지상 이동 차량용 K-대역 레이다 개발

K-Band Radar Development for the Ground Moving Vehicle

이종민 · 조병래 · 선선구 · 이정수 · 박상순

Jong-Min Lee · Byung-Lae Cho · Sun-Gu Sun · Jung-Soo Lee · Sang-Soon Park

요 약

저고도에서 접근하는 고속 표적을 탐지하고 추적하기 위해 지상 이동 차량에 장착할 수 있는 K-대역 탐지 추적 레이다를 제안한다. 제안된 레이다는 광범위 표적 탐지 및 레이다 장착 공간의 제한성을 만족시키기 위해 탐지영역을 3개로 분할하여 독립적으로 탐지한 후 탐지된 표적을 자동적으로 추적하는 구조이다. 제안된 레이다는 K-대역 FMCW 파형을 기본으로 하여 각 변조 구간마다 표적 거리 및 속도 정보를 획득하며 정밀한 각도 정보의 추출을 위해 수신 안테나는 다중 베이스 라인의 간섭계 방식을 적용한다. 제안된 레이다의 3차원 추적 정확도 성능은 실제 모의 표적을 발사하여 검증하였으며, 표적 유효 구간 내에서 0.25 m *RMSE* 임을 입증하였다.

Abstract

This paper presents a K-band radar system installed on the ground moving vehicle to detect and track a high-speed target. The presented radar is separated into three search regions to satisfy a wide area detection and a limitation of the installing space of the radar, and each region performs detecting the target independently and tracking the detected target automatically. The presented radar radiating K-band FMCW waveform acquires range and velocity information of the target at the every dwell and receiving antenna of the radar is applied the multiple baseline interferometer to extract the precise angle information of the target. 3-dimensional tracking accuracy of the radar is 0.25 m *RMSE* measured actually through a fire experiment of an imitation target.

Key words : FMCW Radar, Search and Tracking Radar, Interferometer, Tracking Accuracy

I. 서 론

전자식 능동 방호 시스템은 위협체(대전차유도탄 및 로켓탄)로부터 전차 및 장갑차의 생존성을 크게 향상시키기 위해 세계 각국에서 연구, 개발되고 있는 시스템으로 대표적인 사례로는 러시아의 ARENA와 DROZD, 미국의 IAAPS, 이스라엘의 TROPHY와 IRON FIST, 독일의 AWISS, 프랑스의 SPATEM, 이탈리아의 SCUDO, 우크라이나 ZASLON, 남아공의 LEDS 등이 있다. 이러한 전자식 능동 방호 시스템은 저고도에서 접근하는 고속 표적을 조기에 탐지할 수

있는 센서가 필수적으로 요구되며, 탐지 센서로는 주로 열상과 레이다가 이용되고 있다. 이 경우, 탐지 센서는 지상 이동 차량의 제한된 공간 내에 장착되어야 할 뿐만 아니라 지상 운용 악조건 하에서도 광범위한 영역에서의 접근 표적을 신속하게 탐지, 정밀하게 추적할 수 있어야 하며, 개발 시에는 다음과 같은 몇 가지 사항을 반드시 고려해야만 한다.

첫째, 소형 경량의 구조이어야 한다. 둘째, 정밀한 3차원 표적 정보를 획득하여야 한다. 셋째, 지면 반사에 의한 표적 정보의 고각 오차를 최소화 시켜야 한다. 왜냐하면 표적으로부터의 에코 신호는 지면으

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20101117-166

· 교신저자 : 이종민(e-mail : jm8064@naver.com)

· 수정완료일자 : 2011년 2월 23일

로부터의 레이다파 반사 신호 등과 중첩되어 보강 간섭 발생 시에는 표적 탐지 거리가 증가되고, 상쇄 간섭 발생 시에는 표적 정보가 손실되어 이로 인해 고각 정보의 오차가 크게 발생하기 때문이다. 특히 빠른 속도로 지면을 이동하는 저고도 소형 표적의 위치 변화를 신속하게 탐지하여 3차원 표적 정보를 실시간으로 정밀하게 추적하기 위해서는 이러한 다중 경로 효과에 의해 발생하는 고각 오차를 반드시 저감시켜야 한다^{[1]~[3]}. 이를 위해 송·수신 안테나의 부엽 세기를 낮춤으로써 지면으로부터의 원치 않는 반사 신호의 수신을 가능한 한 줄여야 하며, 송·수신 안테나 사이의 이격 거리를 충분히 격리시킴으로써 수신 안테나로의 송신 에너지 유입도 최소화시켜야 한다. 또한, 안테나로 입사되는 표적의 반사 신호로부터 위상 정보를 획득할 시에는 일반적인 원계 조건(far-field condition)을 적용한 평면 파형(plane wave) 조건을 이용하기보다는 구면 파형(spherical wave)을 적용함으로써 근사로 인한 거리 오차로부터 발생하는 위상 오차도 최소화 시켜야 한다.

본 논문에서는 위에서 강조한 중요 고려 사항들이 K-대역 일체형 탐지 추적 레이다의 개발 과정에 어떻게 적용되어 가는지 살펴보고, 제안된 탐지 추적 레이다의 3차원 추적 정확도 성능을 모의 표적 발사를 통해 입증한다.

II. 탐지 추적 레이다의 설계 및 제작

탐지 추적 레이다는 레이다 송신 파형을 생성하는 송신기, 레이다 파형 신호를 방사하는 송신 안테나, 표적으로부터 반사된 신호를 수신하는 수신 안테나, 수신된 아날로그 신호를 처리하는 수신기, 수신 신호를 이용하여 3차원 표적 정보를 추출하는 신호처리기로 구성되어 있으며, 광범위한 탐지를 위해 2대의 탐지 추적 레이다는 지상 이동 차량 좌우에 각각 한 개씩 장착된다. 한 개의 일체형 탐지 추적 레이다는 그림 1에 나타난 바와 같이 방위 영역을 3개의 독립 섹터로 분할하여 각각 할당된 독립 섹터만을 탐지하며, 각 독립 섹터는 고저각 영역을 다시 상향/하향의 2개 영역으로 분리시킨 송수신 안테나 구조를 갖는다. 수신 안테나는 그림 1(c)에 나타난 바와 같이 위상 비교 방식을 이용한 이중 베이스 라인

(a) K-대역 탐지 추적 레이다 구조
(a) Structure of the K-band radar

(b) 3개 독립 섹터별 탐지 추적 레이다 구조
(b) Structure of three independent regions of the radar

(c) 다중 베이스 라인 간섭계 방식의 수신 안테나
(c) The structure of the receiving antenna applying the multiple baseline interferometer

그림 1. K-대역 탐지 추적 레이다
Fig. 1. K-band search and tracking radar.

의 간섭계(dual-baseline interferometer) 방식을 적용하여 접근 표적의 정확한 고각과 방위각 정보를 추출하고자 하였다. 이 방식은 그림 2에 나타난 바와 같

그림 2. 이중 베이스 라인 간섭계
Fig. 2. Dual baseline interferometer.

이 기준 안테나를 중심으로 안테나 중심간 이격 거리가 각각 d_{12} 와 d_{13} 인 베이스 라인 2개로 구성된 이중 베이스 라인 배열 구조로써 각각의 안테나 쌍에 의해 측정된 신호의 위상차 $\Delta\phi_{12}$ 와 $\Delta\phi_{13}$ 를 이용하여 표적의 도래 방향을 찾아내는 방식으로 진폭 비교 탐지 방식에 비해 상대적으로 높은 방향 탐지 정확도를 얻을 수 있는 장점이 있다^[4].

송신 파형으로는 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 K-대역 FMCW 방식의 파형을 사용하여 근거리 저고도 접근 고속 소형 표적을 탐지, 추적한다. 일반적으로 CW 변조 구간에서는 속도 정보(f_D)가 획득되고, FM 변조 구간에서는 거리 정보가 획득되나, 정확한 교전 위치 추정을 위해 그림 3(b)처럼 현재 CW 변조 파형을 송신하고 있을 때에는 식 (1)과 같이, 그림 3(c)처럼 현재 FM 변조 파형을 송신하고 있을 때에는 식 (2)와 같이 각 신호 변조 구간마다 연속적으로 표적의 거리와 속도 정보를 동시에 추정함으로써 표적 정보의 연속성을 유지하고자 하였다.

$$\begin{aligned} f_{CW} &= \frac{1}{2}(f_{CW2}^n + f_{CW1}^{n-2}) \\ v_n &= \frac{cf_{CW}}{2f_c} \\ R_n &= \frac{cT(f_{CW} - f_{FM})}{2BW} - v_n \times T \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} f_{CW} &= \frac{1}{2}(f_{FM2}^n + f_{FM1}^{n-2}) \\ v_n &= \frac{cf_{CW}}{2f_c} \\ R_n &= \frac{cT(f_{CW} - f_{FM})}{2BW} - v_n \times T \end{aligned} \quad (2)$$

(a) FMCW 송수신 파형
(a) FMCW waveform of the radar

(b) CW-FM-CW 변조 구간에서의 비트 주파수
(b) Beat frequency of CW-FM-CW dwells order

(c) Beat frequency of FM-CW-FM dwells order

그림 3. FMCW 파형을 이용한 표적 정보
Fig. 3. Target information using FMCW waveform.

여기서, f_{CW2}^n, f_{CW1}^{n-2} 은 각각 n 번째 CW 변조 구간에서의 비트 주파수와 $n-2$ 째에 CW 변조 구간에서의 비트 주파수, f_{FM2}^n, f_{FM1}^{n-2} 은 각각 n 번째 FM 변조 구간에서의 비트 주파수와 $n-2$ 째에 FM 변조 구간에서의 비트 주파수, v_n, R_n 은 각각 n 번째 구간에서의 표적 속도와 거리, c 는 광속, f_c 는 레이더 송신 주파수, T 는 변조 시간을 나타낸다.

한편, 고각, 방위각 각도 정보는 이중 베이스 라인의 각설계로 구성된 수신 안테나 조합 간의 수신 신호

그림 4. 구면파형을 고려한 표적 위치 오차 보정

Fig. 4. Target position error compensation considering the spherical wave condition.

호 위상차를 이용하여 추출하는데 보다 정확한 각도 추출을 위해서는 그림 4에 나타난 바와 같이 구형파 원계조건에서 무시되는 거리 오차 ΔR 로 인해 발생하는 고각 위상 오차 $\Delta\phi = k\Delta R$ 를 반드시 고려해야만 한다. 예를 들어 탐지 추적 레이다 정면(고각 0도, 방위각 0도)을 향해 원거리에서부터 똑바로 접근해오는 표적을 가정했을 경우, 표적이 30 m 이내로 탐지 추적 레이다에 근접하게 되면 두 안테나의 거리가 $D=7\lambda$ 인 경우, 고각 위상 오차 $\Delta\phi$ 로 인해 발생하는 고각 에러 $\Delta\phi$ 는 약 0.1도 수준으로써 고각 높이로는 5 cm 이내의 에러를 발생시킨다. 이 고각 높이 에러는 표적이 접근할수록 증가하게 되며, 이에 대한 보정을 통해 3차원 표적 위치 정보(R , Θ , Φ)를 20 % 이상 향상시킬 수 있다^[5].

신호처리기에서는 윈도우 처리, 주파수 변환, 탐지 임계치 처리(CFAR: Constant False Alarm Rate) 후 표적 유무를 판단하여, 탐지된 섹터에 대해서는 자동으로 추적으로 전환되어 표적의 거리, 속도, 고각 및 방위각 정보를 추출한다.

2.1 안테나 설계 및 제작

탐지 추적 레이다 안테나는 지상 클러터 환경하에서 저고도 접근 표적을 신속히 탐지하여 정밀하게 추적하기 위해서 가능하면 낮은 부엽 준위를 가져야 한다. 이를 위해 송신 안테나는 다중 개구 혼 안테나 구조로, 수신 안테나는 마이크로스트립 평면 배열 안테나 구조로 개발하였다.

상향/하향 동형의 다중 개구 혼 안테나 형태로 개발된 송신 안테나는 구조가 간단하고 고출력 송신이 가능하며, 높은 이득 특성을 가지면서도 고각 빔에서 지면 방향으로의 주빔 대비 -35 dB의 낮은 부엽

표 1. 수신 안테나 소자별 전력분배 가중치

Table 1. Power distribution for the receiving antenna elements.

수직 배열 소자 번호	하향 빔		상향 빔	
	전력 크기	위상	전력 크기	위상
1	0.62	0	0.62	0
2	1.0	-0.86	1.0	75.7
3	1.0	-17.3	1.0	151.5
4	0.62	-25.6	0.62	227.2

준위 특성을 갖는다. 다중 개구 혼 안테나는 방위각과 고각에서의 반전력 빔 폭이 상이한 경우, 주름진 혼 안테나에 비해 부엽 준위 특성을 개선하는데 용이하다^[6].

상향/하향의 평면 배열 안테나 형태로 개발된 수신 안테나는 다중 베이스 라인 간섭계 방식의 5채널 구조로 구성하여 고각과 방위각의 표적 입사 각도를 정밀하게 추출도록 하였다. 각 채널별 안테나는 그림 5에 나타난 바와 같이 8개 안테나 복사 소자의 배열구조 (2×4)로 되어 있으며, 탐지 추적 레이다의 장착 허용 크기 및 송신 안테나와의 이격도 등을 고려하여 표 1에서와 같이 소자간 전력 크기 및 위상 가중치를 달리하여 상향 및 하향 고정 빔을 공간상에 분리하여 형성시켰다. 또한, 상향 수신 단일 안테나의 경우 복사 소자의 상하에 기생 소자를 두어 부엽 준위를 개선하고자 하였으며, 상단의 기생 소자 크기를 하단의 기생 소자에 비해 작게 하여 급전 회로와의 간섭을 줄이도록 하였고, 하향 고정 빔은 지면에 의한 반사를 줄이는 빔 패턴 구조로 설계하였다^[7].

2.2 송수신기 설계 및 제작

탐지 추적 레이다 송수신기는 송신기와 수신기로 구성되며, 송수신기의 개발 규격은 표 2^[8]에, 상세 구조는 그림 6에 나타내었다.

송신기는 수신기의 제어 및 파형 발생 모듈 내 Direct Digital Synthesizer(DDS)에서 만들어진 송신 CW/LFM 파형을 RF 대역으로 상향 변환하고, 이를 고출력으로 증폭하여 안테나를 통해 송신하는 기능을 가진다. 송신기는 크게 고출력 증폭기, 도파관 스위치, 주파수 체배/변환 모듈 및 송신 제어/전원 보

그림 5. 수신 안테나의 구조와 빔 패턴 특성
Fig. 5. Structure of receiving antennas and characteristics of the beam patterns.

드로 구성되어 있다. 고출력 증폭기는 목표 출력을 얻도록 반도체 전력증폭기를 다단의 병렬 구조로 설계하였으며, 95 ℃의 고온 조건하에서 39.64 dBm의 출력 특성을 나타내었다. 이때 고출력에 따른 송신기 내부 온도의 상승 문제는 기구 열 해석과 전자계 해석을 통해 안정적인 구조로 설계하였으며, 송신기 자체 열잡음 간섭 문제는 출력 잡음 최소화 설계를 통해 해소하였다.

수신기는 표적으로부터 반사되어 수신되는 RF 대역의 신호를 낮은 잡음을 가지며 신호처리기에서 처리 가능한 크기의 신호로 하향 변환 및 증폭하는 기능을 한다. 수신기는 크게 5채널 수신 모듈, 상향/하향 변환 모듈, 제어 및 파형 발생 모듈, Lo 발생 모듈, EMI 필터 및 전원 모듈로 구성되어 있다. 5채널 수신 모듈은 5채널 수신 안테나와 연결되며, 표적 탐지 및 기준용으로 1채널, 각도 추출용으로 4채널이

표 2. 탐지 추적 레이더의 송수신기 규격
Table 2. Transceiver specification of the radar.

구성품	개발 항목	규격
송신기	출력 전력	39 dBm 이상
	잡음 지수	18 dB 이하
수신기	잡음 지수	4.2 dB 이하
	변환 이득	25 dB 이상
	최대 입력 전력	0 dBm 이하

그림 6. 탐지 추적 레이더의 송수신기 구조
Fig. 6. Structure of the transceiver.

사용된다.

지상 클러스터 신호와 송신 누설 전력 성분은 대역 제거 필터를 사용하여 제거시킴으로써 표적 도플러 신호를 분리하였다. 탐지 및 추적 채널에 대한 수신기 잡음 지수 및 변환 이득은 각각 3.4 dB와 29.1 dB 특성을 나타내었다.

2-3 신호처리기 설계 및 제작

그림 7. 3차원 표적 정보 획득 방법

Fig. 7. 3-dimensional target information acquisition method.

탐지 추적 레이다 신호처리는 능동 파괴 체계 통제 컴퓨터로부터의 명령(초기화 모드, 대기 모드, 탐지 모드, 추적 모드, 시험/정렬 모드)에 의해 송수신기 및 레이다 제어 보드/신호 처리 보드를 제어하며, 레이다로 수신되는 모든 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 3차원 표적 정보를 추출하는 기능과 레이다의 각 모듈 정보를 취합하여 레이다 구성품의 고장 유무를 통제 컴퓨터로 전송하는 역할을 수행한다.

3차원 표적 정보는 그림 7에 나타난 바와 같이, 먼저 탐지 모드에서 3개의 독립 섹터로부터 표적 유무를 판단한 후 만일 표적이 존재할 경우에는 해당 섹터는 즉시 추적 모드로 전환되어 표적의 거리, 속도, 각도 정보를 추출하게 된다. 획득 표적의 정확도를 향상시키기 위해 추적 필터로는 가중치를 적용한 최소 자승 필터를 사용하였다. 다중 경로에 의한 고각 데이터 출력임을 보정하기 위해 추적 필터로 입력되기 전의 선-신호처리 단계에서는 고각 위상 평균 기법을 적용하였으며, 이 때 20개의 연속 탐지 데이터가 활용된다. 안테나 좌표계에서 측정된 표적 정보(거리 R , 방위각 az , 고각 el)는 레이다 중심의 직교 좌표계의 표적 정보(X , Y , Z)로 변환되고, 이 값들은 추적 필터의 입력 값으로 적용된다.

신호처리의 연산 및 통제 역할은 그림 8에 나타난 바와 같이 동일한 형태로 개발된 레이다 제어 보드와 신호 처리 보드에서 담당한다. 레이다 제어 보드는 탐지 모드에서의 3개 독립 섹터의 표적 탐지 정보와 신호 처리 보드에서 수행한 추적 모드에서의

그림 8. 레이다 제어 보드/신호 처리 보드 구조 및 기능

Fig. 8. Structure and function of the radar control/ signal processing board.

표적 정보를 이용하여 3차원 표적 정보를 추출하는 역할을 수행하며, 표적 획득 결과를 통제 컴퓨터의 위협 처리 보드로 송신한다. 신호 처리 보드는 추적 모드에서 표적의 각도 정보 추출을 위해 4채널로 유입되는 표적 수신 신호를 처리하여 레이다 제어 보드로 송신하는 역할을 수행하며, 이때 기준이 되는 나머지 1채널의 표적 수신 신호는 레이다 제어 보드에서 처리된다. 각 보드마다 RS-232를 통해 외부 컨트롤러를 이용하여 알고리즘 디버깅 및 레이다 제어가 가능토록 하였으며, Rocket I/O를 통해 레이다 성능 분석 장비로 표적의 raw data를 송신할 수 있도록 개발하였다.

2.4 레이다 성능 분석 장비 설계 및 제작

레이다 성능 분석 장비는 탐지 추적 레이다 개발 과정 중에 레이다의 성능 분석, 신호처리 알고리즘

개발/보완 및 레이더의 다양한 성능 시험 평가 환경을 제공할 목적으로 개발되었다. 레이더 성능 분석 장비는 크게 제어콘솔, 데이터 분석 시뮬레이터, 고속 영상 기록 분석 장치, 플랫폼 모사기 및 표적 발사기로 구성된다. 제어콘솔은 데이터의 변환/전송/저장, 레이더 시스템 클럭 및 신호 통신 타이밍 제어 및 시험 데이터를 저장하는 기능을 갖는다. 데이터 분석 시뮬레이터는 모의 시나리오를 생성하고, 사전 시뮬레이션을 통해 결과를 정밀 예측하고 분석하는 기능을 갖는다. 고속 영상 기록 분석 장치는 고속 카메라를 이용하여 표적의 3차원 비행 궤적을 기록하여 레이더의 실제 탐지/추적 성능을 검증하는 기능을 갖는다. 플랫폼 모사기는 탐지 추적 레이더가 장착되는 전차 포탑의 회전운동을 모사하는 기능을 갖는다. 표적 발사기는 공압을 이용하여 100~200 m/s 속도의 모의 표적을 발사할 수 있다.

탐지 추적 레이더의 3차원 추적 성능은 그림 9에 나타낸 바와 같이 실제 모의 표적을 발사한 후 10 cm 이내의 정확도를 갖는 스테레오 영상을 이용하여 모의 표적의 3차원 비행 궤적을 추출하고, 이를 실제 탐지 추적 레이더의 3차원 데이터와 비교함으로써 입증할 수 있다.

이러한 시험 방법은 모의 표적에 미리 기준점을 표시하고, 두 대의 고속 카메라를 이용하여 모의 표적의 움직임을 촬영한 스테레오 영상으로부터 기준점을 찾아 자동 추적하여 후-신호처리하는 기법^[9]으로써 실제 모의 표적에 대한 성능 시험 결과는 스테레오 영상을 통해 획득한 모의 표적의 궤적과 탐지 추적 레이더를 통해 획득한 모의 표적의 궤적을 상

그림 9. 레이더의 성능 시험 평가 개념도
Fig. 9. Conceptual diagram of the radar performance test evaluation.

호 비교함으로써 간접적으로 레이더의 3차원 추적 정확도 성능을 입증할 수 있다.

III. 탐지 추적 레이더 성능 평가

탐지 추적 레이더의 최종 성능 평가는 표적의 3차원 추적 정확도로 판단할 수 있으며, 제작된 레이더의 3차원 추적 정확도 검증은 앞 장 2-4절에서 서술한 바와 같이 디지털 영상을 이용한 3차원 궤적 추정 기술을 이용하였다. 이 방법은 고속 카메라의 촬영 조건(초당 화면 저장 수, 화면 해상도, 촬영 시간 등)에 따라 화면별 추출되는 3차원 정보의 정확도가 좌우되며, 추출 영역은 고속 카메라의 위치와 렌즈 초점거리에 의해 결정된다. 이때 표적의 3차원 궤적 추출은 이미지시스템즈(Imagesystems, 스웨덴)사의 트랙아이(TrackEye)라는 상용 모션 분석 소프트웨어를 이용하였다. 3차원 궤적 추출 결과는 2D, 3D 및 텍스트파일로 저장이 가능하다.

탐지 추적 레이더의 3차원 추적 정확도 성능은 모의 표적을 근거리에서 실제 발사하여 검증하였으며, 결과를 그림 10에 나타내었다. 파란 선은 탐지 추적 레이더의 출력 값이며, 붉은 선은 스테레오 영상을 통해 획득한 표적의 궤적이다. 거리 방향(x-축)과 방위 방향(y-축)으로의 탐지 추적 레이더의 데이터 변화는 영상 데이터와 일치하지만 고각 방향(z-축)으로의 데이터 끌림은 지면에 의한 다중 반사로 인해 고각 입사각 모호성이 발생하였음을 알 수 있다. 영상 데이터와의 상대적인 비교 결과, 개발된 탐지 추적 레이더는 저고도 접근 고속 표적에 대해 표적 유효구간 내에서 0.25 m *RMSE*의 3차원 추적정확도를 나타냄을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 저고도 접근 고속 표적을 탐지/추적하기 위한 K-대역 탐지 추적 레이더를 설계, 제작하고, 모의 표적 및 실제 위협체 발사를 통해 레이더의 3차원 추적 정확도 성능을 확인하였다. 공압을 이용하여 모의표적을 발사할 수 있는 표적 발사기 등 레이더 성능 분석 장비를 개발하여 레이더의 전차 장착 환경을 모사할 수 있도록 하였으며, 스테레오 영상을 이용한 3차원 궤적 추정 기법을 활용하여

그림 10. 탐지 추적 레이다의 3차원 표적 추적 데이터
Fig. 10. 3-dimensional target tracking data of the radar.

레이다의 성능을 정밀하게 검증하였다. 저고도에서 접근하는 고속, 소형 표적에 대한 탐지 추적 레이다의 3차원 추적정확도 성능은 모의 표적을 근거리에서 발사하는 실제 사격 시험을 통해 입증하였다. 향후에는 초고속, 초소형의 위협체를 탐지, 추적할 수 있는 레이다 개발에 노력하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Bruder, J. A. Saffold, "Multipath effects on low angle tracking at millimetre-wave frequencies", *IEE Proceedings-F*, vol. 138, no. 2, Apr. 1991.
- [2] David K. Barton, *Modern Radar System Analysis*,

Artech House, 1988.

- [3] Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis, and Design Using MATLAB*, Chapman & Hall/CRC, 2000.
- [4] Stephen E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, Ch. 6, John Wiley & Sons, Inc., 1987.
- [5] 이종민, 박상순, 조병래, 선선구, 이정수, "탐지 추적 레이다의 표적 추적정확도 향상 기법 연구", 국방과학연구소, 제1회 신평수·에너지무기 학술대회, 에너지지향성분과, 2009년.
- [6] 이석곤, 박대성, 이정수, 이종민, "탐지 추적 레이다의 안테나 부엽 준위 개선방안에 관한 연구", 국방과학연구소, 제1회 신평수·에너지무기 학술대회, 장갑/방호분과, 2009년.
- [7] 이석곤, 박대성, 신상진, 이정수, 이종민, "탐지 추적 레이다용 마이크로스트립 배열 안테나 설계", 국방과학연구소, 제16회 지상무기 학술대회, 능동 방호분과, 2008년.
- [8] 선선구, 이정수, 조병래, 이종민, "고속 표적 추적을 위한 K-대역 레이다 송수신기 설계", 국방과학연구소, 한국전자과학회논문지, 21(11), p. 1304, 2010년 11월.
- [9] 이정수, 조병래, "스테레오 영상을 이용한 3차원 비행체적 측정장치 개발", 국방과학기술플러스, 2010년 2월.

이 중 민

1985년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학사)
1988년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학석사)
2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
1991년 2월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 레이다 시스템 설계/분석, 특수 레이다 등

조 병 래

1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구원

2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이다 신호처리, 영상 레이다 등

선 선 구

1987년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1989년 2월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더, 컴퓨터비전

박 상 순

1997년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 8월: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)
2007년 3월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 통신 신호처리 등

이 정 수

2000년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2002년 3월~2005년 12월: LG 전자 연구원
2006년 1월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, 영상레이더 등