

# **FFI RAPPORT**

## **DIGITAL MULTISTATISK RADAR, OVERORDNET MASKINVAREBESKRIVELSE**

TANSEM Ivar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, OLSEN Karl Erik, SØRNES Per

**FFI/RAPPORT-2002/02453**



FFIE/726/170

Godkjent  
Kjeller 29 May 2002

John-Mikal Størdal  
Forskningsjef

**DIGITAL MULTISTATISK RADAR,  
OVERORDNET MASKINVAREBESKRIVELSE**

TANSEM Ivar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor,  
JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, OLSEN Karl Erik,  
SØRNES Per

FFI/RAPPORT-2002/02453

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



**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)**  
**Norwegian Defence Research Establishment**

**UNCLASSIFIED**

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-2002/02453	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 17
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/726/170	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE DIGITAL MULTISTATISK RADAR, OVERORDNET MASKINVAREBESKRIVELSE  (DIGITAL MULTISTATIC RADAR, A HIGH LEVEL HARDWARE DESCRIPTION)		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) TANSEM Ivar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, JOHNSEN Terje, JOHN SRUD Steinar, OLSEN Karl Erik, SØRNES Per		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>CW radar</u>	a) <u>CW radar</u>	
b) <u>Radar receivers</u>	b) <u>Radar mottaker</u>	
c) <u>Radar transmitter</u>	c) <u>Radar sender</u>	
d) <u>Radar Engineering</u>	d) <u>Radar konstruksjon</u>	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE: <b>INSPEC 1999</b>		
8) ABSTRACT This report gives a high level description of a radar demonstrator made for demonstrating bistatic radar. The demonstrator consists of one transmitter and one receiver unit. An overview of the hardware used in the demonstrator is presented. A high level description of the different modules in the receiver and the transmitter is given. The interconnect between the different modules is described. A description of the different antennas used with the radar demonstrator is included.		
9) DATE 29 May 2002	AUTHORIZED BY This page only John-Mikal Størdal	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0630-2

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOLD**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	7
2	BAKGRUNN	7
3	SYSTEMBESKRIVELSE	8
3.1	Sender	9
3.1.1	PC	9
3.1.2	FPGA-kort	9
3.1.3	IO-kort	9
3.1.4	RF-sender	9
3.1.5	Antenne	10
3.1.6	GPS-disiplinert rubidiumoscillator	10
3.1.7	Avbruddsfri strømforsyning (Uninterruptable Power Supply, UPS)	11
3.2	Mottaker	11
3.2.1	Antenne	12
3.2.2	RF-maskinvare	12
3.2.3	IO-kort	13
3.2.4	FPGA-kort	13
3.2.5	PC	13
3.2.6	GPS-disiplinerte rubidiumoscillator	13
3.2.7	Avbruddsfri strømforsyning (Uninterruptable Power Supply, UPS)	13
3.3	Trådløs kommunikasjon mellom mottaker og sender	13
3.4	Synkronisering	13
3.5	Rack	14
4	OPPSUMMERINGER	14
	LITTERATUR	15
	Fordelingsliste	17





## **DIGITAL MULTISTATISK RADAR, OVERORDNET MASKINVAREBESKRIVELSE**

### **1 INNLEDNING**

I prosjekt 726 Digital multistatisk radar er det utviklet en radarsender og -mottaker for å verifisere et multistatisk radarkonseptet (1). Det er utviklet en demonstrator bestående av en sender og en mottaker slik at det pr dags dato er et bistatisk radarsystem. I et bistatisk radaroppsett er sender og mottaker geografisk separert. Det bistatiske radarsystemet synkroniseres i tid og frekvens ved hjelp av GPS disiplinerte rubidium oscillatorer. Det er således ingen fysisk forbindelse mellom sender og mottaker. Senderenheten som er utviklet i prosjektet sender et kodet kontinuerlig signal (Continuous Wave - CW) og mottakeren mottar eventuelt reflektert signal. All nødvendig signalprosessering er tenkt utført på mottakerenheten i sann tid. På det tidspunkt denne rapporten skrives er elektronikken for signalprosessering ikke fullført. Slik at mottakeren i demonstratoren fungerer som en datainnsamlingsenhet. All signalprosessering foregår pr dags dato på PC i etterkant av målingene.

### **2 BAKGRUNN**

Konseptet digital multistatisk radar (1) består av mange sendere og en passiv mottaker. Systemet er dermed forventet å ha store fordeler overfor Anti Radiation Missiles (ARM), jamming og lavsignaturmål. I tillegg sendes et kodet CW signal, noe som gjør senderne vanskeligere å detektere enn tradisjonelle radaremisjonere.

Det har vært arbeidet både teoretisk og praktisk med det multistatiske radarkonseptet. Dette konseptstudiet har hatt som formål å identifisere og løse tekniske problemstillinger forbundet med bruk av bi- og multistatiske radarsystemer.

Dokument beskriver det bistatiske demonstrasjonssystemet på en overordnet måte. For mer utfyllende dokumentasjon henvises til rapportene som dokumenterer enkeltkomponenter og litteraturlisten i (9).

### 3 SYSTEMBESKRIVELSE



Figur 3.1 Bilde av sender (venstre) og mottaker (høyre)

Sender og mottaker er to selvstendige enheter, se Figur 3.1. Som nevnt i innledningen sendes et kodet CW signal. Koden ligger lagret i senderenheten på digital form. Signalet konverteres til analog form før det moduleres med bæreølgen, forsterkes og sendes ut på antennen. Maksimal utgangseffekt er 1 W. Den digitale maskinvaren på mottakerenheten fungerer pr dags dato som en datainnsamlingsenhet. Reflektert signal mottas på antennen, demoduleres før signalet konverteres til digital form og lagres i minne. De lagrede data overføres så til en PC for prosessering.

Sender og mottaker består av flere like moduler. Både sender og mottaker er bygd rundt et compactPCI (cPCI) system med ekstra kortposisjoner. CompactPCI er en betegnelse på en industri standard (2). Det er i prosjektet utviklet et prosesseringskort bygd på Field Programmable Gate Arrays (FPGA kort) (3) (5). Maskinvare på to slike kort utgjør henholdsvis den digitale kodeutsendelsen og den digitale datainnsamlingen. Kortet opptar en "slott" i compactPCI hyllen. Den analoge delen består av en RF-sender og en RF-mottaker. Det er også utviklet et kort med en digital til analog konverteringsmodul (D/A) og en analog til digital konverteringsmodul (A/D). Dette kortet, kalt IO-kort, (3) (6), er koblet mellom FPGA-kortet og RF-sender i senderenheten og RF-mottaker i mottakerenheten, se Figur 3.2 og Figur 3.5.

I forbindelse med parameteroppsetting i systemet kommuniserer mottaker og sender ved hjelp av en trådløs kommunikasjonslink koblet til RS232C porten på PCene, se avsnitt 3.3. Synchronisering av datainnsamling med kodeutsending skjer vha de GPS-disiplinerte oscillatorene, se avsnitt 3.4.

### 3.1 Sender

**Feil! Ugyldig kobling.**

*Figur 3.2 Skjematisk fremstilling av sender i demonstratoren*

Senderen er bygd rundt et cPCI system. Med referanse til Figur 3.2, deler vi senderen opp i følgende moduler: Det er en PC i systemet hvor all kontrollprogramvare kjøres. Videre er det en modul på FPGA-kortet som tar seg av den digitale kodeutsendingen. Digital kode sendes til I/O-kortet. Her konverteres koden fra digital til analog form før den sendes til RF-sender. RF-sender legger koden i rett frekvensområde og forsterker signalet før den sendes ut på antennen. For en utfyllende beskrivelse av senderenheten henvises til (3). RF-sender er beskrevet i (4) Disse komponentene er samlet i et rack som vist Figur 3.1. I tillegg inneholder kabinettet en skjerm og tastaturenhhet, en GPS-disiplinert rubidiumoscillator og en UPS (Uninterruptable Power Supply).

#### 3.1.1 PC

PCen i senderen består av et cPCI kort koblet til bakplanet i cPCI hyllen. Kodene som skal sendes ligger lagret på PCens harddisk. Den aktuelle koden skrives til minne på FPGA-kortet for så å leses ut vha logikken for digital kodeutsending på FPGA-kortet (3).

#### 3.1.2 FPGA-kort

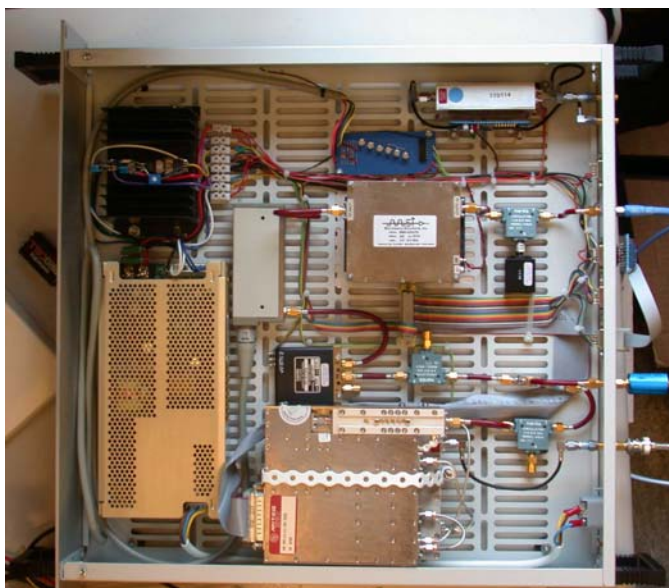
Dette er et egenutviklet prosesseringskort bestående av FPGAer. I senderenheten brukes logikken til digital kodeutsending og er implementert på en av FPGA kretsene (3) (5).

#### 3.1.3 IO-kort

Dette er et egenutviklet kort som inneholder bl a en A/D og en D/A modul. I senderenheten er det D/A modulen som brukes. Denne modulen konverterer den digitale koden til analog form før den rutes videre til RF-sender (3) (6).

#### 3.1.4 RF-sender

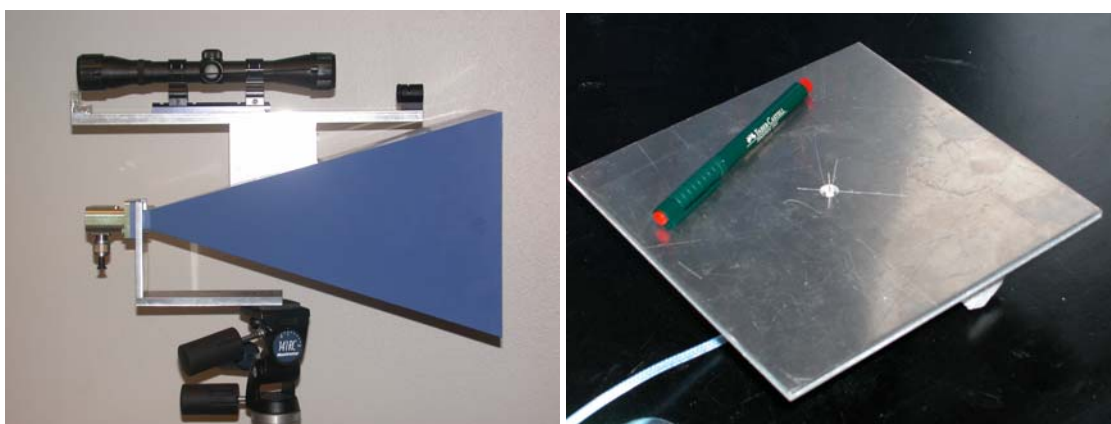
Denne modulen inneholder RF maskinvare for å modulere koden til ønsket frekvensområde før signalet forsterkes og sendes ut på antennen (3) (4).



Figur 3.3 RF senderenhet

### 3.1.5 Antenne

Antennen på senderenheten er en standard gain hornantenne med ca 20° åpningsvinkel i både asimuth og elevasjon. Antennen er lett, den er festet på et fotostativ og veier ca 5 kg med stativ. Det er også gjort enkelte målinger med en  $\lambda/4$  monopolantenne som vist i Figur 3.4.



Figur 3.4 Figuren viser de to antenneytypene vi har brukt. Bilde til venstre viser hornantennen. Kikkertsiktet er montert for å lette innsikting mot mål. Bildet til høyre viser  $\lambda/4$  monopolantennen.

### 3.1.6 GPS-disiplinert rubidiumoscillator

Både sender- og mottakerenhetene inneholder en GPS-disiplinert rubidiumoscillator. Rubidiumoscillatoren leverer et 10MHz klokkesignal disiplinert mot en GPS tidsreferanse. Dette synkroniserer sender- og mottakerenheter i tid og frekvens.

### 3.1.7 Avbruddsfri strømforsyning (Uninterruptable Power Supply, UPS)

I senderenheten er cPCI systemet og den GPS-disiplinerte rubidium oscillatoren koblet til UPS-enheten for å slippe å restarte systemet ved korte strømbrudd som f eks flytting av sender og mottaker eller etterfylling av drivstoff på aggregater.

## 3.2 Mottaker

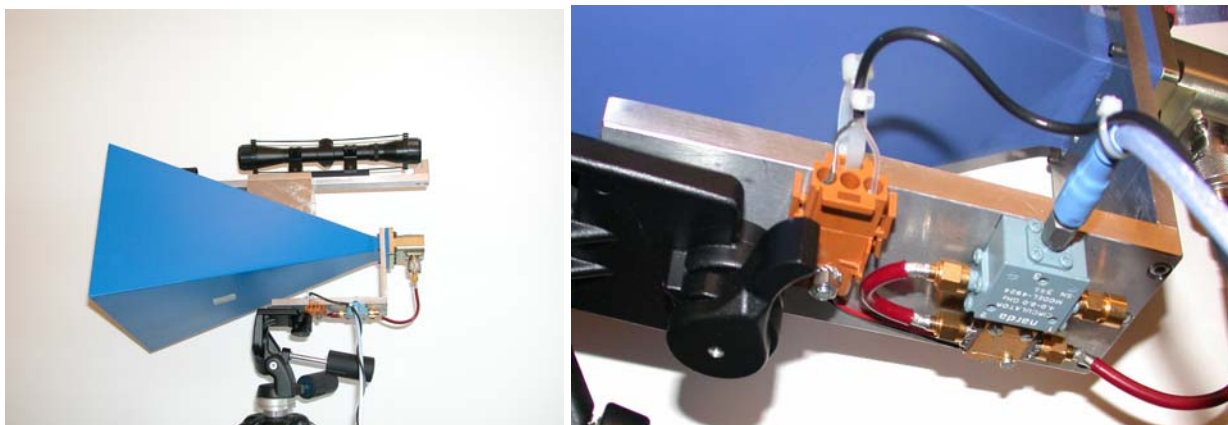
**Feil! Ugyldig kobling.**

*Figur 3.5 Skjematisk fremstilling av mottaker i demonstratoren*

Med referanse til Figur 3.5 deler vi mottaker opp i følgende moduler: Det er en PC i systemet hvor all kontrollprogramvare kjøres. Det er en RF-mottaker der det innkommende signalet forsterkes og nedblandes. Videre består mottakeren av et cPCI-system hvor det er komponenter for A/D konvertering, datainnsamling og datalagring. Dataflyten i mottakerenhet er fra antenne inn på RF-mottakermodul videre gjennom A/D konvertering før det samplede, nå digitale, signalet lagres på datainnsamlingsmodulen. For en utfyllende beskrivelse av mottaker henvises til (3).

### 3.2.1 Antenne

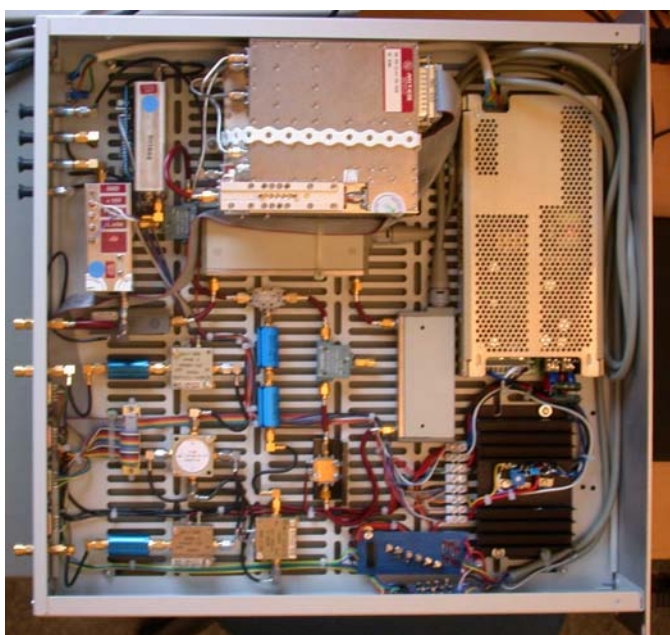
Antennen som er brukt på mottakerenheten under de forskjellige målekampanjene er en standard gain hornantenne med ca 20° åpningsvinkel i både asimuth og elevasjon. Selve antennen, horn og feed, er identisk med antennen på senderenheten. Først i signalkjeden på mottakerantennen er det plassert en forsterker så nær antenneelementet som mulig, som vist i Figur 3.6. Antennen er festet på et fotostativ og veier ca 5 kg med stativ og siktemidler.



*Figur 3.6 Bildet viser mottakerantennen brukt under målekampanjene (venstre). Kikkertsiktet er montert for å lette innsikting mot mål. Det er festet en forsterker på "festebraketten" som referert i teksten (høyre).*

### 3.2.2 RF-maskinvare

Denne modulen inneholder HW for å demodulere det mottatte signalet før det rutes videre til IO-kortet for digitalisering (3) (4).



*Figur 3.7 RF-mottakerenhet*

### 3.2.3 IO-kort

Dette er samme type kort som er brukt og omtalt i senderkapitelet. I mottakerenheten er det A/D modulen som brukes. Denne modulen konverterer det mottatte analoge signalet til digital form før det rutes videre til FPGA-kortet som inneholder datainnsamlingslogikken (3) (5).

### 3.2.4 FPGA-kort

Dette er et egenutviklet prosesseringskort bestående av FPGAer. I mottakerenheten brukes logikken implementert på en av FPGA kretsene (3) (4) til digital datainnsamling.

### 3.2.5 PC

I mottakerenheten er det brukt en rackmontert PC i egen kasse. Denne PCen er koblet mot cPCI systemet via en PCI bro. PCI broen er en fiberbasert MXI-3 fra National Instruments (8).

### 3.2.6 GPS-disiplinerte rubidiumoscillator

Både sender- og mottakerenhet inneholder en GPS-disiplinert rubidiumoscillator. Rubidium-oscillatoren leverer et 10MHz klokkesignal disiplinert mot en GPS tidsreferanse. Dette synkroniserer sender- og mottakerenhetene i tid og frekvens.

### 3.2.7 Avbruddsfri strømforsyning (Uninterruptable Power Supply, UPS)

I mottakerenheten er PC, den GPS disiplinerte rubidium oscillatoren og cPCI systemet koblet til UPS-enheten for å slippe å restarte systemet ved korte strømbrudd som f eks flytting av sender og mottaker eller etterfylling av drivstoff på aggregater.

## 3.3 Trådløs kommunikasjon mellom mottaker og sender

For å øke brukervennligheten av den bistatiske radaren ble sender og mottaker utstyrt med en trådløs kommunikasjonslink for fjernstyring og parameternedlasting. Ved hjelp av denne linken kan én person kontrollere både sender og mottaker, fra mottakeren. Ved hjelp av linken er det også mulighet for, fra mottakeren, å avlese statusinformasjon på senderen.

Kommunikasjonslinken er implementert ved bruk av to radiomodemer tilknyttet PCen via en RS232 seriell linje. Kommunikasjonen er halv dupleks og har en maksimal hastighet på 9600 baud. Programvare for å håndtere enkle feil i kommunikasjonen er implementert i både sender- og mottaker-programvaren.

## 3.4 Synkronisering

Synkronisering i tid og frekvens gjøres ved hjelp av GPS-disiplinerte rubidiumoscillatorer (7). Sekundpuls (1 PPS<sup>1</sup>) fra GPS-mottakeren brukes til tidssynkronisering og angir kodestarttidspunkt. Frekvenssynkronisering skjer ved hjelp av GPS-disiplinerte 10 MHz rubidiumoscillatorer. Disse brukes som referanse for alle andre frekvenser generert i sender og mottaker. Fra oscillatoren er det et sett med 10 MHz utganger og en 1 Hz utgang som alle er

---

<sup>1</sup> Pulse-Per-Second

disiplinert til GPS signalene. Langtidsstabiliteten er god da den er styrt av Cesium og Rubidium atomklokker ombord i de forskjellige GPS-satellittene. Korttidsstabiliteten er gitt av lokaloscillator, som i vårt tilfelle er en rubidiumoscillator. I tillegg er datainnsamling synkronisert med kodeutsendelse, slik at datainnsamling starter når første bit i koden sendes ut. Denne synkroniseringen skjer ved hjelp av 1PPS pulsen fra GPS-enheten, (3) (7).

### **3.5 Rack**

Både sender og mottaker er plassert i standard 19" rack med innvendig dybde 56 cm. Sender-racket er 14u høyt og mottaker-racket er 24u høyt (1u ~ 44mm). Senderenheten veier ca 60 kg mens mottakerenheten veier ca 90 kg. Rackene er bygget i vannfast finér med aluminiumsbeslag. Hvert rack har fire bærehåndtak og står på hjul. Komponentene er festet i en jernramme som er hengt opp med gummidempere for å beskytte elektronikken mot vibrasjoner og rystelser.

## **4 OPPSUMMERINGER**

Det er gjennomført flere målekampanjer med demonstratoren. Måleresultatene fra kampanjene er dokumentert i (10) og (11). Demonstratoren har fungert tilfredsstillende under alle målekampanjene i felt og ved FFI. Enhetene har vist seg enkle å håndtere i de fleste praktiske situasjoner.

Både sender og mottakerenheten er utviklet ved FFI. Det å ha utviklet både de digitale og analoge delene i enhetene gir en unik erfaring og kontroll over systemet. Dette har vist seg å være meget nyttig da det har vært nødvendig å gjøre tilpasninger og forandringer på maskinvaren underveis i prosjektet. Forandringene er utført både som følge av at det har dukket opp nye problemstillinger og som en følge av at det er problemer med å være forutseende nok. Den innsikt det har gitt å konstruere enheten selv har vært meget verdifull underveis i prosjektet. Det hadde ikke vært mulig å gjøre de tilpasninger vi har gjort underveis på utstyr som er ferdig innkjøpt.



## Litteratur

- (1) Johnsen T, Olsen K E, Johnsrud S, Gundersen R, Bjordal H, Tansem I, Sørnes P (2002): Multistatisk CW radar-konsept, FFI/RAPPORT-2002/01767
- (2) (1999): PCI Industrial Computers Manufacturing Group 2.0 R3.0. Compact PCI Specification
- (3) Johnsrud S, Tansem I (2002): Digital multistatisk radar, sender og mottaker, FFI/RAPPORT-2002/01931
- (4) Gundersen R, Johnsen T, Johnsrud S, Sørnes P (2002): RF-maskinvare for digital radar, FFI/RAPPORT-2002/01751
- (5) Sørnes P (2002): FPGA-kort V2, FFI/RAPPORT-2002/02364
- (6) Sørnes P (2002): IO-kort, FFI/RAPPORT-2002/02365
- (7) Johnsen T (2002): Frekvens- og tidssynkronisering ved bruk av GPS disiplinerte referanser, FFI/RAPPORT-2002/00701, BEGRENSET
- (8) (1999): PXI-PCI 8330 Series User Manual, MXI-3 Multi-System Extension Interface for PCI, CompactPCI and PXI Bus Computers, National Instruments, Part Number 32241A-01
- (9) Bjordal H, Gundersen R, Johnsen T, Johnsrud S, Olsen K E, Sørnes P, Tansem I (2002): P726 Digital multistatisk radar - Sluttrapport, Under utarbeidelse
- (10) Johnsen T, Olsen K E, Gundersen R, Johnsrud S, Tansem I, Sørnes P (2002): Bistatiske radarmålinger av helikopter, FFI/RAPPORT-2002/01764
- (11) Olsen K E, Johnsen T, Johnsrud S, Gundersen R, Bjordal H, Tansem I, Sørnes P (2002): Radarmålinger med bistatisk CW radar, FFI/RAPPORT-2002/02373, BEGRENSET



## FORDELINGSLISTE

FFIE

Dato: 29 May 2002

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 2002/02453	REFERANSE FFIE/726/170	RAPPORTENS DATO 29 mai 2002
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  31	ANTALL SIDER  17
RAPPORTENS TITTEL DIGITAL MULTISTATISK RADAR, OVERORDNET MASKINVAREBESKRIVELSE		FORFATTER(E) TANSEM Ivar, GUNDERSEN Rune, BJORDAL Halvor, JOHNSEN Terje, JOHNSRUD Steinar, OLSEN Karl Erik, SØRNES Per	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF  John-Mikal Størdal		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:  Johnny Bardal	

### EKSTERN FORDELING

### INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Tore Belsnes, FO/E	14		FFI-Bibl
1		Major Sverre Vestad, LVI	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/SST	1		FFIE
1		Bjørn Dyrøy, FLO/Sjø/Teknisk avdeling	1		FFISYS
			1		FFIBM
			1		FFIN
			1		Ivar Tansem, FFIE
			1		Rune Gundersen, FFIE
			1		Halvor Bjordal, FFIE
			5		Restopplag til Bibl
					.
					<b>Elektronisk fordeling til:</b>
					Steinar Johnsrud, FFIE
					Per Sørnes, FFIE
					Terje Johnsen, FFIE
					Karl Erik Olsen, FFIE
					John-Mikal Størdal, FFIE
					Trond Hellum, FFIE
					Øyvind Thingsrud, FFIE
					Tor Holmboe, FFIE
					Arne Petter Bartholsen, FFIE
					Leif Hanssen, FFIE
					Svein Erik Hamran, FFIE
					Tore Smedstad, FFIE
					Hans Øhra, FFIE
					Kirsten Kvernsveen, FFIE
					Harald Mathisen, FFISYS
					Stein Malerud, FFISYS
					Arne Skogstad, FFIN
					FFI-veven

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.