

FFI RAPPORT

AUTONOME SENSORSYSTEMER. Kommunikasjonsbehov for uavhengige sensorer.

BERG Olav, BRENDEFORD Tor Steinar, HAAVIK Svein, RØNNING
Knut, AARHOLT Eldar

FFI/RAPPORT-2003/01453

FFIE/869/110

Godkjent
Kjeller 10. februar 2004

Torleiv Maseng
Forskningsjef

AUTONOME SENSORSYSTEMER.
Kommunikasjonsbehov for uavhengige sensorer.

BERG Olav, BRENDEFORD Tor Steinar, HAAVIK
Svein, RØNNING Knut, AARHOLT Eldar

FFI/RAPPORT-2003/01453

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2003/01453 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/869/110	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES 86		
4) TITLE AUTONOME SENSORSYSTEMER. Kommunikasjonsbehov for uavhengige sensorer. AUTONOMOUS SENSOR SYSTEMS. Communication needs for independent sensors.				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) BERG Olav, BRENDEFORD Tor Steinar, HAAVIK Svein, RØNNING Knut, AARHOLT Eldar				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonomous</u> c) <u>Ground based</u> d) <u>Radio communication</u> e) _____ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonom</u> c) <u>Bakkebasert</u> d) <u>Radiokommunikasjon</u> e) _____ </td> </tr> </table>			a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonomous</u> c) <u>Ground based</u> d) <u>Radio communication</u> e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonom</u> c) <u>Bakkebasert</u> d) <u>Radiokommunikasjon</u> e) _____
a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonomous</u> c) <u>Ground based</u> d) <u>Radio communication</u> e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>Sensor</u> b) <u>Autonom</u> c) <u>Bakkebasert</u> d) <u>Radiokommunikasjon</u> e) _____			
THESAURUS REFERENCE: 8) ABSTRACT The network centric approach of the Norwegian Defence drives the need for new sensor systems. Extended coverage and network connectivity must be accomplished by self-organising and autonomous sensor systems. In this context a survey of available sensor systems and an investigation into the various fields of use has been conducted. The study focuses on sensor categories that can be used for detection and surveillance of military ground operations. Technical solutions, products, research and development programs from open sources are summarised and referenced in the report. Relevant examples of autonomous sensor systems, independent of platform and infrastructure, are described in more detail. These descriptions include available information on communication needs and solutions. Specifications for communication solutions are discussed based on the sensor findings. This report provides a reference about the present state of autonomous sensor systems. These are not compared or analysed for a conclusion on applicability to operational needs. However, the need for an extensive development in design, application and interconnectivity of autonomous sensors is very evident, and the possibilities for their successful technical implementation appear to be very high. At present, the technology seems to be immature.				
9) DATE 10. February 2004	AUTHORIZED BY This page only Torleiv Maseng	POSITION Director of Research		

UNCLASSIFIED

ISBN 82-464-0805-4

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHold

	Side	
1	INNLEDNING	9
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Mål	10
2	SENSORSYSTEMER I NBF-KONSEPTET	11
2.1	Operasjonsmiljøer	11
2.1.1	Virkningsområder	11
2.1.2	Virkningsområde bakke	12
2.1.3	Uavhengig utplassering	12
2.2	Autonome sensorsystemer	13
2.2.1	Autonom operasjon	13
2.2.2	Stort antall noder	14
2.2.3	Størrelse og vekt	14
2.2.4	Passive	14
2.2.5	Stasjonære	14
2.3	Utvalg	15
3	BASIS SENSORTEKNOLOGIER	16
3.1	Innledning	16
3.1.1	Partikler i luften	16
3.1.2	Elektromagnetisk stråling og partikkelstråling	16
3.1.3	Elektromagnetisk felt	17
3.1.4	Trykkbølger i luft	17
3.1.5	Trykkendringer i bakken	17
3.1.6	Aktive og passive sensorer	17
3.2	Biosensorer	18
3.2.1	Beskrivelse	18
3.2.2	Forskning og industrialisering	20
3.2.3	Sensorinformasjon	22
3.3	Kjemiske sensorer	22
3.3.1	Beskrivelse	22
3.3.2	Forskning og industrialisering	25
3.3.3	Sensorinformasjon	26
3.4	Sensorer for ioniserende stråling	26
3.4.1	Beskrivelse	26
3.4.2	Forskning og industrialisering	28
3.4.3	Sensorinformasjon	28
3.5	Elektrooptiske sensorer	29
3.5.1	Beskrivelse	29
3.5.2	Forskning og industrialisering	30
3.5.3	Sensorinformasjon	34
3.6	Radarsystemer	35

3.6.1	Beskrivelse	35
3.6.2	Forskning og industrialisering	36
3.6.3	Sensorinformasjon	38
3.7	Elektromagnetiske sensorer	39
3.7.1	Beskrivelse	39
3.7.2	Forskning og industrialisering	43
3.7.3	Sensorinformasjon	43
3.8	Akustiske sensorer	43
3.8.1	Beskrivelse	43
3.8.2	Forskning og industrialisering	44
3.8.3	Sensorinformasjon	48
3.9	Seismiske sensorer	49
3.9.1	Beskrivelse	49
3.9.2	Forskning og industrialisering	49
3.9.3	Sensorinformasjon	50
3.10	Trykksensorer	51
3.10.1	Beskrivelse	51
3.10.2	Forskning og industrialisering	52
3.10.3	Sensorinformasjon	52
4	KONSEPTER OG TRENDER INNEN AUTONOME SENSORSYSTEMER	54
4.1	Innledning	54
4.2	CATSS	54
4.3	Hostile Artillery Locator (HALO)	58
4.3.1	Kommunikasjon i sensorsystemet	58
4.4	ARGUS	59
4.4.1	Kommunikasjon i sensorsystemet	61
4.5	AWAIRS	61
4.5.1	Kommunikasjon i sensorsystemet	63
4.6	DARPA Unattended Ground Sensors (UGS) Program	64
4.7	Smart Dust	65
4.7.1	Smart Dust spesifikasjoner	66
4.7.2	Forskning og utvikling	67
4.7.3	Kommunikasjon i sensorsystemet	69
5	KOMMUNIKASJONSBEHOV	70
5.1	Kommunikasjonsløsninger for eksisterende basisteknologier	70
5.1.1	Status	70
5.2	Sensorkonsepter og –løsninger	73
5.2.1	Status	73
5.2.2	Grunnlag for krav	75
6	OPPSUMMERING	80
6.1	Sammendrag	80

6.1.1	Sensortechnologier	80
6.1.2	Konsepter og sensorsystemer	80
6.1.3	Kommunikasjonsbehov	81
6.2	Videre arbeid	81
	Forkortelser	85
	FORDELINGSLISTE	87

AUTONOME SENSORSYSTEMER. Kommunikasjonsbehov for uavhengige sensorer.

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Forsvaret står over for store endringer ved innføring av et konsept for nettverksbasert forsvar (NBF). NBF-konseptet medfører utstrakt bruk av sensorkomponenter¹ med sensorelementer av av ulike typer (aktive eller passive, akustiske, ABC, meteorologiske, radar osv). Sensorsystemene vil i stor grad måtte være selvstyrte og sørge for automatisk innsamling av store mengder informasjon. Sensorene vil derfor typisk være ubemannet og automatisk rapportere målinger eller observasjoner tilbake til et informasjonssystem. Noen sensorer kan være av bruk-og-kast typen, andre utplasseres innenfor et kontrollert område. En felles kommunikasjonsløsning for alle disse sensorsystemene vil være fordelaktig. Generelt er det ikke behov for høy overføringskapasitet. Derimot er lavt strømforbruk, lav anskaffelseskostnad og radiotaushet noen av de store utfordringene ved etablering av kommunikasjon for slike sensorsystemer. Dette er utfordringer som knytter seg til den tekniske infrastrukturen, og som er fokus for FFI-prosjekt 869 NBF-grid. Kartleggingen av autonome sensorsystemer vil bli benyttet for å vurdere behov og krav knyttet til deler av informasjonsinfrastrukturen i et NBF-konsept.

NBF-rapporten (1) ble utarbeidet som et grunnlag til Forsvarssjefens militærfaglige utredning (FSJ MFU). Rapporten beskriver et konsept og ambisjonsnivå for et norsk NBF. På overordnet nivå trekker rapporten frem følgende resultat fra den bakenforliggende analysen:

”Antallet og kapasiteten på sensorene rettet mot operasjonsområde ”bakke” er for lavt i forhold til effektorene for det samme området. Situasjonsbildet for ”bakke” er derfor ikke tilfredsstillende og effektorene kan ikke utnyttes optimalt”.

Fra analysen av arven, pågående og planlagte prosjekter gis det en anbefaling om å etablere flere sensorer rettet mot bakken, og å fusjonere informasjon fra flere sensorer. Anbefalingene peker også på behovet for tilknytning til et felles nett, styring og en effektiv utnyttelse av sensorparken.

Hærens Perspektivplan Materiell (2) for 2002-2005 har allerede identifisert flere prosjekter for økt sensorkapasitet og forbedret ildledning mot bakkemål. Det pekes på at Norge har akseptert styrkemålet fra NATO om anskaffelse av ubemannede sensorer. Blant annet er det satt opp et prosjekt for bakkebaserte sensorer for oppklaringsavdelingene med nærmere 100 millioner

¹ Begrepet er forklart og beskrevet i NBF-rapporten (1)

kroner for perioden 2008 – 2010.

Utfordringene og aktivitetene som er beskrevet over danner bakgrunn for denne rapporten. Rapporten fokuserer på bakkebaserte sensorer rettet mot mål og aktiviteter på bakken. Sensorene inngår i autonome systemer som kommuniserer sin informasjon til et nettverk.

1.2 Mål

Målet er å samle inn og systematisere informasjon om eksisterende og planlagte autonome sensorsystemer. Sensorsystemene skal beskrives kort, sammen med så spesifikke krav til kommunikasjon som mulig (kapasitetsbehov, sanntidskrav, andre krav til tjenestekvalitet, krav til mobilitet og rekkevidde/dekningsområde). Hensikten er ikke å gjøre noen utstrakt vurdering av sensorsystemene.

2 SENSORSYSTEMER I NBF-KONSEPTET

I dette kapitlet utdypes bakgrunnen for kartleggingen som presenteres i de neste tre kapitlene. Avsnitt 2.1 beskriver hvilke avgrensinger som er gjort og forklarer hvordan dette understøtter målet. I avsnitt 2.2 beskrives behov for og egenskaper ved autonome sensorsystemer.

2.1 Operasjonsmiljøer

2.1.1 Virkningsområder

NBF-rapporten (1) benytter en modell for NBF-konseptet som inneholder tre domener; kognitivt domene, informasjonsdomenet og det fysiske domene. Innenfor disse tre kategoriene kan militære sensorer og effektorer operere og ha en virkning. I NBF-rapporten er det definert ni virkningsområder:

- Kognitivt domene:
 - Med **Psykologiske Operasjoner** (psyops) menes operasjoner rettet mot sinnet til et menneske, dvs. å påvirke meninger eller oppfatninger.
- Informasjonsdomenet:
 - Med **CNO** menes Computer Network Operations, hvor virkningsområdet er elektroniske systemer som datamaskiner med tilhørende nettverk og strukturer.
 - Med **EK** menes Elektronisk Krigføring hvor virkningsområdet er det elektromagnetiske spektrum.
- Fysisk domene:
 - Med virkningsområde **bakke** menes jordens landoverflate med tilhørende bebyggelse, andre frittstående elementer i kontakt med landoverflaten og landoverflatens undergrunn. Innsjøer, elver og andre vanelementer anses ikke å inngå i denne definisjonen.
 - Med virkningsområde **kystnær** menes vannoverflaten nært opp til kysten, inkludert fjorder.
 - Med virkningsområde **overflate** menes jordens vannoverflate, herunder innsjøer og vassdrag.
 - Med virkningsområde **under vann** menes den del av jordens vannbassenger som er under vannets overflate.
 - Med virkningsområde **luft** menes det område som dekker jordens land- og havoverflate i form av atmosfæren.
 - Med virkningsområde **verdensrom** menes området utenfor atmosfæren som omkranser jorden.

Sensorteknologier utvikles og anvendes på tvers av de forskjellige virkningsområdene. For eksempel utvikles ny radarteknologi som er anvendelig både for å detektere mål på bakken og sjømål. Til tross for mange felles behov og krav blir likevel sensorer stort sett utviklet for et bestemt virkningsområde. En årsak til dette er at sensorer med forskjellige virkeområder

plasseres ut i forskjellige miljøer, på forskjellige plattformer og med forskjellige brukere. Sensorer, som er rettet inn mot bakken, er sjelden utplassert på overflatefartøyer, brukere av sensorer for luft bemanner gjerne luftskyts og har ingen kontakt med sensorer for *bakke*, osv.

I et nettverksbasert forsvar vil dette være annerledes. En sensor som har to virkeområder skal utnyttes når situasjonsbildet for begge områdene genereres. Uavhengig av virkeområde(r) skal alle sensorer levere informasjon til et sammenhengende informasjonsnett. Dette åpner for at sensorenes virkeområde(r) blir mindre påvirket av utplassering og plattform.

2.1.2 Virkningsområde bakke

Virkningsområdet *bakke* peker seg ut som et satsingsområde fordi det på dette området er et skjevt forhold mellom sensorer og effektorer. I innledningen, avsnitt 1.1, beskrives både behov og planer for å satse på sensorer mot *bakke*.

Som det går fram av forrige avsnitt er det ikke virkningsområdet(ene) til en sensor som først og fremst påvirker kommunikasjonsløsningen. Det er likevel viktig å fokusere på sensorer for bare ett virkningsområde; bakken. Slike sensorer vil i praksis ikke benytte vann eller bakken som kommunikasjonsmedium. Dette er viktig ettersom rammebetingelsene for kommunikasjon er fundamentalt forskjellige i vann, bakke og i luft.

Ettersom sensorer for *bakke* i praksis heller ikke vil baseres på fenomener i vann, blir dette også en begrensning i forhold til hvilke sensorteknologier som er interessante i studien. De aktuelle sensorteknologiene er kategorisert i avsnitt 3.1.

2.1.3 Uavhengig utplassering

Sensorsystemer med *bakke* som virkningsområde kan i prinsippet utplasseres i og operere fra hvilket som helst domene. I det fysiske domenet kan sensoren plasseres på bakken, i luften, verdensrommet osv. For eksempel kan en sensor koples til Internett, i informasjonsdomenet, for å si noe om snøforhold eller trafikkforhold på bakken.

Ettersom hensikten med arbeidet er å belyse forskjellige typer autonome sensorer er det mest interessant å se på teknologier og eksempler der sensoren utplasseres uavhengig av en plattform eller eksisterende infrastruktur og organisasjon. For en sensor, som utplasseres på en fregatt, til Internett eller i et kjøretøy, er kommunikasjonsløsningen i stor grad bestemt av forhold som ikke direkte kan føres tilbake på sensoren. Slike sensorers funksjoner er gjerne knyttet til bestemte plattformavhengige oppgaver som igjen påvirker kommunikasjonsbehovet. Ofte er det også slik at sensorer som er knyttet til en plattform eller infrastruktur ikke opererer autonomt (se avsnitt 2.2).

På bakgrunn av dette er sensorteknologien og –systemene i studien fokusert på teknologier og systemer som egner seg for utplassering uavhengig av plattform og infrastruktur i det fysiske domenet.

2.2 Autonome sensorsystemer

Slik det går frem av bakgrunnen for arbeidet, se avsnitt 1.1, krever et nettverksbasert forsvar utvidet sensordekning. Dette kan løses gjennom:

- Store stasjonære sensorer med stor rekkevidde og oppløsning
- Mobile sensorsystemer (tilknyttet bemannede eller ubemannede plattformer)
- Mange sensorer som det er lett og billig å utplassere og operere

I tillegg til utvidet sensordekning krever også NBF-konseptet at flere funksjoner i informasjonsnettverket automatiseres. Det betyr at autonome sensorsystemer må utvikles. I utgangspunktet kan både store stasjonære, plattformavhengige mobile og mange billige sensorer utvikles som autonome systemer. I de etterfølgende avsnittene beskrives hva som kjennetegner et autonomt sensorsystem.

2.2.1 Autonom operasjon

Center for Applied Autonomous Sensor Systems (www.aass.oru.se) har en beskrivelse av autonome sensorsystemer som passer godt som innledning for dette avsnittet:

“Our research philosophy conceives of autonomous sensor systems as agents in a three-player game: the system, the environment, and the human user. The system must be autonomous in its interacting with the user and with the environment. To do this, the system must possess complex abilities, including the abilities to plan and schedule control and sensing actions; to acquire and integrate sensory information at different levels of abstraction; to adapt to an unknown or changing environment; to accept and deliver information in form that are adequate for humans; and to identify events that threaten the system's operation and react to these by reconfiguring its control and sensing routines”.

Sensorsystemer, som er autonome, skiller seg fra andre sensorsystemer ved en evne til å operere uten inngrep fra operatører eller andre systemer. Det finnes ingen innarbeidet definisjon på begrepet, og det har ingen hensikt å lage en definisjon for dette arbeidet. I stedet beskriver de neste avsnittene kjennetegn ved autonome sensorsystemer som er med på å sette rammene for det videre arbeidet.

Begreper som *selvorganiserende* (self organising), *smart* og *uten tilsyn* (unattended) brukes om hverandre med *autonom* i forbindelse med sensorsystemer. Uavhengig av orddrakten knytter arbeidene med slike systemer seg til et behov for å overlate oppgaver som tidligere ble utført av personer til automatiske systemer. For å få til dette må det autonome sensorsystemet styre etter et mål som er forankret i et operativt behov for innsamling og presentasjon av informasjon. Det operative behovet må gjenspeiles i selvstendig utførelse av en eller flere av følgende funksjoner i et autonomt sensorsystem:

- Starte og stoppe egne funksjoner
- Registrere fysiske fenomener, og definere og fjerne støy.
- Sette sammen og tolke registreringer av ulike fenomener og/eller fra flere posisjoner.
- Vurdere pålitelighet og kjenne begrensninger for egenutviklet informasjon.
- Utnytte informasjon om egen posisjon(er) og omgivelsene (vær og terreng).
- Styre bruk av egne ressurser, slik som kraftforsyning (for en eller flere noder).

- Håndtere tillegg eller reduksjon av funksjoner og ressurser i eget system.
- Overføre informasjon til ett eller flere eksterne systemer.
- Kunne ta i mot og utnytte tilsendte styringssignaler og/eller ny informasjon.
- Kunne foreta diagnose av feil i egne systemer.

Referanser til arbeider som beskriver egenskaper ved autonome sensorsystemer er (31), w3.antd.nist.gov og robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust.

2.2.2 Stort antall noder

En nyttig strategi for autonome sensorsystemer er å sette sammen flere (mange) likeverdige noder. Dette har blant annet følgende fordeler:

- Redusert sårbarhet (fysisk redundans)
- Mulighet for kontroll av egne resultater (logisk redundans)
- Gir mulighet for fordeling av ressursforbruk (kraftforbruk) mellom flere noder

På bakgrunn av dette omfatter en stor andel av eksemplene i de neste kapitlene sensorsystemer med mange noder som danner nettverk.

2.2.3 Størrelse og vekt

Generelt kan man si at autonome sensorsystemer bør bestå av små og lette enheter fordi dette:

- Gjør dem vanskeligere å oppdage.
- Gjør dem vanskeligere å ødelegge.
- Gjør dem enkle å deployere (i stort antall).
- Reduserer kostnader.

Dette gjenspeiles i eksemplene som er beskrevet i kapittel 3 og 4. Mye av forskningen og utviklingen av autonome sensorsystemer retter seg mot miniatyrisering.

2.2.4 Passive

I autonome sensorsystemer egner passive sensorteknologier (se 3.1.6) seg spesielt godt fordi:

- De har få bevegelige deler som gjør dem enklere å kamuflere og vanskeligere å oppdage.
- De bruker mindre energi enn aktive sensorer.

Til nå har de fleste autonome sensorsystemer basert seg på passive sensorteknologier. Aktive sensorer inkluderes i de nye konseptene ettersom de utvikles i retning av mer energieffektive og mindre størrelser.

2.2.5 Stasjonære

Det er enklere å lage autonome sensorsystemer med enheter som ikke har fremdriftssystem og er stasjonære fordi:

- Vekten og størrelsen øker om man inkluderer et fremdriftssystem
- Posisjonering av sensorene blir enklere (trenger ikke oppdateres)

Så langt er derfor de fleste autonome sensorsystemer basert på stasjonære enheter.

2.3 Utvalg

Grensene som er satt for kartlegging av sensorsystemer i denne rapporten er gitt av de overordnede kravene til sensorkomponenter i et norsk nettverksbasert forsvar. Fra avsnitt 2.1 er virkeområde og utplassering fastsatt. I avsnitt 2.2 er behovet for autonom operasjon relatert til en rekke egenskaper som karakteriserer en gruppe sensorsystemer.

3 BASIS SENSORTEKNOLOGIER

3.1 Innledning

Uavhengig av plattform, størrelse og styring vil ulike sensorsystemer for det fysiske domenet basere seg på de samme sensorteknologiene. Sensorer kan benyttes på mange områder innenfor militær virksomhet. Sensorteknologiene og systemene som er kartlagt i denne studien har som formål å registrere andres aktiviteter, som for eksempel forflytninger og bruk av ulike typer våpen.

Sensoranvendelser som faller utenfor fokus for denne rapporten er for eksempel:

- Sensorer som benyttes til registreringer i logistikkjede (lastesensorer, tellemaskiner, osv)
- Sensorer som benyttes i navigasjon (trykksensorer for høydemåling, dybdemåling osv)
- Sensorer som benyttes i styring av våpen (termisk sensor for styring av missil /rakett)
- Sensorer som direkte registrerer våpeneffekt (trykksensor i spissen av prosjektil)

For å kartlegge og kategorisere interessante sensorteknologier er det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i ulike transportfenomener. Grunnleggende transportfenomener gjør det mulig å lage sensorer som ikke krever direkte berøring eller kontakt med aktiviteten som man søker å avdekke og overvåke.

3.1.1 Partikler i luften

Molekyler og partikler i luften kan gi informasjon om utslipp av stoffer eller annen menneskelig aktivitet som det er interessant å overvåke. To interessante kategorier er:

- Biosensorer
- Kjemiske sensorer

3.1.2 Elektromagnetisk stråling og partikkelstråling

Elektromagnetisk stråling har ingen masse mens partikkelstråling består av atomkjerner og kjernepartikler som har en masse. Partikkelstråling kommer fra verdensrommet eller fra radioaktive stoffer (alfa- og betastråling). Elektromagnetisk stråling deles inn som vist i Tabell 3.1. Ettersom elektromagnetisk stråling og partikkelstråling beveger seg gjennom luften, er sensorer for slik stråling egnet for deteksjon av aktivitet.

Stråling	Gamma og røntgen	Ultrafiolett lys	Synlig lys	Infrarødt lys	Mikrobølger	Radio-bølger
Bølgelengde	0,0001 nm – 100 nm	100 nm – 400 nm	400 nm – 800 nm	800 nm - 1 mm	1 mm – 1 m	1 m – 100 km
Frekvens					GHz	MHz -
Annet	Ioniserende	Ioniserende opp til 150 nm			Radar-applikasjoner	Radar-applikasjoner

Tabell 3.1 *Elektromagnetisk stråling med ulike bølgelengder*

Basert på en oppdeling av bølgespekteret vil følgende kategorier dekke dette feltet:

- Sensorer for ioniserende stråling: Partikkelstråling og elektromagnetisk stråling opp til bølgelengder på 150 nm
- Elektrooptiske sensorer: UV, synlig lys og IR
- Radarsystemer: Bølgelengder fra noen millimeter til flere tusen kilometer

3.1.3 Elektromagnetisk felt

Magnetiske felt oppstår når elektriske ladninger beveger seg. Slike felt oppstår derfor naturlig og ved systemer laget av mennesker. Såkalte ferromagnetiske metaller påvirker magnetiske felt. Elektromagnetiske felt utbres gjennom luft og faste materialer og egner seg derfor til deteksjon.

- Elektromagnetiske sensorer: deteksjon av ferromagnetisk materiale og innretting av naturlige og menneskeskapte magnetfelt

3.1.4 Trykkbølger i luft

Mange aktiviteter knyttet til militære operasjoner lager lyd. Det er derfor mulig å benytte lydens forplantning til å avdekke aktivitet på avstand.

- Akustiske sensorer: Lydbølger i luften

3.1.5 Trykkendringer i bakken

Objekter i kontakt med bakken som forflytter seg eller vibrerer lager trykkendringer i bakken. Disse endringene vil forplante seg og kan derfor registreres på avstand.

- Seismiske sensorer: Trykkbølger i bakken
- Trykksensorer: Overføring av trykk

3.1.6 Aktive og passive sensorer

Innenfor flere av kategoriene over kan det lages aktive eller passive sensorer:

- Aktive sensorer sender ut energi som reflekteres når den treffer objekter. Deretter mottas og analyseres den reflekterte energien. En radar er en aktiv sensor, og UV-lys kan sendes ut for å få frem variasjoner i refleksjonene mellom bakken og kunstige materialer.
- Passive sensorer sender ikke ut energi, men mottar energi som på en eller annen måte kan indikere nærvær av menneskelig aktivitet.

3.2 Biosensorer

3.2.1 Beskrivelse

En biosensor er et deteksjonsinstrument hvor en biologisk reaksjon omformes til et elektronisk signal. Ulike bakterietyper eller mikroorganismer vil typisk kreve ulike deteksjonsmetoder (biosensortyper), noe som også innebærer ulik egnethet for automatisert deteksjon og teknisk realisering. En oversikt over biosensorer (deteksjonsmetoder) for identifikasjon av biologiske våpen er beskrevet i en egen FFI-rapport (10).

De biosensorer, som i denne sammenheng er mest interessante, benyttes til deteksjon av mikroorganismer og toksiner som spres via luften. Den største utfordringen for denne type biosensorer er å kunne kombinere god følsomhet og lave feilrater. Sensorene bør dessuten kunne operere automatisk og kunne gjenbrukes. Pr i dag er det relativt få produkter som tilfredsstiller disse kravene, sammen med krav til pålitelighet og brukervennlighet. Dette er imidlertid et område hvor det investeres betydelig både i forskning og utvikling med bakgrunn i den økte trussel som biologiske våpen representerer både i forbindelse med militære operasjoner og i forbindelse med terrorhandlinger. I det etterfølgende beskrives noen eksempler på produkter for å illustrere relevante anvendelser av biosensorer.

Et eksempel på en standard analyseenhet for feltbruk er *The RAPTOR™ Biowarfare Agent Identifier* fra Research International, Inc. (www.resrchintl.com). Dette er en portabel enhet (feltutgave: 6,45 kg) som ved hjelp av et flerkanals fluorometrisk system kan detektere noen på forhånd utvalgte biologiske substanser (blant annet *Bacillus antracis*, *Francisella tularensis*, *Yersinia pestis* og *Staphylococcal enterotoxin B*). Analysetiden pr prøve er på ca 5-10 min. Automatisk prøvetaking kan oppnås ved å koble enheten sammen med en såkalt *air-sampler* fra samme leverandør. Enheten har også et kommunikasjonsgrensesnitt for tilkobling til en BioLink™ RF telemetri dataradio.



Figur 3.1 Research Internationals RAPTOR™ (Kilde: www.resrchintl.com/raptor.html)

Et eksempel på en mer integrert, kompakt og autonom biologisk sensor er *Biological Aerosol Warning System* (BAWS) fra Lockheed Martin (www.lockheedmartin.com/manassas). BAWS er et robust og lett system, som relativt enkelt plasseres ut på ønskede steder, for å gi tidligvarsling av mulige biologiske angrep. Dette gjøres ved å detektere mengden av partikler i

luften. Flere sensorer kan plasseres ut og monitoreres fra en basestasjon, som på bakgrunn av dette gis mulighet til å iverksette varsling om beskyttende tiltak og videre oppfølging for å verifisere type og mengde. BAWS benytter en innebygd kommersiell UHF eller VHF telemetrolink.



Figur 3.2 Biological Aerosol Warning System (BAWS) (Kilde: www.lockheedmartin.com/manassas/library/NBCBAWSProductCard20030028.pdf)

Joint Biological Point Detection System (JBPDS) er eksempel på et stort, robust og mer komplett biosensorsystem for militær anvendelse i ulike stridsmiljøer. Systemet detekterer og identifiserer automatisk opp til ti ulike biologiske stridsmidler som spres igjennom luften i selv tynne konsentrasjoner, og vil gjennom dette automatisk kunne trigge ulike varslingsystemer. Systemet er tilpasset standard militære kommunikasjonssystemer (radio eller fiber) og produserer NBC-1 og NBC-4 rapporter i henhold til standard.

Ved bruk av laserbelysning og fluorescensanalyse evalueres kontinuerlig den atmosfæriske partikkelbakgrunn. Når en algoritme detekterer noe av interesse, igangsetter dette en luftsamlingsmodul. Luftprøven med mulig biologisk innhold tilsettes så væske som deretter testes mot en reaksjon tilsvarende en graviditetstest. Resultatet avleses automatisk og genererer alarm om nødvendig. Det legges for øvrig opp til at en oppfølgende analyse av prøven skal utføres ved et sertifisert laboratorium. Systemet leveres av Battelle (www.battelle.org).



Figur 3.3 *Joint Biological Point Detection System* (Kilde: www.braddocksmithgroup.com/pdf/CONTAMINATION_AVOIDANCE.pdf)

3.2.2 Forskning og industrialisering

Det er under utvikling en del mer eller mindre *expandable* biosensorer for taktisk bruk som for eksempel kan slippes ut fra fly, helikopter eller *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Disse kombinerer flere deteksjonsmetoder og kombineres gjerne med kjemiske sensorer. Et eksempel på dette er et system som er under utvikling av BAE Systems (www.ids.na.baesystems.com). Sensorene betegnes som *Battlespace Awareness Sondes* eller *Tactical DropSondes* (TDrop). Disse skal benyttes for å karakterisere det operative miljøet før utplassering av styrker, men de vil også kunne utgjøre et varslingsystem for styrker inne i et område. Sondene kan tenkes utstyrt med en rekke ulike sensorteknologier hvor biosensorer kan være en av disse. Andre sensorer kan være meteorologiske, kjemiske og akustiske. Andre muligheter er EK-sendere og GPS-utrustning. Sonden leverer deteksjonsdata både på vei ned og etter landing, via UHF eller VHF datalink.



Figur 3.4 *Tactical DropSondes (TDrop)*

(Kilde: www.ids.na.baesystems.com/MADS/Products/ChemSonde/chemsnd_1.htm)

I lys av den økende trussel fra biologiske våpen jobbes det intensivt med konsepter for fjerndeteksjon for tidligvarsling av biologiske stridsmidler. Et eksempel på dette er *Short Range Biological Standoff Detection System* (SR-BSDS) fra Fibertek, Inc (www.fibertek.com). Konseptet går ut på å benytte et LIDAR-system med både ultrafiolett og infrarødt område til å detektere og identifisere biologiske skyer på en avstand av flere kilometer. Det utvikles løsninger både for faste installasjoner og for mobil bruk.



Figur 3.5 *Short Range Biological Standoff Detection System (SR-BSDS)*
(Kilde: www.fibertek.com/bio.asp)

3.2.3 Sensorinformasjon

Informasjon fra en biosensor kan variere fra enkle alarmer til mer sammensatt informasjon som omfatter mengde, type, tid, posisjon osv. Sistnevnte for eksempel i form av standardiserte ABC-rapporter. Det vil uansett være snakk om relativt lange intervaller mellom rapporteringer, slik at den gjennomsnittlige informasjonsraten blir svært lav.

Typisk tar en identifikasjon fra 5-10 minutter, hvilket innebærer at forsinkelser i et tilhørende kommunikasjonssystem vil være neglisjerbar i forhold. Når en melding i form av for eksempel en ABC-rapport genereres og sendes, vil det være et absolutt krav om at meldingen ikke går tapt og at den kan verifiseres som feilfri på mottaker siden.

Typiske krav til rekkevidde/dekningsområde vil variere svært avhengig av anvendelsesområdet. De fleste taktiske systemer for feltanvendelser rapporterer over en en-til-en link til et sentralt punkt ved bruk av en VHF- eller UHF-forbindelse.

3.3 Kjemiske sensorer

3.3.1 Beskrivelse

Området kjemiske sensorer er svært stort og omfatter et stort spenn av produkter og anvendelsesområder. Det er hovedsaklig to kategorier sensorer innen dette feltet som er relevante i en militær sammenheng, nemlig *Chemical Warfare Agent (CWA)* detektorer og *Toxic Industrial Chemicals (TIC)* detektorer. På begge disse områdene finnes kommersielt tilgjengelige produkter som kan operere mer eller mindre autonomt. Det finnes også flere produkter som kombinerer CWA- og TIC-deteksjon.

Kjemiske sensorer inngår vanligvis som en del av den faste utrustningen på en rekke militære

plattformer. Et eksempel er nye fregatter, hvor det har vært gjennomført en evaluering av stasjonære kjemiske sensorer (11). Et annet eksempel er Hærens nye ABC søke- og påvisningspanservogner som er under anskaffelse, hvor primæroppgaven er ABC-deteksjon og -analyse. Kjemiske sensorer anvendes også av personell, og noen alternativer er blant annet evaluert av FFI i forbindelse med planlagte anskaffelser i FLO/LAND (12). Ikke overraskende viste dette at de fleste detektorene ikke fungerte tilfredsstillende under norske vinterforhold. I det etterfølgende beskrives noen eksempler på produkter for å illustrere relevante anvendelser av kjemiske sensorer.

En typisk representant og eksempel på personlige kjemiske sensorer er *Joint Chemical Agent Detector (JCAD)* fra BAE Systems (www.ids.na.baesystems.com) som blant annet benyttes av de amerikanske styrkene. Detektoren benytter en kombinasjon av SAW (*Surface Acoustic Wave*) og kjemisk polymerteknologi for å detektere kjemiske stridsmidler (CWA) slik som nerve-, blemme- og blodgasser, samt enkelte industrikjemikalier (TICs). Detektoren kan gjennom en egen holder gis ekstern strøm, opplading av batterier og tilkobling til et nettverk. I denne konfigurasjonen kan detektoren benyttes i kjøretøy eller i faste installasjoner. Kommunikasjon skjer gjennom en RS-232 port og benytter en protokoll tilpasset US Joint Technical Architecture (JTA) og Joint Warning and Reporting Network (JWARN). Denne sensoren er for øvrig blant de som er blitt evaluert for Forsvaret og en nærmere beskrivelse av dennes egenskaper med hensyn til praktisk bruk er å finne i evalueringsrapporten (12).



Figur 3.6 *JCAD - Joint Chemical Agent Detector*
 (Kilde: www.chembiosolutions.com/chemsentry/ChemSentry_v6.pdf)

Et eksempel på en tilsvarende detektor for mer autonome anvendelse er ACADA (GID-3) fra Smiths Detection (www.smithsdetection.com). ACADA er en av de mest avanserte kjemiske sensorer i bruk av US Armed Forces. Sensoren er svært robust og er testet ut i en rekke ulike klimaer og miljøer. Den kan enten plasseres ut autonomt eller installeres på kjøretøy. De fleste aktuelle kjemiske stridsmidler kan detekteres ved bruk av IMS (Ion Mobility Spectrometry)-teknologi. Sensoren benyttes i dag både montert på kjøretøy og autonomt i de pågående operasjoner i Midt-Østen. En videreutvikling av denne sensoren skjer i form av MCAD (*Manportable Chemical Agent Detector*). Selve sensorteknologien er den samme men alle data forbedres og antall stridsmidler som kan detekteres utvides. Sensoren er utstyrt med en kommunikasjonsport for sending av data i form av RS-232.



Figur 3.7 ACADA (GID-3) – Chemical Warfare Agent Detection System
(Kilde: [/63.89.158.169/products/Default.asp?ProductID=14](http://63.89.158.169/products/Default.asp?ProductID=14))

Går man lengre i retning av fullstедige autonome kjemiske sensorsystemer er *HAWK - Long Range Chemical Detector* fra Bruker Daltonics Inc. (www.bdal.com) et eksempel på sensorer som gir mulighet for fjerndeteksjon av kjemiske stridsmidler (CWA og TIC). Sensoren benytter fjernmåling basert på et infrarødt spektrometer med Fouriertransformasjon som gjør det mulig å identifisere gasskyer på noen kilometers avstand (<5 km). Sensoren er svært robust, enkel å plassere (28,7 kg) og dekker 360°. Sensoren genererer automatisk ABC-rapporter i henhold til ATP 45. Samme produktet markedsføres kommersielt under betegnelsen RAPID.



Figur 3.8 HAWK - Long Range Chemical Detector (Kilde: [/www.bdal.com/rapid.html](http://www.bdal.com/rapid.html))

3.3.2 Forskning og industrialisering

Forskning og utvikling innen deteksjon og analyse av kjemiske stoffer er et stort område med anvendelser innen en rekke ulike bransjer. Selv innen militære anvendelser og deteksjon av kjemiske stridsmidler er utvalget stort. Med hensyn til det området som er av mest interesse i denne rapporten er den forskning og produktutvikling som kan samles under begrepet *Miniaturized Chemical Sensors (MICS)*. Et av de største forskningsinitiativene går her i regi av DARPA under betegnelsen *Micro Gas Analyzers (MGA)*. Målsettingen er å utvikle analytiske konsepter og sensorteknologi som gjør det mulig å oppnå kontinuerlig og kvantitativ informasjon om kjemiske stoffers tilstedeværelse ved bruk av mikroelektromekaniske systemer (MEMS) (www.darpa.mil/mto/solicitations/baa03-40/s/section2.html). Dette gir sensorene svært

forbedrede muligheter for å kunne benyttes i et ikke-kontrollert miljø, miniatyriseres og produseres til lave kostnader, noe som åpner opp for en videre utvikling av distribuerte autonome sensorsystemer. Intelligente mikrobrikker (mikrocomputere) er allerede demonstrert som inneholder både deteksjon og diagnostisering (avansert signalbehandling) sammen med nødvendige kretser for kontroll, beregninger og kommunikasjon.

3.3.3 Sensorinformasjon

Informasjon fra denne typen basissensor er i utgangspunktet tilsvarende den fra biosensorer, det vil si fra enkle alarmer til mer utfyllende status informasjon. Kjemiske sensorer har kortere deteksjonstid og nye deteksjonsteknologier vil gjøre det mulig å kommunisere kontinuerlig status.

En deteksjon (alarm) fra en autonom sensor representere alene ikke tilstrekkelig pålitelig informasjon. Det er derfor først når informasjon fra flere sensorer kombineres, at det er mulig å oppnå pålitelig og anvendbar informasjon om type, konsentrasjon, utbredelse og retning som nødvendig for å iverksette riktige tiltak. Når hver enkelt sensor blir en autonom intelligent enhet, som kan kommunisere direkte med andre sensorer, kan også den tidligere sentraliserte sammenstilling og analyse av informasjon utføres distribuert mellom sensorene. Sensorene vil dermed ovenfor resten av enhetene i et NBF fremstå som en samlet intelligent ressurs, noe som er helt i tråd med tankene i NBF-konseptet (1). Dette medfører at informasjon til og fra en enkelt sensor blir langt mer sammensatt og vil omfatte langt mer enn data knyttet til den enkelte deteksjon, herunder også typisk posisjonsdata og meteorologiske data. Eksempler på slike konsepter er beskrevet nærmere i kapittel 4.

3.4 Sensorer for ioniserende stråling

Ioniserende stråling er en betegnelse som brukes om stråling som har nok energi til å ionisere et atom. Ved ionisering fjernes ett eller flere elektroner fra et atom eller molekyl. Ioniserende stråling omfatter dermed radioaktiv stråling (alfa-, beta- og gammastråling), røntgenstråling og kortbølget UV-stråling (opp til bølgelengder på 150 nm).

3.4.1 Beskrivelse

Sensorer for ioniserende stråling er utviklet for å dekke enten radioaktiv stråling, røntgenstråling eller kortbølget UV-stråling.

3.4.1.1 Radioaktiv stråling

For radioaktiv stråling er det de passive sensorene som er mest aktuelle i denne studien. Aktive sensorer som benytter radioaktiv stråling er for eksempel utviklet for lokalisering av landminer.

For de passive sensorene skilles det mellom:

- Sensor som måler en dose. En dose måles i *Gray* som er en enhet for innstrålt energi per kilo, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Gitt at typen stråling er kjent, kan dette omregnes til Sivert, Sv, som tar hensyn til ulik biologisk effekt av alfa-, beta- og gammastråling.

- Sensor som registrerer doserate, dose pr. tidsenhet (typisk målt i Gy/time)

Til bruk i felt finnes stasjonære, kjøretøymonterte, bærbare og personlige sensorer for radioaktiv stråling. Sensorer som benyttes for stasjonær utplassering og på kjøretøy er ofte de samme. En slik sensor består av en føler og en målerenhet der disse to er forbundet via kabel. En sensor kan registrere alfa-, beta- og/eller gammastråling i omgivelsene. Avhengig av plassering (over bakken) og følsomhet til sensorene kan strålekilder oppdages på kort eller langt hold. Sensoren kan også justere for bakgrunnsstråling. Grenseverdier for dose og doserate kan settes for å generere alarmer.

Typisk for produkter til stasjonær utplassering eller montering på kjøretøy er at de har:

- responstid på noen få sekunder,
- har en følsomhet som gjør at de dekker de fleste materialer/kilder,
- kan angi dose og doserate,
- detekterer radioaktive kilder på et par hundre meter til en kilometers avstand (Dette avhenger av strålingskilden og skjermingen),
- veier omtrent ett kilo, inkludert batterier som typisk gir 70-90 timers levetid
- kan tilknyttes en trådløs eller kabelbasert kommunikasjonsløsning.

Sensorer for radioaktiv stråling krever ikke daglig vedlikehold, kalibreres sjelden, tåler utendørs plassering og inneholder ikke materialer som er skadelige for miljøet.

Alfa- og betastråling har kort rekkevidde i luft. Det er derfor først og fremst aktuelt å måle alfa- og betastråling fra et spesifikt objekt eller fra luft, vann eller bakken. Prober for denne typen stråling er derfor vanligvis knyttet til bærbart utstyr og materiell for prøvetakning.

Personlig dosimeter for militær bruk er meget enkle å bruke og å avlese. De krever ingen energiforsyning og har ingen bevegelige deler. Energien i strålingen som mottas av dosimeteret fører til en reaksjon i sensoren som kan avleses. Grenseverdiene for radioaktiv stråling settes som mSv/år.



Figur 3.9 Eksempel på personlig dosimeter, RADOS RAD-60, med alarmfunksjon
(Kilde: www.geneq.com)

3.4.1.2 Røntgenstråling

Røntgenstråling blir blant annet utnyttet i medisinske undersøkelser, ved gjennomlysning av bagasje og store varelaste og utforskning av verdensrommet. Aktive sensorer med bruk av røntgenstråler i såkalt *X-ray backscatter technologies* (XBT) kan danne bilder av objekter satt sammen av materialer med forskjellig tetthet. For bruk til deteksjon og lokalisering av landminer er denne teknologien under utvikling. Bildet, som en slik sensor danner, må tolkes av en operatør og knyttes til sensorens plassering og bevegelse over bakken.

Søk i litteraturen har ikke avdekket sensorer for røntgenstråling som har rekkevidde, kraftforbruk og størrelse som gjør dem interessante i autonome militære sensorsystemer.

3.4.1.3 Kortbølget UV-stråling

Nedre grense for UV-stråling defineres her til 100 nm og stråling med bølgelengder opp til 150 nm inkluderes i ioniserende stråling. Over en del av spekteret har man derfor UV-stråling som er ioniserende. Det er ikke funnet beskrivelser av passive eller aktive sensorer for slik kortbølget UV-stråling (ioniserende stråling).

3.4.2 Forskning og industrialisering

Eksempler på produsenter av sensorer for ioniserende stråling:

- Sensorer for radioaktiv stråling: Bruker Daltronics (www.bruker-daltonik.de/)
- Sensorer for radioaktiv stråling: MGP Instruments GmbH (www.mgpi.com)
- Sensorer som lokaliserer miner ved bruk av røntgenstråling: YXLON International X-Ray GmbH (8)

Eksempler på forskning og utvikling av sensorer for ioniserende stråling:

- Autonome sensorer med lang driftstid for deteksjon og måling av radioaktiv stråling: Diverse forskere for Defense Threat Reduction Agency (DTRA) (3).
- Diverse pågående og utlyste programmer for forskning på og utvikling av mer effektive, dekkende, rimeligere sensorer for radioaktiv stråling og kjernefysiske sprengninger: National Nuclear Security Administration, Program Area - Defense Nuclear Nonproliferation, 2003 (www.nn.doe.gov).

Trender: sensorer for bredere spektrum, miniaturisering, økt driftstid (fra dager til måneder), økt rekkevidde og følsomhet og autonome – ubemannede og plassert i felt.

3.4.3 Sensorinformasjon

De fleste sensorer for ioniserende stråling gir måleverdier for innstrålt energimengde og/eller informasjon om bølgelengde eller strålingskategori. For anvendelse i autonome sensorsystemer er det i dag ingen sensorer innenfor denne kategorien som kan danne bilder. De aktive sensorsystemene er billeddannende, men krever overvåkning fra operatør eller er begrenset til kostbare utplasseringer i kontrollerte miljøer.

Sensorene for ioniserende stråling kan levere kontinuerlige målinger eller alarmer ved fastsatte

alarmgrenser. Ved plassering av slike sensorer på eller nært bakken vil rekkevidden for sensorene ligge fra et par hundre til noen tusen meter i radius. En enkelt sensor kan ikke bestemme posisjon eller eventuell bevegelsesretning for en kilde til ioniserende stråling. Ved kombinasjon av målinger fra flere sensorer er dette mulig.

Som en del av et autonomt sensorsystem vil sensorer for ioniserende stråling gjerne plasseres fast, men sensorteknologien tillater også at sensoren monteres på en mobil plattform. Analyser av måleresultater og beregning av konsekvenser knyttet til ioniserende stråling er relativt komplisert. Det er gjerne nødvendig å ha tilgang til meteorologiske data og et analyseverktøy for rask vurdering av en trussel.

3.5 Elektrooptiske sensorer

3.5.1 Beskrivelse

Med elektrooptiske sensorer menes her sensorer som er følsomme i det optiske området av det elektromagnetiske spektret fra ultrafiolett (UV) via synlig lys til infrarødt (IR). Tabell 3.2 viser en inndeling av spekteret med ulike typer elektrooptiske sensorer og noen typiske anvendelser.

	Bølge- lengde (μm)	Sensortyper	Anvendelser
UV	0,2-0,4	Radiometer	Flammedeteksjon, UV-stråling fra solen, is- og snødeteksjon, avbilding
Synlig lys	0,4-0,7	Dagslys foto- og videokamera. Foto- og videosensor med lysforsterker	Fotografi og film, natt og dag
Nær infrarød (NIR)	0,7-1,1	Radiometer. Aktiv sensor med NIR-lyskaster og sikte. Passiv sensor – kikkert. Aktiv sensor med laser radar.	Fremhever kontraster mellom materialer med ulik refleksjon av NIR-lys. To- og tredimensjonal avbilding og sporing NIR-lys blokkeres mindre av røyk og tåke enn synlig lys
Kortbølge IR (SWIR)	1,1-2,5	Radiometer. Passive sensorer, FLIR (forward-looking infrared). Termisk kamera. Aktiv sensor med laser radar.	To- og tredimensjonal avbilding og sporing. IR stråling blokkeres mindre av røyk og tåke enn NIR
Mellombølge IR (MWIR)	2,5-7,0	Passive sensorer, FLIR. Termisk kamera.	Avbilding og sporing. Fremhever kontraster mellom materialer og objekter med ulik termisk utstråling
Langbølge IR (LWIR)	7-15	Passive sensorer, FLIR. Termisk kamera.	Fremhever kontraster mellom materialer og objekter med ulik termisk utstråling

Tabell 3.2 Sensorområder ved elektrooptisk stråling

UV-stråling forekommer naturlig fra solen, og alle elementer med temperatur over det absolutte nullpunkt sender ut IR-stråling. Sensorer for UV-stråling kan benyttes til å registrere kontraster i is- og snødekte områder ettersom de fleste kunstige materialer, slik som maling, reflekterer UV-stråling mye dårligere enn is og snø.

3.5.2 Forskning og industrialisering

3.5.2.1 Industriprodukter


Et eksempel på en elektrooptisk sensor for intensitetsmåling av lys er radiometret i Figur 3.10. Dette radiometret dekker spekteret fra 400 nm til 3000 nm og er laget for fast utendørs

installasjon. Et annet eksempel er en trådløs modell for en avgrenset del av UV-båndet, beskrevet i Tabell 3.3



Figur 3.10 Eksempel på bredbånd radiometer, CUV3 fra Geneq, Montreal, Canada (Kilde: www.geneq.com)

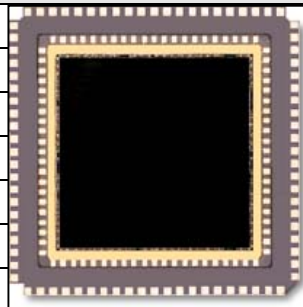
Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	SOL-SC2000
Anvendelse	Intensitetsmåling av UV lys
Virkeområde	235 nm to 470 nm
Nøyaktighet	1 nm, spektral sampling 0,5 nm
Følsomhet	<10 nW/cm ² to >50 W/cm ²
Datarate	250 kBaud
Datagrensesnitt	RS485
Strømforbruk	35 mA (5 V intern eller 12 V ekstern)
Størrelse	118 mm x 69 mm x 32 mm
Vekt	274 g
Bruksområde	-10 til 50 °C
Produsent	Solatell Limited, Croydon, England



Tabell 3.3 Sensor for intensitetsmåling av UV-lys fra for eksempel solen (Kilde: www.solatell.com/spectro/spectro_ss2k.html)

De sensorene som detekterer signalstyrken i flere millioner punkter er svært anvendelige til avbildende formål. Det utvikles for eksempel kamera, basert på halvlederteknologi, som fanger inn og lager bilder av UV-stråling. Slike kameraer kan blant annet benyttes til å oppdage og spore objekter med en UV-signatur. Ved utskytning vil for eksempel rakettflammen til en ballistisk rakett avgi UV-stråling. Tabell 3.4 gir et eksempel på en slik sensor.

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	Hawaii (FPA - focal plane array)
Anvendelse	Avbildning
Virkeområde	0,85 μm to 2,5 μm
Nøyaktighet	1024 x 1024 eller 2048 x 2048 HgCdTe/Al ₂ O ₃ array
Følsomhet	3.4-6.8 $\mu\text{V}/\text{e}^-$ (signal conversion gain)
Datarate	> 1 MHz
Datagrensesnitt	Analog spenning 0,4 – 1 V
Strømforbruk	< 1 mW
Størrelse	20 mm x 20 mm
Vekt	Noen få gram
Bruksområde	-10 til 50 °C
Produsent	Rockwell Scientific Company, California, USA



Tabell 3.4 Eksempel på avbildende sensor for UV-stråling (Kilde: www.rsc.rockwell.com/imaging/standard_products.html)

Et eksempel på en lysforsterker er ITT Industries nattkamera, AN/PVS-14, som kan brukes som nattkikkert, nattsikte eller montert på et kamera (se Figur 3.11). Sensoren danner bilder basert på synlig lys og nært infrarødt lys, veier omkring 400 gram inkludert batterier og tåler ekstreme temperaturer og andre miljøpåkjenninger.



Figur 3.11 Lysforsterker – nattkikkert AN/PVS-14 fra ITT Industries (Kilde: www.ittnv.com/itt)

Et relativt lite IR-kamera (termisk kamera) for bruk utendørs, PalmIR 250 digital, produseres av Raytheon Commercial Infrared, se Figur 3.12. Kameraet virker i 7 μm to 14 μm , veier 1,2 kg og kan benyttes til å følge mennesker på opptil 450 meters avstand. Typisk for denne typen produkter er at økt rekkevidde (flere kilometer) fører til økt størrelse og vekt (2-6 kg) og lavere batterilevetid (to-tre timers virketid).



Figur 3.12 Håndholdt IR-kamera for sporing av personell
(Kilde: www.raytheoninfrared.com)

Et utvalg av flere leverandører og produkter er listet her:

- Sensorer for overvåkning av UV-stråling fra solen: Biospherical Instruments Inc.
- UV-detektorer til industriell og militær bruk: Mat Science Tech co., Ltd (www.matst.com)
- Ortek Ltd kan levere et system for overvåkning med IR-detektor (ADIR) og bildeprosessor (LORROS) basert på FLIR-teknologi (forward-looking infrared).
- FLIR Systems Inc kan levere et bildeovervåkingssystem (LEO-II) basert på FLIR-teknologi og kvalitetskamera for overvåking under ekstremt lave lysforhold (Ultramedia-LE med 11mm zoomlinse).
- SDMS Security Products Ltd. kan levere små og rimelige PIR (passive infrarøde) bevegelsesdetektorer for skjult overvåkning.
- SDA Security Design Associates kan levere et overvåkningskamera (SDA LRS2000) med god oppløsning som kan operer med lite lys.
- Westcam kan levere overvåkningssensor utstyrt med flere teknologier, termisk, TV, FLIR, og laser måldetektor (Model 20TS og 20QS).
- Thales Optronics Systems kan levere et spekter av systemer som dekke de fleste områder innen elektrooptiske sensorer, infrarød varsling og sporing (ADAD), termiske bildesystemer (Stairs c, TIM), lasermålere og overvåkingssystemer (Albatross).
- Chemring Countermeasure Technology har et vidt produktspekter av IR-basert måleutstyr for bildeprosessering og avstandsbedømmelse.
- Kollsman inc har flere laserprodukter for avstandsmåling og målsøking i lite lys.
- Leica Geosystem AB kan levere observasjonssystemer og laserprodukter for avstandmåling (Leica SG12, Leica GLPS).
- Radamec Defence Systems kan levere sensorsystemer for landovervåking (1000L) med TV kamera for dagovervåkning og termisk sensorer for nattovervåkning.
- Southern Research Institute kan levere billedprocessorsystemer for videoovervåking og målfølgning.

- Roke Manor Research har utviklet et system for gjenkjenning av objekter med bruk av videokamera (IRIS). Systemet videreutvikles for bruk i robotsystemer (DROID).

3.5.2.2 Forskningsprosjekter

Det er stor aktivitet på forsknings- og utviklingssiden på området elektrooptiske sensorer. Felles for dagens sensorer er at de oftest opererer tilknyttet en bestemt plattform, eller som et eget frittstående system. De fremtidige systemene antas å operere uavhengig av plattform og utstyres med grensesnitt mot et felles overordnet kommunikasjons- og beslutningsnettverk. I prinsippet betyr dette standardisering på elektrisk og funksjonelt nivå, og at all informasjon fra sensorer vil sendes til nettverkssystemet på standardiserte formater. Sensoren kan være konfigurert for flere forskjellige typer kommunikasjonsformer med bruk av den informasjonsbæreren som er tilgjengelig til enhver tid.

JIGSAW er et program DARPA har satt i gang for å oppdage og identifisere skjulte militære mål. Objektene identifiseres med en LADAR (kortbølge høyintensitets laserradar) som koder de reflekterte signalene som funksjon av avstand til et tredimensjonalt bilde. På grunn av signalblokkering i laserbildet, vil sensoren benytte mange pulsrammer, gjerne fra flere forskjellige vinkler for å bygge opp et resulterende høyoppløselig bilde. Flere firma er involvert i prosjektet. Irvin Sensor Corp sammen med Northrop Grumman Corp er engasjert i utvikling av laser og sensor. Videre er Harris Corp og Massachusetts Institute of Technology's Lincoln Laboratory engasjert i utvikling av sensorer og Sarnoff Corp engasjert i utvikling av 3-D bilderegistrator. En prototyp av systemet ble demonstrert med identifisering av skjulte kjøretøyer fra helikopter, desember 2002. Systemet utvikles videre. Ønsket er å kunne presentere sanntids 3D videobilder av bevegelige skjulte mål, kunne målbestemme nøyaktig og kunne varsle og overvåke inntrengere i beskyttede områder. Ved å legg inn lasere med multiple bølgelengder, skal det være mulig å bygge opp aktive multispektrale bilder, noe som forbedrer kvaliteten på bildene og reduserer skygger.

Defence R&D Canada – Valcartier har i samarbeide med ProConcept Enr. under utvikling et øyestyrt infrarødt kamerasystem bestående av to kamera; ett vidvinkel og ett som kan zoome inn på et lite ønsket (øyestyrt) felt i bildet. Det er ikke beskrevet om systemet kan tilkoples et kommunikasjonssystem og fjernbetjenes.

MEDUSA er et program satt i gang av DARPA for å lage systemer for beskyttelse mot infrarøde og optisk ledede missiler. En kombinasjon av aktive og passive optiske systemer skal benyttes for å søke, spore, klassifisere, forstyrre og helst fjerne trusselen, dvs. missilet, på et så tidlig stadium som mulig.

Nitronex Corporation deltar i utvikling av et kamera for avbildning av UV-stråling. (nsr.mij.mrs.org/4/9/ og www.nitronex.com)

3.5.3 Sensorinformasjon

De elektrooptiske sensorene som kan leveres i dag utfører lokal prosessering av data før

informasjonen presenteres via leverandørspesifikke grensesnitt. I tillegg til generering av to- og tredimensjonale bilder kan denne sensorgruppen benyttes til å registrere strålingsintensitet, detektere bevegelse, måle temperaturer og identifisere ulike materialer på avstand.

For høyoppløselige bilder som skal overføres uten særlige forsinkelser (på få sekunder), er det behov for overføringskapasitet i størrelsesorden flere Mbit/s. Videobilder med ”brukbar” kvalitet trenger ca 500 kbit/s overføringskapasitet med gode komprimeringsalgoritmer. Høyere kvalitet, vanlig TV og litt bedre, trenger ca 2 Mbit/s. For kvalitetsvideo med stor detaljeringsgrad og for 3-D bilder med god oppløsning antas behovet å ligge i størrelsesorden noen 10-talls Mbit/s, avhengig av kodemekanismene som benyttes.

3.6 Radarsystemer

Radarsystemer er vanligvis ganske store fysiske enheter og ofte fast montert som en del av en større infrastruktur, for eksempel luftforsvarets kontroll og rapporteringssenter (CRC). Denne rapporten skal imidlertid fokusere på små portable enheter, og når det gjelder radarsystemer blir således utvalget av aktuelle sensorer mer begrenset.

3.6.1 Beskrivelse

En radar består av en sender og en mottaker. Radarsensoren er aktiv, noe som gjør at den er elektromagnetisk synlig, til forskjell fra et radiometer som kun detekterer radiosignaler fra andre kilder. Radaren sender ut elektromagnetiske bølger på gitte frekvenser. Når radarsignalet treffer et mål med forskjellig tetthet (dielektromagnetisk konstant) sammenliknet med omgivelsene (som ofte er luft), så reflekteres en liten del av signalet som så blir detektert av en følsom radiomottaker. Radaren kan bestemme avstand til målet og målets projiserte hastighet. Retningen bestemmes ved at målet følges over tid.

Radarmottakeren er oftest plassert på samme sted som senderen (monostatisk), men den kan også plasseres et helt annet sted (bistatisk), noe som bidrar til at mål med lite radartverrsnitt sett rett forfra lettere kan detekteres, siden radartverrsnittet sett fra en annen vinkel ofte kan være mye større. For at en bistatisk radar skal fungere, så må mottakeren være tidssynkronisert med senderen. Det betyr at mottakeren kan være passiv, men den er like fullt avhengig av en aktiv sender for å fungere som radar.

Radarsystemene opererer i dag vanligvis i frekvensområdet fra 500 MHz til 10 GHz. De lave frekvensene brukes gjerne til oversjøisk overvåking mens høyere frekvenser brukes til flyovervåking. For å kunne se små detaljer med en radar er det nødvendig å operere med en stor båndbredde. En radar med båndbredde på 1 GHz har en oppløsning på omtrent 15 cm, mens en båndbredde på 100 MHz gir en oppløsning på omtrent 1,5 meter.

Radiospekteret sies å gå fra 30 kHz opp til 300 GHz. Radarsystemene er ofte kategorisert ut fra frekvensbånd slik som vist i Tabell 3.5.

Frekvensbånd	Frekvens
ULF	0-3 kHz
VLF	3-30 kHz
LF	30-300 kHz
MF	300-3000 kHz
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-3000 MHz
SHF	3-30 GHz
EHF	30-300 GHz

Frekvensbånd	Frekvens
L	1.0 - 2.6 GHz
S	2.6 - 3.95 GHz
C	3.95 - 5.8 GHz
J	5.85 - 8.2 GHz
X	8.2 - 12.4 GHz
Ku	12.4 - 18 GHz
K	18 - 26.5 GHz
Ka	26.5 - 40 GHz
O	33 - 50 GHz
U	40 - 60 GHz
V	50 - 75 GHz
E	60 - 90 GHz
W	75 - 110 GHz

Tabell 3.5 Inndeling av frekvensbånd for radarer.

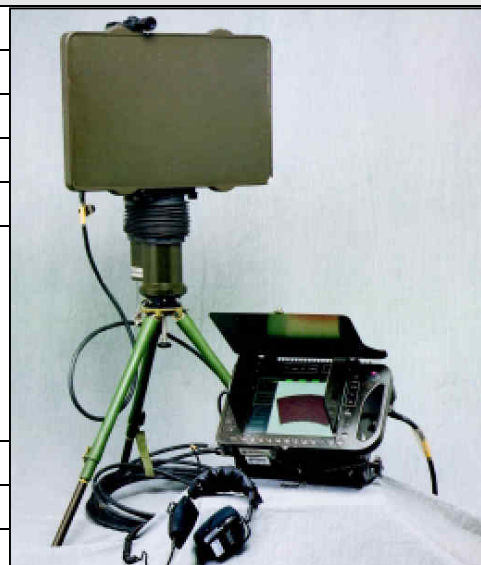
3.6.2 Forskning og industrialisering

De etterfølgende avsnittene gir eksempler på produkter basert på ulike radarteknologier.

3.6.2.1 Advanced Radar Surveillance System (ARSS)

Dette er en relativt kompakt og bærbar radarenhet med liten sendereffekt som brukes til å innhente informasjon ute i terrenget. Sensoren har primær oppgave som personell- og kjøretøy-detektor. Sensoren kan settes til å overvåke en hvilken som helst sektor opptil 359 grader og ut til 30 km. Sensoren kan operere mer enn 14 timer ved hjelp av 24V batteridrift. Mer informasjon om radaren er gitt i Tabell 3.6.

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	ARSS Radar
Anvendelse	Deteksjon av mål
Frekvensområde	X-band (10 GHz)
Sendereffekt	5 W
Skannehastighet	1, 2 og 4 pr min
Virkeområde	15 km – 30 km avhengig av måltype Personell: 7-10 km Små kjøretøy: 15 km Store kjøretøy: 30 km Helikopter: 15 km
Antall samtidige mål	60 mål
Nøyaktighet	50 m avstand (± 25 m)
Datagrensesnitt	RS422
Strømforbruk	+14 timer på batteridrift (24 V)
Størrelse	30 cm x 25 cm x 20 cm
Vekt	Ca. 20 kg
Produsent	Telephonics Inc., USA

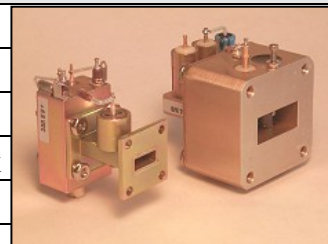


Tabell 3.6 Eksempel på bærbar radar, ARSS (Kilde: www.telephonics.com/products/arss.shtml)

3.6.2.2 Gunnplexer transeivers

En enkel gunnplexer kan brukes som en FM dopplerradar. Når varactordioden moduleres, så gir det reflekterte mottatte signalet en audio eller video mellomfrekvenssignal med en frekvens proporsjonal til hastigheten på objektet som detekteres. Et produktseksempel med spesifikasjoner er gitt i Tabell 3.7. Anvendelser kan være avstandsmåling, hastighetsmåling, retningsmåling eller deteksjon og alarm ved inntrengning. Sensoren aktiviseres ved å sette spenning på dioden. Det er ikke behov for noen ”oppvarming” av sensoren, men den trenger noen millisekund til å stabilisere seg. Den kan således slås av og på etter behov og kan for eksempel koples i serie med en annen sensor. Den egner seg også til å sende og motta informasjon og kan kommunisere noen kilometer i fri sikt.

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	MA87XXX - Gunnplexer transceiver
Anvendelse	Deteksjon av mål
Frekvensområde	X-band (10 GHz) og K-band (24 GHz)
Tuning	Minimum 60 MHz (elektronisk), ± 50 MHz mekanisk
Sendereffekt	10-100 mW
Virkeområde	Fri sikt
Modulasjon	FM, audio og video
Datagrensesnitt	Analog spenning
Strømforbruk	150-650 mA (10 V)
Størrelse	22 mm x 50 mm x 42 mm
Vekt	100 g
Produsent	Ar ² Communications, Connecticut, USA



Tabell 3.7 Eksempel på gunnplexer transceiver (Kilde: www.advancedreceiver.com/page31.html)

3.6.2.3 Direct Digital Synthesizers

Direct Digital Synthesizers (DDS) er en spennende teknologi bygd opp med digitale frekvenssyntetisatormoduler med båndbredde fra noen MHz og foreløpig opp til 500 MHz. Frekvensen på en DDS er digitalt styrbar, eksempelvis med 48 bit, og den kan styres i meget små frekvensstepp, eksempelvis 1 μ Hz. En DDS kan generere sinus, cosinus og AC/MOS/TTL utganger samtidig, noe som gjør den svært anvendbar som signalenhet i radarer og kommunikasjonssystemer. Et eksempel på en DDS er gitt i Tabell 3.8

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	DDS8p Direct Digital Synthesizer
Anvendelse	Radar og kommunikasjonssystemer
Frekvensområde	100 Hz til 120 MHz
Tuning	48 bit frekvens opp til 120 MHz, stepp 1 μ Hz,
Signalnivå	+7dBm
Datagrensesnitt	Digital bus, RS232
Strømforbruk	1 A (5 V), 100 mA (-5 V)
Størrelse	130 mm x 91 mm x 25 mm
Vekt	100 g
Produsent	Novatech Instruments Inc, Seattle, USA



Tabell 3.8 Eksempel på DDS (Kilde: www.novatech-instr.com)

3.6.3 Sensorinformasjon

En radar kan gi informasjon i form av et radarbilde som kan bestå av noen millioner

informasjonsbit, eller den kan varsle med bare noen få bit. Hva som oppfattes som tilstrekkelig informasjon avhenger mye i hvert enkelt tilfelle. I tidligere tider besto et radarbilde av analog bildeinformasjon på en videomonitor nesten uten noen form for justering av innhold.

I dag er en radar omtrent ubrukelig uten stor datakraft med spesialtilpasset styrings- og signalbehandlingsprogramvare. Informasjonen fra radaren kan filtreres og tilpasses (såkalt adaptiv signalbehandling) slik at tilstedeværelsen og posisjon på spesifikke mål kan formidles uten bruk av mye båndbredde. De tider hvor en radaroperatør var avhengig av en videomonitor er definitivt forbi.

Hvis signalnivået er godt, så kan radarinformasjon om enkeltmål (hastighet, posisjon og retning) formidles i løpet av typisk ett sekund. Hvis det er flere mål som befinner seg i umiddelbar nærhet av hverandre, så må man vanligvis integrere over noen sekunder for å kunne skille målene fra hverandre. Tidligere var begrensningen på hvor mange mål man kunne detektere sterkt avhengig av tilgjengelig regnekraft, mens regnekraften i dag oppfattes som "tilstrekkelig" i de fleste tilfelle. Imidlertid tar det nødvendigvis noe tid å samle inn data med en radar (man må følge målet en viss tid) før man kan rapportere om hva målet kan være. Selve signalbehandlingstiden er i dag normalt ikke begrensende for operativ bruk av en radar. En vanlig "PC" inneholder nok regnekraft til sanntids signalbehandling til mange formål.

3.7 Elektromagnetiske sensorer

Dette er elektromagnetiske sensorer som eksempelvis kan brukes i kompass, magnetometri, posisjonsdeteksjon, deteksjon av kjøretøy, GPS navigasjon og telematikk.

3.7.1 Beskrivelse

Magnetfluks er upåvirket av de fleste metaller med unntak av jern og nikkel. Disse to metallene – og legeringer med disse – blir omtalt som ferromagnetiske metaller, fordi de påvirker magnetisk fluks.

Den internasjonale enheten til magnetisk feltstyrke er ampere pr meter (A/m). Denne er avledet av grunnleggende fysiske konstanter og kan ikke bli redusert ytterligere. I litteraturen er magnetisk feltstyrke også omtalt som Oersteds (Oe), mens magnetisk flukstetthet er oppgitt i Gauss eller Tesla. Sammenhengen mellom enhetene i vakuum er vist i Tabell 3.9.

Enhet	Konvertering
1 A/m	0,012566 Oe
1 Oe	79.578 A/m
1 Gauss	1 Oe
1 Gauss	10^{-4} Tesla
1 Tesla	10^4 Gauss
1 Tesla	795780 A/m
1 A/m	1,257 μ Tesla

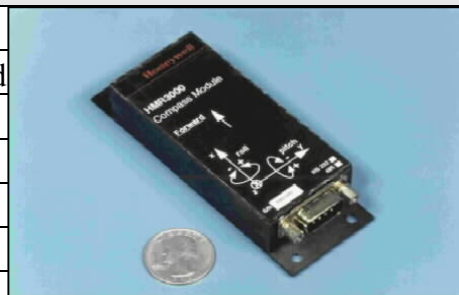
Tabell 3.9 Konvertering mellom enheter for måling av magnetisk feltstyrke. (Forutsetter vakuum med magnetisk permeabilitet $\mu_0=4 \pi 10^{-7}$ Vs/Am.)

Til sammenlikning er jordens magnetfelt omtrent 0,5 Gauss ($0,5 \cdot 10^{-4}$ Tesla).
 Sensormodulene som er omtalt i denne seksjonen er bygd opp av små integrerte magnetiske sensorkomponenter. Felles for disse er at de er små (under 10 millimeter), har en følsomhet på typisk 1 mV/V/Gauss (0,1 mGauss eller 10^{-8} Tesla) og virkeområde på typisk ± 6 Gauss ($\pm 6 \cdot 10^{-4}$ Tesla).

3.7.1.1 Magnetisk kompass


De fleste navigasjonssystemene i dag bruker et elektronisk kompass for å bestemme retning og i mange tilfelle også helling og roll. Ved å bruke jordens magnetfelt og elektroniske kompass kan man bestemme retning med en nøyaktighet på typisk 1 grad og avvik fra en retning bedre enn 0,1 grad. De elektroniske kompassene har ingen bevegelige deler. De er lite følsomme for sjokk og vibrasjon, de kan kompensere for uønskede magnetfelt, og de kan enkelt koples direkte til elektroniske navigasjonssystemer. Magnetiske kompassmoduler leveres enten som kretskort eller innbygget i en liten boks. Tabell 3.10 og Tabell 3.11 gir eksempler på to magnetiske kompass.

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	HMR3000
Nøyaktighet	0,5 grader med oppløsning på 0,1 grad
Virkeområde	± 1 Gauss (10^{-4} Tesla)
Følsomhet	1 mGauss (10^{-7} Tesla)
Oppdateringsfrekvens	Maks. 20 ganger pr sekund
Datagrensesnitt	RS232/485
Strømforbruk	35 mA (5-15 V)
Størrelse	30 mm x 20 mm x 75 mm
Vekt	22 g (kretskort)
Bruksområde	-20 til 70 °C
Produsent	Honeywell



Tabell 3.10 Magnetisk 3-akse kompass (Kilde: www.ssec.honeywell.com/magnetic/)

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	HMR3100
Nøyaktighet	5 grader med oppløsning på 0,5 grader
Virkeområde	± 2 Gauss ($2 \cdot 10^{-4}$ Tesla)
Følsomhet	6 mGauss ($6 \cdot 10^{-7}$ Tesla)
Oppdateringsfrekvens	Maks. 20 ganger pr sekund
Datagrensesnitt	USART 9600.N.8.1
Strømforbruk	0,2 mA (2,6-5 V)
Størrelse	19 mm x 19 mm x 45 mm
Vekt	<10 g (kretskort)
Bruksområde	0 til 70 °C
Produsent	Honeywell

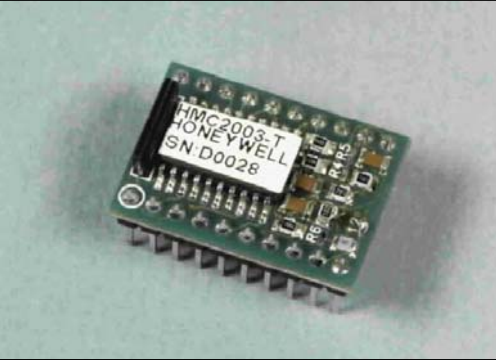


Tabell 3.11 Magnetisk 2-akse kompass (Kilde: www.ssec.honeywell.com/magnetic/)

3.7.1.2 Magnetometer

Digitale magnetometer måler styrke og retning på et magnetfelt og kommuniserer retningskomponentene (x, y og z avhengig av antall akser) via datagrensesnitt. Tekstreklamen fra produsentene sier at de koster lite, har høy følsomhet, rask respons, liten størrelse og meget pålitelige. Magnetometer leveres enten som kretskort eller innbygget i en liten boks. Tabell 3.12 og Tabell 3.13 gir eksempler på noen kompakte følsomme og moderne magnetometermoduler som kan bygges inn i forskjellig type utstyr. Et eksempel på anvendelse av magnetometer er AWAIRS-prosjektet, se avsnitt 0, der man har gjort forsøk med Honeywells HMC1001-magnetometer som har en følsomhet på 27 μ Gauss ($< 27 \cdot 10^{-10}$ Tesla).

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	HMC2003
Virkeområde	± 2 Gauss ($2 \cdot 10^{-4}$ Tesla)
Nøyaktighet	<0,5 % av måleområde
Følsomhet	<40 μ Gauss ($< 40 \cdot 10^{-10}$ Tesla)
Oppdateringsfrekvens	1000 ganger pr sekund
Datagrensesnitt	Analog spenning 0,5 til 4,5 Volt
Strømforbruk	20 mA (6-15 V)
Størrelse	18 mm x 12 mm x 26 mm
Vekt	<10 g (kretskort)
Bruksområde	-40 til 85 °C
Produsent	Honeywell



Tabell 3.12 Tre-akse magnetometer basert på Honeywell HMC1001 og HMC1002 (Kilde: www.ssec.honeywell.com/magnetic/)

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	EZMPL - Chip Magneto Resistor
Virkeområde	1600-16000 A/m (2-20 mTesla)
Nøyaktighet	1,5 Ω og 10 k Ω , 30 % toleranse
Følsomhet	Ikke opplyst
Oppdateringsfrekvens	Ikke opplyst
Datagrensesnitt	Analog spenning (variable motstander)
Strømforbruk	N/A (5 V)
Størrelse	2,5 mm x 1,5 mm x 3,5 mm
Vekt	16-25 mg
Bruksområde	-30 til 70 °C
Produsent	Panasonic

Tabell 3.13 Magnetometer som øker elektrisk motstand ved sterkere magnetfelt
(Kilde: http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlg/qARA0000_E.html)

3.7.1.3 Lineær magnetisk posisjonssensor

Magnetiske feltstyrkesensorer kan detektere lineær eller vinkelposisjon av en magnet. Disse er lite følsomme for støt og vibrasjoner samtidig som avstand mellom sensor og magnet kan varieres. De er også kjent for å være pålitelige og nøyaktige fordi de ikke har noen bevegelige deler. Man kan for eksempel kople en magnetisk sensor til en dør. Sensoren kan gi alarm hvis døren beveges i en eller annen retning slik at magnetfeltet forandres. Tabell 3.14 gir et eksempel på en slik sensor.

Parameter	Spesifikasjon
Typebetegnelse	HMR4001
Virkeområde	0-10 mm eller 0-90 grader
Nøyaktighet	0,2 mm eller 0,1 grad
Følsomhet	80 Gauss (8 mTesla)
Oppdateringsfrekvens	250 eller 350 ganger pr sekund
Datagrensesnitt	Analog spenning eller pulsebreddemodulasjon (PWM)
Strømforbruk	7 mA (6-20 V)
Størrelse	15 mm x 12 mm x 48 mm
Vekt	5 g (kretskort)
Bruksområde	-40 til 85 °C
Produsent	Honeywell



Tabell 3.14 Lineær magnetisk posisjonssensor Honeywell HMR4001
(Kilde: www.ssec.honeywell.com/magnetic)

3.7.2 Forskning og industrialisering

Eksempler på produsenter av elektromagnetiske sensorer:

- Honeywell har et bredt spekter av industrialiserte magnetiske sensormoduler, deriblant magnetfeltsensorer, magnetometer, elektroniske kompasser, lineære og polare posisjonssensorer, deteksjon av kjøretøy og GPS navigasjon.
www.ssec.honeywell.com/magnetic
- PNI Corporation lager magneto-induktive sensorer som finnes i biler, båter, computere, radarsystemer, klokker og kompasser. Komponentene sies å være små i størrelse, forbruke lav effekt og være rimelige. www.precisionnav.com/legacy/compass-sensors-radar-sensors-breath-sensors-and-oem-modules/sensors-modules.html
- Bill 2 (RBS56) antitankvåpen produseres av Saab Bofors Dynamics i Sverige. Missilet benytter optiske og magnetiske sensorer for å treffe målet på rett vis. Den magnetiske sensoren registrerer den magnetiske signaturen og gjenkjenner tårnet eller punktet på målet som det er mest effektivt å treffe.

Eksempler på forskning og utvikling av elektromagnetiske sensorer:

- 2003 Army Research Laboratory Postdoctoral Fellowship Program inneholder flere oppgaver knyttet til bruk av magnetiske sensorer i militære sensorsystemer. En oppgave omfatter studie av materialer som kan benyttes i elektromagnetiske sensorer. Materialene må ha egenskaper som gjør sensorene egnet til å detektere personell med våpen og kjøretøy på en slagmark. En annen oppgave omfatter slike sensorers rekkevidde og mulighet for å grave ned slike sensorer i bakken. <http://www.asee.org/arl/sensors.cfm>
- Forskere ved Berkeley universitetet i USA har på oppdrag fra DARPA lagt grunnlaget for utvikling av trådløse sensorer. Crossbow (www.xbow.com) har tilpasset og utviklet teknologien til bruk med magnetiske sensorer som for eksempel kan identifisere kjøretøy som passerer på en vei.
- Quantum Magnetics, Inc (www.qm.com) arbeider på en rekke forsknings og utviklingsprosjektet knyttet til magnetiske sensorer (21).

3.7.3 Sensorinformasjon

Magnetiske sensorer registrerer absolutt magnetfeltstyrke eller en variasjon i denne ved at man måler induert strøm gjennom en motstand. Ved å plassere motstandene i to eller tre plan får man mulighet til å retningsbestemme magnetfeltet i flere akser.

Sensorene i seg selv kan være svært små (noen millimeter), men en sensormodul blir gjerne en del større siden den må koples sammen med en enhet som kan videreformidle informasjonen.

3.8 Akustiske sensorer

3.8.1 Beskrivelse

Akustiske sensornoder registrerer oftest lyden med flere mikrofoner. Lyden digitaliseres og

prosesserer i noden før videresending til en sentral analyseenhet. De fleste akustiske sensorsystemer registrerer lydinformasjon fra mange noder. En sentral analyseenhet setter sammen og viderebehandler all lydinformasjon til et felles resultat, etter for eksempel kompensasjon for meteorologiske forhold. Det resulterende akustiske bildet kan lokalisere og identifisere objekter som lager lyd. Dette kan være personell, kjøretøy, helikoptre, fly og avfyrte våpen.

Akustiske sensorer er små og passive og følgelig vanskelig å lokalisere og ødelegge. De fungerer også om målet er tåkelagt, røyklagt eller under kamuflasje. Støykilder kan filtreres bort.

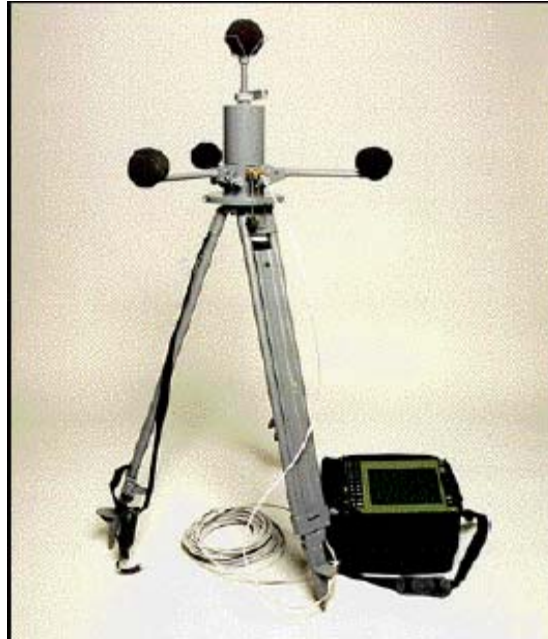
3.8.2 Forskning og industrialisering

3.8.2.1 Akustiske sensorprodukter

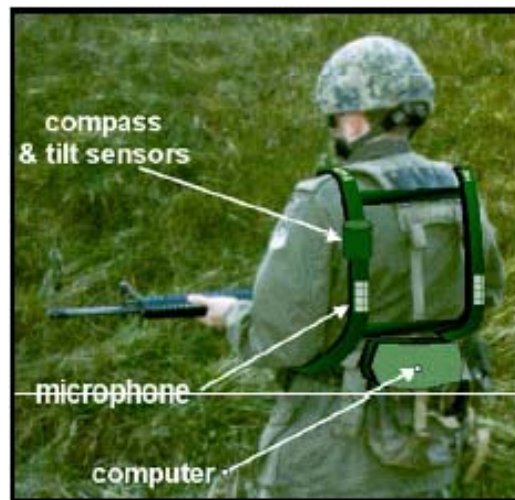
Gjennomgang av åpne kilder viser at flere produsenter kan levere akustiske sensorer som kan operere i nettverk. Noen eksempler er presentert her:

Roke Manor Research og BA Systems kan levere et system av akustiske sensorer som kan lokalisere avfyringssted og identifisere våpentype som er avfyrt ut fra lydbildet. Systemet har fått navnet HALO og består av en rekke utplasserte sensorer som er knyttet opp mot en sentral prosessorenhet med egnet kommunikasjonsutstyr. Systemet er beskrevet nærmere i kapittel 4.3.

Defence R&D Canada – Valcartier kan levere et system, kalt Guardian, for detektering og lokalisering av snikskytttere. Sensoren består av et lite stativ med fire mikrofoner og tilhørende prosessorer for å filtrere ut ønsket lydbilde. Lyder opp til 100 kHz kan fanges opp og viderebehandles. Flere sensorer kan operere i nett som kan dekke flere kvadratkilometer. Kommunikasjon skjer med RF-signaler. Sensorene kan også plasseres i kjøretøy og utstyres da med algoritmer for demping av støy fra eget kjøretøy. Videre finnes det bærbare modeller for patruljeringsoppdrag.



Figur 3.13 Guardian mikrofonsonode for detektering av snikskytter (Kilde: Brosjyre - Detecting Outdoor Acoustics Sources, Defence R&D Canada – Valcartier)



Figur 3.14 Bærbar Guardian mikrofonsonode (Kilde: Brosjyre - Detecting Outdoor Acoustics Sources, Defence R&D Canada – Valcartier)

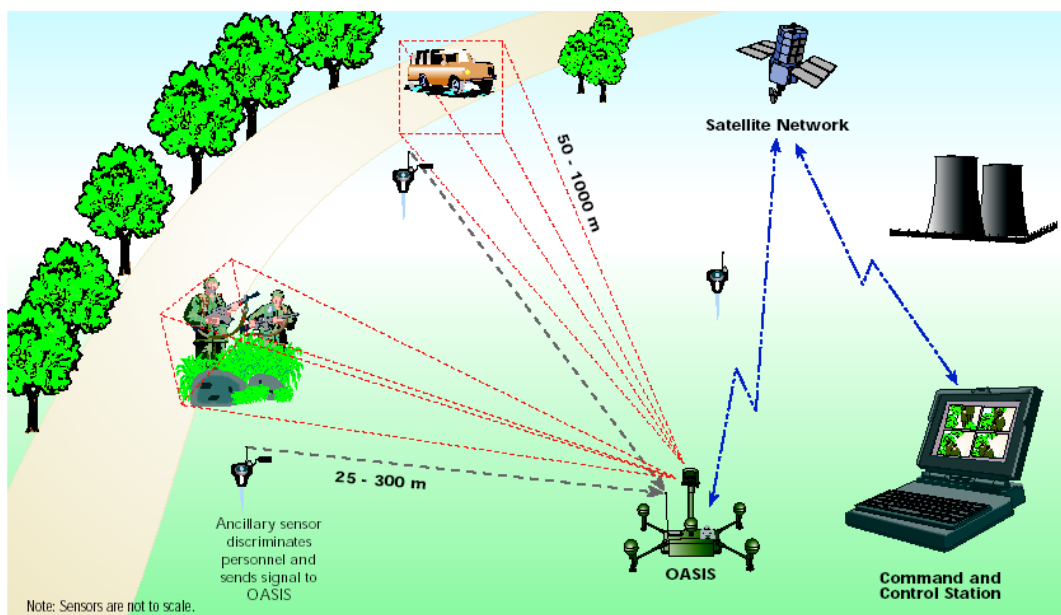
L-3 Communication Systems East har utviklet et sensorsystem, REMBASS-II (7), med en kombinasjon av akustiske og seismiske sensorer som kan kompletteres med infrarøde og magnetiske sensorer. Kommunikasjon skjer med taktiske radiosystemer (for eksempel Nova Engineerings RT-1175/C).



Figur 3.15 Komponenter i REMBASS-II systemet (Kilde: www.army-technology.com/contractors/navigation/1-3/index.html)

Textron Systems kan levere et system de kaller OASIS (*Optical Acoustic Satcom Integrated Sensor*). OASIS er utstyrt med en rekke mikrofoner og kamera. Systemenheten veier 11 kg, kan legges sammen og er enkel å transportere. Enheten kan ta imot og bearbeide informasjon fra flere mindre sensorer MIS (Miniature Intrusion Sensor på 6 kg). MIS kan baseres på en av flere basisteknologier; akustisk, seismisk, infrarød eller piezoelektrisk sensor. Kommunikasjonen mellom OASIS og MIS skjer med RF. Fra OASIS til brukeren benyttes satellitt hvor informasjonene kan vises i sanntid video eller bilder (fra OASIS) og grafisk i kart med oversikt over personell og kjøretøy.

Systemet er utviklet for Australia Defence Organisation som en del av Ninox Terrain Commander og skal leveres innen utgangen av 2003. Planlagt anvendelse er områdeovervåkning om dagen og natten, under alle værforhold. Hensikten er å avdekke eventuell inntrenging av personell og kjøretøy.



Figur 3.16 Prinsippskisse for OASIS system med utplasserte minisensorer
(Kilde: Brosjyre - Terrain Commander, www.systems.textron.com)

Sanders (Lockheed-Martin) kan levere en liten akustisk sensor for detektering av skudd fra snikskyttere. Systemet kan monteres frittstående, som en bærbar enhet eller for montering i kjøretøy.

Lorrain Electronics Surveillance (GSM Engine) er et system for lydovervåking over lengre avstander. GSM-nettet benyttes som transmisjonsmedium mellom sensor og kontrollsted. Sensoren kan programmeres til aktivitet (overvåking og forbindelsesoppsett) etter bestemte valgfrie kriterier, som for eksempel tale.

3.8.2.2 Forskning på akustiske sensorer

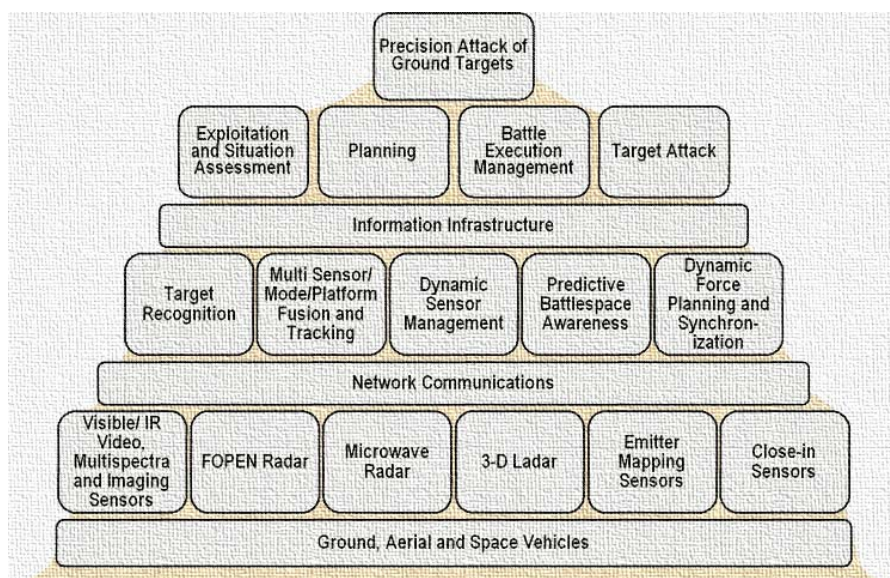
I 1997 påviste en gruppe forskere ved Virginia Polytechnic Institute i en rapport (28) at forskjellige kjøretøy har hvert sitt definerte lydbilde. Med akustiske sensorer og signalprosessering, kan kjøretøyets identitet og hastighet bestemmes med stor sannsynlighet.

En FFI-rapport fra 1998 (29) beskriver et system for innhenting av akustiske signaler fra kjøretøy ved hjelp av flere utplasserte sensorer. Hver sensor behandler signalet og sender resultatet til en sentralenhet som kan sette sammen informasjonen til et dynamisk situasjonsbilde. Rapporten beskriver utvikling av en prototyp av systemet. Prosjektet er også beskrevet i en rapport med samme forfattere og Siemens AS (*DPS Based Acoustic Ground Sensor System*) (30).

DARPA har flere program i gang som involverer bruk av akustiske sensorer. Det nyetablerte

Information Exploitation Office (IXO) skal sørge for at virksomheten er koordinert innen forsvarsgrenene i USA, med NATO og industri.

IXO har definert tre logiske kommunikasjonsnett: nett for å finne og identifisere mål, nett for å spore/følge mål og nett for å angripe og passivisere mål. Akustiske sensorer sammen med andre sensorer vil bli viktige komponenter i de to første nettene. IXO har utviklet en modell og identifisert byggeklosser som vist i Figur 3.17. Industrien er invitert til å komme med ideer for å løse oppgaver i hver byggekloss.



Figur 3.17 Selvstendige områder hvor IXO ønsker at industrien skal bidra
(Kilde: [dtsn.darpa.mil/ixo/wishner/summary.html](https://www.dtsn.darpa.mil/ixo/wishner/summary.html))

DARPA har gjennom IXO tildelt industrien flere oppdrag som blant annet er knyttet til akustiske sensorer. Et eksempel er kontrakten med SenTech som under DARPA's micro-IUGS BAA-prosjekt (se www.sentech-acoustic.com/page3.htm) utvikler en liten akustisk-seismisk sensor med prosessorer og kommunikasjonsutstyr (3x7cm) for plassering i et granathylster. Utfordringen her er først og fremst miniaturisering. Et annet prosjekt er beskrevet i 0.

3.8.3 Sensorinformasjon

Kommunikasjonsbehovet fra akustiske sensorer til kontrollsentral er relativt lite. Selv med informasjon fra 3-5 mikrofoner pr. node som samples/kodes og sendes, vil ikke belastningen på kommunikasjonskanalen være særlig stor (< 50 kbit/s) sammenlignet med for eksempel overføring av IR- eller videoinformasjon (>500 kbit/s avhengig av ønsket kvalitet). I tillegg kommer kontrollsignaler. Autonome sensorer som opererer sammen i grupper, vil kunne ha behov for større båndbredder seg imellom enn på forbindelsen til kontrollstasjonen, som mottar ferdigprosessert informasjon.

3.9 Seismiske sensorer

3.9.1 Beskrivelse

Seismiske sensorer omfatter geofoner, akselerometre og seismometre. Disse tre teknikkene benyttes til registrering av mekaniske bevegelser i sensorens omkringliggende medium. Kategorien seismiske sensorer er grundig beskrevet i en tidligere FFI-rapport (4).

Sensorer innenfor denne kategorien kan brukes til å registrere bevegelse i bakken eller i objekter. For eksempel kan ulike typer seismiske sensorer registrere klatring i gjerder, banking i murer eller kjøretøy som beveger seg på bakken.

Sensorene kan registrere bevegelse i en, to eller tre akser. Signalbehandling og egenskaper ved mediet/objektet som sensoren er plassert i/på avgjør rekkevidden for sensoren og hvilken type informasjon som kan leses ut av registreringene. Dette stiller igjen krav til systematisk utplassering og forankring. I de fleste tilfeller kreves manuell utplassering.

For et homogent medium i fast grunn/stivt objekt er rekkevidden størst og forvrengningen lavest. Mur, stive stålkonstruksjoner og frossen bakke gir derfor god rekkevidde, mens trevegger og sandgrunn gir dårligere rekkevidde. Typisk kan en marksensor (nedgravd geofon) varsle fottrinn på noen få meters hold mens kjøretøy kan registreres på et par hundre meters avstand. Det er ingen forhold ved teknologien til seismiske sensorer som krever utplassering i et kontrollert miljø. Sensorene egner seg til skjult plassering, under bakken, på undersiden av broer, ved foten av gjerdestolper osv. Begrensningen ligger først og fremst i mulighetene for manuell utplassering.

3.9.2 Forskning og industrialisering

Forskning og utvikling av seismiske sensorsystemer for militære anvendelser fokuserer på

- Signalbehandling – analyse av målingene fra seismiske sensorer
- Nettverk av sensorer – samordning og overordnet analyse

Målet er å få økt informasjon fra sensorene. Man ønsker mest mulig informasjon om aktiviteten som sensorene registrerer. Informasjon om posisjon, retning, antall, type osv kan det være mulig å hente ut med en viss presisjon. For eksempel er det gjennomført forsøk som viser at det kan bli mulig å skille mellom flere kjøretøyklasser basert på ulike teknikker for bølgeanalyse (6). Etablerte marksensorsystemer diskriminerer kun mellom personell, hjulkjøretøy og beltetkjøretøy. Eksempler på slike systemer er gitt i (15).

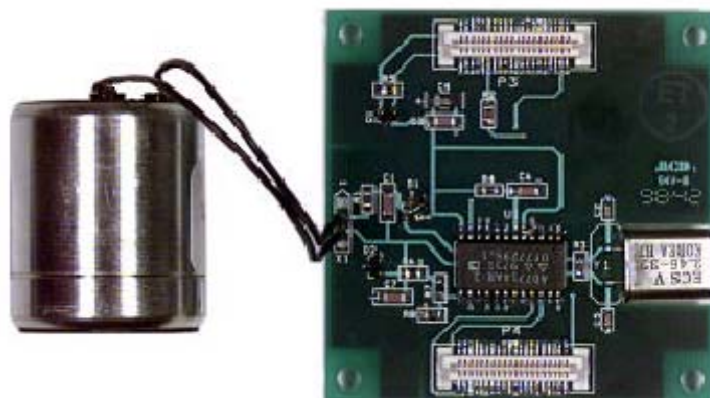
Samordning av flere seismiske sensorer kan også bidra til økt informasjonsinnhold knyttet til den registrerte aktiviteten. Nettverkskonseptene som det forskes på kombinerer forskjellige sensorteknologier og baserer seg gjerne på et stort antall noder. Et godt eksempel er AWAIRS-konseptet fra *Rockwell Scientific Company* (RSC). Konseptet inkluderer i dag seismiske sensorer (se Figur 3.18) i et nettverk som samler sensorenes målinger og benytter dette i analyse

av påvist aktivitet. Dette konseptet er videre beskrevet i 4.5.

Det synes som om det innenfor militære programmer utføres lite forskning på mulighetene for å utvide dekningsområdet til en enkel sensor.

Ulike former for seismiske sensorer finner stadig nye anvendelsesområder i industri og infrastruktur. Disse utvikles i retning av små (under 100 gram) trådløse sensorer for tilstandsovervåkning av roterende maskineri (pumper, dieselmotorer, hjullager osv) og bærende konstruksjoner (broer, master, tårn osv). Et eksempel er Oceana Sensor (Piezoelectric Accelerometers).

Nettverk for overvåkning av jordskjelv og atomsprengninger – seismiske nettverk – er også en sivil aktivitet og myndighetsoppgave som kan utnyttes ved bruk av seismiske sensorer i militær sammenheng. I 2003 tilbyr DOE/NNSA midler til forskning og utvikling av seismiske sensorer. Sensorene skal inngå i et nettverk av seismiske stasjoner som skal kunne avdekke bakkebaserte atomsprengninger.



Figur 3.18 Geofon Mark IV med følsomhet på $1 \mu\text{g}$ benyttet i sensornoden AWAIRS I (Kilde: (17))

3.9.3 Sensorinformasjon

Sensorer som eksisterer som produkter og som er blitt anskaffet av militære enheter kan gi følgende informasjon:

- Alarm: Seismiske sensorer gir alarm ved en gitt terskel (energiterkel)
- Kategori: Seismiske sensorer som utfører mer avansert signalanalyse kan også skille mellom tre-fire mulige kilder til alarm (ukjent, personell, rullende- eller beltekjøretøy)
- Posisjon: En grov lokalisering er mulig ut fra kjennskap til sensorens posisjon og utstrekning eller rekkevidde

Forskning og utvikling fører til:

- Høyere oppløsning på klassifisering, det vil si mulighet for å skille mellom flere målkategorier (for eksempel forskjellige typer rullende kjøretøy)
- Analyse av informasjon hentet inn fra flere sensorteknologier i samme node (for

eksempel seismisk og akustisk sensor) gir sikrere alarmer og mulighet for mer nøyaktig identifikasjon av mål

- Samordning av informasjon fra seismiske sensorer i flere noder kan gi sikrere deteksjon, identifikasjon og mulighet for sporing av mål (retning, hastighet, osv).

3.10 Trykksensorer

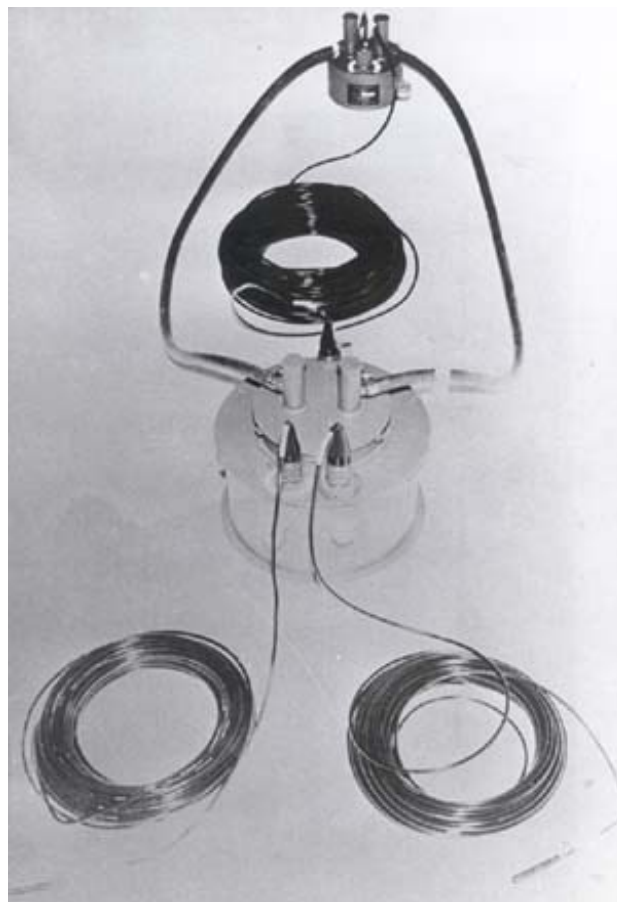
3.10.1 Beskrivelse

Trykksensorer har meget bred anvendelse i industri og transport. Behov for målinger utført på mange punkter i ekstreme miljøer (høye temperaturer, korrosive kjemikalier, stort trykk, osv) har ført til miniatyriserte, robuste og trådløse sensorer. Studien har ikke avdekket militær bruk av slike moderne trykksensorer for deteksjon eller sporing av en motparts aktiviteter.

Trykksensorer som benyttes i en slik militæropertativ sammenheng er basert på nedgravde slanger eller ledninger som registrerer trykkendringer som følge av påtrykt vekt på overflaten.

Denne typen trykksensorer har mye til felles med seismiske sensorer (se 3.9). Både trykksensorer og seismiske sensorer ble tatt i bruk i Vietnam-krigen i 1968 (9).

Trykksensorutstyret som ble brukt den gangen er avbildet i Figur 3.19.



Figur 3.19 Trykksensor brukt av den amerikanske hæren i Vietnam-krigen i 1968(Kilde: (9)).

I åpent tilgjengelige kilder beskrives dagens trykksensorer med samme sensorteknologi, men

med nye løsninger for strømforsyning, signalbehandling og overføring av sensorsignaler. Figur 3.20 viser en løsning som tilbys fra GPS Perimeter systems Ltd.



Figur 3.20 Kommersielt tilgjengelige trykksensor for perimeterovervåkning
(Kilde: www.gpsperimeter.co.uk)

Denne typen trykksensor graves ned i bakken slik at trykkmålinger fra to eller flere slanger kan sammenlignes. Trykkdifferansen som registreres blir analysert for å avgjøre om en grenseverdi er brutt og om registreringene korresponderer med kjente mønstre for aktivitet på overflaten. Ventiler knyttet til slangene sørger for automatisk kalibrering ved ytre endringer slik som at en bil står parkert over slangene. Det er også lagt inn en justeringsmekanisme slik at systemet kan tilpasse seg støy som skyldes naturlige endringer i omgivelsene, for eksempel regn, snø, vind osv.

Rekkevidden til sensorene innenfor denne gruppen er begrenset til sensorens fysiske størrelse. Typisk vil hver slange være opptil 100 meter. Flere sensorer kan settes sammen for å dekke et hvilket som helst område, gitt at topografien tillater at sensoren graves ned i et belte uten kraftig vegetasjon.

3.10.2 Forskning og industrialisering

Eksempler på produkter er:

- 8 meter slange for registrering av biler og personer på vei og sti: Miltronics Manufacturing Inc. (www.miltronics.com)
- Selvkalibrerende slangesystem for nedgraving: GPS Perimeter systems Ltd (www.gpsperimeter.co.uk)
- Opptil 30 meter lang trykkslange for registrering av biler på vei og sti: Galloway Technology, wireless technology systems (www.galtech.co.uk)

Forskning og utvikling på området er ikke funnet omtalt.

3.10.3 Sensorinformasjon

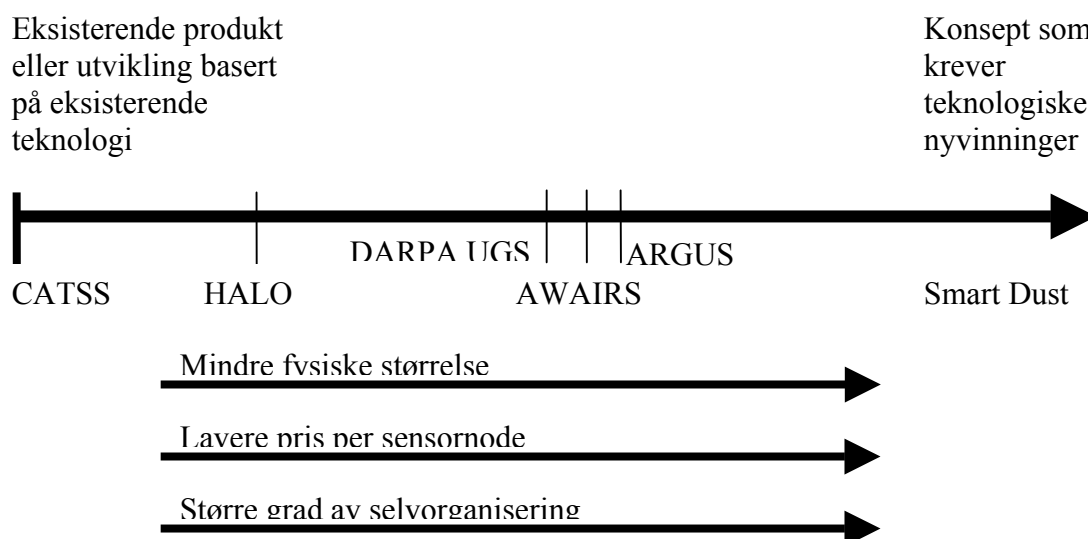
Trykksensorene som er omtalt kan gi relativt mye informasjon om bakkebasert aktivitet i et avgrenset område. Avhengig av sensorenes utplassering (nedgraving) og signalbehandling kan

disse trykksensorene detektere, kategorisere og posisjonere aktivitet på bakken rett over en sensor. Sensorenes responstid er kort og den faste utplasseringen av sensorene gjør det mulig å utføre detaljert kalibrering av hver sensor og tilpasning av alarmer.

4 KONSEPTER OG TRENDER INNEN AUTONOME SENSORSYSTEMER

4.1 Innledning

Innenfor sensorteknologi med militær anvendelse er det en klar trend i retning av miniatyrisering, redusert pris per enhet og innføring av trådløse intelligente løsninger. Dette går frem av prosjektene og produktene som er kartlagt og beskrevet i kapittel 3. Sett i forhold til en utviklingsakse (tidsakse), kan ulike sensorkonsepter plasseres utover med økende grad av miniatyrisering, lavere pris og større selvstendighet. Dette bildet, som er illustrert i Figur 4.1, er benyttet for valg av konsepter i dette kapitlet. To ytterligheter er valgt ut og fire eksempler som ligger på akse mellom disse. Konseptene er beskrevet for å belyse trendene og kravene som stilles til en fremtidsrettet kommunikasjonsløsning for autonome sensorsystemer.



Figur 4.1 Trender for autonome sensorsystemer.

4.2 CATSS

CATSS (Chemical, Atomic and Toxic compound Surveillance System) er betegnelsen på et konsept som er tatt frem ved FFIBM. Konseptet går ut på å kombinere ulike sensorer/detektorer i en og samme enhet og derved kombinere flere slike sensorstasjoner i et nettverk til å utgjøre et fleksibelt ABC-varslingsystem. For å demonstrere konseptet er det satt sammen en enkelt sensorstasjon som baserer seg på kommersielt tilgjengelig detektorer. Datakapasitet i hver enkelt sensorstasjon gjør det mulig å se på sentralisert vs. desentralisert og distribuert informasjonsbehandling og analyse med hensyn til generering av alarmer, ABC-meldinger og prediksjon av utbredelsesretning og -areal. Denne informasjonen vil også kunne rapporteres inn i de relevante K2I-systemer og om ønskelig visualiseres der. Ved bruk av trådløs

kommunikasjon vil et system enkelt kunne anvendes både strategisk og taktisk.



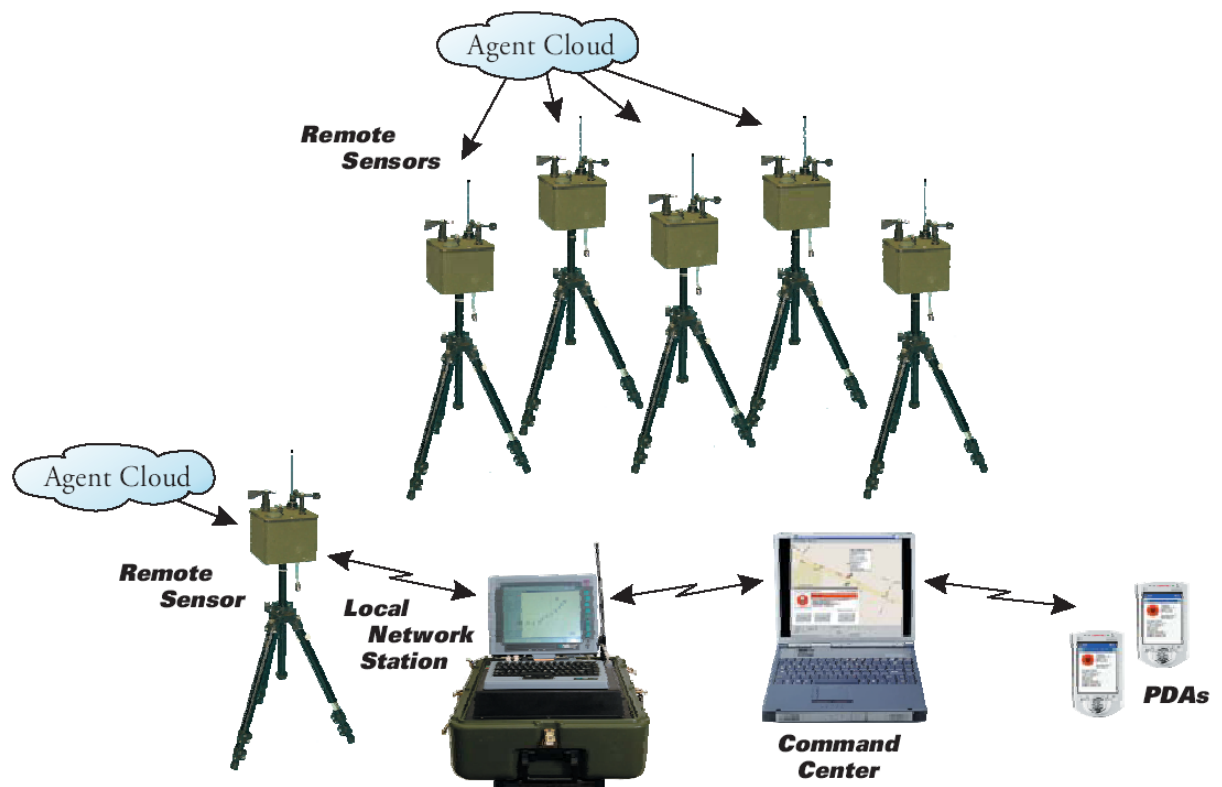
Figur 4.2 CATSS konsept demonstrator (Kilde: FFIBM)

En rekke andre miljøer jobber også med tilsvarende konsepter og noen tilsvarende produkter er allerede på markedet. Et eksempel på et industrialisert amerikansk system er *Chemical, Biological Radiological Early Warning Systems (CBREWS)* fra Lockheed Martin (www.lockheedmartin.com/manassas). CBREWS er en videreutvikling og kombinasjon av BAWS (3.2) og *Multipurpose Integrated Chemical Agent Alarm (MICAD)*. Hensikten er å kunne tilby et komplett system for tidligvarsling av masseødeleggelsesvåpen gjennom kombinasjon av flere typer detektorer i samme sensorstasjon og automatisk kunne knytte flere sammen og overføre informasjon trådløst.



Figur 4.3 *Chemical, Biological Radiological Early Warning System (CBREWS)* (Kilde: www.lockheedmartin.com/manassas/library/NBCFullSpectrumForceProtectionProductCard20020047.pdf)

MetroGuard™ (Lockheed Martin) er en tilsvarende sivil utgave av CBREWS som blant annet gjør det mulig å følge status ved bruk av PDAer.



Figur 4.4 *MetroGuard™* er en sivil versjon av CBREWS systemet (Kilde: [/www.lockheedmartin.com/manassas/library/MetroGuardProductCard20020045.pdf](http://www.lockheedmartin.com/manassas/library/MetroGuardProductCard20020045.pdf))

Smiths Detection tilbyr et tilsvarende konsept om ikke like integrert. Ved å kombinere eksisterende sensorer i et trådløst nettverk koblet mot en PC kan noe av de samme systemegenskapene oppnås.

Roke Manor Research opplyser at også de utvikler et liknende ABC-sensornettverk (22) i samarbeid med Ministry of Defence i Storbritannia.

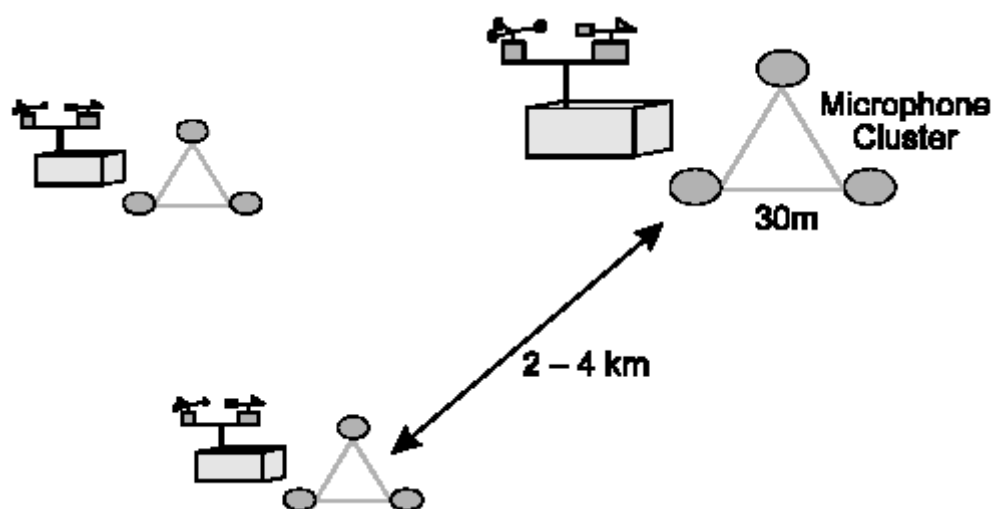
Utfordringen blir å videreutvikle CATSS konseptet i forhold til konkrete operative anvendelser, herunder blant annet følgende;

- Hvilke sensorer må inngå
- Avstander mellom sensorstasjoner
- Hvor mange sensorstasjoner i ett system
- Sentralisert eller desentralisert analyse
- Mobilitet
- Fysiske krav

På bakgrunn av dette vil det så være mulig å stille krav til kommunikasjon i form av rekkevidder, båndbredde, nettverkstopologier, ruting, sikkerhet og så videre, slik at ulike kommunikasjonskonsepter kan vurderes og eventuelt utvikles og testes.

4.3 Hostile Artillery Locator (HALO)

HALO ble utviklet for å posisjonsbestemme snikskyttere under krigen i Bosnia på midten av 1990-årene. Det komplette systemet består av akustiske sensorer (mikrofoner), prosessorer, kommunikasjonsutstyr og en sentral kontrollstasjon med kartbasert display. Sensorsystemet opererer i grupper med tre mikrofoner forbundet med kabler plassert ca 30 m fra hverandre (i en trekant innen et leirområde). Hver mikrofongruppe er utstyrt med en meteorologisk sensor og en lokal prosessor som analyserer lyden og korrigerer for vind/temperatur. En sensorgruppe koples sammen med opp til syv andre sensorgrupper, som kan ligge 2-4 km fra hverandre, se Figur 4.5.



Figur 4.5 Typisk HALO-oppsett
(Kilde: Royal School of Artillery, basic science & technology section)

I et kontrollsenter settes lydbildet fra alle sensorgruppene sammen til et resulterende bilde, som presenterer avfyringsstedene grafisk i et kartdisplay ved å vise retningslinjer fra hver mikrofongruppe mot avfyringssted. Nøyaktigheten er gitt av antall og plasseringsbredden av sensorgruppene. Systemet kan påvise avfyringssteder i avstander opp til 25 km.

Systemet har vært i allmenn bruk i British Army fra 2002. Ny versjon med større funksjonalitet (MK2) utvikles for tiden av Roke Manor Research og BAE Systems i samarbeid. Målet er et system med flere anvendelsesområder og kunder på verdensmarkedet. MK2 har prosessorer i hver sensor som sammen med andre sensorer i systemet analyserer lydbildet og bestemmer, i tillegg til nøyaktig avfyringssted, også våpentyper. Samtidig skal alle kjøretøy og flygende objekter (som avgir lyd) detekteres med type og bevegelsestrasé. Lydbildet fra egne kjøretøy kan identifiseres og/eller dempes. Siden sensorene vanligvis må plasseres i kontrollerte områder, egner systemet seg godt til fredsbevarende oppgaver.

4.3.1 Kommunikasjon i sensorsystemet

HALO er et produkt som videreutvikles og beskrivelsen her er derfor først og fremst gyldig for det systemet som har vært i bruk og som tilbys for salg nå.

Kommunikasjon innenfor hver sensorgruppe skjer via kabel til den lokale analyseenheten og

meteorologiske målestasjonen. Den lokale analyseenheten beregner retning og tidspunkt for registrering av lydbølgene i hver mikrofon og justerer for de meteorologiske forholdene. Det er den prosesserte informasjonen som viderefremmes til kontrollsentret.

Kommunikasjon fra hver sensorgruppe og inn til kontrollsentret kan i prinsippet utføres på hvilken som helst bærer. I informasjonen fra *Roke Manor Research* (23) (24) nevnes en moderne feltradio, standard VHF-radio og kabel som mulige alternativer. HALO har vært i bruk med en feltradio som har gitt sikre krypterte linjer og mulighet for dynamisk omkonfigurering fra kontrollsentret. Oppå denne bæreren har man valgt å etablere et sikkert IP-nett (23). Det er få opplysninger tilgjengelig om dette IP-nettet. Roke Manor Research opplyser at de har utviklet dette IP-baserte taktiske nettverket for sensorsystemer (25) og en eksisterende feltradio. Nettverket støtter IP-basert multihopp (through-node routing), autentisering, kryptering og komprimering (header compression). Både sensordata og styringssignaler for sensorene overføres på nettet der hver node implementerer trafikkstyring med støtte for flere trafikklasser.

4.4 ARGUS

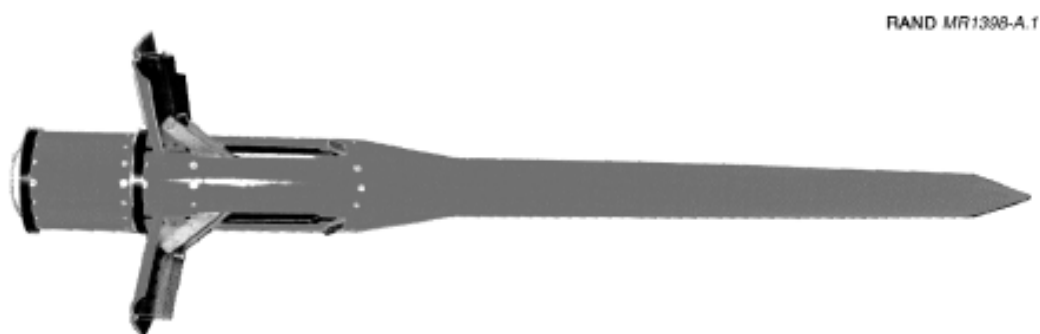
Advanced Remote Ground Unattended Sensor (ARGUS) er beskrevet i boken *Aerospace Operations Against Elusive Ground Targets* fra 2001 (5). Utviklingsprogrammet ARGUS drives i regi av US Air Force (USAF) som ferdigstiller ”Initial Operational Concept” i 2003. USAF har tildelt flere industrioppdrag innenfor dette programmet. Textron Systems Corporation (www.systems.textron.com) og Northrop Grumman har fått et to år langt oppdrag for utvikling og demonstrasjon av konseptet (13).

I ARGUS-prosjektet har man valgt å benytte akustiske og seismiske sensorer fordi dette vurderes som moden sensorteknologi med gode egenskaper (se 3.8 og 3.9) i forhold til de scenariene USAF fokuserer på. For øvrig er prosjektet innrettet mot utvikling av et ”unattended ground sensor”-system (UGS) hvor flere sensorteknologier vil inngå i senere versjoner av systemet. USAF ser på UGS som en komplettering av sensorparken (inkluderer flybårne og satelliter), der det store fortrinnet for denne typen system er at de kan operere passivt.

Kombinasjonen av akustiske og seismiske sensorer gir det totale systemet en rekke fordeler:

- Akustiske sensorer har bedre rekkevidde enn seismiske og kan gi mer informasjon om målet
- Seismiske sensorer er mindre følsomme for omkringliggende faktorer slik som vær og vind.
- Akustiske og seismiske sensorer registrerer ikke det samme fenomenet (se 3.1.4 og 3.1.5) og kan derfor bekrefte hverandre. Dette gjør det vanskeligere for en motpart å narre sensorsystemet.

En sensor fra ARGUS-programmet vil bli utplassert fra luften. Hver node vil inneholde; mikrofoner, geofoner, en GPS, et kommunikasjonssystem, en klokke, en analyseenhet, strømforsyning, utforming og herdet overflate for inntregning i bakken, kamuflasje og diverse finesser for å kunne lastes i og slippes fra et luftfartøy. Figur 4.6 viser et bilde av en sensornode fra ARGUS-programmet.



Photograph courtesy of 2nd Lt Shelly Reade, USAF, ARGUS Program Manager.

Figur 4.6 Avbildning av marksensor utviklet av USAF under ARGUS-prosjektet (Kilde: (5))

Kravene til sensorsystemet er at det skal kunne lokalisere og følge mål som er innenfor 500 meter fra en sensornode. På 200 meters hold skal systemet kunne gjenkjenne mål (hvilken kategori målet tilhører, typisk personell, beltekjøretøy og hjulgående kjøretøy). Dette er skal-krav mens målet er rekkevidder på henholdsvis 2000 og 500 meter. Det er meningen at sensornodene i systemet skal kunne oppdateres med mønstre for gjenkjenning av nye mål også etter utplassering.

Ved utplassering er målet å kunne styre hver sensor på vei ned mot bakken slik at man kan danne et mønster av jevnt fordelte sensorer. For eksempel vil man forsøke å legge ut 100 sensornoder i en 10 ganger 10 konfigurasjon på den ene eller begge sider av en vei som man ønsker å overvåke. Sensorene må ikke plasseres så nære veien at de lett blir oppdaget fra passerende kjøretøy, men må heller ikke ligge så langt unna at de ikke gir god informasjon.

For noen år tilbake ble prisen for en ARGUS sensornode estimert til et par hundre tusen kroner (14). Figur 4.7 illustrerer en mulig størrelse og form på en ARGUS-node.



*Figur 4.7 Prototyp fra forskning og utvikling som ligger til grunn for ARGUS-prosjektet
(Kilde: Presentasjon fra januar 2003 lagt ut på www.herbb.hanscom.af.mil)*

4.4.1 Kommunikasjon i sensorsystemet

Satellittkommunikasjon er valgt som kommunikasjonsløsning mellom hver sensornode og et sentralt brukersted. Det er lagt opp til to-veis kommunikasjon til og fra de stasjonære sensornodene. Dette gjør at sensorene kan rapportere sine registreringer og at brukeren kan oppdatere hver sensor med ny viten.

Det kreves relativt beskjeden båndbredde for å rapportere identifikasjonskode for målet, konfidens, målets posisjon og tiden. For å oppnå høy konfidens og presisjon i dataene kreves det samordning mellom sensorene. I første utgave av ARGUS blir slik samordning kun mulig gjennom kommunikasjon over satellitt til en sentral. Dette krever oversendelse av rådata som krever mye båndbredde. Rapporteringen fra hver node vil kunne foregå i nær sanntid, med en overføringstid på ca fem minutter fra målgjenkjenning til mottak av meldingen i luftoperativt hovedkvarter (Combined Air Operation Centers).

For senere versjoner av ARGUS har US Air Force stilt krav til utvidelse eller utbytting av kommunikasjonsmodulen i hver sensornode (20). Man ser for seg å kunne dekke behov for kommunikasjon mellom en node og andre militære enheter i samme område med en frisisikts kommunikasjonsløsning. Behovet for kommunikasjon mellom to sensornoder er også definert, men det er ikke gitt noen føringer for en løsning.

4.5 AWAIRS

AWAIRS (Adaptive Wireless Arrays for Interactive Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition in Small Unit Operations) er et forskningsprosjekt i samarbeid mellom University of California – Los Angeles (UCLA) og Rockwell Science Center (RSC). Prosjektet er støttet av

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).

På slutten av nittitallet utviklet prosjektet en prototyp sensornode, AWAIRS I. En sensornode i dette konseptet er satt sammen av a) en eller flere sensorer som gjør målinger i sine omgivelser, b) en analyseenhet som kan omdanne sensormålingene til verdifull informasjon og c) en radio for kommunikasjon til nabonoder og sluttbruker av sensorinformasjonen. Målet er at slike noder skal kunne produseres som små, billige og robuste enheter som har evne til å danne selvorganiserte robuste nettverk. Utvikling er basert på behov både i det sivile næringslivet (for eksempel tilstandsovervåkning av maskineri) og fra militæret.

Prototypen AWAIRS I, avbildet i Figur 4.8, er i hovedsak satt sammen av hyllevarekomponenter. Ett hundre enheter er produsert av denne sensornoden som kombinerer en akustisk og en seismisk sensor og en kommersiell mobiltefonteknologi og prosessor.

RSC promoterer dette som en teknologi de utvikler og tilbyr. Det er ikke funnet informasjon som viser at DARPA fortsatt støtter denne aktiviteten.



Figur 4.8 AWAIRS I prototyp sensornode (Kilde: www.rockwellscientific.com)

4.5.1 Kommunikasjon i sensorsystemet

Forskningen som er utført av UCLA og RSC har fokusert på en generell sensorplattform basert på et selvorganiserende nettverk av noder. Evnen til selvorganisering omfatter nodenes evne til å etablere og opprettholde et kommunikasjonsnett (bla automatisk inn- og utkobling av noder), evne til å koordinere signalprosessering og arbeidsdeling mellom nodene.

I prototypen, som er produsert, ble det benyttet kommersiell komponentteknologi med til dels egenutviklet programvare for styring og kontroll.

For realisering av kommunikasjonskomponenten i hver node ble det brukt en radiomodul fra Conexant Systems. Spesifikasjonene for denne er oppgitt i Tabell 4.1.

Parameter	Spesifikasjon
Betegnelse	Conexant RDSSS9M, Digital Cordless Telephone (DCT)
Type	Direkte sekvens spredt spektrum (12 chips/bit)
Dataoverføring	100 kbps
Frekvensbånd	902-928 MHz, 40 kanaler
RF effekt	1 mW, 10 mW, 100 mW
Rekkevidde	> 100 meter på 100 mW
Antenne	50 ohms spiralantenne med kontakt til RF-delen av radioen som er satt sammen som en liten multi-chip-modul.
Kontroll	65C02- mikrokontroller med 32 KB SRAM og 1 MB boot-bar FLASH-minne som utfører all kontroll og monitorering så vel som datautveksling med analyseenheten i sensornoden.
Protokoll	Et effektbesparende TDMA-skjema og multihopp-ruting er implementert i firmware.

Tabell 4.1 *Radio i AWAIRS I-prototyp (Kilde: wins.rockwellscientific.com/WST_Content.html)*

To-veis kommunikasjon og multihopp-ruting gjør det mulig for en sensornode å etablere kontakt med sine nabonoder og overføre data selv om den er utenfor rekkevidde av en basestasjon. På denne måten utnyttes det faktum at kortholdsradiohopp gir eksponentielt mer effektivt strømforbruk enn lengre hopp for å rekke over den samme avstanden.

Trafikkmønsteret som dannes i denne typen sensornettverk kan predikeres ganske bra. Trafikken oppstår som uregelmessige hendelser, men rutingen og målet er alltid gitt av de til enhver tid definerte utgangene. Meldingsformater og trafikkvolum er også begrenset av sensorene og styringssystemet. Kommunikasjonsstrategien, som er valgt, forhindrer knutepunkter med høyere strømforbruket enn i andre deler av nettet, som igjen vil føre til kort levetid på noder i dette området og deretter utfall av deler av nettet.

Kommunikasjonsløsningen for AWAIRS I er ikke utviklet med tanke på at sensornodene skal flytte seg. Båndbredden er relativt beskjeden og man må basere seg på sensorer som kan gi

verdifull informasjon på et kompakt format til sluttbrukerne. Sensorene kan ikke være avhengige av å samordne store datamengder seg i mellom, men datamengden og trafikken mellom en gruppe nabosensorer som samarbeider om å spore eller identifisere et mål kan være betydelig høyere enn kommunikasjonen inn til et hovedkvarter.

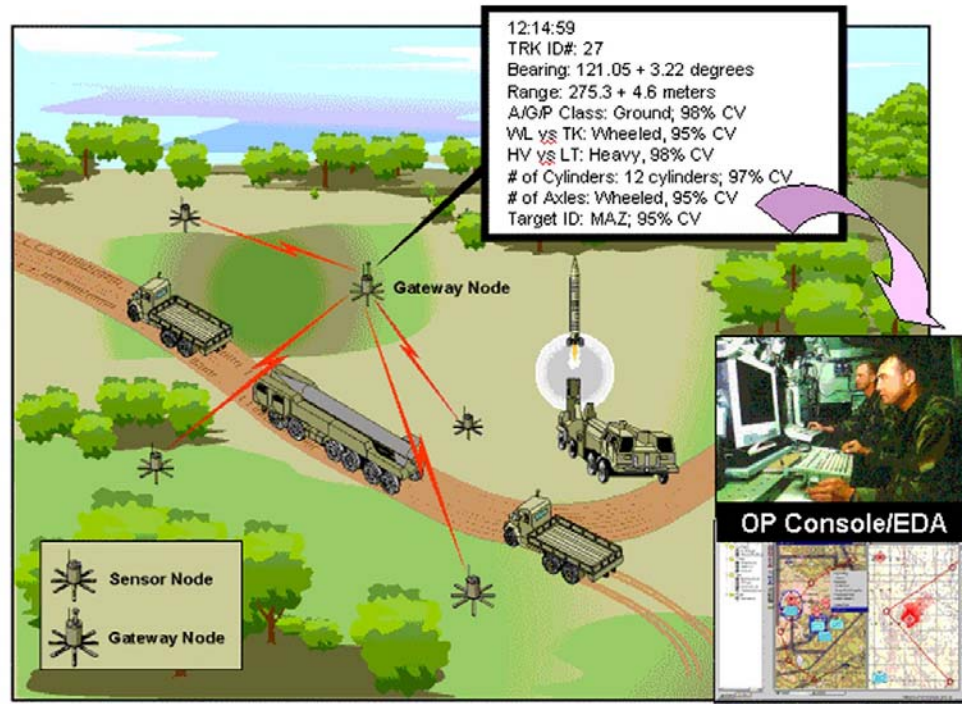
En bruker kan knytte seg til nettverket av AWAIRS I-noder gjennom en PC-basert applikasjon. For denne tilknytningen er det etablert en gateway-løsning i nettet. En langtrekkende radio mellom en bruker-PC og sensornettverket er også en del av kommunikasjonsløsningen.

I et sensornettverk med mange noder, som ligger relativt tett, vil flere noder med samme sensorteknologi kunne alarmere samme hendelse. Dette er ikke ønskelig da det skaper mye radiotrafikk som forbraker batterikapasitet og øker sjansene for at sensornettet blir oppdaget. Det kan derfor være ønskelig å innføre en tidsforsinkelse før utsendelse av alarm, der tidsforsinkelsen økes med økende grad av usikkerhet knyttet til sensorens registrering. Den første meldingen som sendes kan instruere alle andre noder om å unnlate å melde sin registrering. Sensornettverket basert på AWAIRS I kan rapportere hendelser i nær sanntid til et hovedkvarter. Tiden som går med til signalanalyse i og mellom noder, og ruting av informasjonen vil avgjøre hvor store tidsforsinkelser som oppstår.

En rekke interessante artikler er publisert på bakgrunn av RSCs og UCLAs forskning og utvikling knyttet til AWAIRS. Innholdet i dette avsnittet er blant annet hentet fra (16), (17), (18) og (19).

4.6 DARPA Unattended Ground Sensors (UGS) Program

DARPA har et program for utvikling av frittstående autonome bakkebaserte taktiske sensorer for innhenting av akustiske og seismiske data. Hensikten er å kunne detektere, spore, klassifisere og identifisere mobile og tidskritiske mål, uavhengig av vær, terreng eller vegetasjon. Utstyret skal kunne plasseres på fiendens territorier og kunne etablere kommunikasjon automatisk mellom enhetene, og til egen kontrollstasjon.



Figur 4.9 DARPA UGS prosjekt for kjøretøyidentifisering vha akustiske og seismiske sensorer (Kilde: [/dtsn.darpa.mil/ixo/programdetail.asp?progid=29&action=vision](http://dtsn.darpa.mil/ixo/programdetail.asp?progid=29&action=vision))

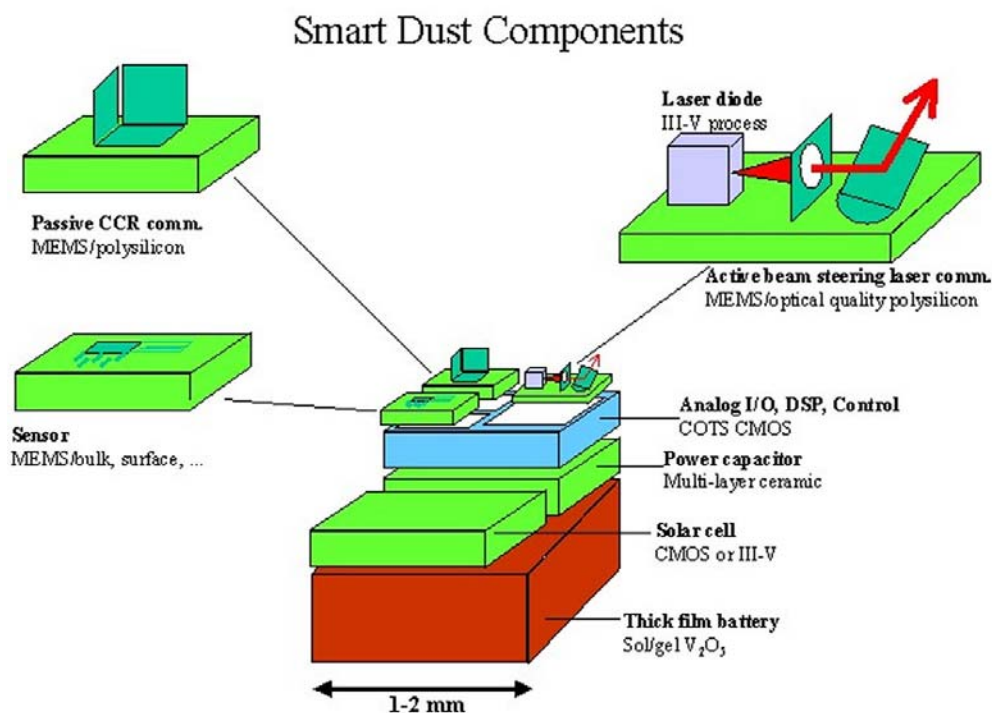
Systemet består av grupper på fire sensornoder, en gatewaynode og en kontrollstasjon. Sensornodene er utstyrt med kompass og GPS. De registrerer lyd- og seismiske data i et område med en radius på ca 3 km og sender informasjonen til gatewaynoden. Nodene kan aktiveres og deaktiveres programmerbart lokalt eller eksternt. Inntil ti målobjekter skal kunne registreres samtidig. Gatewaynoden er utstyrt med værsensorer (vind, temperatur og fuktighet), prosessorer og radiokommunikasjon mot sensornodene og kontrollsenter. Innkommende data analyseres for å bestemme målenes avstand, retning, hastighet, type og form. Informasjonen videresendes til kontrollstasjonen, som kan ligge opptil 25 km unna, hvor informasjonen registreres og presenteres på kartdisplay. Flere systemgrupper kan utplasseres for å dekke større områder og/eller gi mer presis informasjon.

Programmet har pågått noen år. Etter planen skal det avsluttes ved utgangen av 2003 med en demonstrasjon av et system som skal oppfylle spesifikke krav satt av DARPA.

4.7 Smart Dust

”Smart Dust” er en fellesbenevnelse på små autonome sensorer med evne til å kommunisere med hverandre. Teknologien startet opp som et prosjekt i 1997 med støtte fra DARPA. En målsetning med smart støv er å utvikle en liten modul i størrelsesorden 1 mm^3 som er utstyrt med en sensor, strømforsyning, analoge kretser, toveis optisk- eller radiokommunikasjon og en programmerbar mikroprosessor. Et operativt design, som er så lite, foreligger foreløpig bare på tegnebrettet, men det er laget et stort antall makromoduler som fungerer i dag seks år etter

unnfangelsen av teknologien.



Figur 4.10 "Smart dust" inneholder en rekke elektroniske komponenter²
(Kilde: robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/figures/colormote.gif)

Forskningen på smart støv foregår hovedsakelig i USA, nærmere bestemt ved University of Berkely og er ledet av Professor Kristofer S. J. Pister³. Modulene blir kalt "motes" som betyr støvgrann. Det er utviklet et operativsystem kalt "TinyOS"⁴ for anvendelse i disse modulene, og pr i dag brukes dette av mange organisasjoner i en mengde forskjellige applikasjoner. Teknologien er det siste året videreutviklet av firmaet Dust Inc.⁵ som ledes av den ovenfor nevnte Professor Pister.

4.7.1 Smart Dust spesifikasjoner⁶

Trådløs maskin-til-maskin sammenkopling

Den trådløse nettverksteknologien integrerer objekter og betingelser i den fysiske verdenen med datanettverk. Det muliggjør automatisering av bevissthet om og kontroll av fysiske omgivelser.

- Nettverksnoder leverer sensor, kommunikasjon, logikk og kontroll til utstyr, objekter og omgivelser.

² <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>

³ <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister>

⁴ www.cs.berkeley.edu/~culler/papers/embedded.pdf

⁵ <http://www.dust-inc.com>

⁶ Informasjon fra Dust Inc, <http://www.dust-inc.com/tech.shtml>

- Lokale finmaskede nett muliggjør en robust videresending (ruting) av data og instruksjoner mellom nodene
- Systemporter (gateways) integrerer sensornettverk med sentrale kontroll- og informasjonssystemer.

Minimalt strømforbruk

Det er implementert

- avanserte algoritmer for laveffekt nettverksentrisk bruk
- meget effektive radio- og mikroprosessor-design
- sofistikerte strømforsyningsteknikker som muliggjør lang levetid på batteri

Pålitelig og sikker nettverksforbindelse

- Selvopprettende og selvreparerende nettverksprotokoll
- Industristandard kryptering og datasikkerhet

Lave kostnader forbundet med å deployere

- Komplette modul – ingen behov for oppkobling
- Dropp- og bruk-nettverk
- Standard grensesnitt for modernisering og ombygging

Lave brukskostnader

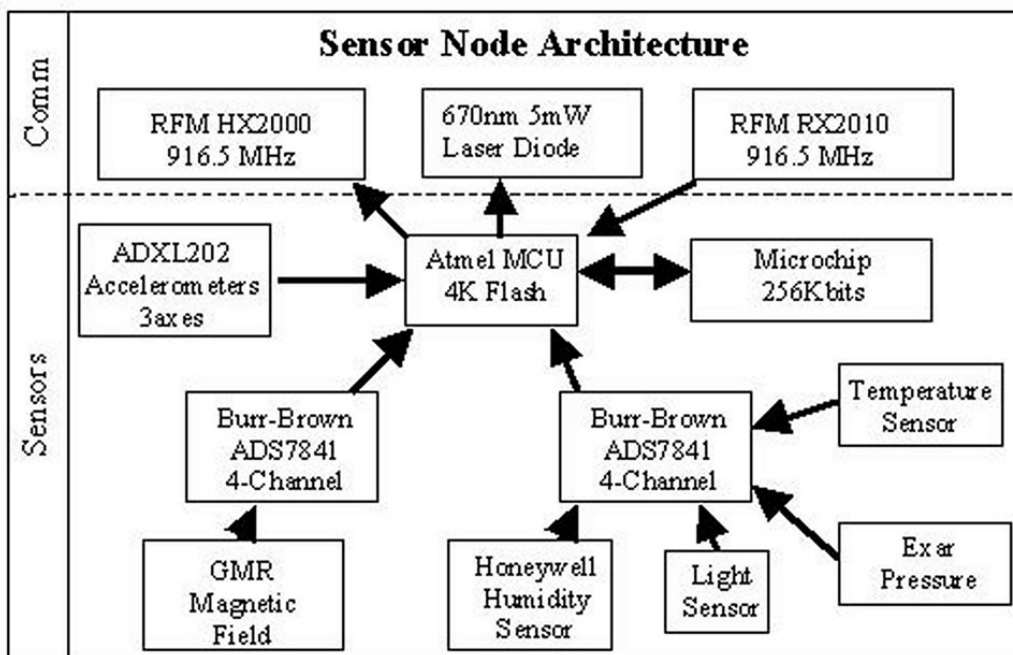
- Virker i år uten å bytte batteriene
- Selvrapporterende om tilstand og behov for vedlikehold

Fleksibilitet og fremtidige anvendelser

- En plattform, mange anvendelser
- Et virkelig operativsystem og anvendelsesmiljø
- Fjernstyrt oppgradering og redeployering
- Integrasjon med forskjellige typer plattformer
- Bred støtte for standard grensesnitt og protokoller

4.7.2 Forskning og utvikling

Det er utviklet et sett med sensormoduler kalt COTS Dust (Commercial Off-The-Shelf). Disse utfører de fleste funksjonene som er nevnt over for Smart Dust, men forskjellen er grad av miniatyrisering. Selv om COTS Dust er 15000X (!) større i volum enn Smart Dust, så er de allikevel ikke mer enn omtrent 1 tomme³ i volum (25 mm x 25 mm x 25 mm). Anvendelser på disse modulene kan være alt fra deteksjon av brann til spionasje, jordskjelvdeteksjon eller spore mennesker.

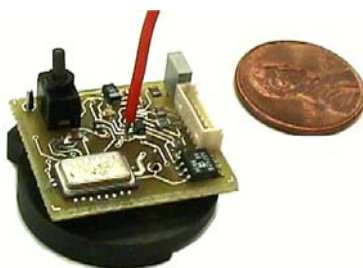


Figur 4.11 Eksempel på COTS Dust arkitektur (Kilde: www-bsac.eecs.berkeley.edu/~shollar/webthesis/formthe110a.html)

Eksempler på COTS Dust-moduler som hittil er utviklet er:

- RF-modul
- Lasermodul
- CCR-modul (passiv laserkommunikasjon)
- IR-modul

Mange av disse modulene er utviklet av studenter ved University of Berkeley, eksempelvis modulen som er vist i Figur 4.12. Denne RF-modulen benytter frekvensen 916.5 MHz, leverer båndbredde på 10 kbps og har en typisk rekkevidde på 20 meter.



Figur 4.12 RF-modul fra COTS Dust (Kilde: www.cs.berkeley.edu/~awoo/smartdust)

I tillegg til University of Berkeley er det flere store forskningsentra som har spesialisert seg på Makromote og Minimote Dust moduler. Center for Embedded Networked Sensing (CENS)⁷ er et samarbeid mellom seks store forskningsinstitutter. Berkeley Wireless Embedded Systems (WEBS)⁸ arbeider med å integrere teknologien i andre moduler (Network Embedded Systems

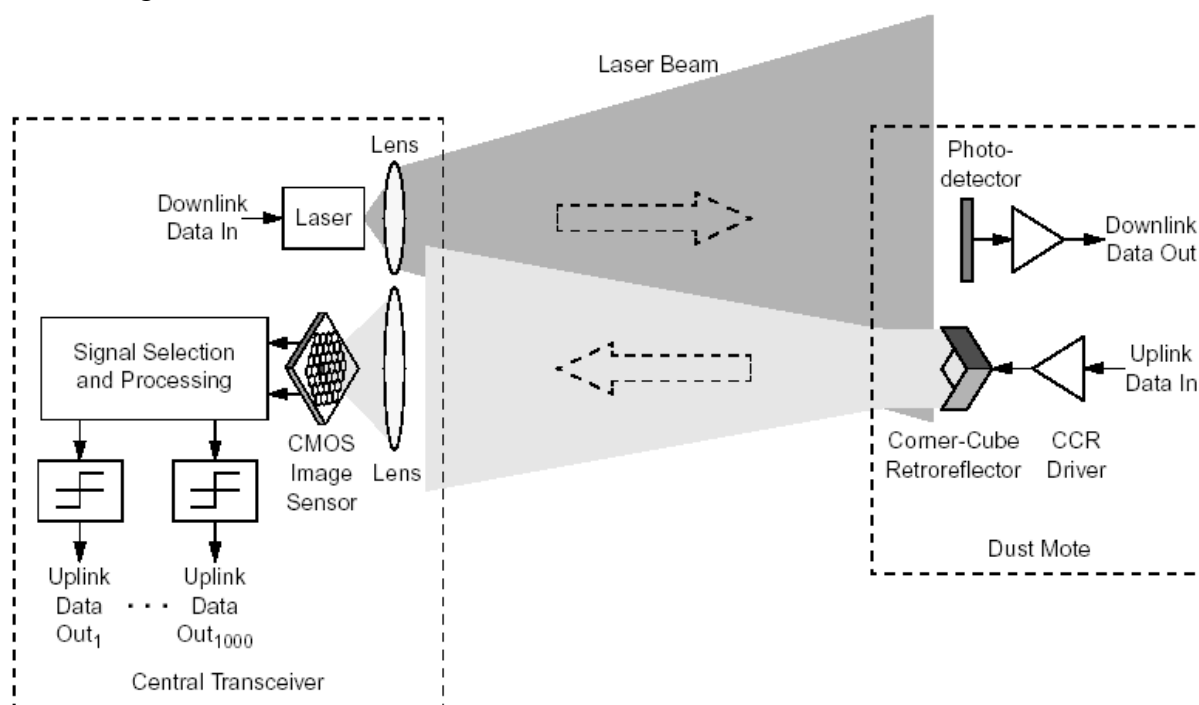
⁷ <http://cens.ucla.edu/>

⁸ <http://webs.cs.berkeley.edu/nest-index.html>

Technology).

4.7.3 Kommunikasjon i sensorsystemet

Behovet for trådløs kommunikasjon i Smart Dust-konseptet er blant annet omtalt i (27). Man går ut fra at hver mote (støvgrann) skal kunne sende og motta data fra en sentral enhet. Med kanskje flere tusen motes vil det bli en betydelig datamengde som skal mottas av den sentrale enheten. I motsatt retning må den sentrale enheten kunne kringkaste meldinger til alle mote'ene. Kommunikasjonen bør kunne opprettholdes på inntil et par hundre meters avstand. For denne kommunikasjonen har man vurdert RF og optisk transmisjon. En løsning basert på laser er skissert i Figur 4.13.



Figur 4.13 Prinsipp for to-veis kommunikasjon mellom Smart Dust motes og en sentral enhet (Kilde: (27))

Smart Dust Active Laser Transmitter er en kommunikasjonsløsning basert på laser. Dette krever fri og klar sikt (ikke tåke) og nøyaktig innretting. Man får da punkt-til-punkt-kommunikasjon med rekkevidde på mer enn 20 kilometer basert på 3 mW optisk effekt. Med denne lave effekten får man lengre rekkevidde og høyere bitrate i forhold til RF. Man unngår også regulatoriske problemer knyttet til bruk av RF. Løsningen baseres på SDMA (Space-Division, Multiple Access) med bileddannende mottaker.

Som det går frem av avsnitt 4.7.2 har man på området COTS dust tatt frem to RF-baserte og en laserbasert kommunikasjonsmodul.

En felttest knyttet til Smart Dust forskningen gir et bilde av hvordan kommunikasjonen kan foregå i et operativt scenario (14). Sikker ruting for trådløs sensorkommunikasjon er utgangspunkt for en annen aktivitet knyttet til Smart Dust (26).

5 KOMMUNIKASJONSBEHOV

5.1 Kommunikasjonsløsninger for eksisterende basisteknologier

I kapittel 3 er det tatt frem mange eksempler, både på eksisterende produkter og forskning innen det som i denne sammenheng er betegnet som basisteknologier, som stort sett opereres som enkeltstående sensorer eller detektorer. Eksempelene er hentet fra utlandet, med en stor andel fra amerikansk forsvar og forsvarsindustri, men også relevante referanser til norske aktiviteter er inkludert. Den brede gjennomgangen av sensorteknologiene viser en del fellestrekk og trender for tilknyttede kommunikasjonsløsninger. Disse er omtalt nærmere i det etterfølgende.

5.1.1 Status

Sensorteknologiene, som beskrevet i kapittel 3, er i sin natur ikke avhengige av en bestemt kommunikasjonsløsning for overføring av registreringer og styringsdata. Det er heller ikke slik at sensorteknologiene setter krav til hvor mye, hvor ofte, hvor fort eller hvor sikkert det skal kommuniseres. Eksplisitte kommunikasjonskrav fremkommer først når en sensor settes inn i en anvendt sammenheng. I motsetning til kapittel 4 som dekker konsepter og trender innen autonome sensorsystemer, er anvendelsene i kapittel 3 dominert av at detektorer eller sensorer opereres enkeltstående.

En del sensorer er av typen måleinstrumenter, som enten ikke har noen annet grensesnitt enn et operatørpanel og display, eller de er utstyrt med et typisk instrumentgrensesnitt slik som RS-232, RS-485 o.l. Dette gjelder spesielt ABC-området. Sensoren kobles da typisk til en PC for kontroll og avlesning av data. Dette gir også mulighet for fjernstyring og -avlesning via linje eller radio. I de fleste militære anvendelsene benyttes her taktiske radioer innen VHF eller UHF. Nyere typer taktiske radioer kan ikke forlates i et ikke-kontrollerbart område, noe som begrenser bruken av denne løsningen. I tillegg ”spiser” dette av allerede sterkt belastede frekvensressurser noe som kan representere en utfordring ved et økende antall og tetthet av sensorer. Denne type sensorer benyttes også i ikke-militære sammenhenger, og det finnes på markedet en rekke kommersielt tilgjengelige radioløsninger for typisk telemetrianvendelser. Det vil si radioer uten noen form for avanserte protokoller, men som benyttes i punkt-til-punkt forbindelser som erstatning for kabler. Disse støtter typisk vanlige datagrensesnitt som RS-232 og tilsvarende. De fleste av disse radioløsningene er lagt i uregulerte eller frie frekvensbånd slik som ISM. Enkelte kommersielle produkter for alarmer benytter GSM.

Et eksempel på et kommersielt tilgjengelig system, som ikke krever beskyttelse på samme måte som en feltradio og der man benytter frekvenser som ikke krever lisens i USA, er RAELink. RAELink er et produkt fra REA Systems Inc (www.raesystems.com). Radiosystemet kan betjene inntil 16 sensorer plassert opp til 3 kilometer fra en basestasjon. Tabell 5.1 viser noen av de tekniske spesifikasjonene.

RAELink spesifikasjoner	
Frekvens:	902 - 928 MHz, frekvenshopping
Hoppemønster	15
Kanalhopping	50-112
Rekkevidde:	Opptil 1,5 kilometer med antennepisk
Effekt	400 mW (+25 dBm) ved 7,5 til 9,5 Volt
Modulasjon	GFSK, 120 kBs – 170 kBs
Båndbredde	230 kHz
Mottaker:	
Følsomhet	-108 dBm ved 10 ⁻⁶ rå BER
Selektivitet	40 dB at $f_c \cdot 230$ kHz 60 dB at $f_c \cdot 460$ kHz
Datatransmisjon:	
Feildeteksjon	32 bit CRC, resend ved feil
Datakryptering	Dynamisk nøkkel
Linkkapasitet	115 Kbaud
Grensesnitt	RS232, 19,2 Kbaud
Operasjonsmodus:	Punkt-til-multipunkt
Størrelse	Ca 20 cm lengde, 8 cm bredde og 5 cm tykkelse uten antenne
Vekt	Ca 0,5 kg med batteri
Batteri	Oppladbart 7,4 V/ 1,6 Ah, litium-ion-batteri
Batterilevetid	18 timers kontinuerlig bruk (opplading tar mindre enn 10 timer)

Tabell 5.1 Tekniske spesifikasjoner for RAELink (Kilde: Brosjyre på www.raesystems.com)

Enkelte av eksemplene i kapittel 3 omfatter også en kombinasjon av flere sensorer i et system (BAWS, RAPID, OASIS). Felles for disse er at de er basert på enkle stjernenett. En sentral enhet i form av en datamaskin sammenstiller og eventuelt analyserer dataene fra sensorene. Det synes å være liten eller ingen automatisert integrasjon til resten av informasjonsnettverket eller kommando- og kontrollsystemene. I de fleste tilfeller overføres manuelt sammensatte rapporter (melding) fra den sentrale noden til høyere enhet via taktiske systemer (linje eller radiolinje) eller strategiske systemer (satellitt).

For de fleste sensorteknologiene i kapittel 3 er det slik at de kan produsere en tilnærmet kontinuerlig sekvens av data som på en eller annen måte beskriver transportfenomenet som overvåkes (se avsnitt 3.1). Biologiske og kjemiske sensorer bruker minutter på identifikasjon av partiklene i luften, mens responstiden for alle de andre sensorgruppene er nede i sekunder. Med en slik forsinkelse kan alle sensorteknologiene levere en sammenhengende rekke av data om for eksempel partikler i luften, vibrasjoner i bakken, lydbølger eller stråling i luften. Fra sensorsiden er responstiden eneste begrensning for hvor raskt rådata (direkte registreringer av et fenomen) kan gjøres tilgjengelig.

Det er to dimensjoner som danner grunnlaget for estimering av informasjonsraten eller båndbreddebehovet for en enkelt sensor. Disse er hvor mye data hver informasjonsenhet fra sensoren inneholder og hvor ofte denne informasjonen registreres. Sensorene kan levere informasjon som kan variere fra enkle alarmer til mer sammensatt informasjon som omfatter mengde, type, tid, posisjon osv. Et konkret eksempel er standardiserte ABC-rapporter. I tillegg til dette kommer overhead i form av kontrolldata og feilkorreksjon. For løsninger utover enkle punkt-til-punkt forbindelser kommer i tillegg protokolldata som for mer avanserte kommunikasjonssystemer langt vil kunne overgå mengden av informasjonsinnholdet.

Informasjonsraten fra en enkelt sensor basert på en bestemt sensorteknologi vil være bestemt ut fra hvilke datatyper som genereres og hvor hyppig. Skal man kun betrakte informasjonsraten fra sensoren er det først når man har satt krav til hvilke hendelser man ønsker at sensorene skal kunne avdekke, og med hvor stor nøyaktighet og frekvens, at det er mulig å avlede kapasitetskrav i sammenheng med bestemte sensorteknologier. I Tabell 5.2 er det likevel forsøkt anslått typiske informasjonsrater fra de ulike basisteknologiene. Dette kun i den hensikt å få en hovedoversikt over hvilke ulike basisteknologier som ut fra et kommunikasjonssynspunkt kunne tenkes å understøttes av samme løsning. Dette enten ved at de benyttes hver for seg med samme type kommunikasjonsløsning, eller ved at de ulike sensorkategoriene kan kombineres i ett og samme system.

På bakgrunn av oversikten i Tabell 5.2 vil en foreløpig konklusjon være at ut fra et båndbreddesynspunkt kan for så vidt de fleste basisteknologier kombineres i ett og samme system med unntak av elektrooptiske sensorer og radarsystemer som typisk har krav til båndbredder i en annen størrelsesorden. Når sensorene kombineres i ett nettverk vil imidlertid kravet til båndbredde ikke kunne sammenlignes med enkeltsensorenes typiske informasjonsrater.

Sensorteknologi	Datatype	Antatte typiske informasjonsrater
Biologiske sensorer	Koder for komponent og flyttall for konsentrasjon	~1 kbit/s
Kjemiske sensorer	Koder for komponent og flyttall for konsentrasjon	1-10 kbit/s
Sensorer for ioniserende stråling	Koder for komponent og flyttall for dose og intensitet	~1 kbit/s
Elektrooptiske sensorer	Bilde – oppløsning, lys, farge og bevegelser	1-10 Mbit/s
Radarsystemer	Posisjon, fart og retning for mange mål	10-100 Mbit/s
Elektromagnetiske sensorer	Flyttall for feltstyrke og retning	~1 kbit/s
Akustiske sensorer	Lyd – frekvenser, nivå og retning	1-10 kbit/s
Seismiske sensorer	Vibrasjoner – frekvenser og nivå	1-10 kbit/s
Trykksensorer	Flyttall for trykkendring	~1 kbit/s

Tabell 5.2 Anslått kapasitetsbehov i kommunikasjonsløsning ved bruk av ulike sensorteknologier.

Beskrivelsene gjengitt i kapittel 3 viser klart at de fleste sensorteknologier og -produkter ikke er tilpasset eller forberedt for oppkobling i mer avanserte sensornettverk. Alle har et radiobasert- eller fastnettgrensesnitt for overføring av sensordata (med unntak av noen få som baserer seg på lokal visuell avlesing eller bruk), men sensorene gir ingen eller lite støtte for adressering, styring av meldinger og valg av ulike overføringstjenester.

Flere sensorprodusenter, brukere og forskningsinstitusjoner i den militære sektoren arbeider med nye konsepter og løsninger innen mer nettverksorienterte systemløsninger, men det er ikke avdekket noen klare fellestrekk i tilnærmingene som disse prosjektene har valgt. Fra sensorteknologisiden er det derfor ikke noen protokoll eller fysisk grensesnitt som peker seg ut i retning av en de facto standard innen nye konsepter. Den sivile industrien tar i stor grad i bruk trådløse sensorer i produksjonsprosesser og kompliserte plattformer (biler, fly, skip, osv). Hvordan dette vil bli tatt opp av og tilpasset for militære applikasjoner er det foreløpig ingen entydige klare trender på.

5.2 Sensorkonsepter og –løsninger

I et system hvor distribuert deteksjon settes sammen i form av autonome sensorsystemer er det en rekke avhengigheter mellom design av konseptet og valg av kommunikasjonsløsning. Med utgangspunkt i eksemplene fra kapittel 4 behandler dette avsnittet grunnlaget for kommunikasjonskrav eller designkriterier for autonome sensorsystemer. Det bemerkes at det innenfor denne rapporten kun er foretatt en overordnet betraktning.

5.2.1 Status

Eksemplene i kapittel 4 gir et bredt utvalg av eksisterende systemer, systemer under utvikling og fremtidige konsepter innen det som i denne rapporten betegnes som autonome sensorsystemer. Hovedtrekkene i utviklingen er økt miniatyrisering, tettere samhandling mellom sensornodene/sensorstasjonene og integrering av ulike sensorteknologier i ett og samme system.

Dette går frem av Tabell 5.3 der konseptene er sortert etter grad av nyutvikling. I eksemplene ARGUS, AWAIRS, DARPA UGS og Smart Dust er det skissert løsninger eller planer for node-til-node kommunikasjon for etablering av tett sammenkoblede nett. I alle eksemplene er det planer eller løsninger for integrering av flere sensorteknologier i en node. Sensorer for posisjonering og innsamling av værdata er for eksempel inkludert i alle konseptene.

	CATSS	HALO	ARGUS	AWAIRS	DARPA UGS	Smart Dust
Størrelseorden	< 100 cm	< 100 cm	< 100 cm	< 10 cm	< 10 cm	< 1 cm
Sensortype	Passive	Passive	Passive	Passive	Passive	Ikke valgt
Ant. sensortekn.	5+	3+	3+	3+	3+	Ikke valgt
Ant. sensornoder	~1	3 - 21	~5	~10	4, 8, 12...	> 1000
Sensorrekkevidde	Ikke valgt	25 km	2 km	1 km	3 km	Ikke valgt
Nettverksstruktur	Ikke valgt	Klynge (Stjerne)	Stjerne	Maske	Klynge (Stjerne)	Stjerne/ Ikke valgt
Komm. løsning	Ikke valgt	RF, feltradio	RF, satellitt	RF, kort og lang	RF, kort og lang	RF/ optisk
To-veis komm.	Ikke valgt	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei/ Ikke valgt
Multihopp	Ikke valgt	Ja	Nei	Ja	Nei	Nei/ Ikke valgt
Responstid + overføringstid	~ 5 min	~ 1 s	~ 5 min	~ 1 s	~ 1 s	Ikke valgt
Produkt/Forskn.	Utvikling	Produkt/ Utvikling	Utvikling/ Produkt	Forskning /Utvikling	Utvikling	Forskning

Tabell 5.3 Utviklingstrekk for utvalgte autonome sensorsystemer og -konsepter

Kommunikasjonsløsningene i eksemplene baserer seg enten på kjente eksisterende løsninger eller er ikke valgt enda. Eksempler på kommunikasjonsløsninger under forskning og utvikling er:

IEEE 802.15.4 er en ny standard for kortholds RF-kommunikasjon i trådløse nettverk med lave datarater og krav til batterilevetid på måneder og år. Aktuelle applikasjoner er sensorer, fjernkontroller og husholdningsartikler. Standarden baserer seg på bruk av frekvenser blant annet i ISM-båndet 2,4 GHz, og støtter datarater opptil 250 kbit/s. Med utgangspunkt i standarden har flere firma gått sammen om utviklingen av en applikasjons- og nettverksprotokoll, ZigBee (www.zigbee.org). Motorola har tatt i bruk teknologien i et demonstrasjonssystem med trykksensorer plassert i hvert av hjulene på en bil. Trykksensoren er en såkalt microelectromechanical (MEMS)-enhet som genererer 8 bits trykk- og temperaturmålinger. En detaljert beskrivelse av sender- og mottakerkomponentene er gitt i (34).

DARPA har flere prosjekter for utvikling av nye trådløse kommunikasjonssystemer. En ny multibånd og multifunksjon feltradio for tale og data (SUO SAS) er under utvikling. Basert på dette prosjektet er det også tatt frem en liten autonom radio for bruk til sensorer. Radioen vil automatisk konfigurere seg inn i et nett med andre radioer av samme type og også kunne operere som transittnode for andre radioer. I Wolfpack-prosjektet benyttes radioen til å jamme fiendens kommunikasjonssystemer og radarinformasjon.

DARPA-prosjektet Next Generation Communication (XG) tar sikte på automatisk å kunne identifisere tilfeldig ledig radiofrekvenskapasitet over et ganske bredt frekvensbånd for å benytte disse til taktisk kommunikasjon. Det antas at bedre utnytting av frekvensspekteret vil øke disponibel båndbredde i nettsystemet betydelig. Samtidig vil radiosystemet automatisk tilpasse seg lokale frekvensforhold. DARPA tar sikte på å implementere konseptet i alle taktiske kommunikasjonssystemer, inklusiv sensorsystemer. XG-prosjektet har en relativ lang tidsramme. Arbeidet ble startet i 2002 og vil gå frem til 2007. En vesentlig del av prosjektet er å få på plass protokollhierarkiet for kommunikasjon med grensesnitt og funksjoner og håndtering (management) av konfigurasjon og feil. Av kosteffektive grunner tas det sikte på at alle standarder er/blir åpne tilgjengelige.

5.2.2 Grunnlag for krav

Ulike autonome sensorkonsepters utforming og anvendelse avleder en rekke bakenforliggende behov som vil danne designkriterier for en kommunikasjonsløsning. Disse vil være av både kvalitativ og kvantitativ karakter. Dette grunnlaget for krav til autonome sensorsystemers kommunikasjonsløsninger er beskrevet i de etterfølgende avsnitt. Det er ikke forsøkt å etablere en komplett liste av designkriteria, men noen av de viktigste områdene som er identifisert og som ville måtte bearbeides ytterligere er:

- Krav til nettopologier
- Krav til rekkevidder og dekningsområder
- Krav til mobilitet
- Krav til tjenester
- Krav til båndbredde
- Krav til sikkerhet
- Krav til andre forhold

Flere av disse kravområdene kan brytes ned, for eksempel til deteksjonsrekkevidde, antall noder, fysisk utforming, jammeresistens, distribuert eller sentralisert signalanalyse osv. Kravene bør settes opp i en helhetlig vurdering der standard metode og verktøy for behovs- og kravanalyse benyttes for å sikre resultatet. Et eksempel på et overordnet kravdokument er Technical Requirements Document for ARGUS (20).

En kommunikasjonsløsning, som tilfredsstillter kravene, er ikke nødvendigvis basert på kun én teknologi. Dette vil blant annet avhenge av hvor vidt spekter av autonome sensorsystemer som inkluderes i analysen, og om man søker en felles løsning for så vel ulike systemer som forskjellige operasjonsscenarier. På flere områder under utvikling arbeides det med en intensjon om at generiske løsninger skal dekke et større spekter av anvendelser. Eksempler på dette er

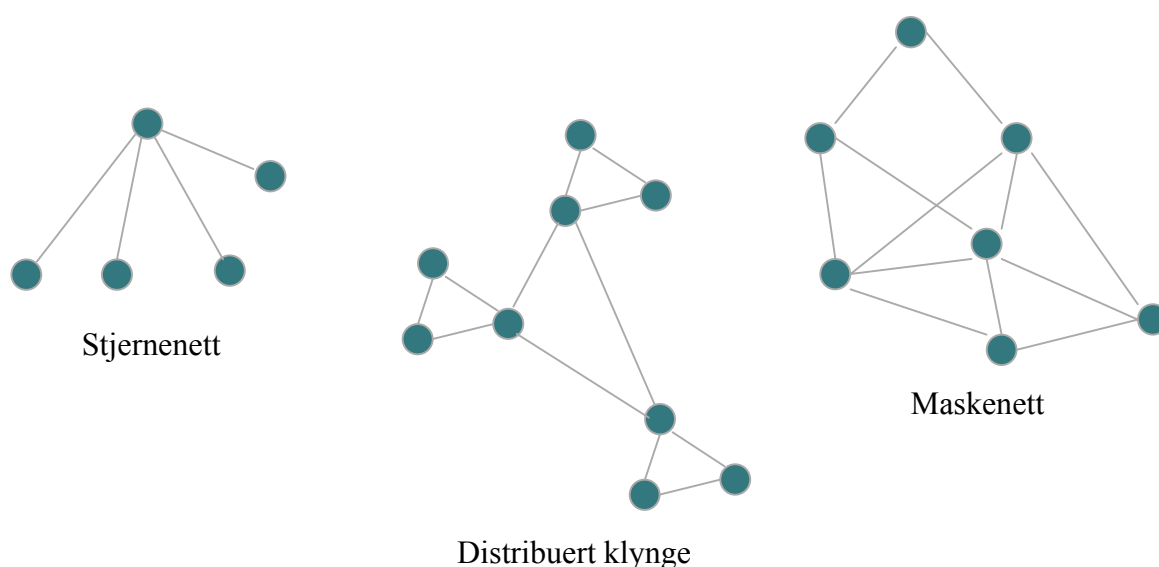
løsningen for nettveksling som Birdstep Technology (www.birdstep.com/wireless_infrastructure/) har utviklet, og målsetningen om en heterogen kommunikasjonsløsning for den amerikanske hærens Future Combat System (FCS) (35).

Det er aktiviteter i gang for utvikling av spesielle protokoller tilpasset sensornett på alle OSI-lag, på radiosiden med bruk av forskjellige systemer og ledige frekvenser, på MAC-laget for etablering av sensoren i nettet, på nettlag med dirigeringsprotokoller og adressering, på transportlaget (for eksempel UDP/TCP) for sikker transport av informasjon og på applikasjonslaget med protokoller tilpasset sensorens oppgaver. Det utvikles også spesielle management-protokoller for sensorer for registrering av flytting, av/på, synkronisering og netting av noden, statusmeldinger, autentisering og nøkkeldistribusjon osv. Etablering av forbindelser kan aktiviseres fra kontrollstasjon (for eksempel ved polling), eller fra sensoren ut fra visse satte kriterier.

Den kommersielle innføringen av mobil og trådløs datakommunikasjon er i sin spede begynnelse og vil i årene fremover være i sterk vekst i form av antall brukere og tjenester. Så langt det lar seg gjøre vil det utvikles løsninger som gjør det mulig å etablere infrastrukturer som støtter et fåtall felles mobilstandarder. Disse vil igjen hver for seg være utviklet for å dekke et så bredt anvendelsesområde som mulig og betegnes som mobile ad hoc nettverk. Målet er å utvikle robuste og effektive mobile nettverk gjennom rutingfunksjonalitet i de enkelte mobile noder. Felles for disse nettene er typisk dynamiske og tilfeldige multihopptopologier kombinert med relativt båndbreddebegrensede trådløse linker. Innen Internett-miljøene betegnes støtte til mobile noder (ruting) som ”mobil IP” teknologi. Teknologien for å støtte mobile ad hoc nettverk er i noe grad synonymt med og en videreføring av den forskning og utvikling som tidligere har vært utført i militære miljøer under betegnelsen mobil pakkeradio. Sett i lys av autonome sensorsystemer, som beskrevet i denne rapporten, foreligger det militære behov som vil kunne dra nytte av denne kommersielle trenden (robuste IP interoperable datatjenester over mobile trådløse nettverk). I begge tilfellene er svært dynamiske topologier en av hovedutfordringene.

5.2.2.1 Nettopologier

Et utvalg av basis nettverkløsninger som er relevante utgangspunkt for et autonomt sensorsystem er vist i Figur 34. Innen hver av hovedkategoriene eksisterer det en rekke varianter. En gjennomgang av forskning på ulike nettverksstrukturer er gitt i (32). Som det fremgår av Tabell 5.3 er det bare AWAIRS som så langt er utviklet for å danne en type maskenett. De andre systemeksemplene utgjør ulike varianter av stjernenett og distribuert klynge, men i flere av disse prosjektene er det utviklingsplaner som vil gjøre det mulig å danne ulike former for maskenett.



Figur 5.1 Basis nettverkløsninger

Hver løsning stiller fundamentalt forskjellige krav til kommunikasjonsprotokoller, fra en enkel permanent oppsatt forbindelse ved stjernenett, til avanserte distribuerte ruting-protokoller i et maskenett. Det er å forvente at løsninger for fremtidige autonome sensornettverk vil kreve stor fleksibilitet hva angår topologier. Noder skal kunne bevege seg tilfeldig og fritt i typiske multi-hoppnettverk. Det er også sannsynlig at nettverkene, etter hvert som sensorer miniatyriseres, vil kunne bli relativt store, og skalerbarhet vil også være et forhold relatert til topologier som vil kreve spesiell oppmerksomhet.

5.2.2.2 Rekkevidde og dekningsområder

Eksemplene i kapittel 4 har rekkevidde for en enkeltsensor på fra 100-1000 meter. Dekningen er i utgangspunktet en sirkel rundt sensoren. Riktignok varierer rekkevidden med hvilken aktivitet eller hva slags mål man forsøker å avdekke, personell som forflytter seg eller et helikopter i luften. HALO kan naturlig nok detektere kraftige eksplosjoner på større avstand enn hva som er tilfelle for geværskudd. Gitt en maskenetttopologi vil behovet for kommunikasjonsrekkevidde trolig være i størrelsesorden 1000 meter, gitt at sensorene har opp i mot samme rekkevidde. I takt med trendene innen autonome sensorer vil mange nyere konsepter ha større tetthet mellom nodene og følgelig kreve kortere kommunikasjonsrekkevidde.

For distribuerte klynger og stjernenett er det ikke mulig å resonnerer på samme måte som for maskenett. Kommunikasjonsrekkevidden i disse typene nettverk avgjøres av krav til plassering av integratornoder og klynger. Dette vil igjen avhenge av for eksempel avstand til aksesspunkt til et samlenett i NBF-konseptet. Om hver klynge i en distribuert klynge-topologi kan sees på som et maskenett, vil betraktningene for maskenett gjelde internt i en klynge.

Sensornodenes fysiske utforming vil sette krav til antenneutforming og være med på å avgjøre om retningsbestemte og adaptive antenneløsninger kan benyttes. Andre eksempler på sammenhenger, som også påvirker krav til kommunikasjonsrekkevidde, er batterikapasitet og sjanse for å avsløre systemet sett opp i mot den sendereffekten man kan tillate. Det bemerkes i denne sammenheng at senderens mulige påvirkning og forringelse av detektoren må vurderes som en del av både konseptets og kommunikasjonssystemets utforming.

5.2.2.3 Mobilitet

De autonome sensorsystemene i denne rapporten har noder uten eget fremdriftssystem og nodene vil derfor ikke forflytte seg etter utplassering. De ulike nodenes plassering i forhold til hverandre kan imidlertid variere sterkt, fra mer faste typiske avstander til mer tilfeldige for eksempel ved at de slippes ut fra fly eller UAVer. En annen form for mobilitet er innkobling og utkobling av noder i et nettverk. Dette kan for eksempel skje ved utskifting av en node som har feilet og ved flytting av en eller flere noder. Sistnevnte er trolig den mest sannsynlige form for mobilitet siden mange av detektorene ikke vil kunne rapportere pålitelige data mens de flyttes. Dette må også sees i sammenheng med kravene til skalerbarhet.

Punktet for uthenting av data fra et helt sensornettverk kan være mobilt. Det kan være at dette punktet opererer som relé, som ved bruk av en kommunikasjonssatellitt eller et relé i en UAV, eller også inkluderer brukere slik som for eksempel i en kommandovogn.

Enkelte nye konsepter vil kunne tenkes å omfatte sensornoder som også beveger seg mer eller mindre kontinuerlig (og kanskje tilfeldig). Enten i form av at en eller flere av nodene i nettverket er koblet til en bevegelig plattform, eller at sensorene i sin natur designes slik at de beveger seg. I Smart Dust-konseptet, avsnitt 4.7, kan det tenkes at nodene i fremtiden vil være så små og lette at de vil flyttes av vinden. Hvordan denne typen mobilitet vil påvirke det generelle kommunikasjonsbehovet må vurderes for dette konseptet spesielt.

5.2.2.4 Tjenester

Det vil være ønskelig å tilfredsstille de mest vanlige kommunikasjonstjenester for sikker dataoverføring i nettverk, både faste og oppsatte av operatør eller sensor, for de fleste av de autonome sensorkonseptene som er studert. Overføringstjenestene må kunne håndtere de båndbredder og kvaliteter som sensorsystemet har behov for. Tilleggstjenester, som uni/multiforbindelser, konferanser eller kringkasting, må kunne implementeres etter behov.

Typiske kvalitetskrav vil omfatte:

- Oppsettingstid for forbindelsen
- Tidsforsinkelse for sending av informasjonen over forbindelsen
- Overføringskvalitet
- Sikring av forbindelser
- Sikring av informasjonen
- Maksimal nedetid på forbindelsen
- osv

I tillegg vil blant annet tjenester relatert til synkronisering og tidfesting av sensordata, samt posisjonsbestemmelse av noder være relevante.

Hvilke tjenester som er både ønskelige og mulige blir svært avhengig av det enkelte konsept, og på bakgrunn av gjennomgangen i denne rapporten er det ikke mulig å trekke ut et felles, enhetlig og standardisert sett av tjenester for autonome sensorsystemer, selv om det er dette man på sikt må søke.

5.2.2.5 Båndbredde

Grunnlaget for å bedømme krav til overføringskapasitet for autonome sensorsystemer følger tre hovedakser:

- Antallet sensornoder og dekningsområdet for det totale autonome systemet
- Hvor ofte og hvilke data som ønskes overført – hvor mye dataprosessering som skal utføres og om dette skal utføres desentralisert eller sentralisert
- Hvor stor *overhead* kreves av de protokoller som er nødvendig for å understøtte nettverket

I praksis blir båndbredde en rammefaktor som styres av fysiske begrensninger. Båndbredde er derfor en faktor som må sees nøye i sammenheng med de forannevnte forhold, og som sammen med tilgjengelige frekvenser vil kunne avgjøre realiserbarheten av ulike konsepter. Det er derfor viktig å ta disse forhold med inn tidlig i den konseptuelle fasen.

5.2.2.6 Sikkerhet

Innenfor rammen av autonome sensorsystemer, som definert i denne rapporten, er det i utgangspunktet ikke noe som tilsier at informasjonsflyten mellom nodene er gradert. Informasjon fra flere noder satt sammen vil kunne bli gradert, men den må da være satt i en sammenheng som medfører at den direkte vil medføre mottiltak av betydning for en annen part. Så lenge systemene i hovedsak benyttes for varsling, og hvor andre sensorsystemer eventuelt overtar for tilvisning av mål, er det mulig å betrakte varslingsdata som ugradert informasjon. Dette er dessuten en forutsetning for det autonome konseptet siden noder ikke nødvendigvis plasseres i kontrollert område.

Et større problem vil det antagelig være dersom det enkelt kan plasseres falsk informasjon i systemet, noe som vil resultere i falske alarmer og allokering av ressurser på feil grunnlag. Et annet tenkelig problem kan være *denial-of-service* angrep. Disse forholdene medfører at det eksisterer klare krav til informasjonssikring, men at disse er av en karakter som trolig gjør at kommersielle løsninger er tilstrekkelig.

5.2.2.7 Andre forhold

Det finnes en rekke andre tenkelige forhold som også vil være av betydning ved design av en kommunikasjonsløsning. For eksempel vil krav til energisparing (se (33)) kunne påvirke design av protokoller. De forhold som er behandlet over er derfor å betrakte som et utgangspunkt for en

grundigere analyse.

6 OPPSUMMERING

6.1 Sammendrag

I et fremtidig norsk nettverksbasert forsvar er det behov for utvidet sensordekning. Tidligere studier og planlagte prosjekter peker spesielt på behovet for økt sensorinformasjon tilknyttet bakkeoperasjoner og aktivitet nær bakken. Dette krever nye konsepter for nettverkstilkoblete og autonome sensorsystemer.

På bakgrunn av dette er målet for denne rapporten å samle og systematisere informasjon om autonome sensorsystemer. Et bredt utvalg av sensorteknologier og eksempler på konsepter og sammensatte systemer er beskrevet. Kommunikasjonsbehov knyttet til sensorteknologiene og konseptene er spesifisert. Dette danner underlag for analyse av behov og krav til en felles kommunikasjonsløsning for autonome sensorsystemer

Kartleggingen av sensorteknologier og -systemer er i all hovedsak avgrenset til autonome sensorer i det fysiske domenet rettet inn mot bakken. Sensorer innen det kognitive domenet og informasjonsdomenet er ikke omtalt. Autonome sensorsystemer skal operere uten kontinuerlig tilsyn og styring. De sammensatte konseptene og løsningene baserer seg derfor i stor grad på bruk av mange likverdige noder som settes sammen i nettverk. Eksemplene i kapittel 4 gjenspeiler dette og omfatter sensorsystemer som er uavhengige av plattform og fast infrastruktur.

6.1.1 Sensorteknologier

Med utgangspunkt i ni kategorier er aktuelle sensorteknologier beskrevet og eksemplifisert i kapittel 3. Kategoriene er knyttet til fenomener som kan registreres ved militær aktivitet på bakken. Både aktive og passive sensorer er inkludert.

Kapitlet sammenfatter en rekke åpne kilder, sivile, militære, norske og utenlandske. Det viser stor aktivitet og mange leverandører i markedet. Produktene inneholder ofte bare én sensorteknologi med et definert bruksområde. Det benyttes enkle standardgrensesnitt for sensordata, og disse er ikke forberedt for samvirke med andre sensorer. Forskningen og utviklingen er betydelig innenfor flere av sensorteknologiene.

6.1.2 Konsepter og sensorsystemer

Kapittel 4 inneholder seks eksempler på ulike autonome sensorkonsepter. Eksemplene er valgt ut for å vise både eksisterende, planlagte og visjonære løsninger. Kommunikasjonsløsningene er også forskjellige og gir grunnlag for å trekke ut behov og krav. Fire av eksemplene er hentet fra amerikansk forskning og industri. Dette gjenspeiler en ledende amerikansk rolle på feltet, men skyldes også at tilgangen på informasjon fra andre nasjoner er begrenset.

Eksemplene viser at man på kort sikt utvikler og tar i bruk autonome sensorsystemer som inneholder et titalls stasjonære sensornoder. Nodene vil typisk samle informasjon i et område på omkring en kvadratkilometer og samordne denne i en sentral node. Kombinasjon av flere sensorteknologier, og mer bruk av aktive sensorer er også et trekk i denne utviklingen. På lenger sikt vil redusert størrelse og pris sannsynligvis resultere i systemer med flere noder med større grad av automatisk samordning seg imellom.

6.1.3 Kommunikasjonsbehov

Eksisterende produkter innenfor sensorteknologiene, beskrevet i kapittel 3, er ikke avhengige av bestemte kommunikasjonsløsninger. Grensesnittene for overføring av data er ofte instrumentgrensesnitt som kan knyttes opp mot en form for fastlinje eller radio. I militære anvendelser blir sensorene gjerne knyttet til en feltradioløsning. De tilgjengelige sensorproduktene er i liten grad forberedt for oppkobling i nettverk. Behovet for båndbredde for de ulike sensorteknologiene bestemmes av hvor mye data hver informasjonsenhet fra sensoren inneholder og hvor ofte informasjonen registreres. En informasjonsenhet kan være en enkel alarm, sammensatt informasjon om mengde, type, tid og sted eller bilder. Sensorenes responstid og hyppigheten for registrering av data er også avhengig av hvilke hendelser man ønsker at sensorene skal avdekke og hvor nøyaktig.

Kommunikasjonsbehovet for et autonomt sensorsystem fremkommer ikke av sensorløsningen alene. Det er en rekke krav til bruksområde, pålitelighet og utplasseringsmiljø som også er med og påvirker hvilken kommunikasjonsløsning det er behov for. Eksemplene på autonome sensorsystemer i kapittel 4 har en del fellestrekk. I kapittel 5 er disse trukket frem og vurdert opp mot kommunikasjonsbehovet. Nettverkstruktur, rekkevidde, mobilitet, tjenester og kapasitet i en kommunikasjonsløsning påvirkes for eksempel av antall sensornoder, sammensetning av type sensorer og plassering av aksesspunkt for overføring av data fra et autonomt sensorsystem.

6.2 Videre arbeid

Et eventuelt videre arbeid på kommunikasjonsløsninger for autonome sensorer kan knyttes opp til et av konseptene fra kapittel 4. AWAIRS og Smart Dust anbefales for mer detaljerte studier ettersom disse omfatter nettverkskommunikasjon og fordi arbeidet i stor grad er utført i relativt åpne miljøer, på universiteter og forskningsinstitutter.

Ved videre arbeid som krever mer informasjon, enn det som er åpent tilgjengelig, er det hensiktsmessig å etablere kontakt med relevante forsknings- og utviklingsmiljøer. Følgende organisasjoner vurderes som spesielt interessante:

- US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
- US Army Research Lab (ARL)
- University of Berkely, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, Robotics and Intelligent Machines Laboratory
- 6. divisjon, Etterretningsbataljonen, sensortroppen

- KAMPUKS, etterretning og bekjemping
- FLO/LAND VII - Sambands- og elektronikkavdelingen

En helhetlig gjennomgang av behov og krav til en kommunikasjonsløsning forutsetter at man velger ett eksisterende eller konkretiserer noen nye konseptalternativer. Et nærliggende alternativ er da å videreutvikle et konsept rundt prinsippene som er vist gjennom konsept demonstratoren CATSS (se 0) for så videre å studere mer visjonære alternativer etter dette.

Litteratur

- (1) NBF-rapport. Teleplan, Ericsson og Thales (deler er unntatt fra offentligheten) 28. februar 2003
- (2) Generalinspektøren for Hærens Produksjonsplan 2002-2005, Vedlegg: E2 - Hærens Perspektivplan Materiell (HPM)
- (3) Unattended Radiation Sensor Systems for Remote Terrestrial Applications and Nuclear Nonproliferation. Lodewijk van den Berg, Alan E. Proctor, Ken R. Pohl, Alex Bolozdynya, and Raymond De Vito AIP. Conference Proceedings Vol 632(1) pp. 71-78. 10. oktober 2002
- (4) Evaluering av overvåkningssensorer for sikring av Forsvarets anlegg (Bind 1). FFI/RAPPORT-2000/00215 (KONFIDENSIELL)
- (5) Aerospace Operations Against Elusive Ground Targets, Alan Vick, Richard M. Moore, Bruce R. Pirnie, John Stillion. ISBN: 0-8330-3051-5, MR-1398-AF, 2001
- (6) Target Detection and Classification Using Seismic Signal Processing in Unattended Ground Sensor Systems, Yuxin Tian og Hairong Qi. DARPA grant N66001-001-8946
- (7) Improved Remote Battlefield Sensor System (IREMBASS), Federation of American Scientists, Military Analysis Network, www.fas.org/man/dod-101/sys/land/rembass.htm
- (8) Detection of Buried Landmines with X-ray Backscatter Technology. W. Niemann, S. Olesinski, T. Thiele, YXLON International X-Ray GmbH, Hamburg, Germany. G.Martens, I.-C.Carlsen, PHILIPS Research Laboratories, Hamburg, Germany. Arbeid presentert på 8. ECNDT, Barcelona, juni 2002
- (9) Vietnam Studies – The War in the Northern Provinces - 1966-1968. Willard Pearson, Department of the Army, Washington, D.C., 1975 (www.army.mil/CMH-PG/books/Vietnam/northern/nprovinces-fm.htm#cont)
- (10) FYKSE E M, OLSEN J S, ØKSTAD O A (2000): Oversikt over biosensorer for identifikasjon av biologiske våpen, FFI/RAPPORT-200/00492
- (11) GRAN H C, PEDERSEN B, OPSTAD Aa M (2001): Evaluering av stasjonære kjemiske detektorer - Fregattprosjektet, FFI/RAPPORT-2001/04109 (Unntatt offentlighet)
- (12) PEDERSEN B, CHRISTIANSEN A F, GRAN H C (2003): Personal Chemical Detectors – Field trials under winter conditions, FFI/RAPPORT-2003/02738 (Unntatt offentlighet)
- (13) The Integrator. Northrop Grumman, 5. årgang, nr 21, 31. juli 2003.
- (14) Little brother is watching you. Mark Hewish. Reformatting fighter tactics, Jane's international defense review, juni 2001
- (15) Ground Remotely Emplaced Acquisition and Transmission Systems. Jane's Battlefield Surveillance Systems 1992-93, 4. utgave 1992.
- (16) Self-Organizing Distributed Sensor Networks. Loren P. Clare, Gregory J. Pottie og Jonathan R. Agre. Rockwell Science Center og UCLA. "Publications" under wins.rockwellscientific.com/
- (17) Development Platform for Self-Organizing Wireless Sensor Networks. Jonathan R. Agre, Loren P. Clare, Gregory J. Pottie og Nikolai P. Romanov. Rockwell Science Center og UCLA. "Publications" under wins.rockwellscientific.com/
- (18) Wireless Sensor Networks for Area Monitoring and Integrated Vehicle Health Management Applications. Henry O. Marcy, Jonathan R. Agre, Charles Chien, Loren P. Clare, Nikolai P. Romanov and Allen Twarowski. Rockwell Science Center. "Publications" under wins.rockwellscientific.com/
- (19) Wireless Integrated Network Sensors: Toward Low Cost and Robust Self-Organizing Security Networks. Gregory J. Pottie og Loren P. Clare. "Publications" under wins.rockwellscientific.com/
- (20) Technical Requirements Document for the Advanced Remote Ground Unattended Sensor (ARGUS), versjon 6.2, 31. mars 2003

- (21) Standoff Detection and Tracking of Vehicles Using a Compact Magnetic Sensor. A.R. Perry, P.V. Czipott, Y. Dalichaouch, S. Kumar, H. Trammell, Quantum Magnetics, Inc. Mines, Demolition & Non-Lethal Conference and Exhibition Tampa, Florida, 4. juni 2002.
- (22) E-post fra Barry Sowerbutts, Roke Manor Research til Tor Brendeford, Teleplan, 26. september 2003
- (23) E-post fra Paul Wilton, Roke Manor Research til Tor Brendeford, Teleplan, 25. september 2003
- (24) HALO® – World-leading acoustic location system for military forces, Roke Manor Research. Brosjyre SBU/MJ/0303/0289.1 fra www.roke.co.uk, 2003
- (25) Network Enabled Capability – Delivering Network Enabled Capability now, Roke Manor Research. Brosjyre NBU/BS/0303/0288.1 fra www.roke.co.uk, 2003
- (26) Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures. Chris Karlof David Wagner, University of California at Berkeley. First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, mai 2003
- (27) Wireless Communications for Smart Dust. V.S. Hsu, J.M. Kahn, and K.S.J. Pister, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California Berkeley, 30. januar 1998.
- (28) Neural Fuzzy Techniques in vehicle acoustic signal classification. Somkiat Sampan, dissertation submitted to Virginia Polytechnic Institute and State University, 23. april 1997
- (29) ELIASSEN H S, RUDBERG B (1998): Marksensoren for feltetterretning – Teknisk beskrivelse, FFI/RAPPORT-98/06247 (FORTROLIG)
- (30) DSP Based Acoustic Ground Sensor System. Rudberg B, Dyrdal I, Eliassen H S og Liland H, FFI og Siemens AS. ICSPAT conferences, 1997
- (31) Autonomous Coordination in Sensor Networks: Heterogeneous ADS. Yongdong Tan, Qunzhan Li, Qingquan Qian, Southwest Jiaotong University og Kinji Mori, Tokyo Institute of Technology. The Sixth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS'03) 11-9. april 2003
- (32) Distributed Sensor Networks – A Review of Recent Research. Hairong Q, Sitharama I, Krishnendu C. Mars 2001
- (33) Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. Heinzelman W R, Chandrakasan A and Balakrishnan H, Massachusetts Institute of Technology, 2000
- (34) Tire Pressure Monitoring System Reference Design. Burgess J, Motorola Application Note, AN1951/D, Rev 1. Mai 2003
- (35) FCS Communications Technology for the Objective Force. Sass P, Freebersyser J, MITRE corporation og DARPA, 2002

Forkortelser

ABC	Atomvåpen, biologiske og kjemiske våpen
ARGUS	Advanced Remote Ground Unattended Sensor
ARSS	Advanced Radar Surveillance System (
ATP	Allied (Maritime) Tactical (Instructions) and Procedures
AWAIRS	Adaptive Wireless Arrays for Interactive Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition in Small Unit Operations
BAWS	Biological Aerosol Warning System
CATSS	Chemical, Atomic and Toxic compound Surveillance System
CBREWS	Chemical, Biological Radiological Early Warning Systems
CENS	Center for Embedded Networked Sensing
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CWA	Chemical Warfare Agent
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DDS	Direct Digital Synthesizers
DOE/NNSA	Department of Energy/ US National Nuclear Security Administration
DTRA	Defense Threat Reduction Agency
EK	Elektronisk krigføring
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
FFIBM	Forsvarets forskningsinstitutt, avdeling for beskyttelse og materiell
FLIR	forward-looking infrared
FLO/LAND	Forsvarets logistikkorganisasjon, land (forsyning til Hæren/Heimevernet)
FSJ MFU	Forsvarssjefens militærfaglige utredning
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HALO	Hostile Artillery Locator
IP	Internettprotokoll
IR	Ifrarød stråling
IUGS	Internetted Unattended Ground Sensor
IXO	Information Exploitation Office (kontor i DARPA)
JBPDS	Joint Biological Point Detection System
JCAD	Joint Chemical Agent Detector
JTA	US Joint Technical Architecture
JWARN	Joint Warning and Reporting Network
KKI	Kommando, kontroll og informasjonssystem
LWIR	Langbølge IR
MCAD	Manportable Chemical Agent Detector
MEMS	Mikroelektromekaniske systemer
MGA	Micro Gas Analyzers
MICAD	Multipurpose Integrated Chemical Agent Alarm
MICS	Miniaturized Chemical Sensors
MIS	Miniature Intrusion Sensor
MWIR	Mellombølge IR
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NBC	Nuclear, Biological and Chemical weapons
NBF	Nettverksbasert forsvar
NIR	Nær IR
OASIS	Optical Acoustic Satcom Integrated Sensor
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant

RF	Radiofrekvens
RSC	Rockwell Scientific Company
SDMA	Space-Division, Multiple Access
SR-BSDS	Short Range Biological Standoff Detection System
SWIR	Kortbølge IR
TIC	Toxic Industrial Chemicals
UCLA	University of California – Los Angeles
UGS	Unattended Ground Sensor
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USAF	US Air Force
UHF	Ultra High Frequency
UV	Ultrafiolett stråling
VHF	Very High Frequency
WEBS	Berkeley Wireless Embedded Systems
XBT	X-ray backscatter technologies