²⁸ M. Strangl, R. Werninghaus, B. Schweizer, C. Fischer, M. Brandfass, J. Mittermayer, and H. Breit, "TerraSAR-X technologies and first results," *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.*, Vol. 153, No. 2, pp. 86-95, 2006.

²⁹ <http://www.terrasar.com/>



Figur 11. Jämförelse mellan SAR-bild registrerad med Envisat över området för en av DLR:s (German Aerospace Center) anläggningar (vänster)³⁰. Till höger finns en simulerad SAR-bild för hur motsvarande område förväntas gestalta sig registrerad av TerraSAR-X. Man kan notera att i Envisat-bilden är det främst huvudbanan för flygplatsen som syns medan övriga finstrukturer runt omkring är svårare att identifiera. Den grynighet som syns tydligt i Envisat-bilden beror på speckel som fås vid koherent avbildning (dvs. utnyttjande av såväl amplitud och fas). Med en upplösning om 30 m finns en mängd objekt ned till våglängds storlek (cm) inom varje upplösningcell vilka alla bidrar till det enskilda pixelvärdet. Vid högre upplösning minskar antalet spridare inom varje cell varför variabiliteten (grynigheten) i intensiteten hos bildpunkter för en och samma typ av bakgrund minskar.



Figur 12. Simulering av SAR-bild från TerraSAR-X med radardata registrerat av den "spotlightmod" med systemets högsta upplösningen (1 m x 1 m). Området återfinns åt vänster i mellersta delen av scenen i **Figur 11** men är här roterad 90 grader medurs.

Andra radarsatelliter med hög upplösning (1-3 meter) som enligt plan skall skjutas upp under 2007 är italienska COSMO-SkyMed³¹ och kanadensiska Radarsat-2³². Radarsat-2 arbetar liksom sin föregångare på C-band (6 cm våglängd, 5 GHz). Förutom den högre upplösningen finns det nu också moder där fullt polarimetriska mätningar kan genomföras. Man uppger att satelliten tas fram på kommersiella grunder där utveckling och drift skall tas igen genom försäljning av SAR-bilder och ur dessa förädlade följdprodukter. COSMO-SkyMed är den första i en tänkt serie om fyra satelliter som skall placeras i bana och därmed förbättra tillgänglighet och ledtider från beställning till levererad bild. Detta SAR-system arbetar på X-band. Utvecklingen av COSMO-SkyMed sägs vara en resurs för "dual-use", dvs. såväl militära och civila kunder skall få tillgång till produkterna.

³⁰ M. Eineder, H. Runge, E. Boerner, R. Bamler, N. Adam, B. Schättler, H. Breit and S. Suchandt, "SAR interferometry with TerraSAR-X," In *Proc. Fringe Workshop 2003*, ESA SP-550, Frascati, Italy, 1 - 5 December, 2003, (6 pages on CD).

³¹ P. Lombardo, F. Colone, and D. Pastina, "Monitoring and surveillance potentialities obtained by splitting the antenna of the COSMO-SkyMed SAR into sub-apertures," *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.*, Vol. 153, No. 2, pp. 86-95, 200

³² <http://www.space.gc.ca>

2.5.1 Användningsområden

Spaning De i dagsläget existerande SAR-satelliterna bedöms ha ringa värde för militära tillämpningar pga den låga rumsliga upplösningen. Den nya generation SAR-satelliter med meterupplösning som är på väg att skickas upp från och med 2007 bedöms dock ha potential för att utnyttjas i militära spaningssammanhang. På samma sätt som i diskussionerna kring optiska satelliter i avsnitt 2.2 är möjligheten till kontinuerlig spaning begränsade då antalet kommande satelliter i närtid är relativt få och de responstider som utlovas handlar om dygn eller halva dygn som bäst.

Radarsatelliternas styrka är att de kan operera oberoende av väder- och ljusförhållanden.

Kartering Med den nya generationen SAR-satelliter bör registrerade bilder kunna vara till stöd vid operationer där kartunderlaget är bristfälligt. Väderstatistiken för områden såsom kring de stora sjöarna i Afrika visar på att sannolikheten för molntäckta områden är relativt stor. Som komplement till och i avvaktan på högupplösta molnfria optiska scener bör möjligheten av tillgång till SAR-bilder vara viktig. Med hjälp av såväl polarimetriska som interferometriska SAR data kan ytterligare information avseende kartering extraheras.

Klassificering Upplösningen på de kommande SAR-satelliterna är fortfarande i underkant för detaljerad klassificering av t ex fordonstyp. Det blir snarare slutsatser av karaktären stort, medelstort eller litet fordon. Med hjälp av polarimetriska signaturer kan ytterligare viss indelning göras för avbildade områden såsom t ex vatten, vegetation eller bebyggelse ("man-made objects").

Inmätning Radarsystemet avbildar omgivningen med god noggrannhet i ett två-dimensionellt snedtittande bildplan. För att hänföra de olika bildpunkterna här till motsvarande positioner på markytan behöver den inmätta bilden projiceras till markplanet via en digital höjddatamodell. Hur väl de därmed framräknade positionerna för upptäckta mål av intresse stämmer med deras verkliga lägen blir därmed beroende på den noggrannhet och den gridtätet med vilken en digital höjdmodell finns att tillgå över det aktuella området. Om förberedelsetid har funnits kan kanske en förfinad höjddatamodell ha mätts in baserad på laserkartering (avsnitt 2.6) eller interferometrisk SAR.

Skillnadsdetektion Skillnadsdetektion är möjlig att göra ner till storleken för upplösningen hos radarsensorn. I fallet med SAR-bilder når man oftast inte ned till så små strukturer pga det speckel som finns i bilderna som resultat av den koherenta avbildningen. Om skillnaden mellan upplösningens storlek och använd våglängd inte är alltför stor minskar mängden strukturer inom denna vilka kan bidra till återspridningen och därmed blir speckeleffekten lägre. Som regel får man trots det göra viss medelvärdesbildning av näraliggande pixlar för att reducera variabiliteten i intensitetsvärden från likartad bakgrund och därmed förloras minsta storleken för objekt där skillnader kan upptäckas. För vissa starka kontrastskillnader, som t ex en bro med omgivande vattenyta, så syns skillnaden mellan två bilder tydligt utan medelvärdesbildning i den händelse att bron försvunnit eller tillkommit mellan registreringstillfällena.

Underjordiska strukturer I den mån radarstrålningen förmår att penetrera någon/några meter ner i marken avgörs främst av aktuell radarvåglängd samt markens beskaffenhet, främst dess ledningsförmåga. Längre våglängd ger större inträngningsdjup medan man med en ökad ledningsförmåga får en reducerad effekt. Från SAR-bilder tagna med rymdfärjan (L-band, 30 cm våglängd, 1 GHz) har tidigare flodfåror i Sahara, numera begravda några meter under sand, upptäckts och rönt stor uppmärksamhet. Generellt får det dock

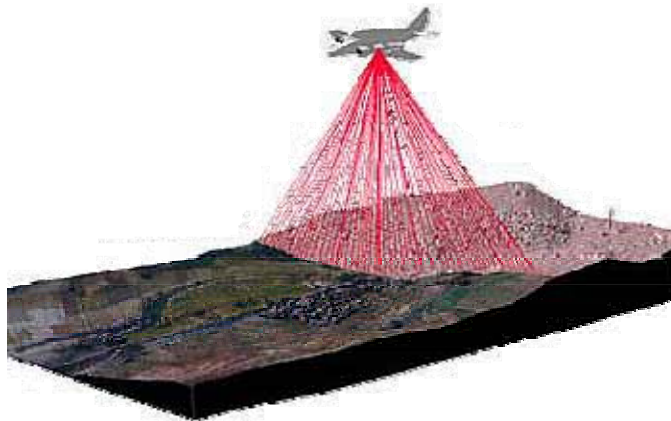
bedömas som om upptäckt av underjordiska strukturer med SAR-satelliter inte kan påräknas på ett robust sätt och för godtyckliga markområden.

2.5.2 Operationsförutsättningar/urban miljö

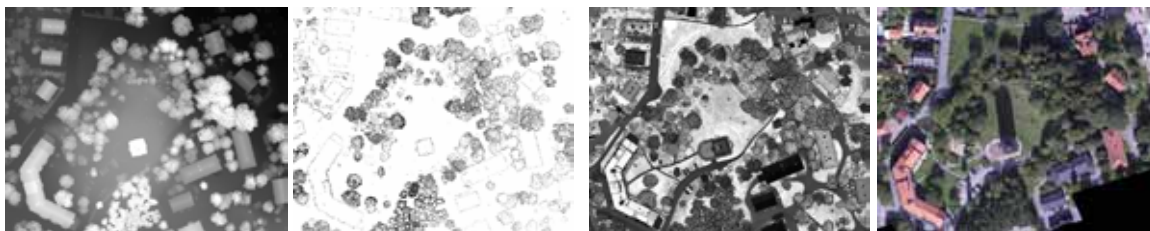
Atmosfärs-begränsningar	Radarsatelliter inom bandet 1 GHz (L-band) till 10 GHz (X-band) kan anses fungera utan begränsningar i väder- eller ljusförhållanden. Alla i dagsläget historiska, operativa eller i närtid planerade satelliter är utvecklade inom detta frekvensintervall. Vid mycket kraftiga skyfall över tropikerna har skugg effekter bakom regnmoln dock kunnat påvisas i bildexempel från satellit-SAR. För frekvenser högre än X-band blir räckviddsbegränsningar vid kraftigare nederbörd alltmer påtagliga. För frekvenser under 1 GHz är det istället de över dygnet variabla elektriska förhållandena hos jonosfären som utgör den faktor som begränsar möjligheten till att operera ett SAR-system. Utbredningen för signalen fram och åter genom detta medium påverkar fasinformationen och beroende på till vilken grad kan den koherenta signalbehandlingen för bildgenerering därför omöjliggöras.
Nattkapacitet	Med sin egen belysningskälla ombord på satelliten är dag- eller nattförhållanden inget som påverkar prestanda för en SAR-sensor.
Urban canyons	Med SAR-sensors snedtittande avbildningsprincip fås skuggfenomen bakom upprättstående höga strukturer såsom byggnader. De satellitburna SAR-systemen belyser dock traditionellt marken med en relativt brant infallsvinkel (typiskt 25 grader mot marknormalen för en plan yta) varför skuggornas utbredning inte blir alltför långa för typiska höjder hos stadsbebyggelse. Pga det stora spaningsavståndet är variationen av infallsvinkeln inom stråkbredden inte heller så många grader. I en del av de kommande satelliterna kan antennloben styras ut elektriskt i avstånd men fortfarande finns branta infallsvinklar som möjligt val inom aktuellt intervall för stråkets möjliga placering.
Material	Med tillgång till polarimetriskt SAR data finns möjlighet att till del särskilja olika materialtyper då de skilda polarisationsriktningarna påverkas olika av dielektricitetskonstanten för den reflekterande ytan. Mycket av arbetet kring dessa frågor befinner sig ännu på forskningsstadiet.
Tillgänglighet	Som tidigare beskrivits inleds en ny era där högupplösta SAR-satelliter kommer att finnas att tillgå och där några operatörer verkar på kommersiell basis. Närmaste åren får utvisa vilken tillgänglighet som kan fås i praktiken.
Hotbild	Samma typ av hotbild som beskrivits för optiska satelliter i avsnitt 2.2 gäller för radar-satelliter. Därutöver tillkommer att radarn är ett aktivt system varför signalspaning kan användas för att upptäcka när man är belyst och därmed kunna sätta in aktiv störning. Det får antas att endast en kvalificerad motståndare har resurser för såväl signalspaning som aktiv störning mot denna typ av rymdburen sensor. Då passagetiderna för en satellit är korta måste återkopplingen mellan upptäckt radarsignal och insats av störning ske momentant. Ett billigare sätt är att utnyttja det faktum att avbildningsmoderna hos satellitradarn samt dess banparametrar är som regel kända för icke militära system varför man på förhand kan räkna fram de kritiska passagetider då man kan vara utsatt radaravbildning.

2.6 Flygburen lasersensor för detaljerad inmätning

Detta kapitel beskriver mätsystem baserade på luftburna skannande laserradarsensorer. Systemen kan vara helikopterburna eller flygplansburna och innehåller en belysare (laser) och en mottagare, samt speglar för att rikta belysningen. En laserpuls skickas ut och tiden det tar för denna att återvända bestämmer avståndet till målet. Genom att skanna speglarna kan en hel scen avbildas, se *Figur 13*. Beroende på tillämpning kan mellan 20'000 och 500'000 punkter samlas in per sekund. Efter insamling georefereras data genom att GPS och IMU används för att känna av positionen för den inmätta datapunkten. För markkarteringstillämpningar brukar en lämplig punkttäthet vara kring 15 punkter per kvadratmeter på marken. Osäkerheten i mätdata ligger idag på ca 1 dm. Flyghöjden ligger normalt på några hundra meters höjd. Flyghastigheten ligger på 50 km/h - 150 km/h, beroende på system. Mätdataexempel visas i *Figur 14*.



Figur 13. Bilden visar principen för laserskanning från flygande plattform.



Figur 14. Exempel på mätdata insamlade med en flygburen laserskanner. Från vänster till höger visas höjddata, multipla ekon, reflekterad intensitet, respektive ett ortorektifierat flygfoto.

Nya militära system i USA baseras på UAVer och har en längre räckvidd och vanligtvis en högre upplösning och noggrannhet. Genom att inte titta rakt ner minskas hotbilden ytterligare. Flera sådana kända prototyper finns redan och testas nu inom amerikanska förband³³, t.ex. LOCAAS³⁴ och RAIDER³⁵.

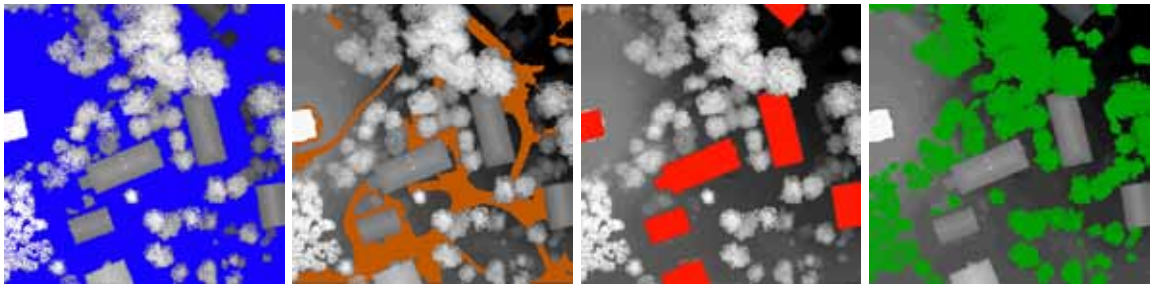
³³ <http://www.defense-update.com/products/l/ladar.htm>

³⁴ LOCAAS är en lasersensorbaserad UCAV. <http://www.defense-update.com/products/l/locaas.htm>

³⁵ RAIDER ger ett laserbaserat sensoralternativ till UAVn Predator:

<http://www.defenseindustrydaily.com/2006/08/78m-for-predator-ladar-rd-morphs-into-raider-turret-updated/index.php>

Spaning	På grund av att mätsystemet skannar av området successivt som avbildas kan inte saker som rör sig mätas. Därför är dessa system inte lämpade för kontinuerlig spaning. Om man däremot endast vill upptäcka förändringar i en scen mellan två mätningar är lasern ytterst väl lämpad på grund av att geometrier är svårare att maskera än färger. Se mer i avsnittet om skillnadsdetektion nedan.
Kartering	Eftersom mätningarna med laserskanning resulterar i georefererade data är systemen mycket väl lämpade för kartering ³⁶ . Eftersom mätdata dessutom innehåller den tredimensionella formen hos markobjekten ger detta mycket gott stöd åt högupplöst klassificering, se nedan. Denna klassificering är ideal att använda till kartering. Med laser anpassad för undervattensbruk kan även kustnära botten djupkarteras och minsäkras, med samma upplösning.
Klassificering	Mätdata är synnerligen bra att använda för klassificering av markstrukturer såsom vägar, byggnader, vegetation, lyktstolpar och kraftledningar på grund av den högupplösta och robusta tredimensionella signaturen ³⁷ , se exemplet i Figur 15. Som underlag till klassificeringen kan såväl geometrin som lokala höjdfördelningen av ekon, eller reflektans användas. För att förstärka klassificeringen kan även färgfoto användas, som vanligtvis har högre spatiell upplösning än laserdata.



Figur 15. Nedre högra regionen i data från **Figur 14** är automatiskt klassificerad i mark(t.v.), vägar, hus respektive vegetation (t.h.).

Inmätning	Mätdata är georefererade vilket gör inmätning både lämplig och möjlig. Den spatiella osäkerheten på mätdata (i såväl höjdled som sidled) är ca 1 dm.
Skillnads-detektion	Eftersom mätningarna med laserskanning resulterar i georefererade data är systemen mycket väl lämpade för jämförelser mellan flygningar genomförda vid olika tidpunkter. En viktig notering är att laserinmätta geometriska data dessutom är oberoende av omgivningsbelysning på grund av tillgången till egen belysningskälla.
Underjordiska strukturer	Marken kan ej penetreras med dessa system varför underjordiska strukturer ej kan avbildas från luften. Däremot kan geometrin hos markytan avbildas och vara ett stöd i bedömningen av omfattningen av underjordiska konstruktioner.

³⁶ Söderman U., Persson Å., *Taktisk kartering - geodatapaketen och analys*, FOI-R--1954--SE, Linköping, 2006.

³⁷ Söderman U., Ahlberg S., Persson Å., Tolt G., *Omvärldsmodellering/Dynamisk terräng - slutrapport*, FOI-R--2170--SE, Linköping, 2006.

2.6.1 Operationsförutsättningar/urban miljö

Atmosfärs-begränsningar	Lasersystemen bygger på fri optisk sikt där prestandan beror på atmosfärens egenskaper. Dock krävs mycket dåliga förutsättningar för att sätta sensorn helt ur spel, eftersom det till sist mest handlar om en effektfråga. Snöoväder utgör stora problem, medan regn inte påverkar lika mycket. Dimma är inte ett stort problem. I praktiken avböjer oftast sensorbäraren (helikoptern eller flygplanet) en flygning innan sensorn gör det.
Nattkapacitet	Nattkapaciteten är fullständig eftersom systemen har sin egen belysningskälla. För att kunna stödja klassificering med flygfoto krävs flygning under dagtid.
Urban canyons	Fri sikt är en förutsättning för att kunna mäta. På grund av den låga flyghöjden, finns en stor flexibilitet för att anpassa flygrutten för att nå skynda utrymmen. På grund av perspektivseendet skuggas dock gator som ligger långt från flygrutten.
Material	Beroende på vilken våglängd som används vid mätningen kan egenskaperna hos olika material påverka resultatet avsevärt. En vanlig våglängd är 1,5 µm, eftersom den klassas som ögonsäker. Vid denna våglängd är tyvärr t.ex. snö och vatten mycket lågreflektivt, vilket kan göra klassificeringen av dessa underlag svårare eftersom det blir många förlorade mätpunkter i data.
Tillgänglighet	De helikopter- och flygplansburna systemen som nämnts i detta avsnitt är kommersiella system, tillgängliga i Sverige såväl som i många andra länder i väst. Att få tillgång ett sådant system i en brådskande insats långt bort från Sverige är idag orimligt, eftersom Försvarmakten inte äger något system. Om systemet skulle vara tillgängligt uppskattas insamlingstiden vara 10 km ² /h - 20 km ² /h. Utöver denna tid krävs en bearbetningstid som beror på omfattningen av analysen, klassificeringen eller karteringen.
Hotbild	Med tanke på den låga flyghöjden och den låga flyghastigheten är systemen sårbara mot hot på marken. Systemen mäter i stort sett rakt nedåt vilket bidrar till sårbarheten.

2.7 Markbaserad radarsensor för markpenetrering

Att kunna detektera och avbilda underjordiska objekt och strukturer är ett genuint svårt problem. Ett sensorsystem som på avstånd, likt en datortomograf, snabbt kunde rekonstruera lager för lager under markytan och därmed bygga upp en volymbeskrivning av området därunder vore en mycket användbar resurs. Markens komplexa beskaffenhet i form av en mängd förekommande jord- och bergarter, med skillnader i ledningsförmåga och täthet, leder dock till en stor variabilitet för kritiska parametrar som dämpning och utbredningshastighet vid mätningar baserade på elektromagnetism, akustik eller seismik. Exempelvis kan en faktor som en förändrad markfuktighet resultera i stora skillnader av förutsättningarna då samma område avbildas vid olika tillfällen. Ofta behöver också kompromisser göras som att försämma upplösningen för att kunna öka penetrationsdjupet, eller att ha ett sensorhuvud med god koppling till markytan för att minska effektförlusterna för signalerna vilket därmed förhindrar förmågan att göra inmätningar på avstånd. I detta avsnitt ges endast en kort beskrivning kring avbildning under marken baserat på radar och med exemplifieringar tagna från information hos det svenska företaget Malå Geoscience³⁸. FOI har ett GPR-system från detta företag till sitt förfogande för studier kring möjligheter att hitta oexploderad ammunition (OXA) i terrängen.

³⁸ <http://www.malags.com>

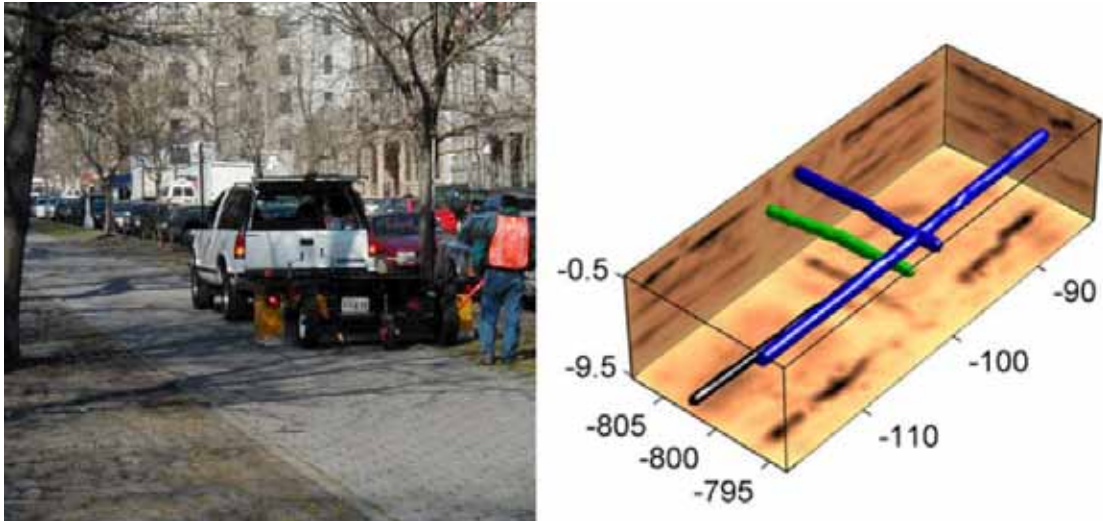
”Ground penetration radar” (GPR, markpenetrerande radar) är en avbildande metod där lågfrekventa radarvågor (ca 100 MHz - 4 GHz) sänds ner i marken eller in i en vägg. De reflekterade radarvågorna tas emot och analyseras för att skapa 3D-bilder av den inre strukturen. Genomträngningen är i gynnsamma fall vid dessa frekvenser upp till några meter i torra jordlager, berg, betong och asfalt medan vattenrika skikt har betydligt mindre genomträngning (några decimeter) och metall ger totalreflektion. Lägre frekvenser ger större genomträngningsförmåga till priset av lägre upplösning. Skillnader i förmåga av genomträngning kan användas för att kartlägga position och djup av olika nedgrävda metalliska eller icke metalliska föremål. Tjockleken av olika geologiska eller arkeologiska skikt samt position, djup, utbredning och skador av t.ex. vattenrör, gasrör tankar, elledningar och annan infrastruktur kan kartläggas. Även luftfickor, gasläckor, vattensamlingar, sprickbildningar och övriga markförhållanden kan analyseras i detalj utan grävning. Upplösningen som beror av flera faktorer bland annat vald frekvensbandbredd, polarisation samt markens dielektriska egenskaper kan i gynnsamma fall vara ned till ca 5 cm.

Högupplöst markpenetrerande är relativt tidsödande och bör utföras under kontrollerade former i avlysta områden med tillgång till GPS. Som ett exempel anger Malå Geoscience att ett område på ca 2500 m² avbildades av två personer på en arbetsdag med ca 6 timmar för transporter och mätningar samt ca 3 timmars efterbearbetning av erhållna mätdata. Delar av efterbearbetningen innehåller ofta element baserade på tekniken för syntetisk aperturradar då alla inmätningarna under förflyttningen av radarsystemet över markytan skall återprojiceras till rätt spridningspunkt under marken. En tillkommande svårighet här är att utbredningshastigheten i marken kan variera och är inte konstant (ljushastigheten) som när man med ett flygburet SAR-system skall avbilda markytan och vågutbredningen sker genom atmosfären. För att lyckas i fallet med att se ner i marken kan det krävas olika iterativa processer för att fokusera data till en punkt, sk autofokusering.

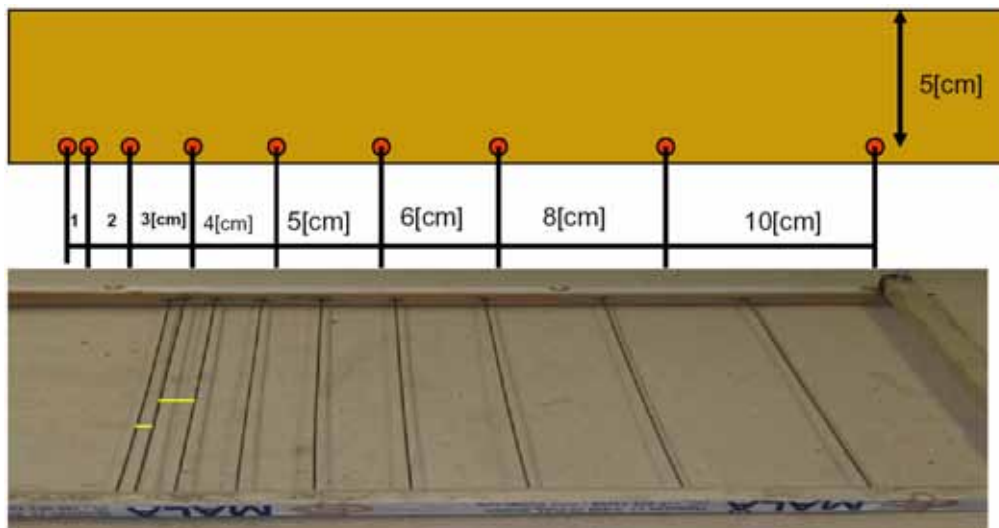
Figur 16 till Figur 19 återger några bildexempel från Malå Geoscience kring tillämpningar samt visualisering av insamlat och bearbetat GPR-data.



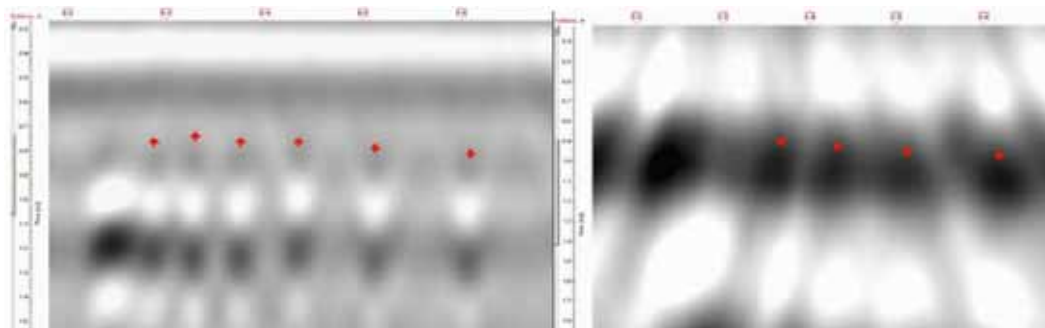
Figur 16. Bild av Witten Inc & Malå Geoscience CART-system (Computed-Assisted Radar Tomography) under arbete i samband med underjordisk kartläggning av "Ground Zero" (området där World Trade Center tidigare låg i New York).



Figur 17. CART-systemet för avbildning av nedlagda vattenrör i stadsmiljö.



Figur 18. Schematisk bild och tillhörande foto för en mätuppställning som visar position, separation och djup av metalltrådar nedgrävda 5 cm i sand under GPR-mätning.



Figur 19. GPR-bilder av mätuppställningen i **Figur 18**. Till vänster har mätningar gjorts med en antenn som arbetar kring 2,3 GHz. Upplösningen är i detta fall 2 cm - 3 cm. Den högra bilden visar istället resultat från mätningar vid 1,2 GHz. Upplösningen är här 4 cm - 5 cm.

Koncept med radar för upptäckt och detektion på ännu större djup (totalt meter) har redovisats med experimentella resultat³⁹. Försöken syftade till att hitta djupt liggande bunkrar och tunnelsystem. Radarsystemet arbetade här med en bandbredd om 60 MHz (6 MHz – 66 MHz). Mätningarna baserades på ett markbundet system och utfördes i en bistatisk konfiguration med två antenner med god koppling till markytan. Redovisade resultat från SAR-signalbehandling gäller radardata insamlade ovan ett övergivet gruvsystem.

I avsnitt 2.5.1 omnämns att man i vissa gynsamma fall har kunnat verifiera att strukturer som syns i SAR-bilder orsakats av objekt som befunnit sig ett stycke under markytan. Det har främst gällt områden med torra jord- eller sandlager^{40 41} och med SAR-system baserade i rymden och därmed opererande på frekvenser över 1 GHz. Med flygburna radarsystem kan system på lägre frekvenser realiseras utan att man får problem med vågutbredningen genom jonosfären. Resultat som visar på att underjordiska strukturer kan identifieras på dessa frekvensband finns och då även för områden andra än ökenliknande terräng, t ex installationer i anslutning till ett flygfält⁴². Det är dock fortfarande så att även i dessa fall kan man ej hävda att man får en generell förmåga att på ett robust sätt kunna göra kartering under markytan utan det beror på många samverkande omständigheter. Som jämförelse kan nämnas att med FOIs två flygburna lågfrekventa SAR-system CARABAS-II (VHF-bandet) och LORA(UHF-bandet) har inga säkra observationer av återspridning från underjordiska strukturer kunnat påvisats. Dock har inga systematiska studier kring denna tillämpning hittills skett utan fokus har varit upptäckt av markmål gömda i vegetation.

³⁹ E.D. Lynch, R.D. Brown, D.D. Mokry, J.M. VanDamme, and M.C. Wicks, "Deep penetration using surface contact HF radar," In *Proc. IRS 98, International Radar Symposium*, Munich, Germany, 15-17 September, 1998, pp. 649-657.

⁴⁰ R. Blom, J. Zairins, N. Clapp, and G.R. Hedges, "Space technology and the discovery of the Lost City of Ubar," In *Proc. IEEE Aerospace Conference*, Aspen, CO, 1-8 February, 1997, pp. 19-28.

⁴¹ P. Paillou, G. Grandjean, N. Baghdadi, E. Heggy, T. August-Bernex, and J. Achache, "Subsurface imaging in south-central Egypt using low-frequency radar: Bir Safsaf revisited," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 7, pp. 1672-1684, 2003.

⁴² A. Kalmykov, V. Tsymbal, A. Matveev, A. Gavrilenko, and V. Igolkin, "The two-frequency multipolarisation L/VHF airborne SAR for subsurface sensing," In *EUSAR'96, European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Königswinter, Germany, 26-28 March, 1996, pp. 275-280.

3 Bi- och monostatisk SAR för kartläggning av yttre och inre strukturer i byggnader

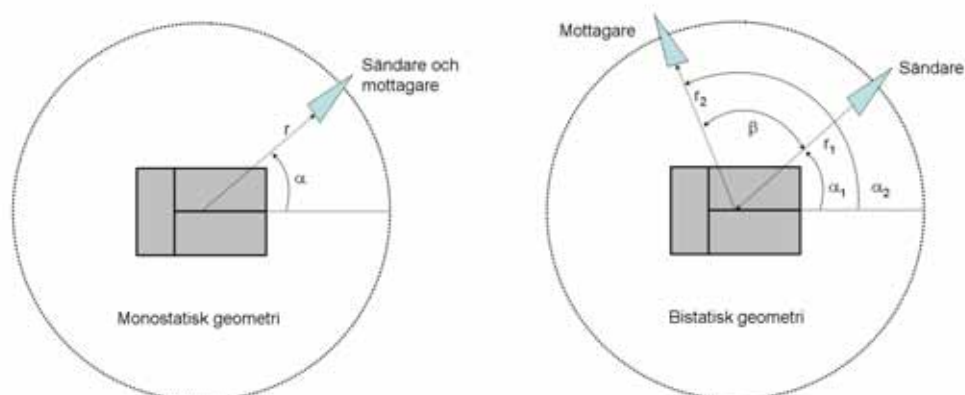
Jämfört med flertalet andra sensorer så har radar god förmåga att tränga långt in byggnader och igenom flera väggar. Radar har också potentiell förmåga att avbilda byggnaders yttre och inre struktur, samt att detektera objekt, dolda rum och att hitta människor och lagrat material eller vapen inuti byggnader, se Figur 20.

Technology	Penetration Depth	Personnel Localization, Tracking	Building Mapping	Object Detection	Standoff
Acoustic	1 wall	No	No	No	Short range
Seismic passive	Ground floor	No	No	No	Short range
Thermal imaging	1 wall	Exterior rooms only	No	No	Line of sight
LADAR	1 window	Exterior rooms only	Exterior rooms only	Exterior rooms only	LOS (angular extent needed)
Radar	>2-3 walls	Yes	Yes	Large quantities	LOS (angular extent needed)

Figur 20. Jämfört med flertalet andra sensorer så har radar god förmåga att tränga långt in byggnader och igenom flera väggar. Penetrationen är god för låga radarfrekvenser (< 3 GHz) igenom de flesta byggnadsmaterial förutom metall. Radar har också potentiell förmåga att avbilda byggnaders yttre och inre struktur, samt att detektera objekt, dolda rum och att hitta människor och lagrat material eller vapen inuti byggnader. Radar kan även användas på avstånd (stand off distance) vid fri sikt (line of sight). (<http://www.darpa.mil>)

Bistatiska radarsystem har sändare och mottagare separerade till skillnad från monostatiska radarsystem. Bistatisk radarteknik är tekniskt närbesläktat med multistatisk radarteknik där flera mottagare och/eller sändare kan användas omväxlande, se Figur 21. Olika kombinationer av samverkande fasta och rörliga plattformar för sändare respektive mottagare är möjlig, t.ex.:

- rörlig sändare och mottagare
- rörliga sändare och fasta mottagare
- fasta sändare och rörliga mottagare
- Exempel på rörliga plattformar kan vara satelliter, flygplan, helikoptrar, UAVer, fordon, fartyg.



Figur 21. **Vänster:** Monostatisk geometri. Sändaren och mottagaren befinner sig på samma plats och flyttas alltid tillsammans. **Höger:** Bistatisk geometri. Sändaren och mottagaren befinner sig på olika platser och kan flyttas oberoende av varandra.

Det finns jämfört med monostatisk radar flera tekniska utmaningar med bi- och multistatiska radarsystem; bland annat ställs högre krav på synkronisering och positionering då sändaren och mottagaren är separerade. Bi- och multistatiska radarsystem har dock flera fördelar jämfört med monostatiska system:

- Den ökade frihetsgraden med separerad sändare och mottagare ger ökat informationsinnehåll i radardata som kan användas till nya typer av avbildningar, t.ex. kan kartläggning göras av inre strukturer i byggnader
- Bistatisk radar har potentiell bättre förmåga att upptäcka smygpassade mål och mål i bakgrund t.ex. via ökad radarmålarea och/eller reducerad bakgrundsklotter i lämpligt valda bistatiska geometrier.
- Reduktion av starka signaler t.ex. spekulärreflexer från vinkelräta hörn kan göras signalbehandling. Därmed kan bättre avbildningar fås och mindre signaler framhävas.
- Tillgängliga utsända signaler i etern, t.ex. digital-TV, kan användas som sändare i passiv bistatiska tekniktillämpningar för detektion av t.ex. människor, fordon och mobiltelefoner.

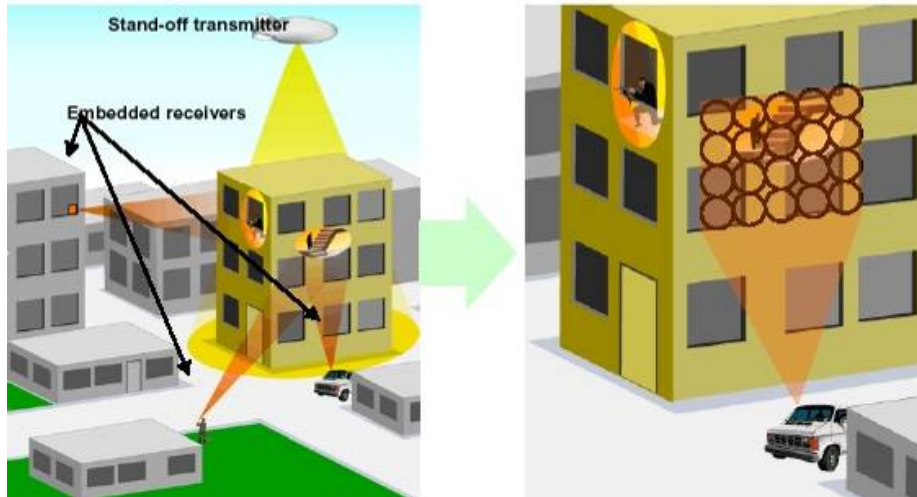
3.1 Inledning

Elektrooptiska (EO) sensorsystem har mycket god förmåga i många situationer men har även många begränsningar. När fri sikt saknas t.ex. i "urbana canyons" runt byggnader och inuti dem är flertalet av dagens EO-sensorsystem helt eller delvis blinda. Icke desto mindre finns i just dessa "besvärliga" scenarion ett stort behov av sensorinformation vilket bjuder nya utmaningar och möjligheter att använda andra typer av sensorer med genomträngande förmåga t.ex. radar. En vision för detta kan vara att utveckla ett system med flera olika genomträngande sensorer och signalbehandling så att militär eller annan insatspersonal kan köra eller flyga förbi ett stadskvarter och skanna av byggnader interiör och exteriör samt övervaka människorna där. Detta är en omfattande och krävande utmaning inte minst tekniskt, som sannolikt ger forskarna en hel del att arbeta med en lång tid framöver. En sammanställning av sensorer ges i Tabell 1.

Tabell 1. Enkel jämförelse mellan några olika sensorer med viss genomträngande förmåga. (*värmetransporteffekter till ytan kan ge information.)

Jämförelse	Ultraljud	Konventionell radar	Termisk (IR)	Röntgen	Bredbandig lågfrekvent SAR
Upplösning	God	Marginell	God	God	God
Dag/natt / alla väder	Ja	Ja	Nej *)	Ja	Ja
Väggpenetration	Marginell	Hyfsad	Nej	God	God
Genomträngning i metall	Nej	Nej	Nej	Enstaka mm	Nej
Markpenetration	Ja	Hyfsad	Nej *)	-	Ja
Förmåga att identifiera	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja

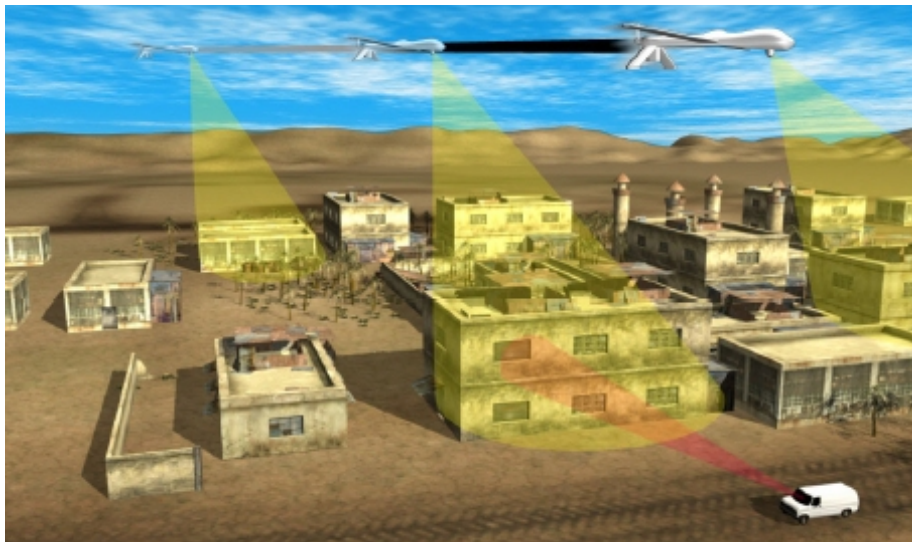
Vi vet av praktisk erfarenhet att lågfrekvent EM strålning från t.ex. mobiltelefoner har god förmåga att tränga långt in i byggnader. Kan detta utnyttjas för att bestämma byggnadslayouter, hitta personers positioner i byggnader samt dolda vapengömmor?



Figur 22. Vision av bi- och multistatisk konfiguration av ett radarbaserat system med för god marklägesbild med övervakning och avbildning av byggnader och deras inre 3D struktur med våningslayouter, trappor m.m. samt människors rörelsemönster inuti byggnaden⁴³.

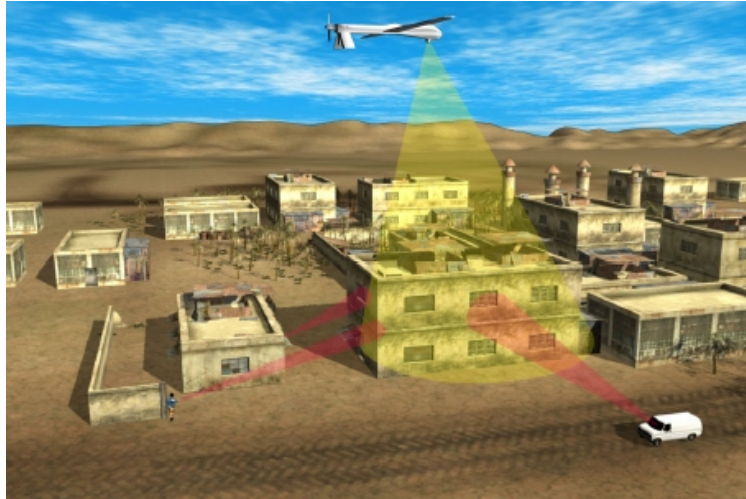
3.2 Användbarhet för presentationssätt och planering

Nedan ges i Figur 23-Figur 26 ett möjligt framtida arbetssätt från DARPA på hur ett misstänkt hus identifieras och undersöks med hjälp av olika samverkande sensorer, bland annat genomträngande avbildande radarsensorer.

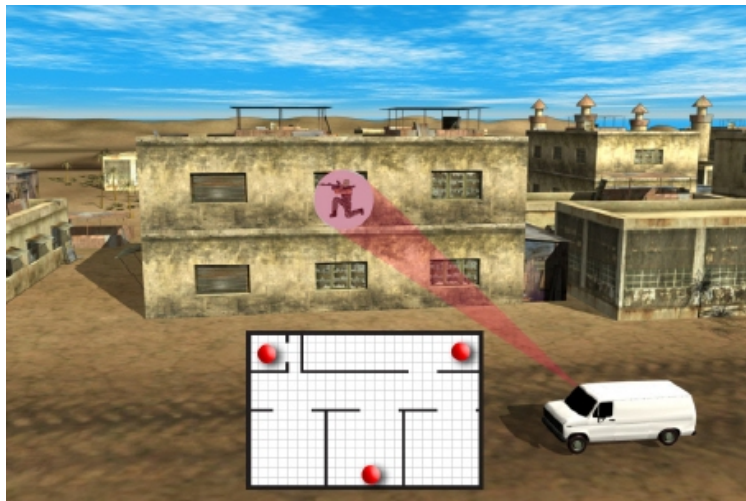


Figur 23. I en förberedelsefas, ca 24 timmar före en insats identifieras ett område som ett sannolikt mål med hjälp av fjärranalys t.ex. SAR-bilder från satellit, flygplan eller UAV. Ground moving target indication (GMTI) och förändringsdetektion (change detection) kan användas för att kartlägga trafik till och från dem mest intressanta byggnaden (centre of gravity) i området..

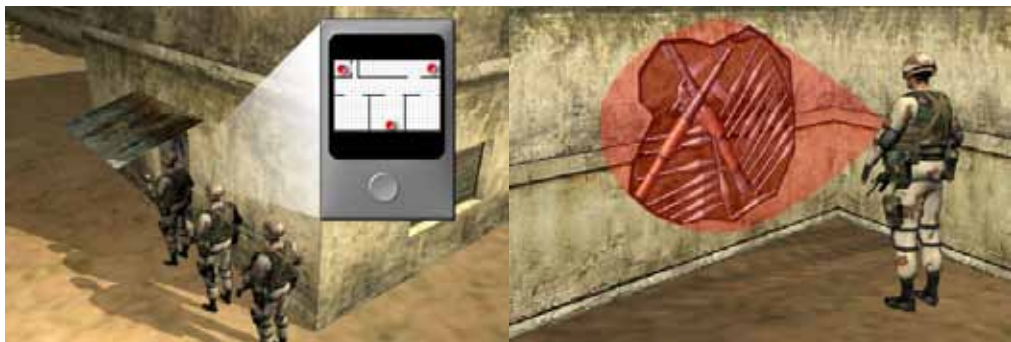
⁴³ <http://www.darpa.mil>



Figur 24. Ca 6 timmar före en insats kartläggs byggnadens yttre och inre struktur med olika sensorer. Byggnadens mått, placering av fönster, trappor, korridor samt och ingående material och våningsplanslayout kartläggs. Sensorerna bestämmer även rörelsemönster av personer i byggnaden samt trafik och kommunikation till och från byggnaden.



Figur 25. Ca 30 minuter före insats tas mera detaljerade kartor fram över byggnaden. Alla personers position i byggnaden mäts in och uppdateras så nära realtid som möjligt. De röda prickarna i bilden ovan anger positioner av människor.



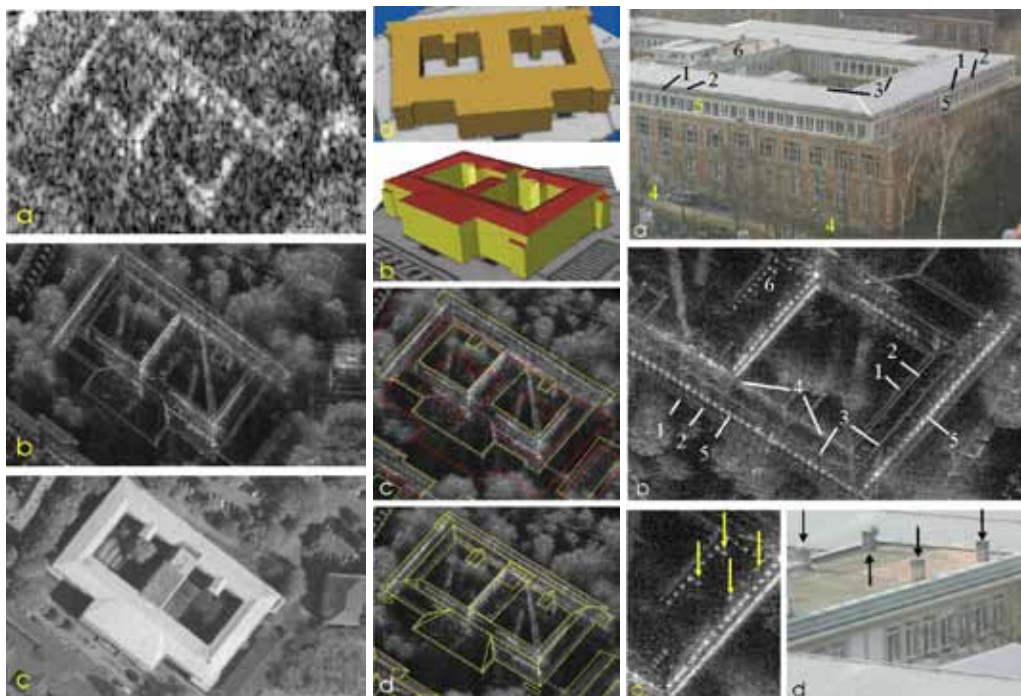
Figur 26. Vid insatsen får uppdragsstyrkan uppdaterad information och mera detaljerade kartor fram över byggnaden. Positioner av alla personerna i byggnaden uppdateras i nära realtid. Efter insatsen undersöks byggnadens interiör mera noggrant för att leta efter dolda rum och vapengömmor.

3.3 Monostatisk SAR i satellit, flygplan eller UAV

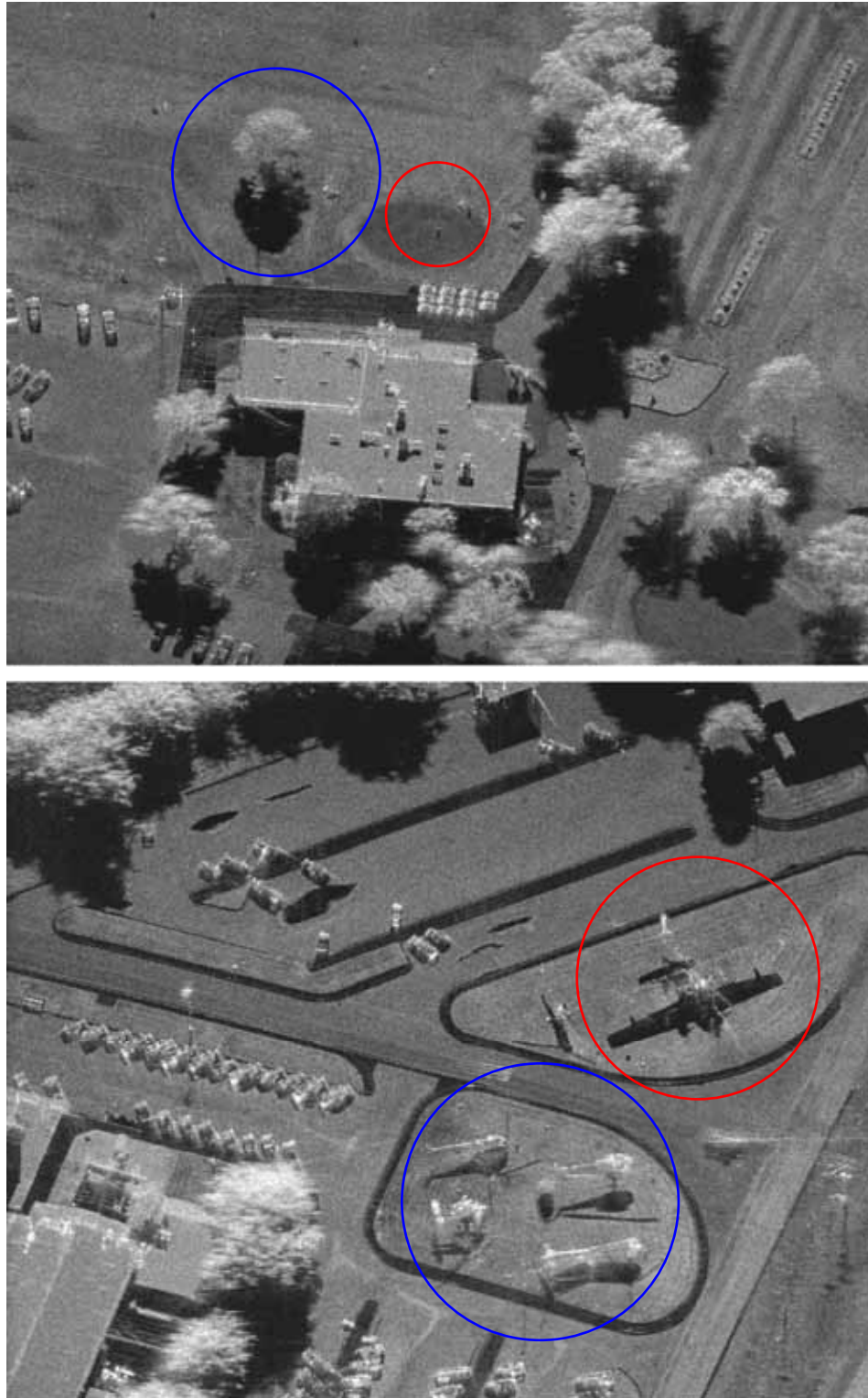
Monostatisk SAR (syntetisk aperturradar) med system som CARABAS och LORA på VHF-bandet (20 MHz -90 MHz) och UHF-bandet (200 MHz -800 MHz) kan redan idag användas för att:

- ge högupplösta indata inom någon timma till uppdaterad marklägesbild och kartor
- kartlägga byggnaders och infrastrukturs yttre dimensioner och status, se Figur 27 och Figur 28
- erhålla höjddatamodeller (DEM) för t.ex. urban kartering
- göra förändringsdetektion av fordon som flyttat sig
- göra förändringsdetektion för att bedöma skador av byggnader, vägar och broar efter en insats

FOI kan på sikt med fullt utnyttjande av LORAs bandbredd (200-800 MHz) få en upplösning på nedåt 0.25 m i monostatiska SAR-bilder.



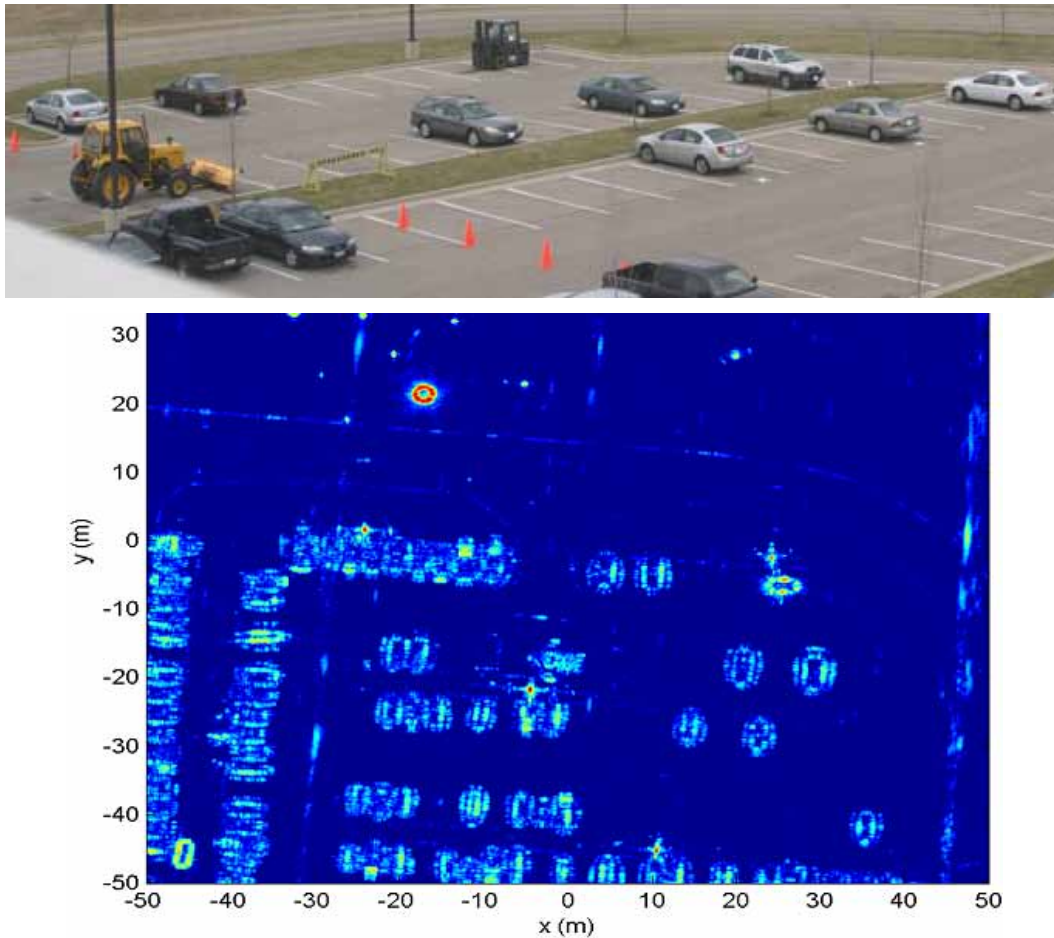
Figur 27. Figuren visar till vänster en jämförelse mellan SAR-bilder på X-bandet med 1 m upplösning från AER-II (a) respektive 0,2 m upplösning från PAMIR (b) och ett ortofoto (c) med 0,3 m upplösning för ett hus. I mitten (a-d) visas hur högupplösta SAR-data på samma sätt som LIDAR-data kan användas för skapa 3D-modeller av hus i urban miljö. Till höger visas foton av huset tillsammans med identifierade detaljer som ger stark spridning i SAR-bilden, bland annat skorstenarna nederst till höger. Referens "Potential of building extraction from multi-aspect high resolution amplitude SAR-data", E. Michaelsen, U. Soergel, U. Thoennessen, FGAN, Germany CNRT05, IAPRS Vol. XXXVI, Part 3/W24, Vienna, Austria, August 29-30, 2005.



Figur 28. Bilderna ovan visar SAR-bilder med 10 cm upplösning för en golfbana (överst) samt en flygplats (nederst) registrerade Ultra-High-Resolution SAR (UHSAR) från Sandia National Labs 2004⁴⁴. Systemet arbetar på Ka –bandet (28.5 GHz -38.5 GHz). Cirklarna i översta bilden visar på ekon från ett träd (blå) samt av två golfare på greenen (röd). Cirklarna i nedersta bilden visar ekon från 4 helikoptrar (blå) samt ett flygplan (röd)

⁴⁴ Referens "A portfolio of fine resolution Ka-band SAR images: part I", A. W. Doerry et al., Sandia National Laboratories, Proceedings of SPIE Vol. 5788.

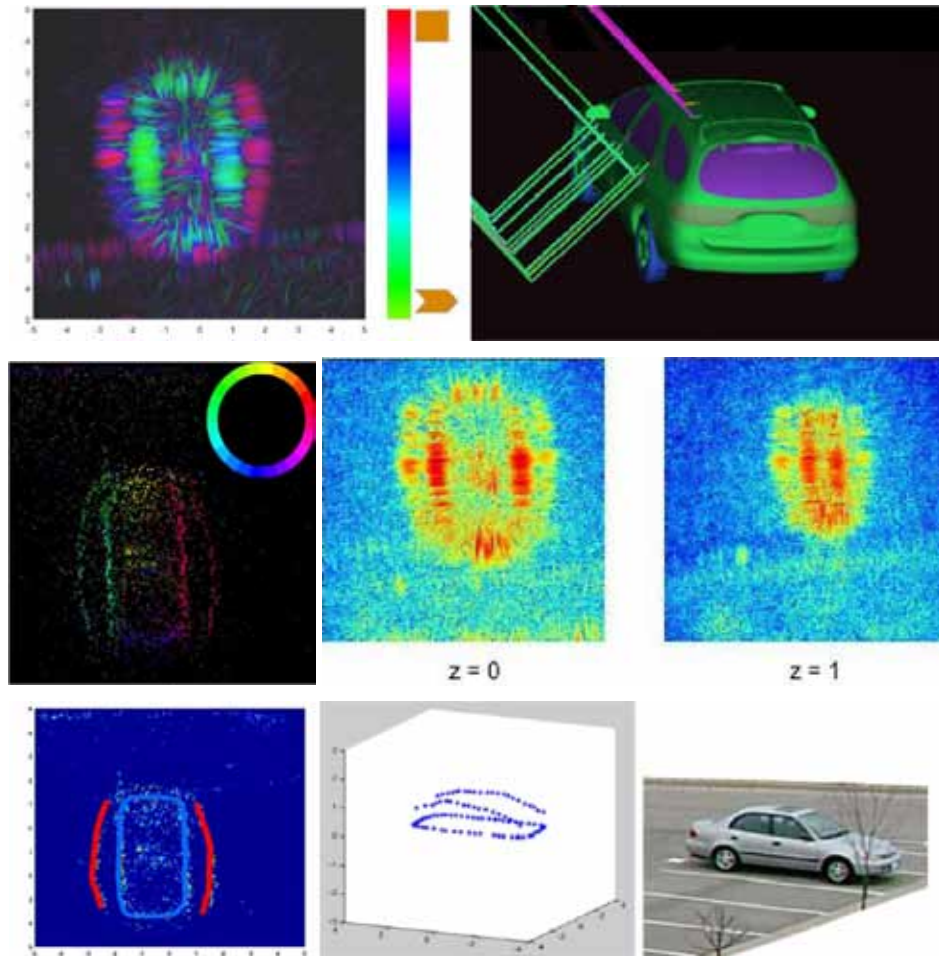
Genom att t.ex. utnyttja cirkulär monostatisk SAR gjord i ett antal elevationer och signalbehandling kan en 3D-kartläggning av objekt och byggnader inre och yttre struktur göras. I USA har AFRL (AirForce Research Laboratory) gjort sådana SAR- mätningar i stadsmiljö på en parkeringsplats (projektet GOTCHA) med en flygande plattform, se *Figur 29* och *Figur 30*. Inledande öppna resultat presenterade på SPIE-konferensen i Orlando, april 2007 visade hur AFRL kartlagt de parkerade fordons yttre utbredning och höjdprofiler. För att erhålla 3D-upplösning gjordes flera (8 st.) mätsnitt utförs över samma mätområde vid olika elevationsvinklar. Därmed ökar mättiden. AFRL bekräftade att man även gjort snarlika mätningar mot byggnader i stadsmiljö som var under utvärdering.



Figur 29. Foto (överst) och SAR-bild (nederst) av uppställningen med fordon på en parkering använd av AFRL i projektet GOTCHA vid försök med 3D-upplöst cirkulär SAR.

AFRL använde följande parametrar i GOTCHA:

- X-band (10 GHz)
- 640 MHz bandbredd
- Mätningarna är centrerat kring ca 45 graders infallsvinkel
- 0,2 graders inkrement
- 10 elevationer gjordes för att erhålla upplösning även i höjddled



Figur 30. Bilderna ovan visar inledande studier på datasetet GOTCHA⁴⁵. Analys av radarekonas gångväg har gjorts. Höjdprofiler och 3D-avbildningar har gjorts för bilarna på parkeringen.

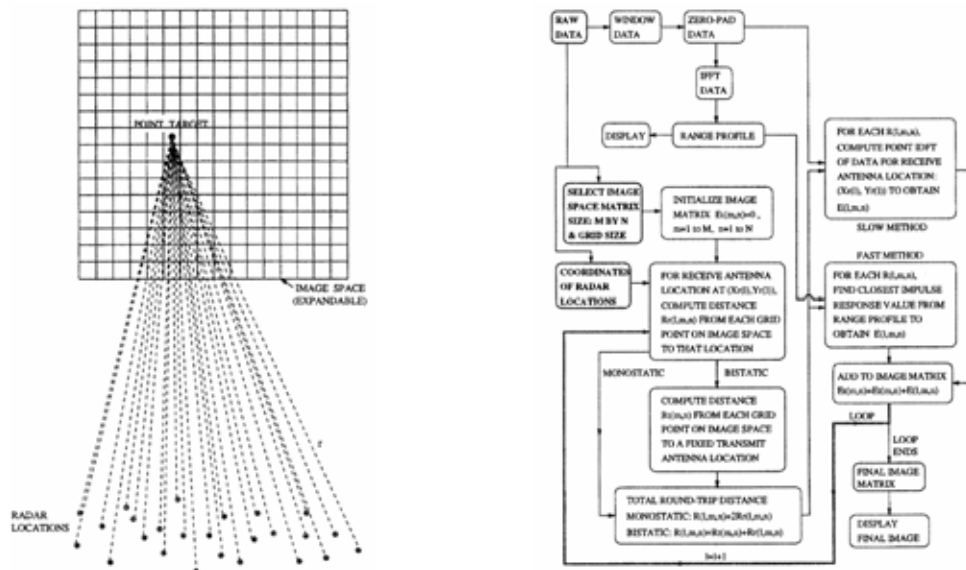
Liknande mätningar kan göras av FOI i stadsmiljö för 3D-avbildning av flervåningsbyggnader och fordon med LORA-systemet. LORA arbetar på UHF-bandet (200 MHz - 800 MHz) vilket har avsevärt bättre penetration genom byggnader än radarvågorna på X-bandet. Därmed fås större möjlighet att göra avbildningar som visar även inre 3D-struktur i byggnader. Viss mjukvaruutveckling krävs dock på FOI för att kunna behandla och visualisera sådana 3D-data, t.ex. anpassning av data erhållna från t.ex. en spiralbana där man flyger en i stigande skruvande bana över ett stadsområde för att erhålla data från olika elevationer.

3.4 Bi- och monostatiska lågfrekventa SAR-system nära marken

ElectroScience Laboratory vid the Ohio State University (ESL/OSU) har publicerat flera vetenskapliga artiklar de senaste 10 åren. ESL/OSU:s filosofi är att ta fram enkel hårdvara till mycket låg kostnad (ca \$100 exklusive dator) samt att utveckla metodik för signalbehandling. ESL/OSU har visat att olika typer av små enkla radarsystem nära marken, handburna eller i fordon kan detektera, följa och avbilda fordon och människor i terräng och vegetation, på bilvägar och bakom betongväggar⁴⁶⁻⁴⁷⁻⁴⁸⁻⁴⁹⁻⁵⁰, se Figur 31, Figur 32.

⁴⁵ Referens "GOTCHA Experience Report: Three-Dimensional SAR. Imaging with Complete Circular Apertures", Emre Ertin et al., The Ohio State University, Proc. of SPIE Vol. 6568, 656802, (2007).

⁴⁶ Tracking and classification of vehicles and humans using a ground wave radar, Eric K. Walton and Scott Stevens, AMTA Proceedings 2003, p. 440-443



Figur 31. Figuren visar ett förslag från ESL/OSU⁵⁰ för ett handburet SAR-system som arbetar mellan 1 GHz - 3 GHz och som kan användas för avbildning av rumsinteriörer och rörliga objekt och människor även genom betongväggar. Genom att använda en bakåtpjektionsmetod kan avbildningar göras när även mätpositionerna inte är ekvidistanta på en rak eller cirkulär bana. Därmed kan en nära godtycklig gångväg användas för att generera SAR-bilder. Systemet kan t.ex. vara handburet eller sättas i en bil som kör förbi eller runt mätobjektet. Alternativt kan SAR-systemet sätta på en rak portabel skena. Exempel visas på avbildningar av rums interiörer i artikeln.

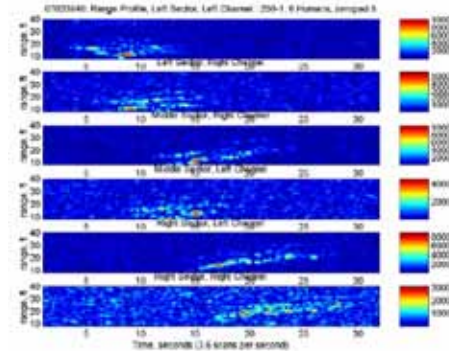


Figure 5. Group of Six Walking Humans

Figur 32. Figuren visar till vänster antennerna till en 3.5GHz markvågsradar från ESL/OSU [4] som kan användas för avbildningar av rörliga objekt, även i vegetation och bakom väggar. Till höger visas detektioner av människor gjorda med systemet.

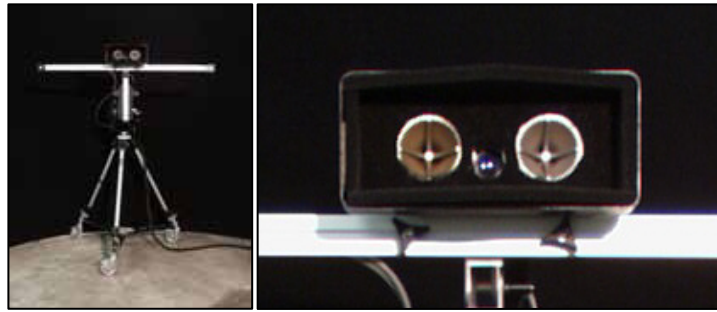
⁴⁷ SAR imaging through complex media, Lixin Cai and Eric K. Walton, AMTA Proceedings 2001, p. 131-136

⁴⁸ Ground vehicle tracking of low-cost 3.5 GHz ground radar, Eric K. Walton, AMTA Proceedings 2001, p. 183-188

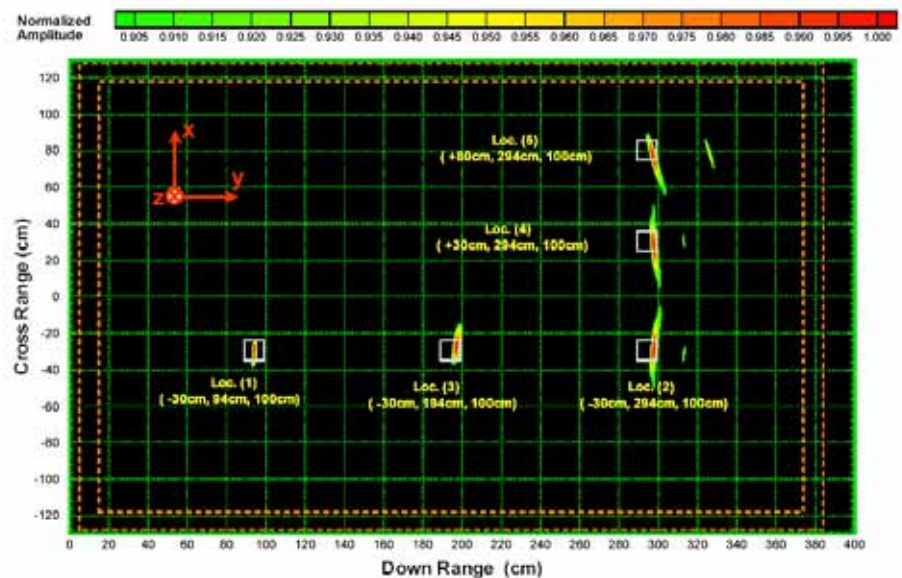
⁴⁹ UWB ground wave radar studies, Eric K. Walton, J. D. Young, Y. Kim and R. P McConville, AMTA Proceedings 1999, p. 66-69

⁵⁰ Theoretical and experimental studies of handheld SAR concepts, Lixin Cai and Eric K. Walton, AMTA Proceedings 1998, p. 315-320

FOI kan med lämpliga antenner monterade på en räls eller i en bil utnyttja LORA-systemet eller alternativt ett system baserat på en nätverksanalysator i en markbunden monostatisk eller bistatisk konfiguration för att göra SAR-mätningar på korta avstånd (ca 100 m). Därmed kan SAR-avbildningar göras av t.ex. interiören av byggnader, se Figur 33. Om LORAs fulla bandbredd (600 MHz) kan användas nås en upplösning på ca 0,3 m. Mätpositionerna för SAR-antennerna kan t.ex. loggas med laseravståndsmätare eller differentiell GPS med cm-noggrannhet. Ett simulerat exempel visas i Figur 34.



Figur 33. Möjlig konfiguration av antenner vid SAR-mätning på kort håll för avbildning av t.ex. byggnaders interiör.



Figur 34. Simulerad SAR-bild av ett rums interiör med inre objekt då antennerna förflyttat sig längs en linje på utsidan av väggen till rummets ena kortsida

3.5 UWB-radar

Genom att t.ex. använda radarsystem med korta pulser (< 1 ns), så kallad impulsradar kan ekvivalenta bandbredder på flera GHz erhållas. Eureka Aerospace har utvecklat ImpSAR, ett genom-väggen avbildande SAR-system med förmåga att avbilda både människor, vapen och människor genom vegetation, väggar av gips, trä, tegel och betong på avstånd upp till 100 m, se Figur 35 till Figur 39. Systemet arbetar i frekvensområdet 250 MHz -3500 MHz frequency och har hög upplösning (ca 5 cm) i både avståndsled och i tvärsikten. Avbildningstiden anges till bråkdelar av en sekund vilket möjliggör avbildningar av rörliga objekt. Systemet uppges kunna göras kompakt och litet, vikten anges vara under 15 kg. SAR-rälsen är 3,5 m lång.

FOI kan med lämpliga antenner monterade på en räls och en nätverksanalysator göra mätningar med stegad eller svept frekvens i samma frekvensområde som ImpSAR-systemet. Därmed kan t.ex. SAR-avbildningar göras av byggnader och deras interiörer. Mätningar kan t.ex. göras rakt ner i marken, åt sidan genom väggar eller rakt uppifrån ned i byggnader och "urban canyons".



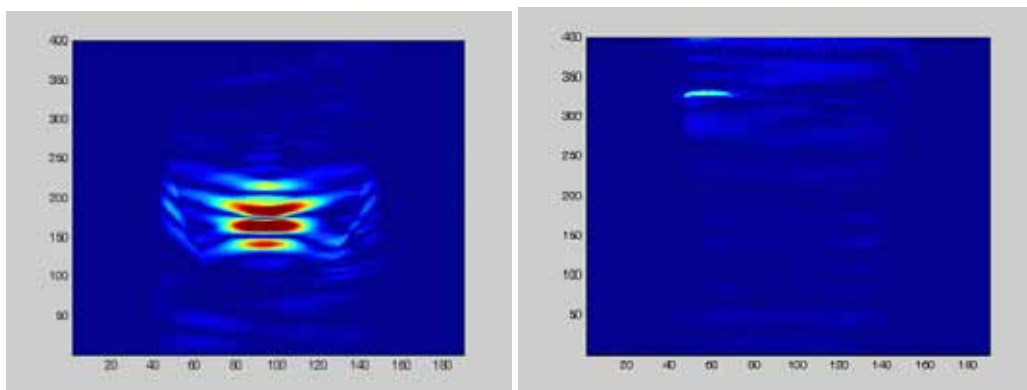
Figur 35. Fotot visar ImpSAR-systemet från Eureka Aerospace under mätningar genom en armerad vägg.



Figur 36. Fotot visar ImpSAR-systemet vid mätningar ner i marken.



Figur 37. Fotot visar ImpSAR-systemet vid mätningar genom vegetation.



Figur 38. Bilden visar SAR-bilder från ImpSAR-systemet. T.v. av en 20 cm tallrik nedgrävd i sand (5 cm djup), och t.h. av ett 40 cm lång keramikrör med diametern 15 cm begravt i sand (ca 100 cm djup).



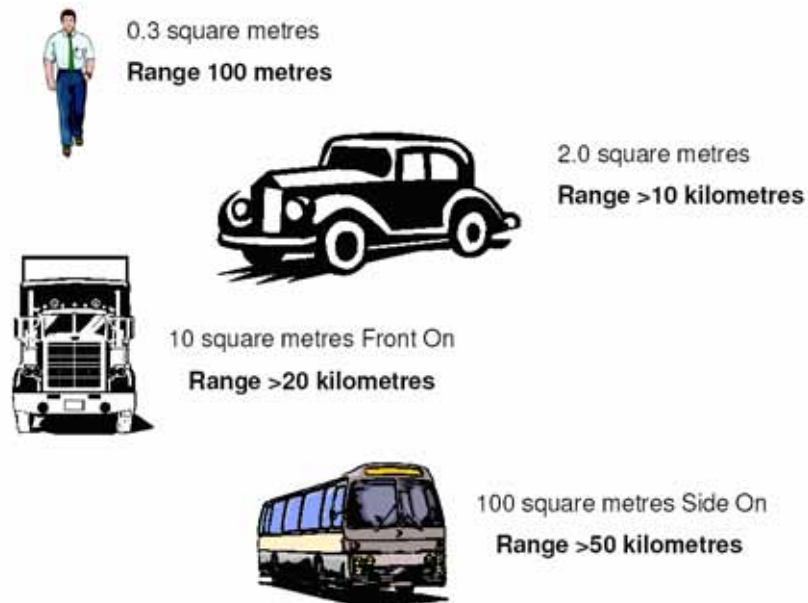
Figur 39. Fotot visar SAR-bilder av en man bakom olika slags väggar avbildad med ImpSAR-systemet.

3.6 Passiv radar

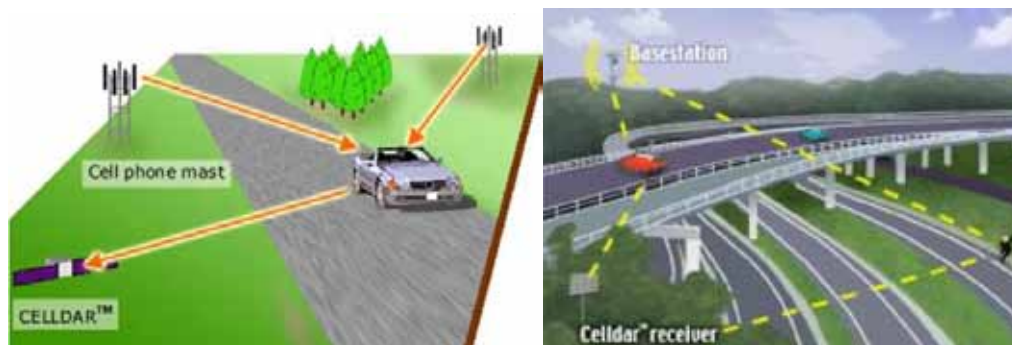
Passiv radar är en klass av bistatiska radarsystem som detekterar och följer objekt genom att använda radarekon från ickesamarbetsvilliga belysningskällor som t.ex. analoga eller digitala radio- och TV-utsändningar. I ett passivt radarsystem finns ofta ingen bestämd sändare tillgänglig. Istället använder mottagaren tillgängliga sändare i miljön. Man mäter tidsskillnaden mellan signalen direkt från sändaren och fördröjda signaler, reflekterade från olika objekt. Därmed kan det bistatiska avståndet till objekten bestämmas. Dessutom kan via utnyttjande Dopplerskiftet av ekot och dess ankomstriktning, positioner och hastigheter till objekten beräknas.

Nytan med passiv radar i urban miljö är för en låg kostnad få en god yttäckning och möjligheter till att följa fordons och fotgängares rörelser, även inne i byggnader. Detta förutsätter dock säkrad tillgång till radarbelysare i området, t.ex. via basstationer till mobiltelefoner eller från TV-sändare.

CELLDAR, se Figur 40 till Figur 43, ett passivt lågfrekvent radarsystem från ROKE Manor Research och BAE Systems utnyttjar signaler från basstationer till mobiltelefoner. Fördelar med systemet är att inga kostnader för egna sändare krävs och att god täckning fås i större delen av Europa där mobiltelefonnäten är väl utbyggda. CELLDAR kan detektera och följa fordon på marken, till sjöss och i luften. Även mindre fordon och fotgängare kan detekteras på kortare avstånd. Möjliga trafikapplikationer som framförts för CELLDAR är t.ex. nationell övervakning av trafikflöden, fortkörare och trafikköer⁵¹.



Figur 40. Uppskattade räckvidder för CELLDAR systemet för objekt med olika radarmålarea.

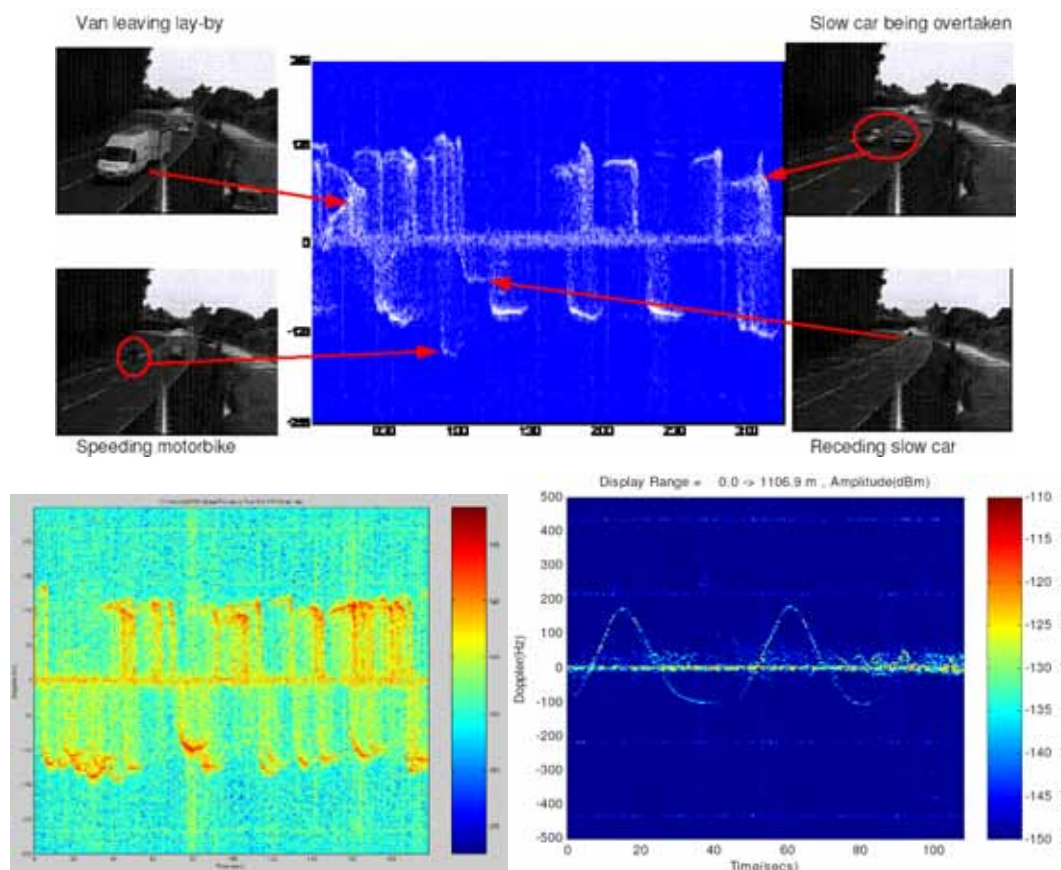


Figur 41. Skisser av möjlig geometrier vid trafikflödesmätningar med CELLDAR.

⁵¹ <http://www.roke.co.uk>



Figur 42. Demonstrator av mottagningsstation för CELLDAR systemet vid trafikflödesmätningar.



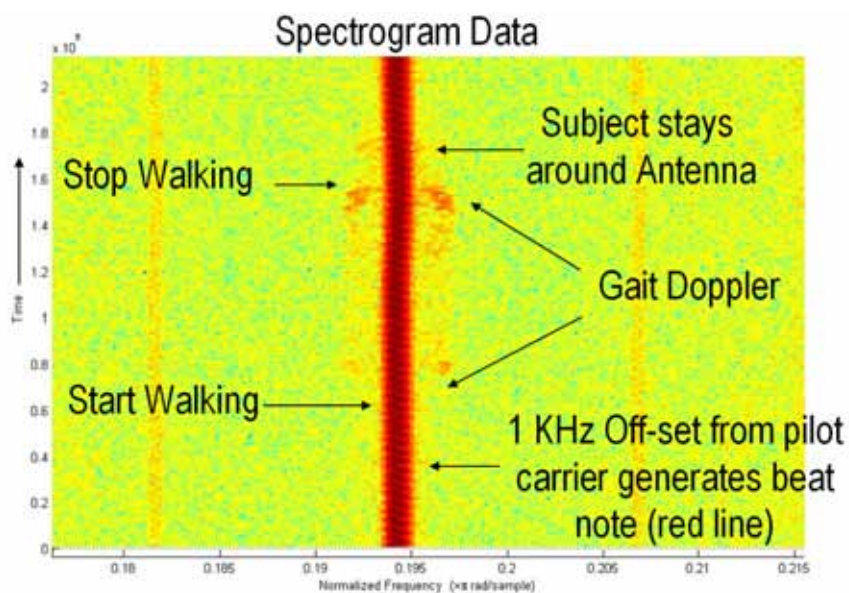
Figur 43. Dopplerdata från CELLDAR systemet vid trafikflödesmätningar (överst och nederst t.v.) visande hastigheter för fordonstrafik två i riktningar samt Dopplermätning mot ett flygplan (nederst t.h.) i en cirkulerande flygbana.

3.7 Detektion och följning av fordon och människor med passiv radar

Vid SPIE-konferensen i Orlando 9-13 april, 2007 i Orlando visades resultat med en passiv radar som utnyttjar HDTV-signaler kring 550 MHz som sändare⁵², se Figur 44-Figur 47.

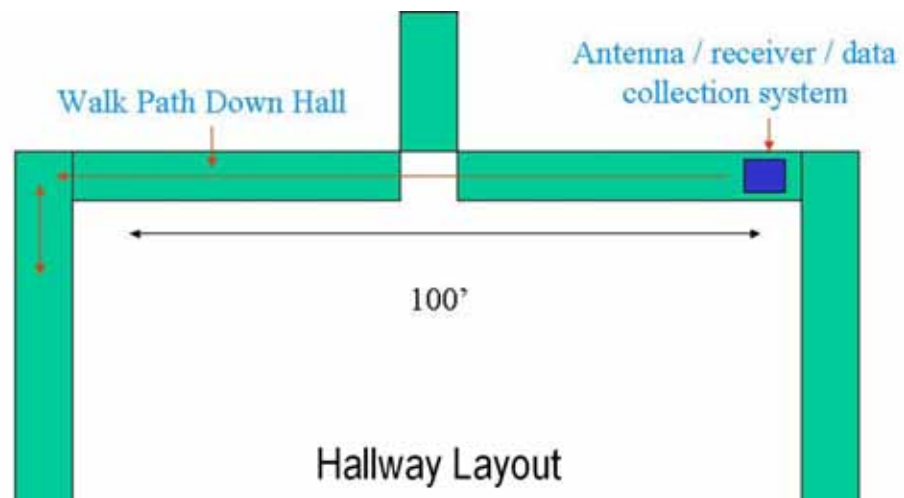


Figur 44. Foto visar experiment för att detektera människor och fordon med passiv radar:

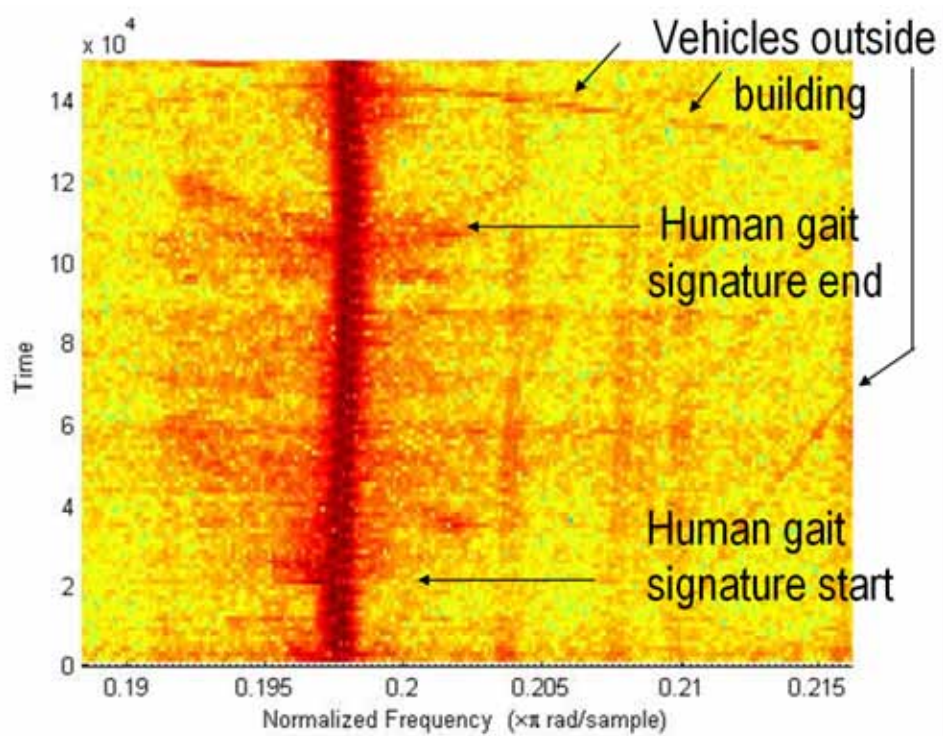


Figur 45. Dopplerdata för fotgängaren i foto ovan erhållna med passiv radar.

⁵² "Detection and tracking of humans and vehicle targets using high definition television signals in urban areas", Gene Grenecker, Proc. of SPIE Vol. 6547 654707-2, 2007



Figur 46. Figuren visar ett experiment från Georgia Tech Research Institute med passiv radar där sändaren är HDTV-signaler kring 550 MHz. Den mottagande antennen placerades i ena kortsidan av en korridor på andra våningen och användes för att detektera och följa rörliga objekt i korridoren och utanför huset.



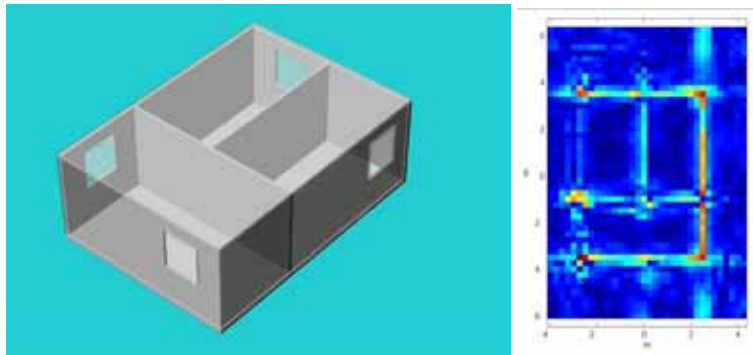
Figur 47. Dopplerdata från mätupptäckningen i en korridor i föregående figur erhållna med passiv radar. Både personer gående i korridoren och fordon utanför byggnaden detekteras.

Något som bör utredas vidare är om FOI på ett likartat sätt kan utnyttja TV eller radiosignaler som sändare över stadsliknade områden i t.ex. Kvarn, Linköping, Norrköping för att med passiv radartechnik och enkla mottagarantennor på marken detektera fordon och människor.

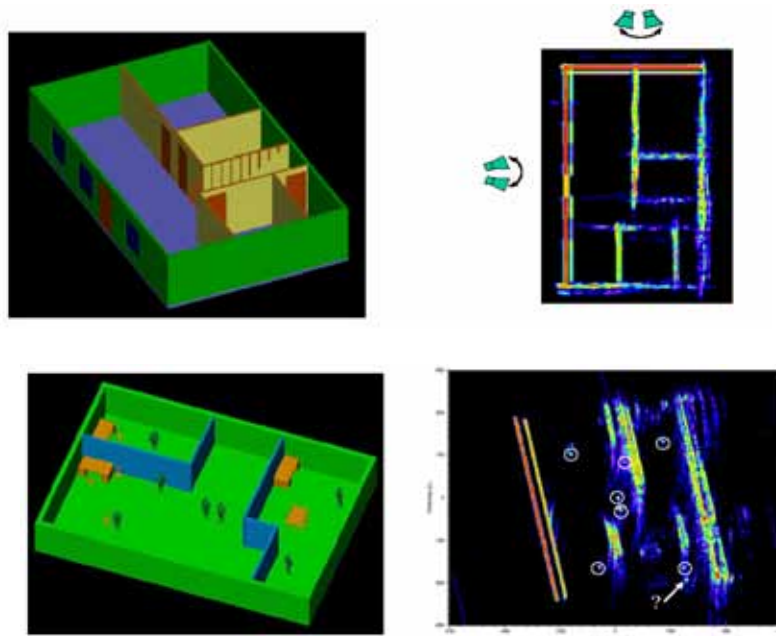
3.8 Elektromagnetiska simuleringar

För att i förhand få inblick i vad radarexperiment kan tänkas ge är elektromagnetiska (EM) simuleringar av stort värde, se Figur 48 och Figur 49. Bistatiska och monostatiska EM simuleringar bör utföras för att t.ex.

- Göra kloka val av lämpliga parametrar, frekvenser och geometrier vid kommande praktiska experiment
 - Studera grundläggande fenomen i väl avgränsade modeller
 - Studera effekter av flervåningshus och stadskvarter med flera närliggande byggnader
- EM simuleringar kan påvisa inverkan av olika parametrar, t.ex. distorsion i SAR-avbildningar om hänsyn ej tas till dielektriska egenskaper i skyddande väggar, se Figur 50 och Figur 51.

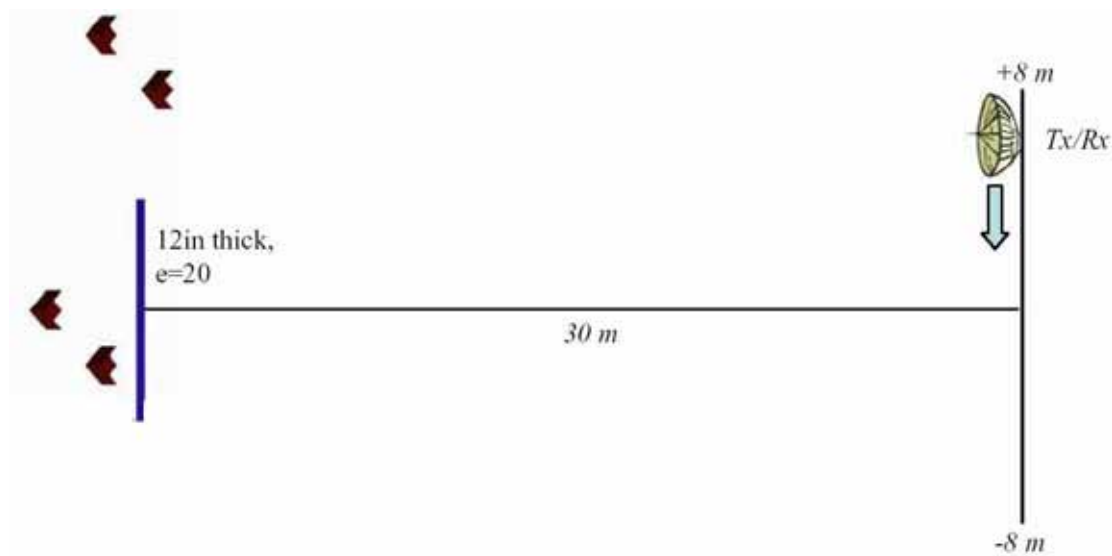


Figur 48. Vänster: Enkel husmodell med tre rum, fönster, innerväggar, golv och tak av olika material för bistatiska och monostatiska EM-simuleringar. Höger: Monostatisk SAR-bild av husmodellen med tre rum. SAR-avbildningen har gjorts genom att rotera sändare och mottagare ett helt varv (360°) runt modellen. Resultat kommer från Torleif Martin som inom projektet "Bistatisk SAR för urban miljö" utfört bi- och monostatiska EM simuleringar av mindre byggnader under våren 2007.

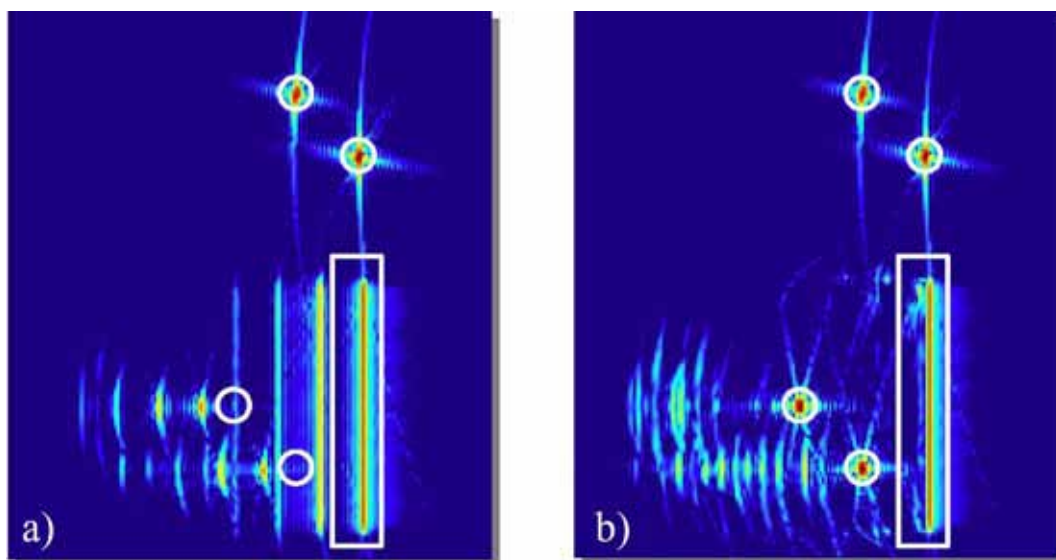


Figur 49. Resultat från Xpatch vid simulerade SAR-avbildningar av lägenheter med innerväggar, möbler och personer⁵³.

⁵³ **Numeric simulations for sensing through the wall radar**, T. Dogaru* and C. Le, U. S. Army Research Laboratory, 25th US army conference Numeric simulations for sensing through the wall radar", T. Dogaru* and C. Le, U. S. Army Research Laboratory, 25th US army conference



Figur 50. Figuren visar en simulerad monostatisk SAR-geometriuppställning med två skymda trihedraler bakom en vägg och två synliga trihedraler på ca 30 m mätavstånd



Figur 51. Simulerade monostatiska SAR-bilder av geometriuppställning ovan. De sanna positionerna av väggen och de fyra trihedralerna visas med de vita linjerna. a) Bilden visar att en vanlig SAR-bild skapad med bakåtprojektion ger fel positioner för de dolda trihedralerna bakom väggen. Avvikelsen beror på att hänsyn ej tagits till väggens dielektriska egenskaper som gör att den elektromagnetiska utbredningshastigheten blir lägre i väggen b) Bilden visar en kompenserad SAR-bild där hänsyn tagits till väggens dielektriska egenskaper. Därmed blir avstånden till samtliga trihedraler korrekta.⁵⁴

⁵⁴ Referens: "Model-based correction of through-wall SAR imagery via raytracing", Peter J Shargo and James W. Melody, SAI-Denaco, USA, IEEE Radar2007 conference, April 17-20, Boston, USA.

4 Lägesbild för planering, framryckning och vid kartläggning

I denna del beskrivs metoder för framtagande av aktuell bild av insatsområdet. För insats krävs god lokalkännedom. I detta avsnitt beskrivs vilka tekniker som kan användas, vilka tidsförhållanden för grundläggande inmätning och uppdatering före insats som krävs samt hur informationen kan presenteras för att få denna kännedom.

För att ge en tydligare beskrivning av tekniker och tidsförhållanden för olika uppdrag har avsnittet delats in i olika s.k. informationsnivåer som sammanfattas i Tabell 2.

Nivå 1, *planering*, ger en översiktlig information att använda på brigad- eller bataljonsnivå. Informationen är lämplig för storskalig planering av förflyttningar och insatser. Kopplat till Nordic Battle Group 08 (NBG08) är denna nivå lämplig för planering redan innan avfärd från hemländerna. Den är lättillgänglig, inte särskilt resurskrävande, och informationen är tillförlitlig under lång tid, i flera månader till många år. Informationen kan i många fall samlas in utan att vara på plats, exempelvis via satellit.

På nivå 2, *framryckning* är informationen mer resurskrävande än föregående nivå. Informationen ger t.ex. en grov uppskattning om bygganders storlek och placering i en stadsdel. Underlaget syftar till att användas på kompani- eller plutonsnivå, dels i planeringen av en framryckning, men även under själva framryckningen för att ha tillgång till en uppdaterad gemensam lägesbild. Kopplat till NBG08 krävs tillgång till sensorer i insatsområdet för att nå denna informationsnivå. Eftersom vissa föreslagna sensorer idag inte ingår i förbanden, bör planering ske tidigt för att kontraktera mätföretag. Till viss del kan man på denna nivå ha stöd från ISTARs UAV-enheter (SUAV-02 Falken), även om denna inte är utformad för kartering.

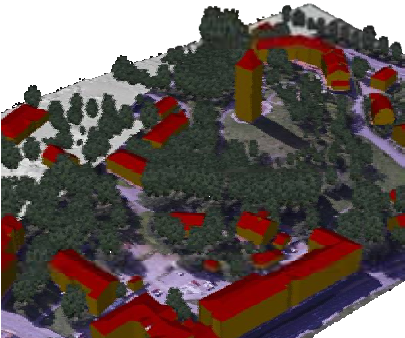
Slutligen på nivå 3, *kartläggning*, ges information om byggnaders yttre och inre utseende. Underlaget används på plutons-, grupp- eller soldatnivå såväl som inför som under kartläggning av byggnader. På nivå 3 kan det i många fall krävas avancerad utrustning för insamling och bearbetning av data. Idag finns denna utrustning inte i förbanden inom NBG08, utan det enda man kan förlita sig på är fönsterplacering och gissningar om de inre strukturerna.

För varje nivå ges en översikt av möjliga tekniker för inmätning och fördelar/nackdelar med dessa. Beskrivning ges hur insamlat underlag kan stödja förberedelser för operativ situation. Ungefärliga tidsförhållanden redovisas. Presentationsaspekter redovisas som kan ge användaren förbättrad lägesbild före och under insats. Att skapa en lägesbild före insats är även något som verkar intressant internationellt. Bl.a. arbetar DARPA med tekniker för att skapa en uppdaterad lägesbild över ett insatsområde⁵⁵. För att visa på exempel på kommersiella produkter inom området så har Teleplan Globe en produkt där PDA (Personal Digital Assistant), kallad PocketMARIA⁵⁶, kan användas för presentation av lägesbilden för soldater.

⁵⁵ <http://www.ara.com/capabilities/FightSight.htm>, uppslagsdatum 2007-05-30

⁵⁶ <http://www.army-technology.com/contractors/software/teleplan/teleplan4.html>, uppslagsdatum 2007-05-30

Tabell 2. Tabellen sammanfattar en möjlig uppdelning i olika nivåer för att skapa en lägesbild för planering, framryckning och kartläggning.

Nivå	Exempel	Beskrivning
nivå 1, Planering ⁵⁷		
Underlaget är lämpligt för brigad- eller bataljonsnivå		Översiktlig information, exempelvis en karta eller höjdinformation, ges över ett stort område, t.ex. ett landskap
nivå 2, Framryckning ⁵⁸		
Underlaget är lämpligt för kompani- eller plutonsnivå		Översikt över exempelvis en stadsdel. Innehåller grov information om byggnaders placering och utseende, samt träd, vägar, vatten och olika former av hinder.
nivå 3, Kartläggning av byggnad ⁵⁹		
Underlaget är lämpligt för plutons-, grupp- eller soldatnivå		Det inre och yttre av en specifik byggnad. Kan vara såväl 2D som 3D och innehålla alltifrån en enkel form med väggars placering, trappor, fönster och dörrar, till tillräcklig information för att upptäcka skillnader i inredning.

⁵⁷ Landskapsbild från Appendix A

⁵⁸ Bild från FOIs projekt inom omvärldsmodellering

⁵⁹ Bild från <http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/>, uppslagsdatum 2007-05-30

4.1 Nivå 1, Lägesbild för planering

Informationsnivå

Inom nivå 1 kan det finnas många informationskällor tillgängliga, t.ex. vanlig karta och höjdinformation. Tillgängligheten beror på var i världen informationen gäller. Om det avser Sverige eller övriga Europa och USA är informationen lätt att ta fram från litteratur, bibliotek, internet och dagvaruhandel. För orientering i urban miljö i Sverige (och övriga länder i väst) är ett exempel en bilkarta som visar fyrkantiga symboler för byggnader, utan att det för den skull anger samtliga byggnader, eller heller påvisar storlek, funktion eller deras exakta placering. På denna nivå fås en överblick av större vägar och infrastruktur kring denna. Bilkartan kan också ge översiktlig information över ett stort område, t.ex. ett landskap med berg, vägar och kustlinjer. Om fler informationskällor sammanställs över landskapet (t.ex. karta, satellitbild och höjdinformation) kan bättre helhetsbild uppnås.

I områden i Afrika är det, jämfört med västvärldens informationsinnehåll, betydligt svårare att finna överskådlig kartinformation. Kartmaterial över kontinenten är knapp. Av kartmaterial över Sverige är det enkelt att dra slutsatser om den sociala strukturen, från vägar och övrig infrastruktur. Den informationen är inte vidare omfattande i Afrika, vilket då heller inte visar den sociala strukturen lika lätt. Satellitbilder kan vara till hjälp, men vägar och byar i djungler är svåra att upptäcka. Är de inte karterade i förväg blir det ytterst svårt att upptäcka dem. Tillfälliga sociala samlingar, som t.ex. flyktingläger kan också vara svåra att förutse och upptäcka. Vägars beskaffenhet är svåra att bedöma från eventuell kartinformation. Kanske satellit- och flygbilder kan vara till hjälp att upptäcka ett vägnät. Att tänka på är att en lerväg kan efter ett kraftigt skyfall spolas bort, och därmed göra en planerad operation omöjlig att utföra. Därför är det viktigt att beakta på denna informationsnivå att tillförlitligheten är olika beroende på var i världen informationen avser.

För områden över Asien kan det också vara besvärligt att finna kartinformation. I rika städer kan kartinformation finnas, men i fattiga länder, t.ex. Afganistan, är det mindre troligt. Även här är det svårt att bedöma vägars beskaffenhet, om det finns några, sanddynor i öknen kan förflyttas och vägar i savannen kan vara tillfälliga.

Möjlig teknik

För översiktlig planering kan vanliga kartor vara bästa underlag. I brist på kartor eller tvivel på deras korrekthet kan satellit eller flygfoto användas. Tillgängligheten av informationen på denna nivå är stor i västvärlden, men knapp i Afrika och Asien. Bibliotek med kartor och litteratur eller dagvaruhandel har denna information. Internet med Google Earth är ett enkelt sätt att få grov översikt över ett område. Med denna programvara, som är gratis, kan bilder och översiktlig information tas fram. Ett problem med denna informationskälla kan vara att information inte finns över just det område som är intressant, eller att informationen är gammal.

Den svenska Försvarsmaktens enhet för geodatahantering, GeoSE, kan bistå i framtagande av satellitbilder och geoinformation för ett område. Tidigare insamlade satellitbilder har lagrats i en databas hos GeoSE. Dessa är förhållandevis lättillgängliga, och kan ibland täcka även nya behov.

Höjdinformation kan inhämtas från en databas som upprättats med data från toporadar (se avsnitt 2.3).



Figur 52. Bild över Djurgården i Stockholm, tagen från Google Earth.



Figur 53. Fotografi över ett område i krisdrabbade Darfur. Bildmaterialet kommer från Google Earth. Vänstra delen är delar av en högupplöst satellitbild. Var den lågupplösta högra bilden kommer från framgår inte. För området i Darfur finns även bilder och text-information att hämta, se exempel på den infällda bilden till höger.

Tids- aspekt

För nivå 1, planering, kan informationen vara aktuell under lång tid, kanske årtal. En karta över relativt orört område, t.ex. bergsmiljöer och fjällområden, större skogar och kustlinjer, är troligen tillförlitlig under flera år, kanske årtionden. Informationen i dessa områden förändras hastigt endast vid dramatiska händelser som t.ex. svår storm, brand eller omfattande översvämning.

Informationslivslängden i urban miljö, kan däremot vara betydligt kortare. Tillförlitligheten kan vara i flera år, men vid nybyggnadsområden kan det vara endast månader eller veckor. Uppdatering i stadsmiljö bör därför ske varje år och inför insats så nära i tid som möjligt innan insatsens början. Fördelen med förändringar i stadsmiljö är att de oftast påverkar en så stor del av miljön både i tid och rum, vilket borde göra att förändringen inte blir ett överraskningsmoment.

Tiden att generera planeringsunderlag varierar beroende på vald teknik och önskat slutresultat. Ortorektifierade satellitbilder kan köpas och levereras inom dagar/veckor. Höjdkurvor finns öppet i låg upplösning, se avsnitt 2.3. Flygfoto för att generera data på denna nivå är möjlig, men flygtiden blir lång. Dataprocessandet för ortorektifierandet skulle i detta fall ta dagar eller veckor.

Som en internationell civil jämförelse kan nämnas att Brittiska motsvarigheten till Lantmäteriet⁶⁰ anser att flygfotografier är tillförlitliga i 3, 3 respektive 5 år för urban miljö, landsbygdsmiljö respektive vild natur. Motsvarande tider för topografi är 5 år för landsbygd och 10 år för vild natur. Topografi anses inte vara tillämplbart för urban miljö.

Fördelar/ Nackdelar med tekniken

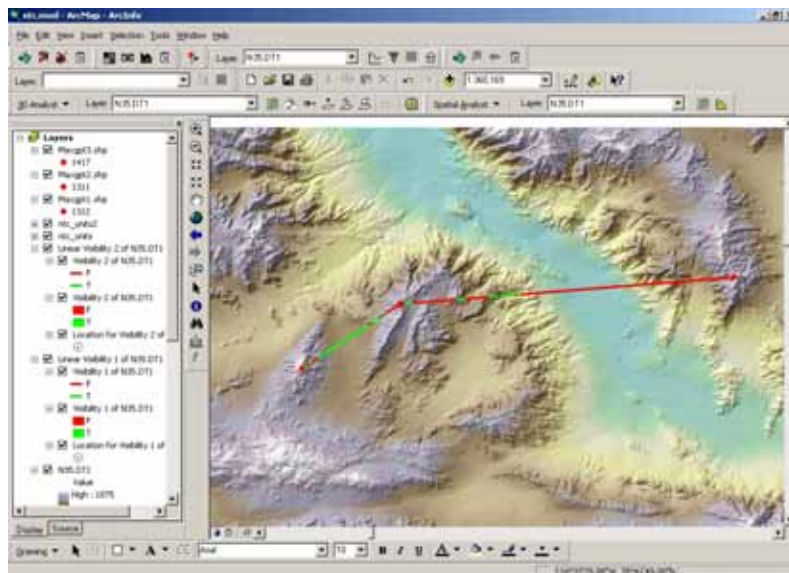
Fördelarna med informationskällor på denna nivå är den goda tillgängligheten samt den låga kostnaden på informationsmaterialet. Stor del av materialet är gratis, t.ex. Google Earth. Högre kvalitet kostar mer, såsom satellitbilder eller flygfoto.

En nackdel med gratisinformation, exempelvis Google Earth, är den låga tillförlitligheten, eftersom källan till informationen/kartorna ofta är okänd. Information om kartans tillverkningsdatum redogörs inte alltid, inte heller varifrån den kommer. Hur kartorna är framställda är inte heller givet. Retuschering sker och i vilken utsträckning det görs ges det inte information om. Ambassader, militära anläggning eller annan känslig kartinformation kan vara borttaget. För att använda den här typen av gratis information, krävs viss försiktighet och kompletterande information är nödvändig.

Presen- tations- metod

För nivå 1, planering, är informationen övergriplig och ges lämpligen ut i kartmaterial. Kartorna kan vara av olika slag. Det kan vara information om infrastruktur, höjdkurvor, stadskarta, bilkarta och material i mark (jordbruk, skog mm). I västvärlden finns det gott om kartinformation, medan kartor över Afrika och Asien kan vara betydligt svårare att få fram och dessutom vara gamla. Därför kan det kartmaterial som finns behöva kompletteras med flyg- eller satellitbilder. Om det finns möjlighet kan en handburen dator vara ett sätt att samla sin information på.

Det finns även kraftfulla datorverktyg för hantering av geoinformation, exempelvis ESRIs ArcGIS⁶¹, se Figur 54. Sådana verktyg kan även ge en bättre förståelse för höjdvariationerna i området, se även Figur 63.



Figur 54. En skärmdump från ArcGIS. Bilden visar siktlinjesberäkningar med verktyget ArcGIS Military Analyst⁶².

⁶⁰ Information från föredrag "Providing a national framework for imagery" av John Kimmance, anställd vid Ordnance Survey (UK), hållet vid konferensen Defence Imagery 2007, i London 2007-09-19.

⁶¹ www.esri.com

⁶² Bild tagen från <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/militaryanalyst/>, uppslagsdatum 2007-09-24.

4.2 Nivå 2, Lägesbild för framryckning

Informationsnivå

Inom denna nivå kan kvarter, enskilda byggnadsstrukturer, vägblockeringar etc. urskiljas. Det kan vara en markering att "här finns något" utan att ge någon detaljerad information om den. Byggnader visas som symboler med storlek, form och placering/riktning. Exempel på informationskällor är stereopar från en mellanhögupplöst satellit- eller flygbild (5 meter till 20 meters upplösning). Bilder av detta slag kan finnas i lager och går att beställa via t.ex. GeoSE. Precis som på nivå 1 kan lågupplöst och till viss del otillförlitlig information fås relativt enkelt. Internet som numera har stora möjligheter att visa kartor framställda av flyg- och satellitbilder kan vara till god hjälp. En mycket mer detaljerad lägesbild på denna nivå kan fås genom exempelvis laserskanning från luften.



Figur 55. T.v.: En bild från Google Earth över en dagvaruhandel i Linköping. Enskilda byggnader kan ses. Med en karta från Eniro (bilden t.h.), där adress, koordinater och viss klassning av byggnader ges, kan en översikt fås av området.

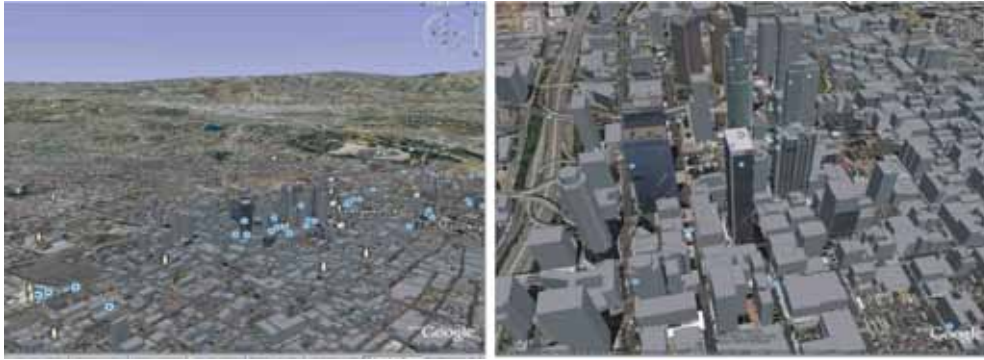
Möjlig teknik

Google Earth har skapat en trend där användare över hela världen ideellt bygger modeller av verkliga städer. Detta stöd finns sannolikt inte i områden där militära insatser krävs.

I bästa möjliga scenario har man tillgång till stereopar av satellitbilder som sedan används för att registrera enskilda byggnader. Efter registreringen kan man med datorprogram lägga in dessa byggnader i en modell. Modellen består av byggnader, vägar, skogar mm. Modellen kan också färgsättas med de verkliga färger som finns på byggnaderna. Många satellitbilder har tillräcklig upplösning för denna typ av modellbyggande, men de ger ofta ingen information om fasadernas utseende.

Motsvarande bildinformation kan samlas in via flygfotograferin och kan då blir mer högupplöst. Detta är dock mer tidskrävande. Vill man direkt fånga den 3-dimensionella strukturen av marken vid en överflygning kan man använda sig av laserskanner. De senaste åren har ett antal kommersiella system dykt upp på marknaden, och vissa företag ägnar sig åt att utföra mätningar med sådana. Sedan kan man automatiskt generera en högupplöst stadsmodell, med detaljerad topografi och kombinerat med en mosaik av flygfotografier. I nuläget utförs dock sådana flygning av långsamma flygplan från förhållandevis låg höjd, vilket kan vara svårt i vissa hotbilder.

Förändringar kan sedan följas upp med exempelvis videofilmning, flygbilder och satellitbilder. Från kartor och foton kan det avgöras om området är ett köpcentrum, villaområde, motionsanläggning, flygplats eller offentlig byggnad, vilket kan vara mycket viktig information att ha för att bedöma hotbilden inför en framryckning.



Figur 56. T.v. En vy tagen ur Google Earth över Los Angeles. En del av staden finns att se som 3-dimensionell vy. Berg och omkringliggande omgivning kan ses i modellen. Med ett verktyg kan vyn roteras och byta höjd för att se staden från en annan vy. De blå prickarna inikerar att text eller bildinformation finns att ta del av. T.h. En inzoomning av vyn som visas till vänster. Viss textur har lagts på några av byggnaderna för att visa färg, fönster och utseende hos byggnaderna.

Högupplösta satellitbilder kan ge information om växtlighet och detaljerad infrastruktur, och även höjdinformation. Här är däremot tidsaspekten ett problem. En aktuell satellitbild med 1 m upplösning kan delvis vara svår att få tillgång till samtidigt som satellitbilder får anses vara dyra. Exempelvis går det att få en satellitbild för ca 25 kkr med två jämförande alternativ:

- Satellitbild från IKONOS, pankromatisk (svart-vit bredbandig), med upplösningen 1 m. Yttäckningen är 11 km x 11 km.
- Satellitbild från SPOT, pankromatisk, 5 m upplösning.
- Yttäckningen är 60 km x 60 km.

Tidsaspekt

Jämfört med informationsnivå 1 är livslängden på denna information mycket kortare. Ju mer detaljerad information, desto kortare livslängd. Storleken hos ett kvarter ändras inte så ofta, medan vägblockeringar kan dyka upp med mycket kort varsel.

En annan tidsaspekt som kommer i fråga på denna nivå är framtagandet av informationen. Att analysera ett stereopar av satellitbilder för att visualisera byggnader görs manuellt och kan ta lång tid. Innan dess måste bilderna tas fram och det kan ta dagar eller veckor innan passage sker över insatsområdet, och ytterligare veckor innan satellitbilderna är klara. Med andra ord kan informationen vara inaktuell redan innan den kan tas i bruk. Det finns satellitbilder på lager som GeoSE snabbt kan ta fram, men det är inte säkert att dessa bilder är uppdaterade eller ens finns över det efterfrågade området.

Alternativ teknik såsom flygfotografering eller laserskanning kräver ännu större framförhållning, eftersom flygtiden är lång och att resurserna inte ingår i militära förband idag. Men om man misstänker att insatsen ska pågå under en längre tid kan det vara en rimlig investering för att ha ett kartunderlag att utgå ifrån, för att senare endast uppdatera informationen över specifika platser, genom att undersöka förändringar.

Fördelar/nackdelar med tekniken

Fördelen med information på denna nivå är att informationen kan fås i tre dimensioner, vilket ger ett gott stöd vid planering av insatser, trots den ganska låga upplösningen. En annan fördel med metoden som beskrivs ovan är att Google Earth, liksom satellitbilder, finns tillgängligt över många områden i hela världen. En nackdel kan med vissa tekniker vara att det tar tid att samla in och analysera data.

En viktig sak att tänka på med datorstödd datahantering är att osäkerheter är svåra att illustrera. Det som finns i datorn är en avbildning som med största sannolikhet avviker från verkligheten. Ofta är det så lite att det inte påverkar, men det är viktigt att inte tro att den 3-dimensionella formen är 100% rätt i alla hörn och kanter.

**Presen-
tations-
metod**

För nivå 2, framryckning, är informationen mer detaljerad och papperskartor blir till god hjälp. Satellitbilder, flygbilder och andra lösa fotografier kan komplettera. Med datorstöd kan siktlinjesberäkningar göras och en bättre hotbildsanalys kan utföras i de fall man har tillgång till 3D-information.

En handburen dator kan vara ett hjälpmedel där kartor och övrig information enkelt och översiktligt kan presenteras och fjärruppdateras. Till exempel har Teleplan Globe en produkt, PocketMARIA, som är framtagen för att kunna användas såväl i civil som i militär sektor. Det är en liten handburen dator som visar koordinater och kartor. Systemet ska kunna användas för planering och uppdatering av information under ett uppdrag.

4.3 Nivå 3, Lägesbild vid kartläggning av byggnad

**Informa-
tionsnivå**

Exteriören hos en byggnad tydliggörs med att antal och placering av fönster och dörrar visas. Antalet våningar hos byggnader kan avgöras, och ökar komplexiteten såväl vid insamling som vid presentationen av data. Vägar av asfalt eller grus kan urskiljas. Informationen är utformad för upplysning över ett specifikt område som är intressant för insats, t.ex. ett kvarter i ett bostadsområde eller en flygplats.

Av exteriören kan en kvalificerad gissning av interiören göras. Informationen kan leda till en uppskattning av byggnadens inre struktur som t.ex. placering av trappor, väggar, dörrar och fönster, samt information om material som t.ex. om det är en trädörr eller skyddsörr. En bra utgångspunkt är att fönster och dörrarkartläggs. Utifrån belysning och fönstersmyckning kan slutsatser eventuellt dras om det är kontorsrum, sovrums, väntsal eller affärsverksamhet.

**Möjlig
teknik**

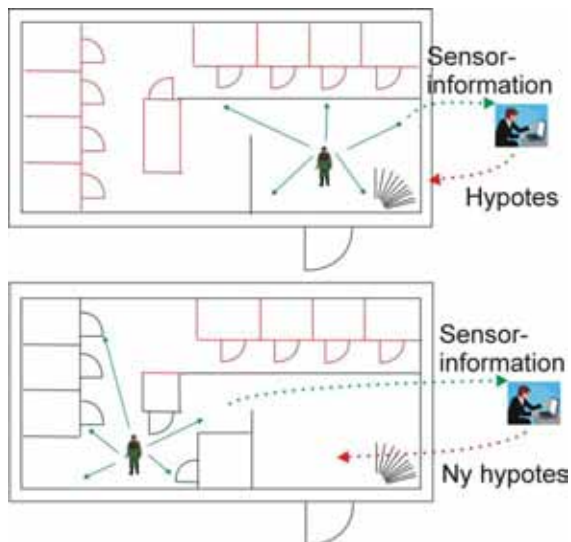
För att skapa ett utgångsläge vid kartläggning av enskild byggnad är exteriören viktig. Genom att utgå från fönster- och dörrplacering kan en god initial uppfattning om byggnaden fås. För avbildning av detta är fotografier fullt tillräckligt. Kan detta kopplas in i en dator kan man automatiskt skapa en hypotes över inre väggar, se avsnitt nedan. För mer detaljerad avbildning rekommenderas 3D-avbildande laserskanning som dels kan utföras från luften och dels från marken. Från luften har man bättre flexibilitet, men fasadavbildningen blir sämre. Däremot blir mark- och takavbildningen oerhört bra. Tyvärr är tillgängligheten dålig för sådana sensorer vid internationella insatser. USA har obemannade flygande farkoster med denna förmåga, men det är idag okänt om dessa finns ute i förbanden. På bemannade plattformar finns dessa förmågor tillgängliga kommersiellt redan idag.

I planeringsstadium inför insats kan dessutom flygning över området vara riskabelt om det pågår oroligheter. I det fallet kan UAV vara ett annat alternativ. Markpatrullering kan också vara ett alternativ för att komplettera kartor, men kan även det vara riskabelt vid insatstillfället.

Inför en kartläggning är det givetvis idealt att ha en uppskattning av de inre strukturerna, redan innan man träder in i byggnaden. I bästa fall finns ritningar, men tyvärr är detta osannolikt i militära insatsmiljöer. Som nämnt ovan kan man annars utgå från dörrars och fönsters placering och uppskatta de inre strukturerna, exempelvis enligt en metod som beskrivs närmare i nästa avsnitt. Om man har tillgång till laserskanner kan man genom samtliga fönster läsa av placeringen av den motstående väggen, vilket ger en förbättrad uppskattning av de inre strukturerna. Osäkerheten i koordinaterna i ursprungsdata behöver rimligen vara högst ca 1-2 dm för att inte orsaka betydande fel i kartunderlaget. I forskningsstadiet finns även en metod för fjärravläsning av samtliga inre strukturer, med hjälp av bistatisk SAR, se avsnitt 3. Detta undersöks i flera forskningslaboratorier ute i världen.

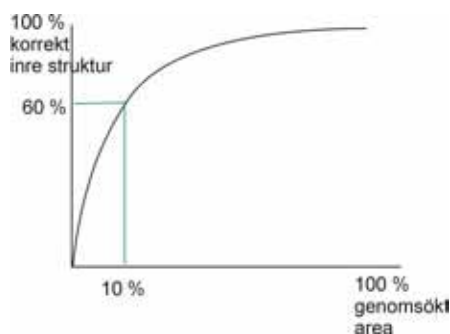
4.3.1.1 Iterativ hypotesprövning

Denna metod bygger på hypoteser och kvalificerade gissningar. Genom att utgå från fönster- och dörrplaceringar och vilken typ av byggnad man tror att det är, kan en hypotes antas, se Figur 57. När insatsen sker i byggnaden finns sedan goda möjligheter att revidera hypotesen. Personen som går in kan bära med sig en eller flera sensorer. En möjlig sensor kan vara en laserskanner som skannar av väggar och positionerar dessa till en tredimensionell bild på en dator placerad på annan plats. Med den förhandsinformation som finns om byggnaden, kan slutsatser dras av andra delar av byggnaden. Laserskannern kan med fördel kompletteras med digital videokamera eller stillbildskamera med enkel hantering. Ett exempel visas av informationsinhämtning inifrån ett hotell. En soldat går in i ett hotell där lobbyns väggar, dörrar, trapphus och hissars placering kartläggs av en medburen lasersensor. Utifrån tidigare information om byggnadens storlek och exteriör kan den nya informationen sammanfogas med den gamla och en hypotes kan göras om hur resterande delen av våningen ser ut, t.ex. hur korridorer är förlagda med hotellets rumsfördelning. En karta ritas upp om den troliga utformningen av hotellet. Då soldaten fortsätter in till nästa del, kanske hypotesen inte stämmer. Då görs kartan om på nytt med ny information från sensorn och nya förutsägelser görs. Se principen för detta i Figur 57.



Figur 57. Ovan: En soldat går in i en hotellentré. En sensor buren av soldaten registrerar väggar, dörrar och trappuppgång. Gröna pilar visar sensorns räckvidd som registrerar väggar mm. Registrerad yta har markerats med svarta linjer. Informationen förs från sensorn till en dator placerad på annan plats. Utifrån denna information byggs en hypotes upp av hur resten av våningen ser ut. Hypotesen presenteras för soldaten på t.ex. en handburen dator. Den hypotetiska planen visas med röda linjer. När soldaten går vidare i hotellet görs nya registreringar och hypotesen revideras.

Applied Research Associates, Inc i Orlando, Florida har konstruerad en modell, U2MG, för armén att använda sig av då de opererar i urban miljö⁶³. De påstår att om 10 % av byggnaden genomsöks har hypotesen hela 60 % tillförlitlighet, se Figur 58.



Figur 58. Diagrammet beskriver hypotesens tillförlitlighet i förhållande till genomsökt område. För ca 10 % genomsökt område anges att ca 60 % av hypotesens karta av byggnaden överensstämmer med byggnadens verkliga inre struktur. Det förutsätter att det i förväg är känt vilken typ av byggnad det är, t.ex. ett hotell.

⁶³ <http://www.u2mg.com/>, uppslagsdatum 2007-05-30

Även DARPA har ett program, *VisiBuilding*, som ska kunna visa interiören i en byggnad baserade på sensordata från exteriören.⁶⁴ Sensorerna kan bäras eller monteras fast på en UAV eller ett fordon. Genom att kombinera placeringen av flera sensorer kan en vy ses från olika perspektiv. Även om det inte finns färdiga system att använda sig av i dagsläget finns teknik som kan möjliggöra detta. Laser- och radar teknik kan tillsammans ge en högupplöst bild inuti en byggnad och även ge materialinformation. Överföringen kan ske med trådlös kommunikation och presentationen kan ges till en handdator buren av soldaten.

**Tids-
aspekt**

På denna detaljnivå är tidsförloppen ännu kortare. Byggnaders utseende kan vara förhållandevis orörda, medan växtlighet kring dessa, vägar och tillfälliga objekt förändras snabbare. Om insatsområdet ligger i anslutning till omfattande vegetation kan gamla bilder användas som är korrekta utifrån årstiden. Med tiden blir buskar allt tätare och kanske högre, så denna aspekt kan behöva beaktas. Sikt genom buskage ändras också mellan årstiderna. Normalt sett sker inte förändringar under kortare tidsvarsel än, i extrema fall, ett dygn, såsom brand.

Om exteriören hos en byggnad är orörd kan de inre strukturerna i stort sett anses vara statiska. Möblering i byggnaden är däremot kritisk och kan variera ofta. Den måste bedömas på plats.

**Fördelar/
nackdelar
med
tekniken**

En detaljerad karta och/eller bild ges på denna nivå. Ljudupptagningar är en teknik som med fördel på denna nivå kan användas för att detektera t.ex. oroligheter i folkmassor.

Att flyga över ett område inför en insats kan både vara farligt och onödigt dyrt. Satellitbilder kan ge information på denna nivå, men det är inte nödvändigtvis enkelt eller billigt att få den.

Tekniken som bl.a. DARPA beskriver är under utveckling och finns inte tillgänglig. Däremot finns möjligheter att utveckla system som möjliggör kartering av byggnaders inre struktur. En byggnads smyckning kan på ett enkelt sätt ändras. Fönster som smyckas på ett visst sätt kan ge information, men smyckning kan också användas för att vilseleda.

Ett teknisk dilemma är positionering av personer i byggnader. GPS är svåränvänt i urban miljö, kanske helt omöjligt i många fall, då höga byggnader tätt belägna kan blockera signalen. En positiv aspekt på att utveckla teknologi för att kartera interiörer är också att det kan användas i den civila sektorn, som t.ex. vid polisen eller räddningstjänstens insatser eller vid fångelser och skolor.

**Presen-
tations-
metod**

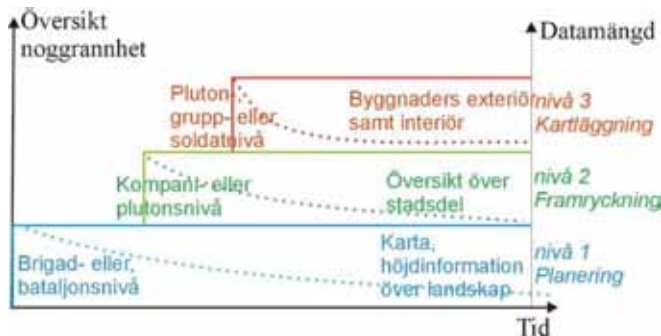
För nivå 3, kartläggning, kan papperskartor som beskriver ursprungsbilden vara till god hjälp inför kartläggningen. Överlagrade ritningar och flygfotografier kan förbättra uppfattningen.

En handburen dator med en kartbild som kan uppdateras under kartläggningen är ett bra hjälpmedel. En central datorenhet kan finnas utanför byggnaden som bearbetar sensordata från kartläggningssoldaterna och förser olika delar av förbanden med lämplig information. Med tillgången till dator ges också möjligheten att presentera i 3-dimensionell miljö även om gruppen som kartlägger rimligtvis inte borde ha mer information än den 2-dimensionella.

⁶⁴ Artikel från C⁴ISR Journal, September 2006, sidan 30-34

4.4 Sammanfattning

En principskiss av Informationsnivån kontra Tidsaspekten ges i Figur 59. Diagrammet beskriver de olika informationsnivåernas innehåll i information och dess värde över tiden. Nivåerna är indelade i rutor där en långdragen ruta symboliserar att tillgängligheten är stor. Höjden på nivåerna visar på datamängden som för nivå 3 är resurskrävande. Den prickade linjen i diagrammet visar tillförlitligheten i tid på de olika nivåerna. På nivå 1 är den prickade linjen inte så brant, relativt de andra nivåerna. Det betyder att informationsvärdet i de flesta fall är tillförlitlig under lång tid.



Figur 59. En principskiss visar hur tidsaspekten hör ihop med de olika informationsnivåerna. För lägsta nivå 1, planering, är informationen tillförlitlig under lång tid. För nivå 2, framryckning, blir informationen snabbare otillförlitlig. För nivå 3, kartläggning är tillförlitligheten hög på den fasta inredningen, medan möblemang är snabbt föränderlig. Datamängden ökar med höjd nivå.

Nivå 1, planering: Datamängden är liten. Konturer hos landskap och landskapets innehåll ges, som t.ex. kustlinje, infrastruktur och bergslandskap. Informationen kan ges i tredimensionell miljö. Den prickade linjen visar att informationens värde inte förändras särskilt med tiden. Den heldragna blå linjen visar att informationen är pålitlig under lång tid. Informationsunderlaget avser att användas på brigad- eller bataljonsnivå.

Nivå 2, framryckning: Något större datamängd krävs (än på nivå 1) och informationen är något mer resurskrävande att generera och hantera. Informationsnivån kan innebära att alltifrån kvarter, till enskilda byggnader, och eventuella vägblockeringar är kända. Den streckade gröna linjen visar en något brantare lutning än motsvarande på nivå 1 gör. Det beror på att tillförlitligheten minskar snabbare i tid jämfört med förra nivån.

Nivå 3, kartläggning: Hus, träd, broar och infrastruktur kan identifieras. Informationen blir snabbt otillförlitlig vilket visas i en brant streckad röd linje. Större datamängd krävs men i gengäld fås också en noggrannare beskrivning. De inre strukturerna kan ingå i kartläggningen. Möbler och andra lösa föremål kan variera på mycket kort tid och försiktighet bör iakttas vid deras kartläggning. Möbler kan hastigt ställs om för att förhindra exempel en inbrytning i en byggnad.

5 Framtida verksamhet

Under år 2007 har verksamheten handlat om att föreslå möjliga sensorsystem för att klargöra en lägesbild inför insats. Vidare har positiva och negativa egenskaper om de olika sensorsystemen kortfattats redovisats. En arbetsgrupp med olika kompetenser har tillsammans diskuterat olika sensorer för att skapa lägesbild. På så sätt har en början till kompetens inom sensorer anpassat för urban miljö byggts upp inom projektet. I arbetet har problem definierats och utifrån detta har förslag på framtida verksamhet diskuterats.

- Undersöka potentiell prestanda hos radarsatellitbilder från TerraSAR X.
- Den tyska satelliten beräknas vara i bana från sommaren 2007. För Norrköping, där en rad andra sensordata redan finns insamlade, vore det av intresse att studera vad radarbilder med meterupplösning från satellit kan tillföra marklägesbilden i urban miljö. Parametrar av intresse är t ex positioneringsnoggrannhet efter geokodning (rektifiering), skuggeffekter vid närstående hus, förändringsdetektion.
- Genomföra en mindre, experimentell studie av små handburna sensorer för kartläggning av inre struktur
- Utföra SAR-simuleringar för kartläggning av strukturer i byggnader
- Fortsätta elektromagnetiska simuleringar av bistatiska geometrier för kartläggning av inre strukturer i byggnader samt studier som syftar till att hitta lämpliga parametrar vid avbildande bistatiska experiment. Simuleringarna utökas till större scener än tidigare för att undersöka inverkan av närstående byggnader samt inverkan av olika material och strukturer vid avbildning.
- Utveckla automatisk modellering från optisk satellit, samt jämföra med resultatet från laserskanning. Baserat på resultat från EM-simuleringarna verifieras någon lovande uppställning experimentellt. Mätning av uppställningen görs med flygande plattform (LORA UHF) alternativt nära marken från räls eller lastbil. I det sistnämnda fallet kan en extern belysare, t.ex. en TV-sändare, vara av intresse att studera (passiv radar).
- Identifiera och utvärdera lämpliga tekniker för presentation/visualisering
- Workshop/möte/spel med MSS för att identifiera militärens behov inom detta område

Bilaga A. Syntetisk aperturradar (SAR)

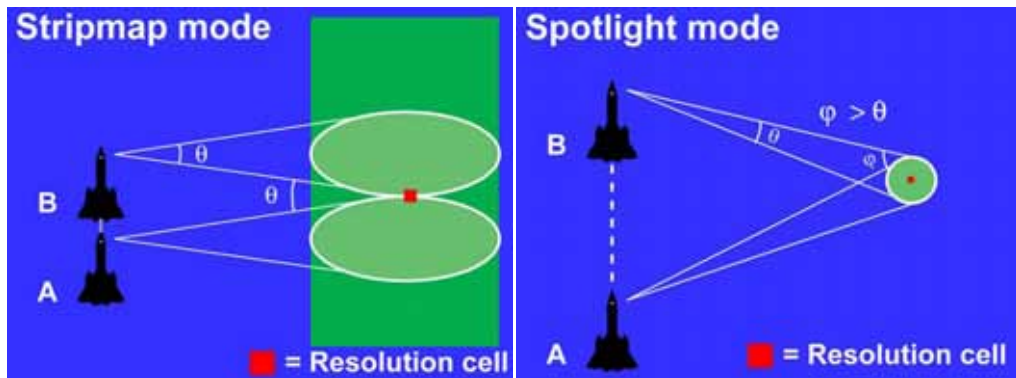
A.1 Kort beskrivning av avbildningsprincipen

Radaravbildning för generering av marklägesbild baseras primärt på tekniken syntetisk aperturradar (SAR). En viktig egenskap med denna avbildningsprincip är att bildupplösningen kan göras oberoende av spaningsavståndet. Principiellt kan således samma spatiala upplösning nås med ett och samma radarsystem installerat i såväl ett flygplan som satellit. Vissa radarparametrar, t ex pulsrepetitionsfrekvens och utsänd effekt, förutsätts dock kunna justeras inom ett stort intervall för att hantera den ansevärd skillnaden i spaningsavstånd mellan ett flyg- och rymdbaserat system. I praktiken krävs därför skilda hårdvaror optimerade för respektive plattformstyp.

Upplösningen i ett SAR-system bestäms i avståndsled (tvärs plattformens rörelseriktning) av den utsända radarsignalens bandbredd, med en korrektionsterm beroende på infallsvinkeln till marknormalen om upplösningen definieras i markkoordinater. En högre bandbredd ger en högre avståndsupplösning. I azimut (längs plattformens rörelseriktning) utnyttjas Dopplerinformationen för att förbättra den rumsliga upplösningen. Alla signalbidrag till amplitud och fas, som registrerats för en specifik bildpunkt under det att denna belysts av antennens huvudlob, summeras. Bidragen kommer från de radarpulser som sänts ut och mottagits under den tid antennen förflyttats en viss sträcka, benämnd den syntetiska aperturen. För en fixt pekande antenn är den längsta sträcka som kan nyttiggöras den förflyttning som motsvarar huvudlobens bredd på marken vid den aktuella bildpunkten. Då huvudlobens fotavtryck på marken ökar med större spaningsavstånd måste således fler bidrag summeras ju längre bort man önskar registrera en SAR-bild för att uppnå högsta upplösning i azimut. Om alla insamlade signalbidrag inom huvudloben utnyttjas med en fix antennkonstruktion kan en upplösning om $D/2$ uppnås i azimut, där D är den fysiska radarantennens storlek i azimut.

En högre azimutupplösning kan fås om belysningstiden kan utökas ytterligare, utöver vad bredden för huvudloben definierar, genom att justera antennens pekriktning mot ett specifikt markavsnitt av intresse via en mekanisk eller elektrisk utstyrning. Den förfinade upplösningen bestäms då av den totala aspektvinkelvariation med vilken området belysts. Metoden benämns "spotlight SAR" och vidmakthåller förmågan till avståndsoberoende upplösningen men man tappar den kontinuerliga marktäckningen i azimut som fås med den fixt pekande antennen i "strip-map SAR". I sin yttersta gräns blir en "spotlight SAR" ett system som belyser ett och samma markavsnitt från alla riktningar, dvs. från en syntetisk apertur som beskrivs av en cirkulär flygbana⁶⁵. I Figur 60 illustreras principerna för de två avbildningsmetoderna med fixt pekande antenn respektive styrbar.

⁶⁵ L.M.H. Ulander, M. Blom, B. Flood, P. Follo, P.-O. Fröling, A. Gustavsson, G. Haapalahti, T. Jonnson, M. Lundberg, D. Murdin, and G. Stenström, "The LORAM airborne radar experiment: Final report," Technical report, FOI-R--2077--SE, 2006



Figur 60. För att förbättra upplösning i flygriktningen utnyttjas i SAR-moden "strip-map" de mottagna signaler som registrerats under det att radarsystemets huvudlob belyst en viss markpunkt längs den syntetiska aperturen (förflyttningen A till B). Allteftersom plattformen rör sig fås en kontinuerlig avbildning längs ett stråk på marken. I fallet "spotlight SAR" utökas registreringstiden över ett begränsat markavsnitt genom att styra ut antennloben mekaniskt eller elektriskt. Härmed uppnås en ännu högre upplösning i flygriktningen till priset av en fortlöpande avbildning av ett markstråk⁶⁶.

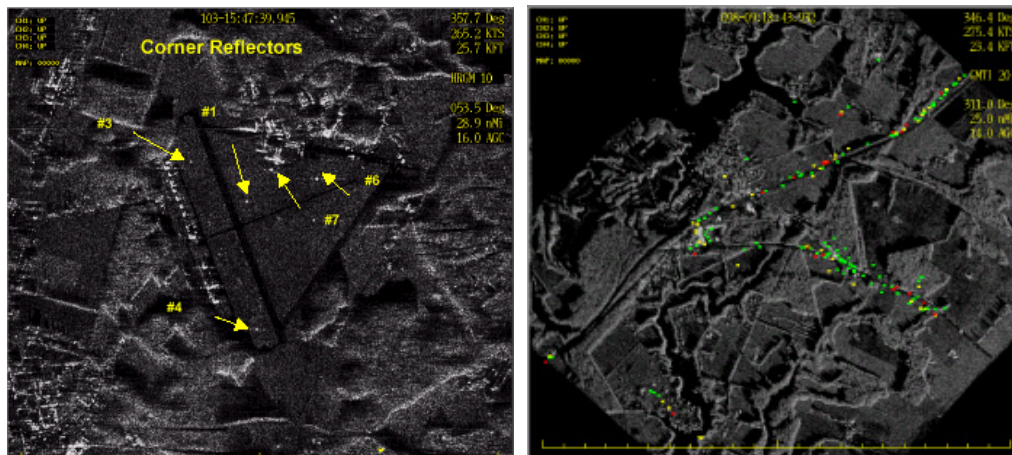
A.2 Exempel på andra mätkonfigurationer utnyttjande SAR-tekniken

SAR-tekniken har under åren byggts på med ett antal nya funktionaliteter där några fortfarande är företrädesvis på forskningsstadiet medan andra har nått hög mognadsgrad och är på väg ut som standardfunktioner, t ex SAR med GMTI-funktion ("Ground Moving Target Indication"). I det följande ges exempel på några av dessa vidareutvecklingar inom SAR-tekniken.

A.2.1 "Along-track interferometric SAR" (ATI SAR eller SAR med GMTI-funktion)

Mätprincipen ATI SAR har utvecklats för att möjliggöra att rörelser på markytan kan mätas in med SAR-baserade sensorer. Tekniken bygger på att minst två SAR antenner finns installerade ombord och separerade ett visst avstånd från varandra (frekvensberoende) längs plattformen i horisontalled relativt flygriktningen. De två antennerna samlar in samma rådatamängd från det belysta markområdet men separerade något i tiden beroende på plattformens hastighet, dvs. ett antennelement är i det andra antennelements position en kort stund senare under det tidsförlopp då den syntetiska aperturen realiserar. Genom jämförelse av dessa inmätningar kan det som är stationärt inom markscenen undertryckas och därmed framhävs eventuella rörliga objekt. I militära sammanhang används principen främst för att mäta in den radiella hastighetskomponenten hos rörliga mål visavi plattformen och brukar då benämnas GMTI medan begreppet ATI SAR ofta utnyttjas i olika civila tillämpningar för studier av dynamiska förlopp, t.ex. vågmönster på vattenytan. I Figur 61 ges ett exempel på en SAR-bild registrerad i "strip-map" mod samt inmätningar av rörliga objekt med GMTI-funktionen, företrädesvis längs vägar och presenterade som detektioner överlagrade på SAR-bilden. Lägsta detekterbara hastighet relativt det statiska markklottret är typiskt kring 1 m/s.

⁶⁶ A. Gustavsson, L.M.H. Ulander, M. Karlsson, and M. Lundberg, "Employing UAVs to augment ISR capabilities," In *Proc. RadioVetenskap och Kommunikation 2005*, Linköping, Sweden, June 14-26, 2005, (6 pages on CD).



Figur 61. Exempel på registreringar gjorda med det amerikanska radarsystemet AN/APY-6 som arbetar på X-band⁶⁷. Bilden till vänster är genererad från radardata vilka samlats in med den kontinuerligt täckande moden "strip-map SAR" med någon meters upplösning och återger en scen där tester kring positioneringsnoggrannhet genomförts baserat på väl inmätta radarreflektorer. Till höger visas ackumulerade resultat från GMTI-moden under 90 s som har överlagrats på en SAR-bild i "strip-map" mod över det aktuella området. Detektionerna ändrar färg vartefter tiden går där toner i rött återspeglar de senaste resultaten vilka övergår i grönt ju längre tiden går. På detta sätt byggs målsår upp från de rörliga objekten.

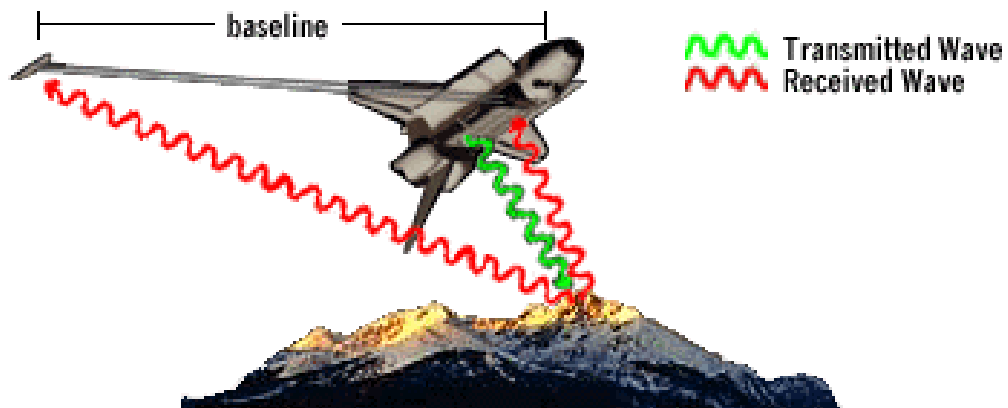
Tillgången till flera antenner i flygriktningen kan också användas för att minska sin känslighet i ett antal bäringar. Dessa kan maximalt vara lika många som antalet enskilda antennenheter minus ett. Den uppenbara användningen för denna flexibilitet är möjligheten att undertrycka olika former av avsiktlig aktiv störning från olika störkällor inom den aktuella markscenen. Genom att minimera inverkan i riktningen till störaren kan radarbilder med god detaljrikedom fortfarande genereras i andra områden medan i närheten av störsändaren fås en gradvis degenerering av bildkvaliteten. Denna förlust av bildinformation ger å andra sidan en indikation om var i området en störsändare finns utplacerad. Antalet samtidiga störsändare som kan hanteras bestäms således av antalet tillgängliga separerade mätkanaler ombord på plattformen.

A.2.2 "Cross-track interferometric SAR" (XTI SAR)

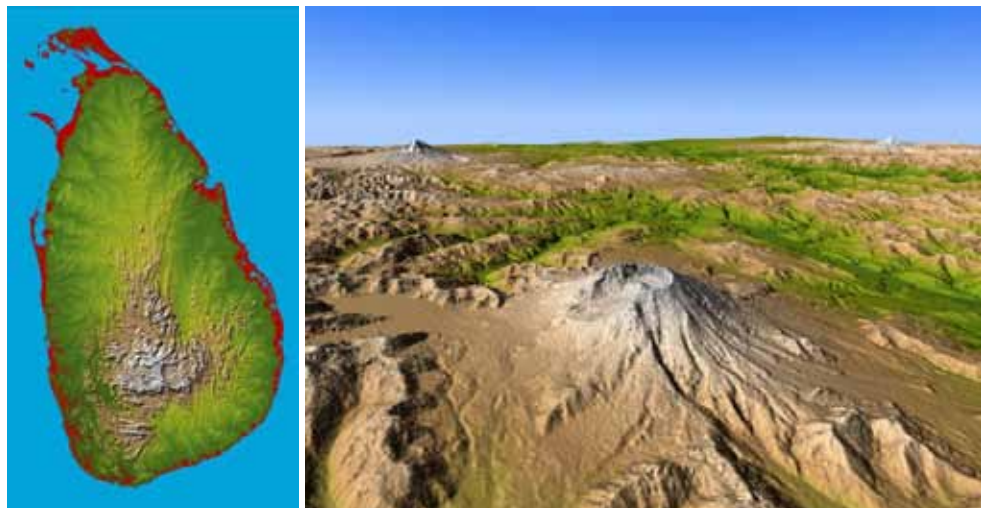
För XTI SAR utnyttjas istället två antenner som är separerade så att de mäter in samma scen med en liten skillnad i betraktelsevinkel (infallsvinkel). Denna skillnad kan översättas i fasvariationer (interferogram) då bilderna jämförs. Separationen mellan respektive antennis mätgeometri benämns baslinjen och den minsta användbara baslinjen för att uppnå tillräcklig känslighet i interferogrammet definieras av aktuell radarvåglängd och spaningsavstånd. På stora spaningsavstånd åtgår en större baslinje för en given radarvåglängd samtidigt som nödvändig baslinje även växer med ökad våglängd. Beroende på värdet av den baslinje som behöver realiseras skiljer man på två fall. Om värdet är tillräckligt litet att kunna realiseras på en given plattform får man ett system som gör mätningar enligt en princip som kallas "single-pass interferometry". Vid denna konfiguration registreras data i de två antennerna samtidigt under det att den syntetiska aperturen flygs upp. Endast en av antennerna behöver kunna sända ut radarsignalen medan mottagning behöver ske i båda antennerna. Om en större baslinje behövs får de två registreringarna utföras med ett SAR-system som innehåller endast en antenn och de två datamängderna samlas istället in genom att detta system avbildar aktuellt område två gånger med den skillnad i betraktningsvinkel som motsvarar den baslinje som krävs för att få önskvärd känslighet i interferogrammet. Detta tillvägagångssätt kallas "repeat-pass interferometry". Denna princip får oftast tillämpas från rymden då baslinjekravet blir flera tiotals meter för mikrovågs-SAR vilket kan vara svårt att realisera på en rymdplattform. I ett

⁶⁷ W.J. Miceli and L.A. Gross, "Test results from the AN/APY-6 SAR/GMTI surveillance, tracking and targeting radar," In *Proc. 2001 IEEE Radar Conference*, Atlanta, GA, May 1-3, 2001, pp. 13-17.

fall har dock "singel-pass interferometry" provats från rymden. Under en mission med rymdfärjan år 2000 (SRTM - "Shuttle Radar Topography Mission") karterades hela jorden mellan 60:e breddgraden i nord och 56:e i syd interferometriskt med ett kombinerat C- (5 cm våglängd) och X-bandsystem (3 cm våglängd) där mottagarantennerna för vardera radarbandet fanns längst ut på en 60 m lång bom som vecklades ut från rymdfärjans lastutrymme där de kombinerade sändar- och mottagarantennerna fanns monterade. Tack vara den långa bommen kunde en tillräcklig baslinje uppnås. Figur 62 visar schematiskt geometrin för mätningarna med SRTM och Figur 63 återger de topografiska variationerna på Sri Lanka liksom kring vulkanen Mount St Helen extraherade från dessa data.



Figur 62. Principen för XTI SAR baserad på samtidig mätning i två mottagarantennner ("single-pass interferometry") åtskilda med den baslinje som krävs för att få tillräcklig känslighet i fasskillnaden mellan kanalerna (interferogramet) för aktuell radarvåglängd och plattformshöjd. Illustrationen visar förhållandena för rymdfärjan under dess radarmission kallad SRTM som genomfördes under elva dagar i februari år 2000. (www2.jpl.nasa.gov/srtm/, Courtesy NASA/JPL-Caltech).



Figur 63. Exempel på höjddata baserat från mätningar med SRTM. Till vänster syns data som återger hela Sri Lanka med höjdinformationen färgkodad. Till höger syns området kring vulkanen Mount St. Helen i delstaten Washington, visualiserad i ett 3D perspektiv med färginformation från optiska sensorer (satelliten Landsat) över området överlagrat⁶⁸.

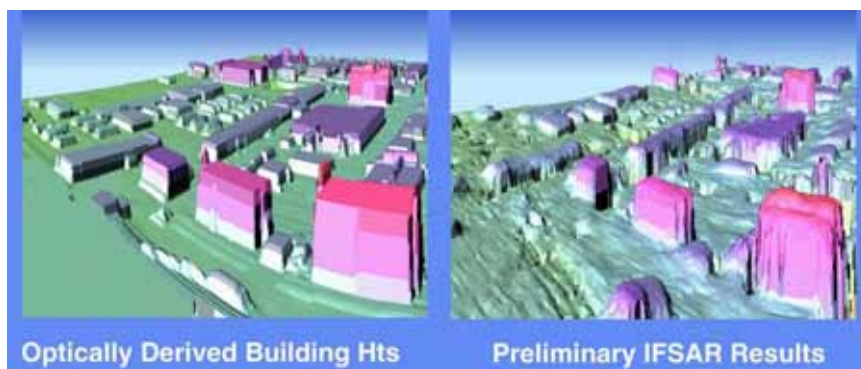
SRTM-data samlades in vid ett tillfälle och utgör i dagsläget den noggrannaste globala höjddatabasen som finns att tillgå. Den amerikanska radarsensorn på C-band täckte in landmassorna mellan aktuella breddgrader fullständigt medan det tysk/italienska systemet på X-band, med en mindre stråkbredd, har luckor i sin täckning. Data samlades in med en gridtätthet om 30 m (1 bågsekund) med en absolut höjdnoggrannhet inom 20 m. För höjddata

⁶⁸ www2.jpl.nasa.gov/srtm/, Courtesy NASA/JPL-Caltech

insamlade med systemet på C-band finns denna noggrannhet inte allmänt tillgänglig för områden utanför USA och tillhörande territorier. För övriga delar är griden istället utglesad till 90 m (3 bågsekunder) för andra användare än amerikanska försvaret. Data från detta system kan beställas genom US Geological Survey från deras hemsida⁶⁹. Höjddata från systemet på X-band kan beställas från DLR i Tyskland⁷⁰ och fås med den ursprungliga gridtäteten. Via täckningskartor på hemsidan får man kontrollera om önskat område avbildats inom radarns stråkbredd.

Ett flertal flygburna system existerar och erbjuder kommersiella tjänster. Bland dessa återfinns Intermap⁷¹, som bl.a. karterat hela Storbritannien och har målsättningen att genomföra detta för hela Europa och USA inom några år, EarthData samt OrbiSat⁷². En jämförelse över en urban miljö som rekonstruerats med flygburen interferometrisk SAR och optisk teknik ges i Figur 64. Som tumregel är noggrannheten i höjdbestämningen av samma storleksordning som det horisontella gridsystemet. Med flygburna system som har en gridupplösning om typiskt någon/några meter blir således höjdbestämningen i samma härad. Ett uppenbart problem med kartering i bebyggelse är de skuggeffekter som fås i omedelbar anslutning bakom en belyst byggnad med den geometri som utnyttjas i en typiskt sidtittande SAR. En möjlighet att komma runt detta problem är ett system med 3D-SAR som beskrivs under en egen punkt.

Om interferometriskt SAR data finns tillgängligt från två olika tidpunkter och dessa jämförs med varandra kan mycket små skillnader i förändringar av återskapad höjdinformation detekteras, av storleksordningen våglängd. Detta tillvägagångssätt att analysera insamlat data på brukar benämnas *differentiell interferometrisk SAR*. Förändringar som kan upptäckas på detta sätt kan ha sitt ursprung i rörelser hos glaciärer, förändringar efter jordbävningar eller ökade spänningsrörelser hos bergssluttningar i vulkaniskt aktiva områden som kan vara en förvarning till kommande utbrott. I militära sammanhang kan en tillämpning vara att analysera resultatet efter någon form av vapeninsats mot markmål där skadeverkan inte är helt uppenbar vid analys av en enskild sensorbild.



Figur 64. En stadsmiljö återskapad med hjälp av fotogrammetriskt data (vänster) och via en interferometrisk SAR (höger). Den optiska sensorn ger högre detaljrikedom med den kortare våglängden och högre upplösningen medan radarsensorn på samma tid kan kartera ett större geografiskt område för samma gränssättande bandbredd kring hur många bildpunkter ett system kan hantera⁷³.

⁶⁹ edc.usgs.gov/srtm/

⁷⁰ www.dlr.de/srtm/

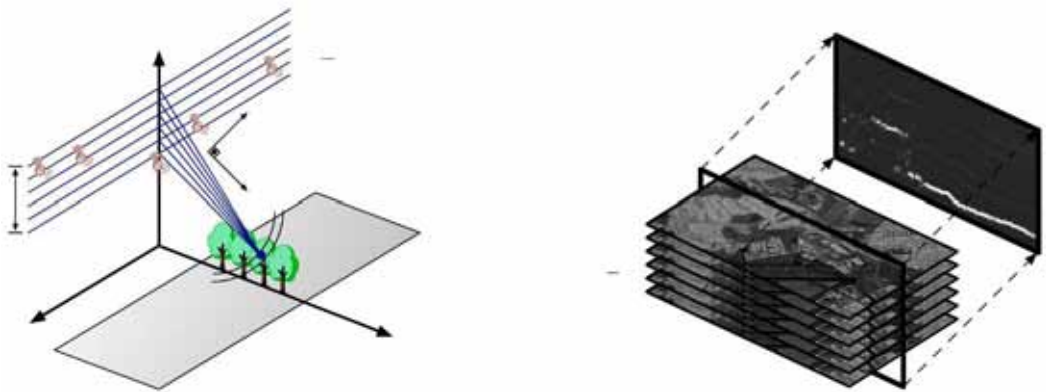
⁷¹ www.intermap.com

⁷² www.earthdata.com samt www.orbisat.com.br

⁷³ www.vexcel.com

A.2.3 Tomografisk SAR

Med de två antenner som spänner upp en baslinje vid en interferometrisk SAR mätning kan en yta bestämmas som beskriver höjden där den dominerande återspridningen emanerar. Om man har ett antal baslinjer till sitt förfogande, med en separation även i den riktning som är vinkelrät mot flyg- och avståndsriktningen, kan man genom att kombinera dessa bestämma återspridningsbidragen från ett antal olika nivåer. Förfarandet innebär att man räknar fram de olika spridningsbidragen skikt för skikt och därmed fås information om en volym och inte enbart en yta. Principen illustreras i *Figur 65*.



Figur 65. Principen för tomografisk SAR⁷⁴. Ett antal baslinjer realiserar genom att samla in SAR data under tillhörande rakbanor. Ur denna mängd kombineras data på ett sådant sätt att information om återspridningen från olika höjder relativt ett nominellt markplan fås. Med information skikt för skikt kan man rekonstruera en volymbeskrivning av marksegmentet, t ex för en skog där radarstrålningen till del penetrerar.

A.2.4 3D-SAR

En metod att komma runt problemen med skuggor bakom skymmande objekt vid typiska avbildningsgeometrier för SAR är att realisera ett system som betraktar marken rakt ned (nadir) och ett antal grader ut på ömse sidor. Upplösningen i flygriktningen bygger fortfarande på SAR-principen medan upplösningen tvärs denna fås genom att förse systemet med större antal antennelement med vilka man kan forma en smal lob vid mottagning för ett antal vinklar upp till den maximala utstyrda vinkeln relativt nadir. Bandbredden hos den utsända radarsignalen ger en upplösning i höjddled inom varje smal lob och konceptet benämns 3D-SAR. Om man ansätter att en maximal vinkel om 30 grader kan tillåtas på vardera sidan blir det täckta stråket av samma storleksordning som flyghöjden. Om de skuggor som uppkommer i de bortre kanterna (mot 30 grader) anses för stora måste det avbildade stråket kring nadir begränsas ytterligare. I *Figur 66* visas en principskiss för en 3D-SAR. Avbildningen påminner således om 3D laser för kartering där man dock som regel inte behöver ta till SAR-teknik för att förbättra upplösningen i flygriktningen, ej heller syntetisera smala lober via flera antennelement, då laserstrålens fotavtryck på marken är tillräckligt smalt.

⁷⁴ S. Guillaso and A. Reigber, "Polarimetric SAR tomography," In *Proc. Second International Workshop POLinSAR 2005*, ESA SP-586, Frascati, Italy, January 17-21, 2005, (6 pages on CD).



Figur 66. En UAV-plattform försedd med en 3D-SAR för avbildning av ett markområde där effekten av skuggor från skymmande objekt som radarstrålningen ej penetrerar kan minimeras genom en geometri med branta infallsvinklar⁷⁵.

A.2.5 Polarimetrisk SAR

Med en polarimetrisk SAR kan den fulla elektromagnetiska spridningsmatrisen mätas in för de enskilda bildpunkterna, dvs. polarisationskombinationerna HH, HV, VH, och VV där H står för horisontell och V för vertikal polarisation. HH innebär att man såväl sänt som tagit emot en radarsignal med horisontell polarisation medan HV anger att man vid mottagning istället registrerat den vertikala komponenten. Den polarimetriska signaturen ger information om bakgrundens samt målobjektens ytstruktur och form. Detta kan utnyttjas som ytterligare ett särdrag (en frihetsgrad) vid försök till klassificering av vad som finns i radarbilden. I Figur 67 visas en polarimetrisk SAR-bild.

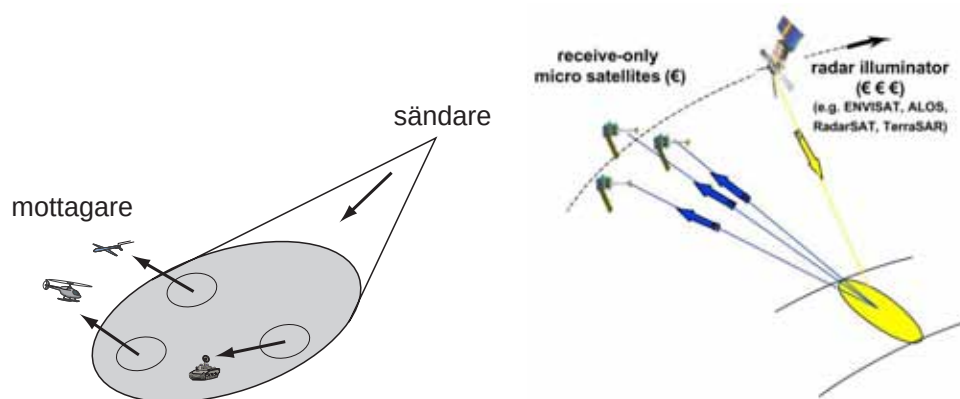


Figur 67. Polarimetrisk SAR-bild över delar av San Francisco registrerad med NASA/JPLs flygburna system AIRSAR. Olika bakgrundstyper ger olika polarimetriska signaturer, som i detta fall vattenytor (blått), vegetation (grönt) samt stadsbebyggelse (ljus hög intensitet). (www.vexcel.com).

⁷⁵ A. Gustafsson, R. Malmqvist, T. Martin, J. Svedin, R. Erickson, A. Nelander, L. Pettersson, and P.-O. Fröling, "Antenna and front-end technology for multifunction systems on small vehicles," Technical report, FOI-R--2156--SE, 2006.

A.2.6 Bistatisk/multistatisk SAR

I en bi- eller multistatisk SAR-konfiguration finns sändare och mottagare utspridda på två eller flera plattformar, se Figur 68. En komplikation som måste lösas tekniskt med denna typ av realisering är att kunna upprätthålla en gemensam tidsreferens inom systemet som krävs för att kunna summera de registrerade signalbidragen på ett korrekt sätt till amplitud fas. Lösningar på synkroniseringsproblemet kan vara noggranna klockor av typen atomur på varje plattform, utnyttjande av stabila referenssignaler som finns definierade i protokollet för GPS-signalen eller att den mottagande enheten kan detektera direktsignalen från sändaren vid sidan av det svagare signalbidraget som har återspridits från det belysta marksegmentet. Tekniken har demonstrerats mellan flygburna plattformar men även genom att låta någon enhet vara satellitburen.



Figur 68. I ett bi- eller multistatiskt SAR system är sändare och mottagare separerade. I en flygburen konfiguration kan sändaren hållas tillbakadragen på stort avstånd för att minska hotbilden. Ingående mottagare i systemet kan vara monterade i såväl markbundna som flygburna plattformar på avsevärt närmare avstånd till områden av intresse för insamling av lägesbild. Genom att dessa enheter endast lyssnar minskar risken att röjas av signalspaning trots närheten till ett fientligt område. I ett satellitkoncept där också rymdburna mottagare ingår är främsta vinsten att kostnaderna för enskilda mottagarsatelliter kan reduceras då det främst är sändardelen som är dimensionerande för de kostnadsdrivande faktorerna effektbehov och totalvikt hos en satellit.

En bi- eller multistatisk konfiguration erbjuder en rad fördelar. Markmål som har signaturanpassats mot ett radarhot är designade för att minimera det återspridda bidraget i de riktningar varifrån den utsända radarsignalen förmodas infalla, dvs. SAR-system med samlokaliserade mottagar- och sändarenheter (monostatisk SAR). I andra sektorer är det spridda fältet påtagligt, speciellt då smyganpassningen som regel bygger på att reflektera bort infallande radarsignal åt andra håll. Med en friflygande mottagare kan dessa spridningsriktningar fångas in under den syntetiska aperturen och dessutom utan att röja sitt eget uppträdande för eventuell signalspaning. Med en mottagare placerad närmare målområdet fås också en förbättrad effektbudget då den totala gångsträckan för radarsignalen blir kortare. En intressant möjlighet är att man kan utnyttja någon annan befintlig sändarsignal i området som belysare och endast operera egna passiva mottagare⁷⁶. Exempel på existerande signaler kan vara mobiltelefoni, GPS samt markfast eller satellitburen TV.

⁷⁶ L.M.H. Ulander, B. Andersson, S. Björklund, P. Follo, P.-O. Frölind, A. Gustavsson, G. Haapalahti, and A. Nelander, "Förstudie: Parasiterande och passiv radar," Användarrapport, FOI-R--2015--SE, 2006.

