

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

LÄNSIMAISTEN SAR/GMTI-TUTKIEN SUORITUSKYKY

Kandidaatintutkielma

Kadetti
Jere Rinne

97. Kadettikurssi
Viesti/rajavartio-opintosuunta

Maaliskuu 2013

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
97. Kadettikurssi	Viesti/rajavartio-opintosuunta
Tekijä	
Kadetti Jere Rinne	
Tutkielman nimi	
LÄNSIMAISTEN SAR/GMTI-TUTKIEN SUORITUSKYKY	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n ja RMVK:n kurssikirjasto
Aika maaliskuu 2013	Tekstisivuja 21
TIIVISTELMÄ	
<p>SAR/GMTI-tutka (Synthetic Aperture Radar/Ground Moving Target Indicator) tuottaa tiedustelutietoa johtamisen, tiedustelun, valvonnan ja maalinosoituksen tueksi. SAR/GMTI-tutka on luotettava tiedusteluväline tutkataajuusalueella tapahtuvan tiedustelutiedon tuottamisen ansiosta, jolloin tutkan käyttö ja tiedustelutiedon tuottaminen onnistuvat huonoissakin sääolosuhteissa. SAR/GMTI-tutkien käyttö on yleistynyt sotilaskäytössä viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana ja niillä on ollut suuri merkitys kaikissa suuremmissa konflikteissa kylmän sodan loppumisen jälkeen.</p> <p>SAR-tutka käyttää lavettina liikkuvaa alustaa, useimmiten lentokonetta, muodostaakseen virtuaalisen antenniryhmän ja signaaliprosessoinnin avulla, jolloin vastaanottimeen palautuvat kaiut sijoitetaan kohdilleen ja muodostetaan SAR-kuvaa. Tarkimmillaan nykyisten SAR-tutkien resoluutio on muutaman kymmenen senttimetrin luokkaa ja mittausetäisyydet suurimmillaan satoja kilometrejä.</p> <p>GMTI-tutka havaitsee liikkuvat kohteet, kun liikkuvista kohteista palautuvat kaiuilla on eri taajuus kuin ympäröivästä maastosta palautuvilla kaiuilla ja kohteet pystytään erottelemaan välkkeen seasta. GMTI-tutkan toiminta perustuu doppler-ilmiöön. SAR-tutkaa pystytään useimmiten käyttämään GMTI-moodissa. Sotilaskäytössä olevat GMTI-tutkat pystyvät havaitsemaan keskimäärin noin henkilöauton kokoisen maalin, joka liikkuu noin 5 km/h nopeudella.</p> <p>SAR/GMTI-tutkia on käytetty menestyksellisesti molemmissa Irakin sodissa Yhdysvaltojen toimesta, kun tasainen aavikko ei aiheuttanut juurikaan ongelmia alueen valvontaan ilmasta käsin. Sen sijaan haasteita SAR/GMTI-tutkille ovat aiheuttaneet operaatiot Balkanilla ja Afganistanissa korkean vuoriston, peitteisen maaston ja kohteiden hankalan tunnistettavuuden</p>	

takia.

Suoraan taistelun tukemiseen liittyen GMTI-tutkat ovat olleet hyödyllisiä, kun valvontakoneilta saadut tiedot liikkuvista vihollisosastoista on voitu lähettää datalinkkien kautta lähes tulkoon reaaliajassa. SAR-tutkat ovat olleet hyödyllisiä ennen taisteluiden alkua tiedustelutiedon keräämisessä ja vaikeakulkuisessa maastossa SAR-tutkia on käytetty esimerkiksi taisteluvaikutuksen jälkiarviointiin.

SAR/GMTI-tutkien suorituskyky kehittyy jatkuvasti laitteiden resoluution ja koon pienentyessä. Datalinkeillä voidaan välittää tietoa alajohtoportaille ja SAR/GMTI-tutkia on voitu sijoittaa esimerkiksi UAV-lennokkeihin (Unmanned Aerial Vehicle), joilla on voitu suorittaa tarkempaa aluevalvontaa kuin mitä isomman kokoluokan valvontakoneilla voitaisiin toteuttaa.

AVAINSANAT

SAR/GMTI-tutka, synteettisen apertuurin tutka, UAV

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	1
1.2	TUTKIMUKSEN RAKENNE JA PÄÄMÄÄRÄ	2
1.3	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA RAJAUKSET	2
1.4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA LÄHDEKRITIIKKI	3
1.5	KÄSITTEET.....	3
2	SAR/GMTI (SYNTHETIC APERTURE RADAR/GROUND MOVING TARGET INDICATOR)....	4
2.1	TUTKA.....	4
2.2	SAR.....	4
2.3	GMTI.....	7
3	OPERATIIVINEN JÄRJESTELMÄ.....	9
3.1	JOINT STARS	9
3.2	OPERATIIVINEN KÄYTTÖ	11
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	19

LÄHTEET

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

SAR-tekniikan (Synthetic Aperture Radar) kehittyminen on lisännyt ilmalavettisten tutkien merkitystä sodankäynnissä. SAR-tekniikkaa käytetään sekä laajojen alueiden tiedusteluun ja yhtymän tilannekuvan muodostamisen tukemiseen, sekä rynnäkkökoneiden ja taisteluhelikopterien maalialueen tilannekuvan muodostamiseen. SAR-moodin avulla hävittäjä tai jokin muu ilma-alus kykenee maastonseurantaan, maalien etsintään, maalien luokitteluun sekä yksilöintiin ja maastontiedusteluun. SAR-tutkilla saavutettava resoluutio vaihtelee käyttötarkoituksen mukaisesti 35 metristä aina 0,5 – 2 metriin. Tulevaisuuden superresoluutiomenetelmillä voidaan vielä parantaa resoluutiota 15 senttimetrin luokkaan [1, s. 244]. Resoluution tarkentumiseen vaikuttaa mm. mekaanisesta keilauksesta sähköiseen keilaukseen siirtyminen ja signaalikäsittelyn kehitys [3].

GMTI (Ground Moving Target Indicator) tuottaa tiedustelu- ja valvontatietoa vihollisen mekanisoitujen joukkojen liikkeistä ja antaa komentajille kyvyn havaita vihollinen linjojen takaa sääolosuhteista riippumatta, toisin kuin esimerkiksi elektro-optisilla sensoreilla. GMTI-kyvyn on parhaimmillaan sanottu poistavan Carl von Clausewitzin mainitsevan ”sodan usvan” taistelulentältä. [15, s. 7]

SAR/GMTI-tutkien käyttö tiedustelusensorina yleistyy maailmalla ja niitä käytetään satelliiteissa, tiedustelukoneissa ja miehittämättömissä ilma-aluksissa. SAR/GMTI-tutkan etuna on sen riippumattomuus jossain määrin ilmakehän olosuhteista. Sade, sumu, ilmakehän kosteus ja muut ilmakehässä olevat partikkelit eivät vaimenna käytettävän tutkataajuusalueen signaalien etenemistä kuten muissa kuvaavissa järjestelmissä [4, s. 133]. Vesi- tai lumisade saattaa vähentää SAR-kuvien laatua tai jopa estää kuvan muodostamisen [14]. Ilmakehän olosuhteiden vaikuttamattomuuden takia SAR-tutkien käyttöä on tutkittu Suomen olosuhteissa, lähinnä satelliittipohjaisissa sovelluksissa. Runsas pilvisuus ja talvikauden valaistusolosuhteet heikentävät merkittävästi optisten kuvaussensorien käytettävyyttä Suomessa ja lähialueilla [18].

SAR/GMTI-tutkat ovat tärkeä osa verkostokeskeisen sodankäynnin tilannekuvan luomista. Verkostoilla yhdistetään sensorit, päättäjät, eri taistelunjohtajärjestelmät sekä asealustat yh-

deksi kokonaisuudeksi. Toiminnalla pyritään parantamaan taistelutehoa, sekä luomaan perusta informaatioylivoiman saamiselle. Tarkoituksena on myös eri komentoketjujen integroiminen toisiinsa, taistelutempon, yleensäkin toiminnan nopeuttaminen, aseellinen toiminnan tehostaminen ja paremman suojan hankkiminen. Tekniikalla on mahdollista yhdistää verkostossa lähestulkoon kenet ja minkä tahansa kanssa. Tämä on mahdollistanut tietokoneiden pienentymisen sekä kehittyneen informaatioteknologian myötä. Sen vuoksi verkostojen käytöstä on tullut kaikille puolustushaaroille relevantti ja se on osaltaan myös mahdollistanut yhteiseen teknologiaan perustuvan konseptin. [2, s. 255]

1.2 Tutkimuksen rakenne ja päämäärä

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää mikä on länsimaisten SAR/GMTI-tutkien suorituskyky. Aiheen tutkiminen on tärkeää ja mielenkiintoista, koska viimeaikaisissa sodissa esimerkiksi Yhdysvallat ovat saaneet informaatioylivoiman vihollisesta mm. SAR/GMTI-tutkien avulla. SAR/GMTI-tutkien tuottaman tilannetiedon avulla on pystytty tuhoamaan suuria määriä vihollisen mekanisoituja joukkoja, esimerkiksi koalition hyökätessä Irakiin vuonna 2003 Yhdysvallat pystyivät tuhoamaan irakilaisia joukkoja, jotka yrittivät ryhmittä hiekkamyrskyn turvin. Menneen reilun kahdenkymmenen vuoden aikana SAR/GMTI-tutkien käyttö taistelukentän valvontakoneissa on lisääntynyt todella paljon. Tutkielman toisessa luvussa esitellään mihin SAR/GMTI-tutkien teknologia perustuu. Kolmannessa luvussa esitellään käytössä olevia järjestelmiä, jotka käyttävät SAR/GMTI-tutkaa ja niiden suorituskykyä. Neljännessä luvussa esitellään tutkimuksen johtopäätökset.

1.3 Tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tutkimuksen pääkysymys on: mikä on länsimaisen SAR/GMTI-tutkan suorituskyky? Ja alakysymyksinä ovat: 1) Miten SAR/GMTI-tutka eroaa tavallisesta tutkasta? 2) Mikä on SAR-tutkan erottelukyky? GMTI:n sisältäminen tutkimukseen on myös perusteltua, koska GMTI-moodi on SAR-moodin rinnalla yhtä olennainen toiminto luodessa tilannekuvaa vihollisesta. SAR-tutkan suorituskyvyn mittaamiseen käytetään NIIRS-taulukkoa (National Image Interpretability Rating Scales), jolla kyetään määrittämään vaadittava resoluutio tunnistamisen eri tasoille. GMTI:n suorituskyvyn määrittämiseksi tutkitaan havaintoetäisyyksiä, havaintoon vaadittavia miniminopeuksia ja maalin kokoja.

1.4 Tutkimusmenetelmä ja lähdekritiikki

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Lähteinä käytetään kirjallisuutta, artikkeleita, julkaisuja, tutkimuksia ja internetlähteitä. Osa lähteistä on englannin kielisiä. Maanpuolustuskorkeakoulun opinnäytetöistä tutkija on valinnut työhön sopivia ja luotettavia lähteitä, epävirallisten internetlähteiden sisällön tutkija on tarkastanut muista opinnäytetöistä ja kirjallisuudesta.

1.5 Käsitteet

AN/APY-7:	Army-Navy/Piloted Aircraft, Radar, Surveillance and Control
AN/ZPY-1:	Army-Navy/Piloted/Pilotless Airborne Combination, Radar, Surveillance and Control
MP-RTIP:	Multi-Platform Radar Technology Insertion Programme
GMTI:	Ground Moving Target Indicator, käytetään myös joissain yhteyksissä lyhennettä MTI (Moving Target Indicator)
SAR:	Synthetic Aperture Radar
AESA:	Active Electronically Scanned Array
PESA:	Passive Electronically Scanned Array
NIIRS:	National Image Interpretability Rating Scales
ATR:	Automatic Target Recognition
HF:	High Frequency 3-30 MHz
VHF:	Very High Frequency 30-300 MHz
UHF:	Ultra High Frequency 0,3-3 GHz
λ :	aallonpituus
δ :	tutkapaikkipinta-ala
δ_{CR} :	virtuaalisella antennilla saavutettava poikittaisresoluutio
G_R :	vastaanottoantennin vahvistus
G_T :	lähetysantennin vahvistus
D :	antennin halkaisija
L :	virtuaalisen antennin pituus
R :	etäisyys
P_T :	vastaanotettu teho

2 SAR/GMTI (SYNTHETIC APERTURE RADAR/GROUND MOVING TARGET INDICATOR)

2.1 Tutka

Tutkan toiminta perustuu sähkömagneettisen säteilyn suuntaamiseen ja lähettämiseen, jolloin kohteesta heijastunut sekä sironnut säteily vastaanotetaan niin, että sen perusteella voidaan määrittää kohteen suunta ja etäisyys. Pelkistettynä tutkan tehtävät ovat:

1. Ilmaista maalin olemassaolo aistimalla maalista heijastunutta säteilyä.
2. Määrittää maalin etäisyys.
3. Selvittää maalin suunta kapeakeilaisella antennilla.
4. Paikantaa maalin sijainti etäisyyden ja suunnan perusteella.
5. Arvioida maalin nopeus dopplertaajuuden avulla. [1, s. 195]

Tutkan havaintoetäisyyttä voidaan arvioida käytettävän tehon, antennivahvistuksen, vastaanotimen herkkyuden, taajuuden sekä kohteen tutkapoikkipinta-alan δ avulla. Jos tutkan lähetys- ja vastaanottoantennit ovat samat $G_T = G_R$, saadaan tutkan mittausetäisyys perusmuodossa [17, s. 6]:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_t G_T^2 \lambda^2 \delta}{(4\pi)^3 P_R}}$$

Keskeinen muutos tutkatekniikassa on AESA-tutkien (Active Electronically Scanned Array) käyttöönotto, mikä parantaa huomattavasti tutkien suorituskykyä. AESA-tutka toimii perinteiseen tutkaan nähden nopeammin ja juostavammin. AESA-tutka perustuu lukuisten pienehköjen lähetin-vastaanotin-antennimoduulien tuottamaan signaaliin. Sähköinen keilaus mahdollistaa nopean keilan siirron, joka on suurusluokaltaan jopa 100 kertaa nopeampi kuin verrattuna perinteiseen mekaanisesti ohjattuun antenniin ja seurantoja voidaan tehdä laajemmalla alueella. AESA-tutkalla saadaan parempi keilanmuodostus myös SAR-tutkan käyttöön. [17, s. 11]

2.2 SAR

SAR-tutka on periaatteessa kuin tavallinenkin tutka, mutta sen signaalinprosessointi tekee siitä erikoisen. SAR-tutkan signaaliprosessori yhdistää lähetettyjen ja vastaanotettujen signaalien datan luoden kaksiulotteisen tutkakuvan kohdealueesta. Siksi käytetään myös termiä SAR-

kuvaaminen [5]. SAR-tutkassa on kaksi pääkäyttömoodia: spotlight ja stripmap. Spotlight-moodissa tutka säteilee jatkuvasti tiettyyn pisteeseen tuottaen korkearesoluutioista SAR-kuvaa ja stripmap-moodissa tutka keilaa maastoa laajalta alalta lentosuunnan mukaisesti tuottaen vähemmän tarkempaa kuvaa kuin spotlight-moodissa. Stripmap-moodissa tutka tuottaa ikään kuin mosaiikkimaisen pitkän tutkakuvan keilatusta alueesta.

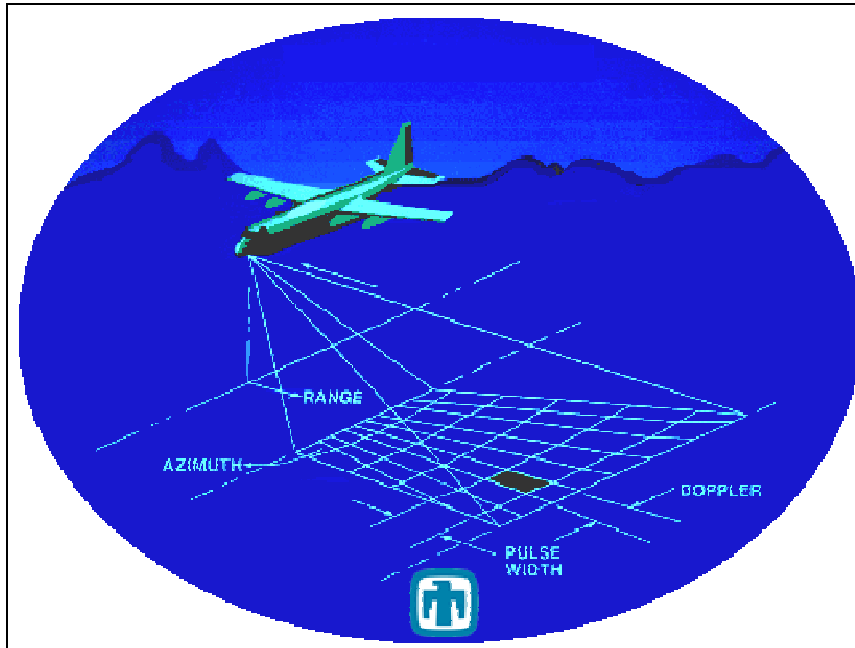
SAR-tutkaa käytetään erilaisiin tarkoituksiin sen tarkkuuden perusteella. Mikäli tarkoituksena on esimerkiksi kartoittaa maastonmuotoja, voidaan hyväksyä 10 – 30 metrin tarkkuus, joka riittää esimerkiksi teiden ja rannikon muotojen hahmottamiseen. Sotilassovelluksissa ensisijaisena tarkoituksena on etsiä ja luokitella kooltaan 2 – 6 metriä olevia ajoneuvoja ja rakenteita, joiden mukaan resoluutiovaatimus asetetaan. [1, s. 245]

Taulukko 1: Ote NIIRS-tilukosta [23].

Tyyppi	Resoluutio	Tunnistustaso
NIIRS 1	9.0 m	Tunnistetaan maastonmuodot ja tiestö.
NIIRS 2	4.5 - 9.0 m	Havaitaan suuret kuljetus- ja pommikoneet.
NIIRS 3	2.5 - 4.5 m	Havaitaan keskikokoiset ilma-alukset ja ajoneuvot.
NIIRS 4	1.2 - 2.5 m	Tyyppitunnistetaan suuret kuljetus- ja pommikoneet.
NIIRS 5	0.75 - 1.2 m	Erotetaan panssarivaunut kuorma-autoista.
NIIRS 6	0.40 - 0.75 m	Yleistunnistetaan panssarivaunut ja ajoneuvot.
NIIRS 7	0.2 - 0.4 m	Tyyppitunnistetaan panssarivaunut ja ajoneuvot.
NIIRS 8	0.1 - 0.2 m	Pystytään yksilöimään eri ajoneuvot.
NIIRS 9	alle 0.1 m	Pystytään suorittamaan yksityiskohtaista teknistä analyysiä.

SAR-tutka kasvattaa keinotekoisesti antenniryhmänsä kokoa käyttämällä hyväkseen liikkuvaa alustaa, kuten lentokonetta, siitä tulee myös tutkan nimi (synteettisen apertuurin tutka). Synteettisen apertuurin luomiseksi SAR-tutkan antenni on aina asennettuna 90 asteen kulmaan etenemissuuntaan nähden. Kone lentää vakionopeudella ja – korkeudella ja tutka lähettää pulsseja vakioistotaajuudella, jolloin kaikujen palatessa voidaan matemaattisen prosessoinnin avulla sijoittaa kaiut oikeille paikoilleen ja muodostaa tutkakuvaa. Esimerkkitalanteessa tiedustelukoneen nopeus on 300 m/s ja tutkan pulssintoistotaajuus 1000 Hz, taajuus on 10 GHz, pulssinpituus 100 ns ja tiedusteluetaisyys 15 km. Tällöin jokaisen lähetetyn pulssin välillä lentokone etenee 30 cm matkan, jonka vuoksi SAR-tutkan antennin voidaan käsittää koostuvan 15 m pitkstä virtuaalisesta antenniryhmästä, jossa on 50 elementtiä. Toisin sanoen 50 lähetetyn pulssin kaiut summataan yhteen resoluutiosolun muodostamiseksi [1, s. 247]. Kohdennetulla SAR-tutkalla saavutettaisiin kyseisillä parametreilla teoreettisesti noin 15 senttimetrin resoluutio eli päästäisiin tunnistamisessa NIIRS tasolle 8.

SAR-kuvaa muodostaessa SAR/GMTI-tutkan lavettina toimivan lentokoneen tulee säilyttää sama suunta, korkeus ja nopeus, jotta vastaanottimeen palaavien kaikujen signaaliprosessointi olisi mahdollista ja tutkakuvan muodostaminen onnistuisi. Pienetkin muutokset lentokoneen lentoradassa, kuten käännökset tai turbulenssi voivat häiritä SAR-kuvan muodostamista tai estää sen kokonaan.



Kuva 1. SAR-kuvan muodostamisen periaatekuva [19].

Optimitilanteessa SAR-kuvan resoluutiosolu on suorakaiteen muotoinen. SAR-tutkan poikittaisresoluutio määräytyy synteettisen apertuurin pituuden mukaan, johon puolestaan vaikuttavat etäisyys kohteeseen, lavetin nopeus ja tutkan aallonpituus [14]. Virtuaalisella antennilla saavutettavan poikittaisresoluution δ_{CR} voidaan laskea kaavalla, jossa L on virtuaalisen antennin pituus ja R_0 on tiedusteluetaisyys. [1]

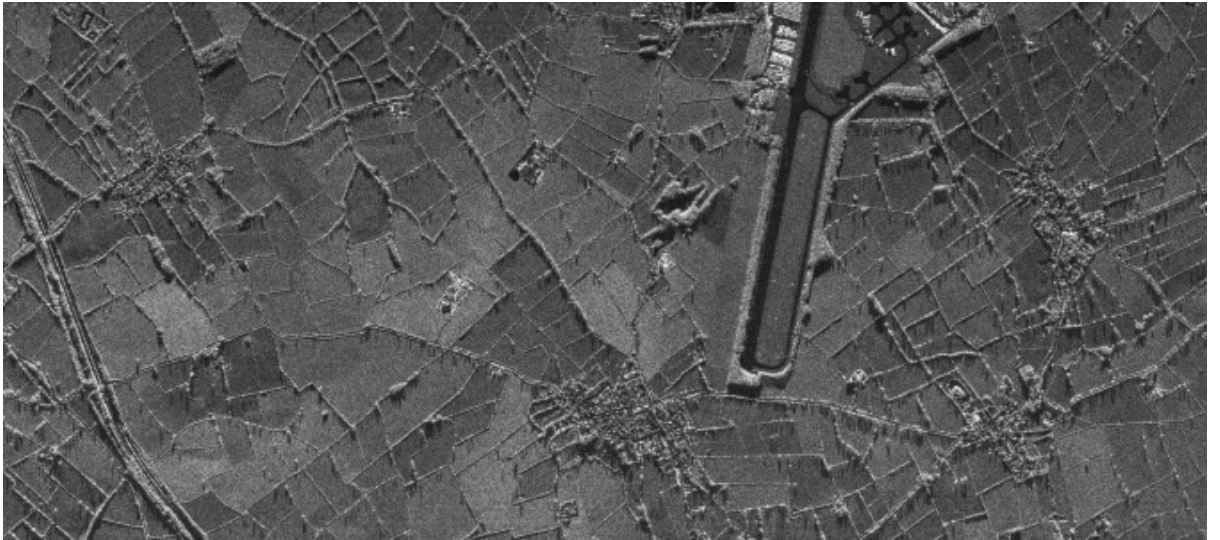
$$\delta_{CR} = \frac{R_0 \cdot \lambda}{2 \cdot L}$$

Reaaliantennin poikittaisresoluutio δ etäisyydellä R_0 saadaan kaavasta:

$$\delta = \frac{\lambda \cdot R_0}{D}$$

Resoluutio pituussuunnassa määräytyy pulssin pituuden mukaan, mitä lyhyempi pulssi sitä suurempi etäisyysresoluutio. Tutkan kykyyn lyhentää pulsseja vaikuttaa tutkan huipputeho ja se, ettei peräkkäisten pulssien kaiut tule päällekkäin vastaanottimeen [14]. SAR-tutkan etäisyysresoluutiota voidaan parantaa pulssikompressiolla [1].

Pulssikompression ideana on lähettää mahdollisimman pitkä pulssi, joka mahdollistaa suuren pulssienergian, paremman signaali-kohinasuhteen ja pidemmän havaintoetäisyyden. Vastaanottimessa heijastunut kaikupulssi kompressoidaan aikatasossa lyhyemmäksi, jolloin saavutetaan hyvä etäisyys resoluutio ja parempi signaali-kohinasuhde. [1, s. 217]



Kuva 2. SAR-kuva lentokentästä ja lähialueesta [20].

2.3 GMTI

Useimpia SAR-tutkia voidaan käyttää myös GMTI-moodissa. GMTI-toimintoa käytetään liikkuvien kohteiden valvontaan laajoilla alueilla [14]. GMTI:llä voidaan havaita liikkuvia ajoneuvoja maastossa ja merellä miltei missä tahansa säässä ja olosuhteissa. Yhdessä GMTI:n ja korkean resoluution SAR-kuvien kanssa voidaan käyttää automaattista kohteen tunnistamista, eli ATR:ää (Automatic Target Recognition), joka nopeuttaa maalinosoitusta ja helpottaa tiedustelutiedon käsittelyä [15].



Kuva 3. Liikkuvia kohteita GMTI-moodissa esitettynä SAR-kuvan päällä [1].

Sotilaskohteet, joita GMTI-tutkalla pyritään havaitsemaan (huoltokolonnat, mekanisoidut osastot ja niin edelleen.) liikkuvat usein hyvin alhaisilla nopeuksilla (n. 20 – 50 km/h), varsinkin kohteiden liikkua maastossa. GMTI perustuu liikkuvasta kohteesta heijastuneen säteilyn taajuuden muutokseen [12], eli doppler-ilmiöön. Liikkuvasta kohteesta takaisin heijastuvalla säteilyllä on eri taajuus kuin kohteen ympäriltä heijastuvalla säteilyllä. Kehittyneen signaaliprosessoinnin avulla taajuuden muutokset voidaan havaita ja liikkuvat kohteet voidaan korostaa väkkeen seasta [14]. GMTI-moodissa liikkuvat kohteet usein esitetään pisteinä digitaalisen kartan päällä [15].

Tavallisten ilma-alusten lisäksi SAR/GMTI-järjestelmien käyttöä satelliittipohjaisissa järjestelmissä on tutkittu ja järjestelmiä kehitetty. Satelliiteilla saataisiin lisättyä SAR/GMTI-järjestelmien kattavuutta ja parannettua taistelunkestävyyttä. Satelliittipohjaisten SAR/GMTI-järjestelmien suunnittelussa tällä hetkellä ongelmia aiheuttaa GMTI-moodin käyttö, koska satelliittijärjestelmän nopeus suhteessa maanpinnalla liikkuvaan kohteeseen, kuten ajoneuvoon, on niin suuri, että kohdetta on vaikea erottaa väkkeen seasta. Ratkaisuksi on kehitelty STAP-prosessointia (Space Time Adaptive Processing), jossa pyritään erittelemään välke palautuvista kaiuista ja suodatuksen avulla nostaa kohteet esiin [14].

3 OPERATIIVINEN JÄRJESTELMÄ

3.1 Joint STARS

E-8C Joint STARS (Surveillance Target Attack Radar System) on Yhdysvaltojen ilmavoimien ilma-aluspohjainen taistelunjohto- ja komentokeskus. Joint STARS käyttää kehittynyttä SAR/GMTI-tutkaa taistelukentän valvontaan, joka edesauttaa komentajia tilannetietoisuuden kehittämisessä vihollisen tilanteesta ja tukee hyökkäyksellisiä operaatioita sekä maalinosoitusta. Turvallisen etäisyyden päästä lentoradallaan Joint STARS havaitsee, paikallistaa, luokittelee, seuraa ja maalittaa vihollisen maajoukkojen liikkeen. Joint STARS perustuu modifioituun Boeing 707:n runkoon. Joint STARS pystyy välittämään tietoa lähestulkoon reaaliajassa suojattujen datalinkkien kautta Yhdysvaltojen ilmavoimien ja maavoimien komentopaikoille. [15, s. 5]



Kuva 4. Yhdysvaltojen ilmavoimien E-8C Joint STARS, SAR/GMTI-tutka sijaitsee rungon alapuolella olevassa kuvassa [21].

Joint STARS tukee johtamista, tiedustelua ja valvontaa koko sotatoimi-alueen laajuudelta ja siinä on ilmavoimien ja maavoimien yhteistoimintaupseereista koostuva miehistö. Normaali tehtävämiehistö koostuu 21 henkilöstä ja kone kykenee tuottamaan tiedustelutietoa 6 tuntia partiointialueeltaan kun edestakaiseen matkalentoon on varattu 2 tuntia. Joint STARS voi pysyä ilmassa 21 tuntia ilmatankkauksella ja miehistön vaihdolla. Koneeseen mahtuu 34 henkilöä pidempiä tehtäviä tai harjoittelua varten. [16] Joint STARS on optimoitu suorittamaan valvontaa 9449 metrin (31 000 jalkaa) lentokorkeudesta ja 723 – 945 km/h:n lentonopeuksilla [6].

Joint STARS:in SAR/GMTI-tutka on tyyppimerkinnältään AN/APY-7 (Army-Navy/Piloted Aircraft, Radar, Surveillance and Control), joka on PESA-tutka (Passive Electronically Scanned Array). AN/APY-7 lähettää tutkasäteilyä sähköisen vaiheohjauksen avulla atsimuutissa ja säteilee mekaanisesti korkeussuunnassa. Tutka toimii I-taajuusalueella (8-10 Ghz), tutkan ilmoitettu maksimikantama on 250 kilometriä ja SAR-resoluutio laajan alueen etsinnässä 3,7 metriä. Tutkan keilaaman sektorin leveys on 120 astetta. Tutkaa voidaan käyttää joko SAR- tai GMTI-moodissa [7]. Joint STARS pystyy kattamaan tutkallaan tunnin aikana arviolta noin 900 000 neliökilometrin kokoisen alueen [16].

WAS (Wide Area Surveillance) on AN/APY-7:n GMTI-moodi, jolla tutka havaitsee ja seuraa liikkuvia kohteita koko tutkan keilaamalta alueelta. WAS:n suurin keilattava alue on sivultaan noin 120 kilometriä. WAS:illa on useita eri alamoodeja, jotka päivittävät kohdetietoja Joint STARS:in operaattoreille nopeammin, mutta pienemmiltä alueilta. Tarkin alamoodi on SATC (Small Area Target Classification), joka helpottaa erottamaan tela-alustaiset ajoneuvot pyörillä kulkevista ajoneuvoista. [7] AN/APY-7 pystyy havaitsemaan maasturin kokoiset kohteet, jotka liikkuvat yli 5 km/h nopeudella [13].

AN/APY-7:n SAR-moodissa on kaksi eri käyttömoodia, SAR-kuvaus ja FTI (Fixed Target Indicator). SAR-kuvauksessa tutka tuottaa 3,7 metrin resoluutioista kuvaa, jolla päästään tunnistamisessa NIIRS-tasolle 3, eli havaitaan ajoneuvot ja voidaan tunnistaa esimerkiksi tykkien tuliasemia. FTI-moodissa SAR-kuvasta korostetaan suurimmat kohteet valitulta alueelta. [7] FTI:tä käytetään esimerkiksi silloin, kun liikkuvat kohteet pysähtyvät ja häviävät GMTI:n näkökentästä, jolloin alueesta otetaan SAR-kuva, joka paljastaa mahdollisen ryhmittymisalueen.

Loppuvuodesta 2008 Northrop tutki mahdollisuutta integroida MP-RTIP-tutkaa (Multi-Platform Radar Technology Insertion Programme) E-8-koneeseen. Tärkeimpiä edistysaskelia olivat tarkempi resoluutio, samanaikainen SAR/GMTI-toiminto, automaattinen GMTI seuranta ja ilmamaalien, kuten risteilyohjusten, 3-D-seuranta (suunta, nopeus ja korkeus). Tutkasta tulisi täysin elektronisesti vaiheohjattu AESA-tutka [7].

Uuden Enhanced Land Maritime Moden käyttöönotto päivittää Joint STARS:in tutkaa tarkemmalla SAR-kuvan resoluutiolla ja GMTI:n jäljittämiskyvyllä. Uusi meritoimintaan soveltuva GMTI-moodi vähentää tutkavälkettä merellä ja mahdollistaa merimaalien havaitsemisen

ja jäljittämisen, jotka liikkuvat eri nopeudella kuin meren aallot. Lisäksi vuonna 2010 Joint STARS:iin kokeiltiin tutkakuvun taakse asennettua elektro-optista/infrapunasensoria, jolla oli tarkoitus vähentää kohteen tunnistamiseen kuluva aikaa. Kamerajärjestelmällä saatiin tunnistettua tutkan jäljittämiä ajoneuvoja ja laivoja useiden kymmenien kilometrien päästä, mutta huono sää aiheutti myös haasteita näkyvän valon ja infrapuna-aallonpituudella toimivalle järjestelmälle. [16]

Joint STARS on varustettu JTIDS- (Joint Tactical Information Distribution System) ja SCDL-järjestelmillä (Surveillance Control Data Link) datan lähettämiseen koneen ulkopuolelle. Joint STARS kykenee suojattuun kommunikaatioon kahdellatoista UHF (Ultra High Frequency, 0,3-3 GHz)-, kolmella VHF (Very High Frequency, 30-300 MHz)-, kahdella HF (High Frequency, 3-30 MHz)- ja yhdellä SINGARS-radiolla (Single-Channel Ground and Airborne Radio Systems). Joint STARS pystyy lisäksi lähettämään dataa satelliitin kautta. Järjestelmään kuuluu maa-asemia, jotka sijoitetaan komentopaikkojen ja esikuntien yhteyteen ja Joint STARS pystyy lähettämään dataa muille valvontakoneille kuten AWACS-koneisiin (Airborne Warning And Control System). [16]

Joint STARS:in järjestelmiä on päivitetty runsaasti SAR/GMTI-tekniikan kehittyessä, joka on mahdollistanut koneen käytön ensisijaisena valvontakoneena suurimmissa sotilasoperaatioissa, joihin Yhdysvallat ovat osallistuneet. Jatkuvan kehitystyön ja käyttökelpoisen alustan ansioista päivityksissä on voitu käyttää muun muassa kaupallisia COTS-komponentteja (Commercial-Off-The-Shelf).

3.2 Operatiivinen käyttö

Kylmän sodan päätyttyä ja Varsovan liiton hajottua jotkut sotilasasiantuntijat arvioivat, että SAR/GMTI-suorituskyvyllä ei enää ole tarvetta tavanomaisen sodan puhkeamisen vaaran loputtua Keski-Euroopassa. Kylmän sodan päätyttyä SAR/GMTI suorituskyvyllä on ollut vähintäänkin merkittävä osuus kaikissa operaatioissa, joihin Yhdysvallat ovat osallistuneet [15]. Lisäksi SAR/GMTI-tutkien käyttö on lisääntynyt siviili- ja viranomaiskäytössä, kuten merenkulun valvonnassa ja tieteellisessä kartoitustoiminnassa maassa ja avaruudessa. Joint STARS:ia on käytetty kokeilumielessä rajavalvonnan tehtävissä Yhdysvaltain ja Meksikon välisellä rajalla [16].

Irakin miehitettyä Kuwaitin vuonna 1990 Yhdysvalloille tarjoutui mahdollisuus testata vielä

prototyypivaiheessa ollutta Joint STARS:ia taistelutehtävissä. Maavoimien kenraaliluutnantti Fred Franks vaati saada Joint STARS:in Persianlahdelle vaikututtuaan sen suorituskyvystä harjoituksissa Euroopassa edellisenä syksynä. Tammikuussa 1991 kaksi prototyypivaiheessa ollutta Joint STARS:ia saapui Saudi-Arabiaan tukemaan operaatio Aavikkomyrskyä, vaikka alustavasti ilmavoimien johto vastustikin kokeiluvaiheessa olleiden koneiden lähettämistä. Koska järjestelmä oli vielä kokeiluvaiheessa, Liittouman johdolla ei ollut tietoja ja taitoja, joiden avulla Joint STARS:in täyden potentiaalin olisi voinut hyödyntää. [15]

Osaamisen alhainen taso ulottui myös Joint STARS:in miehistöihin, jotka täytyi muodostaa ja kouluttaa. Miehistöihin kuului jopa järjestelmäasiantuntijoina työskennelleitä siviilejä Grumman-yhtiöstä, jotka kouluttivat miehistöjä koneiden ollessa matkalla Saudi-Arabiaan. Käytännön työn kautta miehistöt oppivat ja Liittouman johto pystyi nopeasti aloittamaan hyödyntämään Joint STARS:in valvonta- ja maalinosoituskykyjä. [15]

Al Khafjin taistelun aikana Joint STARS:in GMTI-tutkalla havaittiin irakilaisjoukkoja, jotka etenivät pimeällä kuvitellen sen tarjoavan suojaa. Joint STARS:in tuottamaa tiedustelutietoa käytettiin ilmaiskujen johtamisessa, joilla tuhottiin irakilaisten pääosat, ennen kuin ne etenivät kosketukseen Liittouman maajoukkojen kanssa. Ilmaiskujen tehon lisäämisen lisäksi Joint STARS pystyi tuottamaan tiedustelutietoa Liittouman komentajille, jolla varmistettiin, että irakilaiset eivät valmistelleet suurempaa hyökkäystä missään muualla. [15]

Liittouman maahyökkäyksen aikana oli harvinaislaatuisten huonot sääolosuhteet, jolloin irakilaiset yrittivät uudelleen sijoittaa joukkojaan, jälleen Joint STARS:ista tuotettu tiedustelu mahdollisti irakilaisten torjumisen. Sodan loppuvaiheessa irakilaisten vetäytyessä Kuwaitista, havaittiin vetäytyvät joukot jälleen Joint STARS:in GMTI-tutkalla ja valtaväyliä pitkin vetäytyviin irakilaisiin kohdistettiin jatkuvia ilma-iskuja, joilla tuotettiin vetäytyvälle viholliselle huomattavia tappioita. [15]

Joint STARS:illa oli merkittävä osuus Persianlahden sodan lopputuloksessa, vaikka järjestelmässä olikin vielä suuria puutteita. Koska operaatioalueella oli vain kaksi Joint STARS-konetta, jatkuvaa valvontaa ei kyetty suorittamaan. Pidempiin operaatioihin tarvittaisiin ainakin kolme konetta, koska miehistöt tarvitsivat lepoa ja koneet huoltamista. Tiedustelun kattavuutta lisäksi haittasi se, että yhdelle lentävälle koneelle määrättiin usein pienemmän pistemäisen kohteen valvontaa kuin laajojen alueiden valvontaa. [15]

Naton rauhanturvajoukkojen saapuessa Bosniaan loppuvuodesta 1995 Joint STARS:it tuottivat valvontatietoa Nato-joukkojen edetessä läpi sotaa käyvän maan. Tilanteen muuttuessa staattisemmaksi tilanne aiheutti rajoituksia Joint STARS:in käytettävyydelle. Osapuolten suuren lukumäärän ja siviiliväestön paljoudesta johtuen Joint STARS:in GMTI-sensorien tuottama tarkkuus ei riittänyt maalinosoitukseen. [10]

Joint STARS:in SAR/GMTI-suorituskykyjen hyödyntäminen Kosovossa operaatio Allied Forcen aikana oli haastavaa. Pääsyynä oli eroavaisuus Persialahden sotaan. Toisin kuin Kuwait ja Irak, Kosovon suuret korkeuserot ja peitteinen maasto lisäsivät huomattavasti tutkavälkkeen määrää vaikeuttaen Joint STARS:in SAR/GMTI-tutkan kykyä havaita ja seurata kohteita. [15]

Toinen huomattava seikka oli omien maajoukkojen puuttuminen toiminta-alueelta. Tästä johtuen serbijoukot pystyivät hajauttamaan joukkonsa ja vähentämään liikehdintäänsä, mistä johtuen Joint STARS ei kyennyt havaitsemaan suuria vihollisosastoja kuten Persialahden sodassa. Serbijoukot myös liikkuivat siviililiikenteen ja -väestön keskuudessa mikä vaati kohteiden visuaalisen tunnistamisen, joka edelleen laskee GMTI-tutkan käytettävyyttä [15]. Lisäksi serbien ilmatorjunnan tuottama uhka oli merkittävä ja serbien suorittama harhautus- ja valemaali-toiminta osoittautui tehokkaaksi [10].

Samoin kuin Persialahden sodassa myös Kosovon sodassa usein käytettävissä oli vain kaksi Joint STARS-konetta, vaikka vuonna 1999 järjestelmä oli jo operatiivisessa käytössä. Koska koneet joutuivat lentämään Saksasta, eikä niillä ollut lupaa lentää Itävallan tai Sveitsin ilmatilassa, varsinainen lentoaika operaatioalueella oli rajattu. Koska jatkuvaa tutkavalvontaa ei saatu Joint STARS:eilla aikaiseksi, serbit saivat mahdollisuuksia liikkua ilman havaituksi tulemisen vaaraa. [15]

Kosovon sodassa Joint STARS:ien käyttö kohtasi samat ongelmat kuin Persialahden sodassa. Yhdysvaltojen Euroopan joukkojen johdossa (USEUCOM, US European Command) ei ollut tietoja ja taitoja käyttää Joint STARS:eja oikein. Kosovon sodan alussa Joint STARS:eja käytettiin vain tiedustelutiedon keräämiseen koko alueelta, koneita ei käytetty lainkaan maalinosoitukseen ja lentävänä komentopaikkana. Joint STARS-laivueen lähetettyä yhteysupseereita USEUCOM:iin alkoi operaation johdon ymmärryksen parantua järjestelmän käytön suhteen. [15]

Käytännön kokemusten osoittama oikeat toimintatavat ja menetelmät, sodanjohdon ymmärrys parani ja Joint STARS:eja pystyttiin käyttämään tehokkaammin. Koska Joint STARS pystyi havaitsemaan liikkuvia kohteita, tietyin varauksin, rynnäkkökoneiden ei tarvinnut enää niin runsaasti käyttää aikaa kohteiden visuaaliseen etsintään, jota kyllästettiin valelaitteilla ja naamioinnilla. Joint STARS:eja alettiin käyttää lentävinä komentokeskuksina, joista johdettiin saadun tiedustelutiedon perusteella ilma-operaatioita, lentäviä ilmatulenjohtajia ja ohjattiin UAV-koneita (Unmanned Aerial Vehicle) alueille missä liikettä havaittiin. Tämä tehosti käytävissä olevien resurssien toimintaa ja serbijoukkojen löytäminen ja maalinosoitus parani [15]. Lisäksi valvontatiedon tuottamista paransi U-2:ten ja ranskalaisen Horizon-järjestelmän tuottama SAR/GMTI-data, mutta yhteisen tilannekuvan muodostamista haittasi eri järjestelmien maa-asemien yhteensopimattomuus [10].

Kosovon sodan loppuvaiheissa Kosovon vapautusarmeija (KLA, Kosovo Liberation Army) aloitti offensiivinsa serbejä vastaan. Joint STARS:in ja Naton ilmavoimien toiminta aiheutti ongelman serbijoukoille. Jos serbit yrittivät liikkua torjuakseen KLA:n hyökkäyksiä, serbit asettivat itsensä alttiiksi Joint STARS:ille ja Naton ilma-iskuille. Mutta jos serbit eivät liikkuneet ja pysyivät suojassa, he eivät pystyneet torjumaan KLA:n hyökkäyksiä. [15]

Afganistanin sodan alettua syksyllä 2001 Joint STARS:in käyttö operaatiossa oli kaukana sen optimikäytöstä. Tällä kertaa oli tosin opittu edellisistä operaatioista, mutta edelleen operaatiossa olevien koneiden vähäinen määrä rajoitti valvonnan jatkuvuutta ja koneiden pitkät lentomatkat rajoittivat toiminta-aikaa. Lisäksi siviilien läsnäolo taistelualueilla vaikeutti maalinosoitusta. [15]

Afganistanin vuorinen maasto vaikeutti valvonnan suorittamista. Mutta toisaalta maastonmuodot myös kanavoivat talebanien ja Al Qaidan ajoneuvoliikennettä, joten valvontaa oli helppo keskittää liikenteen solmukohtiin, missä Joint STARS:in GMTI-kyky osoitti toimivuuksensa. Joint STARS:in valvontalennot sovitettiin yhteen muiden suorituskykyjen kanssa. Joint STARS:in lisäksi koneet, kuten UAV:t, U-2:set ja erikoisjoukkojen partiot, täydensivät tilannekuvaa [15]. Vaikean maaston, huonon sään ja rajatun GMTI-suorituskyvyn vuoksi varsinkin U-2:n ja Global Hawk UAV:n kehittyneitä SAR-sensoreita käytettiin maalinosoitukseen ja taisteluvaikutuksen arviointiin, eli BDA:han (Battle Damage Assessment) [10].

U-2S on Yhdysvaltojen ilmavoimien operoima strategisen tason tiedustelu- ja valvontakone, joka kykenee tuottamaan monipuolisen sensorivarustuksensa ansioista signaali-, kuvatie-

lua ja elektronista mittausta. U-2S kykenee tuottamaan kuvaa elektro-optisilla järjestelmillä, infrapunasensoreilla, SAR/GMTI-tutkalla ja koneessa on myös filmikamera. Tiedustelutieto saadaan nopeasti komentajien käyttöön datalinkkien välityksellä. U-2S operoi yli 20 kilometrin korkeudesta läheltä avaruuden rajaa, joten kone kykenee tuottamaan tiedustelutietoa laajalta alalta. [11]

U-2S:n SAR/GMTI-tutka ASARS-2A (Advanced Synthetic Aperture Radar System) toimii laajan alueen etsintä-moodissa SAR- ja GMTI-toiminnoilla ja se tuottaa spotlight-moodissa korkearesoluutioista SAR-kuvaa. Stripmap-moodissa ASARS-2A-tutka pystyy tuottamaan 1 metrin resoluutiolla SAR-kuvaa 5,2 kilometriä leveältä kaistalta, 2 metrin resoluutiolla 20,4 kilometriä leveältä kaistalta ja 3 metrin resoluutiolla 38,9 kilometriä leveältä kaistalta. Spotlight-moodissa tutka pystyy tuottamaan SAR-kuvaa 0,3 metrin resoluutiolla 20,4 kilometriä leveältä kaistalta. ASARS-2A:n tuottaman korkeatasoisen SAR-kuvan ja tarkkojen GPS-koordinaattien avulla voidaan ohjata täsmäohjattuja aseita. [9]

Kuten aikaisemmin Kosovon sodassa, Afganistanissa Joint STARS:in tuottamaa GMTI-tiedustelutietoa käytettiin ohjaamaan UAV:eita. Tämä oli tehokasta, koska Joint STARS:in tuottamaa tiedustelutietoa laajoilta alueilta täydennettiin UAV:den korkeamman resoluution, mutta pienemmän alueen kattavilla tiedustelusensoreilla. [15]

AN/ZPY-1 (Army-Navy/Piloted/Pilotless Airborne Combination, Radar, Surveillance and Control) on Northrop Grummanin suunnittelema taktisen tason SAR/GMTI-tutka, jota on suunniteltu käytettävän UAV-koneissa, kevyissä kiinteäsiipisissä ilma-aluksissa tai helikoptereissa. [8]

AZ/ZPY-1-tutka käyttää Ku-taajuusaluetta (12,5–18 Ghz), sen ilmoitettu maksimikantama on 10 kilometriä. Tutkaa voidaan käyttää SAR- tai GMTI-moodissa. SAR-moodissa tutkaa voidaan käyttää laajan alueen tiedusteluun stripmap-moodissa ja tarkennetun alueen tiedusteluun spotlight-moodissa, jolloin tutka tuottaa SAR-kuvaa 0,3 metrin resoluutiolla. GMTI-moodissa liikkuvat kohteet näytetään digitaalisen kartan päällä. [8]

Joint STARS:in sensorien tehokkuutta lisäsi omien maajoukkojen oleminen maassa. Pohjoisen Liittouman joukot, joita tukivat Yhdysvaltojen erikoisjoukot, aiheuttivat uhan talebaneille ja Al Qaidan joukoille, jonka vuoksi vihollisen täytyi liikkua. Vihollinen käytti ajoneuvoja liikkumiseen ja tulitukeen, Joint STARS pystyi usein havaitsemaan liikkuvan vihollisen

GMTI-tutkalla. Viholliset tuhottiin usein vasta kun he olivat poistuneet asutuilta alueilta, mikä vähensi siviilisten uhrien määrää. [15]

Joint STARS:it saapuivat Afganistaniin, kun taistelut olivat olleet käynnissä jo viikkoja. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että Joint STARS:in ei kuviteltu sopivan Afganistanin kaltaiseen operaatioon, jossa suoritettiin hyvinkin dynaamisia taistelutehtäviä vihollista vastaan, jota on kovin vaikea erottaa siviiliväestöstä. Joka tapauksessa Joint STARS:ien myöhäisen saapumisen takia useita mahdollisia kohteita ei havaittu. Joint STARS todisti käytettävyytensä myös kovin epätavanomaisessa toimintaympäristössä. [15]

Yhdysvaltojen ja Iso-Britannian joukot Irakin sodassa (OIF, Operation Iraqi Freedom, 2003) hyödynsivät aikaisemmista konflikteista saatuja kokemuksia Joint STARS:in käyttöön liittyen. Ensimmäistä kertaa käytössä oli yhdeksän konetta, jotka tuottivat tiedustelutietoa kolmelta lentoradalta, joista yhdessä oli jatkuvasti kone ilmassa. GMTI-tiedustelutietoa saatiin kerätty melkein koko toiminta-alueen laajuudelta. Koneet lähetettiin toiminta-alueelle riittävän ajoissa ja koneet keräsivät runsaasti strategisen tason tiedustelutietoa suorituskykyjen, kuten U-2:ten ja Global Hawk:ien kanssa irakilaisjoukoista ennen sodan alkua. Maajoukkojen komentajat tunsivat Joint STARS:ien suorituskyvyn ja käytettävyyden ennen sodan alkua. [15]

Strategiseen tiedusteluun tarkoitettu RQ-4A Global Hawkin toimintamatka on lähes 25 000 kilometriä, toiminta-aika 36 tuntia ja hyötykuorma yli 900 kilogrammaa. Lähes 20 kilometrin korkeudesta lentävä kone on varustettu lämpökameralla, päiväkameralla sekä SAR/GMTI-tutkalla. SAR-tutkan resoluutio spotlight-moodissa on 0,3 metriä ja stripmap-moodissa 1 metriä. GMTI-tutka havaitsee yli 7 km/h nopeudella liikkuvat kohteet. [1, s. 370]

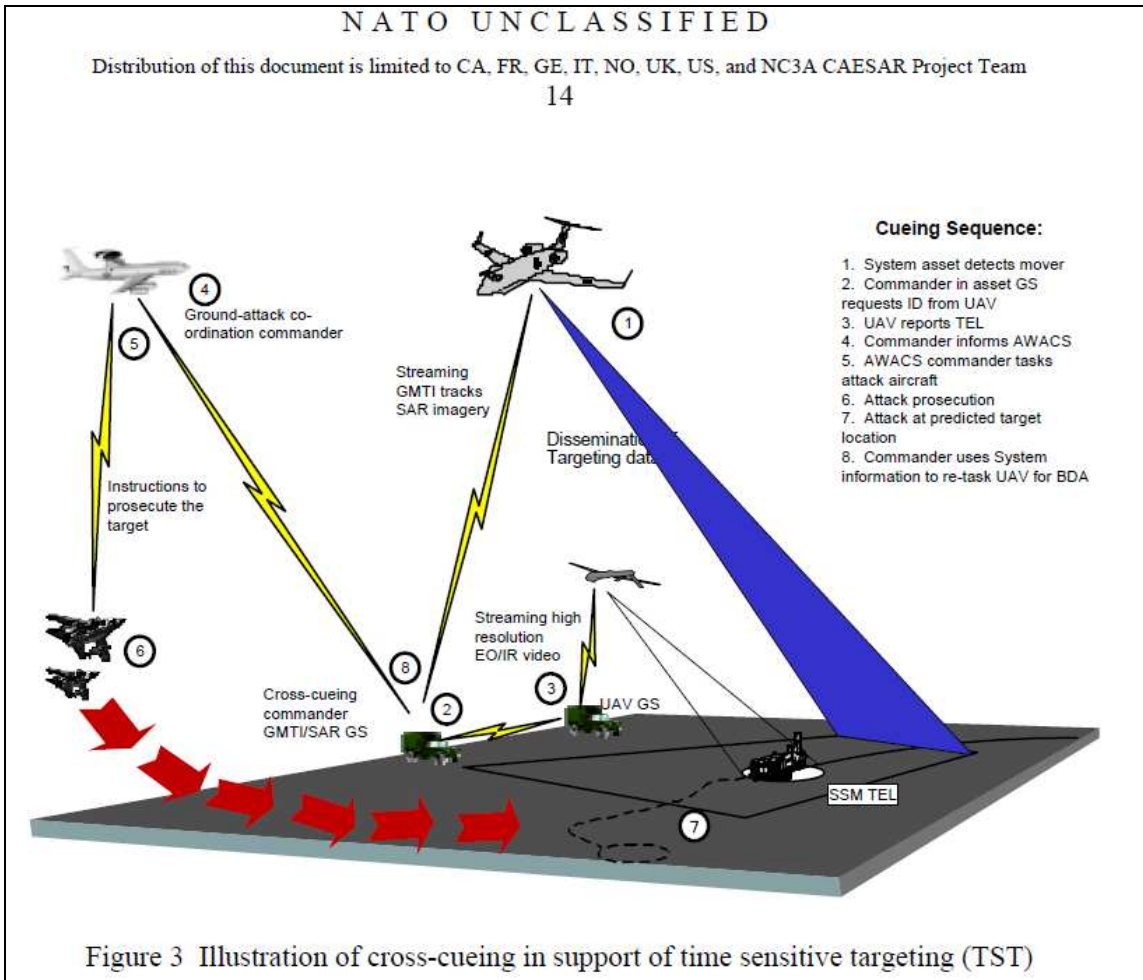
Irakin sodan päätaisteluvaiheiden aikana Joint STARS-laivueen tehtävä oli tukea taistelussa olevia ilma- ja maajoukkoja lähes reaaliaikaisella tiedustelutiedolla vihollisen ja toisinaan omien joukkojen sijainnista läpi koko toiminta-alueen [15]. Raakadatan käsittelyä helpotti automaattisen kohteentunnistuksen käyttö ja Yhdysvaltojen maajoukkojen omatunnistejärjestelmä, eli Blueforce tracking.

Koska Joint STARS:ien GMTI-tutkat havaitsivat irakilaisten ajoneuvoliikenteen, irakilaisten komentajat kohtasivat jälleen saman taktisen ongelman kuin serbit Kosovossa. Jos irakilaiset liikkuivat, heidät havaittiin ja tuhottiin ilma-iskuilla tai tykistöllä. Jos irakilaiset hajaantuivat ja pysyivät naamioituneina ja kaivautuneina, heidät koukattiin tai tuhottiin maajoukkojen toi-

mesta. Useissa tapauksissa irakilaiset hylkäsivät panssarivaununsa ja -ajoneuvonsa varman tuhon uhatessa. [15]

GMTI-suorituskyky mahdollisti Liittouman joukkojen nopean etenemisen. Sen lisäksi, että tiedustelutiedon perusteella voitiin iskeä suoraan irakilaisjoukkoihin, niin se antoi myös komentajille itseluottamusta edetä vaikka sivustat ja huoltolinjat eivät olleet suojatut. Vaikka Liittouman tilannetietoisuus ei ollut täydellinen huoltolinjoilla, joita vastaan jalkautuneet irakilaiset hyökkäsivät, pystyivät Liittouman joukot vastaamaan tehokkaasti kaikkia merkittäviä irakilaisten aiheuttamia uhkia vastaan. Laajan alueen seurannalla paljastettiin irakilaisten aiheuttamat uhat riskialttiilla alueilla, joihin Liittouman joukot vastasivat ilma-/tykistöiskuilla tai maajoukkojen siirroilla. Irakilaisten maajoukot olivat huomattavasti suuremmat kuin Liittouman, mutta irakilaiset eivät kyenneet salaamaan toimintaansa edes suuren hiekkamyrskyn turvin. Vastaavasti Liittouman joukot pystyivät liikkumaan paljon nopeammin mitä irakilaiset pystyivät vastaamaan. [15]

Irakin sodassa Joint STARS oli merkittävässä roolissa TST-maalinosoituksessa (Time Sensitive Targeting). Käyttämällä lähes reaaliaikaista tiedustelutietoa ja hyödyntämällä koneen taistelunjohto-ominaisuuksia, Joint STARS kykeni ohjaamaan rynnäkkökoneita aikakriittisille kohteille. Lisäksi Joint STARS:eista ohjattiin UAV:eita ja muita sensoreita tarkastamaan taisteluvaurioita kohteista. [15]



Kuva 5. TST-maalinosoituksen periaatekuva [22].

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen pääkysymys on: Mikä on länsimaisen SAR/GMTI-tutkan suorituskyky? Alakysymyksinä ovat: 1) Miten SAR/GMTI-tutka eroaa tavallisesta tutkasta? 2) Mikä on SAR-tutkan erottelukyky?

SAR-tutka kasvattaa keinotekoisesti antenniryhmänsä kokoa käyttämällä hyväkseen liikkuvaa alustaa. SAR-tutka säteilee kohtisuoraan lavetin etenemissuuntaan nähden. Lavetti, useimmiten lentokone, lentää vakiokorkeudella ja –nopeudella ja SAR-tutka säteilee vakiopulssintotaajuudella, jolloin matemaattisen prosessoinnin avulla palautuvat kaiut voidaan sijoittaa oikeille paikoilleen ja muodostaa SAR-kuvaa. SAR-tutkissa on kaksi pääkäyttömoodia, stripmap ja spotlight. Stripmap-moodissa SAR-tutka muodostaa pienemmän resoluution SAR-kuvaa pitkältä mosaiikkimaiselta kaistaleelta ja spotlight-moodissa SAR-tutka säteilee jatkuvasti tiettyyn pisteeseen ja muodostaa korkean resoluution SAR-kuvaa.

GMTI-tutka perustuu doppler-ilmiöön. Liikkuvista kohteista palautuvalla tutkasäteilyllä on eri taajuus kuin ympäröivällä maastolla. Riittäväällä suodatuksella liikkuvat kohteet voidaan korostaa välkkeen seasta esimerkiksi esittämällä pisteinä digitaalisen kartan päällä.

SAR-tutkan erottelukyky liittyy tehtävään mihin kyseinen järjestelmä se on tarkoitettu. Esimerkiksi tutkimuksen pääesimerkkinä käytetyn Joint STARS:in SAR-tutka AN/APY-7:n erottelukyky on 3,7 metriä, jolla päästään NIIRS-tasolle 3, eli voitaisiin havaita keskikokoiset ilma-alukset ja ajoneuvot sekä suorittaa tyyppitunnistus joissakin tapauksissa. Vastakohtana voidaan pitää taktisen tason SAR-tutkaa AN/ZPY-1:stä, jolla saavutetaan 0,3 metrin resoluutio, eli NIIRS-taso 7 ja voidaan siis tyyppitunnistaa käytännössä kaikki panssarivaunut ja ajoneuvot. Mutta AN/APY-7 on suunniteltu koko taistelukentän laajuudelta tapahtuvaan valvontaan ja strategisen tason tiedusteluun, kun taas AN/ZPY-1 on taktiseen toimintaan suunniteltu SAR/GMTI-tutka, jota voisi käyttää UAV:ssä, joka tarkistaa vaikutusta kohteeseen.

Datalinkkien kehittymisen ja SAR/GMTI-sensorien suorituskyvyn kehittymisen myötä on ollut mahdollista supistaa lentomiehistöjen kokoa lentävissä SAR/GMTI-järjestelmissä, koska varsinaiset taistelunjohto-osat on voitu sijoittaa maa-asemien yhteyteen. Pienempien lentojärjestelmien myötä lentokorkeutta on voitu nostaa ja siten tutkan mittausetäisyyttä kasvattaa.

Kaluston kehittymisen ja kaupallisten COTS-komponenttien hyödyntämisen myötä SAR/GMTI-järjestelmien kustannukset ovat laskeneet, joka on mahdollistanut pienempien valtioiden SAR/GMTI-suorituskykyjen kehittämisen. Suomessa Rajavartiolaitoksen Dornier-valvontakoneissa on SAR/GMTI-sensorit, joita käytetään erityisesti meriliikenteen valvontaan, mutta koneiden tarkat tiedot ovat turvaluokiteltuja. Lisäksi Rajavartiolaitoksen Dornier kalustossa on erittäin tehokkaat elektro-optiset valvontasensorit, joihin kuuluu päiväkamera, lämpökamera ja valonvahvistin.

Seuraava suuri etappi SAR/GMTI-järjestelmissä on avaruuspohjaisten järjestelmien hyödyntäminen, koska valvontajärjestelmien taistelunkestävyys parantuisi, raakadatan jakaminen on mahdollista suojattujen datalinkkien kautta ja kattavuus parantuisi. Satelliittipohjaisissa SAR/GMTI-järjestelmissä ongelmia aiheuttaa GMTI-moodin käyttö, koska satelliittipohjaisen järjestelmän lentonopeus on niin suuri, että liikkuvia kohteita on vaikea havaita välkkeen seasta. Ratkaisuksi kehitetään STAP-prosessointia.

AESA-tutkien kehittyminen ja käyttöönotto mahdollistavat järjestelmissä samanaikaisen SAR/GMTI-toimintojen käytön sekä kasvattaa resoluutiota ja mittausetäisyyttä. Kasvaneen SAR-resoluution, ATR-logaritmien sekä maajoukkojen omatunnistejärjestelmien, esimerkiksi Yhdysvaltojen Blueforce tracking, käyttöönoton myötä tiedon käsittelyyn kuluva aikaa, eli niin sanottua sensor-to-shooter-aikaa on saatu alhaisemmaksi, joka on olennaisen tärkeää taktisissa operaatioissa, kuten TST-maalinosoituksessa.

Ongelmia SAR/GMTI-järjestelmille on aiheuttanut peitteinen ja vuoristoinen maasto, kuten on havaittu Kosovon ja Afganistanin operaatioissa. SAR/GMTI-järjestelmät kehitettiin alun perin havaitsemaan Varsovan liiton panssarivaunujen liikkeit Keski-Euroopan peltoaukeilla. Kasvillisuuspeitteistöä läpäiseviä SAR-järjestelmiä on kehitetty, mutta niiden resoluutio on melko pienehköä, joka ei sovellu kovinkaan luotettavaan maalinsoitukseen tai lyhytjänteiseen toimintaan. Kasvillisuuspeitteistöä läpäisevät SAR-järjestelmät toimivat matalilla taajuuksilla, jossa ongelmia aiheuttaa häiriöllinen radiotaajuusympäristö, jota on pyritty välttämään taajuushyppytyksellä.

Kosovon ja Afganistanin kaltaisissa operaatioissa on korostunut korkean resoluution SAR-kuvien käyttö maalinsoituksessa ja taisteluvaikutuksen arvioinnissa. Lisäksi suodatuksella on voitu rajoitetusti käyttää GMTI:tä vuoristoisissa ja peitteisissä olosuhteissa keilaamalla esimerkiksi liikenteen solmukohtia. Mutta esimerkiksi Afganistanin tapauksessa vihollisen ajo-

neuvoliikenne on ollut minimaalista ja varsinaista tunnistusta pelkästään GMTI-datan perusteella on ollut mahdoton tehdä.

Joint STARS:in kaltaisen valvontakoneen tuottamaa GMTI-dataa on voitu hyödyntää taistelunjohtamisessa ja aikakriittisten kohteiden tuhoamisessa. Kehittyneiden HF-, VHF-, UHF- ja satelliittiyhteyksien avulla tilannekuvaa on voitu jakaa alajohtoportaille lähestulkoon reaaliajassa.

Eri järjestelmien verkostoitumisen, datalinkkien kehittymisen ja SAR/GMTI-sensorien suorituskyvyn kasvamisen myötä on voitu yhdistää eri tiedustelusuorituskykyjen tuottamaa tiedustelutietoa yhteisen tilannekuvan muodostamiseksi. Kosovon operaatioissa yhteisen tilannekuvan muodostamista haittasi Naton SAR/GMTI-järjestelmien yhteensopimattomuus ja eri järjestelmien fyysinen etäisyys. Irakin sodassa Yhdysvalloilla oli riittävästi käytössä SAR/GMTI-sensoreilla varustettuja järjestelmiä, joilla saatiin katettua lähes koko toiminta-alue vuorokauden ympäri ja kohteiden tarkastamiseen ja maalinosoituksen varmistamiseen voitiin kärkeä esimerkiksi UAV-koneita, joilla oli korkean resoluution SAR/GMTI- ja elektro-optiset sensorit.

SAR/GMTI-sensorit ovat vakiintuneet käyttöön sotilasoperaatioissa ja ne tuottavat korvaamattomaa apua tilannekuvan luomisessa. Eri järjestelmien verkostoitumisen, muun muassa suojattujen datalinkkien avulla, ja eri tiedustelusuorituskykyjen tuottaman yhteisen tilannekuvan tuottaminen eri johtoportaille toimii edellytyksenä tehokkaaseen maalinosoitukseen ja toimintaan vihollista vastaan.

LÄHTEET

Kirjallisuus:

- [1] Kosola, J. & Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä – informaatioajan sotakoneen tekniikka*. 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 532 s. ISBN 951-25-1449-4.
- [2] Rekkedal, N.M. *Nykyaikainen sotataito – sotilaallinen voima muutoksessa*. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2006. 579 s. ISBN 951-25-1733-7.
- [3] Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E. & Pitkänen, M. *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, osa 1*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 564 s. ISBN 978-951-25-1888-3.
- [4] Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E. & Pitkänen, M. *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, osa 2*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 279 s. ISBN 978-951-25-1890-6.
- [5] Järvinen, S. *Global Hawk and SAIP – An Example of Automatic Target Recognition*. Kirjassa: Jormakka, J. & Rissanen, A. (toim.). *State-of-the-Art in Sensors*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2006. 143 s. ISBN 951-25-1650-0.

Internet:

- [6] Jane's haun tulos: Joint STARS. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-C4I-Systems/E-8C-Joint-Surveillance-and-Target-Attack-Radar-System-JSTARS-United-States.html>.
- [7] Jane's haun tulos: AN/APY-3/-7. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-Avionics/AN-APY-37-United-States.html>.
- [8] Jane's haun tulos: AN/ZPY-1. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-Electronic-Mission-Aircraft/AN-ZPY-1-STARLite-United-States.html>.
- [9] Jane's haun tulos: ASARS-2A. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-Electronic-Mission-Aircraft/Advanced-Synthetic-Aperture-Radar-System-Two-Two-A-ASARS-2ASARS-2A-United-States.html>.
- [10] Tim Ripley, *Airborne Ground Surveillance – Taking The High Road*, Jane's Defence weekly, 2006. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-Defence-Weekly-2006/AIRBORNE-GROUND-SURVEILLANCE--TAKING-THE-HIGH-ROAD.html>.

- [11] USAF fact sheet: U-2S. Saatavissa: <http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=129>.
- [12] Garry Jacyna. *A Hitchhiker's Guide to Radar Fundamentals*. Saatavissa: http://www.mitre.org/news/the_edge/september_99/second.html.
- [13] *US Army Joint STARS Field Manual*, Department of the Army, Washington DC 1995. Saatavissa: <http://www.fas.org/irp/doddir/army/fm34-25-1/toc.htm>.

Muut julkaisut:

- [14] A Congressional Budget Office Study. *Alternatives for Military Space Radar*, The Congress of the United States, Washington DC 2007. Saatavissa: <http://www.cbo.gov/ftpdocs/76xx/doc7691/01-03-SpaceRadar.pdf>.
- [15] Analysis Center Papers. Richard J. Dunn, III, Price T. Bingham & Charles A. Fowler. *Ground Moving Target Indicator Radar – And the Transformation of U.S. Warfighting*. Northrop Grumman 2004.
- [16] IEEE Aerospace Conference 2012. Brian Kish, Jeff Dillard, Ken Verderame, Sean Musil, Jeff Nickerson & Jeff Koss. *JSTARS Demonstrations in Real-World Environments*.

Opinnäytetyö:

- [17] Passoja, K. *Tilannekuvan muodostaminen seuraavan sukupolven hävittäjässä*. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2011. MPKK, sotatekniikan laitos. 46 s.
- [18] Tolvanen, P. *SAR-satelliittien sotilaalliset käyttömahdollisuudet Suomessa*, TLL IV Viranomaiskäyttö. Esiupseerikurssin tutkielma. Helsinki, 2008. MPKK, sotatekniikan laitos. 49 s.

Kuvat:

- [19] Saatavissa: <http://www.sandia.gov/RA-DAR/whatis.html>.
- [20] Saatavissa: <http://www.soue.org.uk/soue-news/issue9/jenkinlect.html>.
- [21] Saatavissa: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/116th_ACW_E-8C_Joint_STA-RS_96-0042-2.jpg.
- [22] Saatavissa: <http://publicintelligence.net/nato-interoperable-istar-system-concept-of-employment>.

Taulukko:

- [23] Saatavissa: <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>.