

고속 Multi-DSP를 이용한 헬기탑재 펄스 도플러 레이다 신호처리기 개발

*곽영길, *최민수, *전인평, *황광연, **이강훈, **이재호

*한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학, 레이다신호처리연구실, **한림에스티
ykwag@hau.ac.kr, mschoi@hau.ac.kr

A Helicopter-borne Pulse Doppler Radar Signal Processor Development using High Speed Multi-DSP

*Young Kil Kwag, *Min Su Choi, *In Pyung Jeun, , **Kang Hoon Lee, **Jae Ho Lee

*School of Electronics and Telecomm. Eng., Hankuk Aviation University

**Hanrim ST Co., Ltd.

Abstract

ABSTRACT An airborne radar is an essential aviation electronic system of the helicopter to perform various missions in all-weather environments. This paper presents the results of the design and implementation of the airborne pulse doppler radar signal processor using high multi-DSP for the multi-function radar capability such as short-range, midium-range, and long-range depending on the mission of the vehicle. Particularly, the radar signal processor is developed using two DSP boards in parallel for the various radar signal processing algorithm. The key algorithms include LFM chirp waveform-based pulse compression, MTI clutter filter, MTD processor, adaptive CFAR, and clutter map. Especially airborne moving clutter Doppler spectrum compensation algorithm such as TACCAR is implemented for the multi-mode airborne radar system. The test results shows the good Doppler spectral separation for the clutter and the moving target in the flight test environment using helicopter

Keyword : Airborne Radar, Multi-mode, pulse compression, MTD, TACCAR, High Speed Multi-DSP

1. 서론

최근 한국형 다목적 헬기 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라 이와 관련한 헬기탑재 항공전자 시스템으로서 항행 및 감시 레이다 개발 필요성에 따라 산자부 항공우주기술개발사업 지원으로 비행탑재 레이다 핵심기술 개발이 수행되었다. 본 논문은 비행탑재 레이다 시스템 핵심 기술 연구 결과로 개발한 다중모드 펄스 도플러 레이다 시스템을 소개하고, 주요 핵심 기술로 고속 Multi-DSP를 이용한 레이다 신호처리기 제작과 적용

된 신호처리 알고리즘 및 비행탑재 시험 결과를 제시한다. 레이다 신호처리 알고리즘의 주요 기능으로써 펄스압축, MTI, Adaptive CFAR, 클러터 맵 및 MTD 기법을 적용하였다. 특히 비행 탑재시 발생하는 주 빔 클러터와 부엽 빔 클러터를 효율적으로 제거할 수 있고 표적 탐지 확률을 높이기 위해 MTD 방식의 도플러 필터 बैं크를 적용하도록 하였으며, 또한 비행탑재 레이다에서의 레이다 플랫폼 이동에 의한 도플러 스펙트럼 문제를 해결하기위해 정밀한 도플러 이동 성분을 예측하여 적절히 보상해주는 기법인 TACCAR(Time

Averaged Coherent Clutter Airborne Radar)를 구현하여 표적 탐지에 적용하였다.[1],[2]

2. 헬기탐재 레이더 시스템

본 레이더 시스템은 시스템 사양으로 탐지거리는 다중모드를 적용하여 이·착륙모드로 단거리(7.5km), 운항모드로 중거리(30km), 기상탐색용 모드로 장거리(75km)를 탐지 할수 있도록 설계하였다.

아래 표 1은 헬기탐재 레이더 시스템 주요사양을 나타낸 것이다.[1]

표 1. 헬기탐재 레이더 시스템 주요사양

항 목	사 양
동작 주파수	X-밴드 (9.38GHz)
탐지거리	7.5km(이착륙) /30km(항행) /75km(기상)
PRF 주파수	5 kHz / 2 kHz / 1 kHz
펄스폭	0.1usec / 6.4usec / 6.4usec
펄스압축	LFM 방식:2.5 MHz(압축비 :16)
탐지확률	90% for SW1, RCS 2(m ²)
거리분해능	15m(PRF 5kHz) 60m(PRF 2kHz)
빔 폭	3° (수평) / 7° (수직)
스캔 범위	수평:360°/120°, 고도:+20°/-80°
스캔 속도	30 rpm

헬기탐재 레이더 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 안테나 유닛(ANTU)와, 송수신기 유닛(TRU), 레이더 신호 및 데이터 처리기 유닛(RSDU), 전시기 유닛(DISU)의 네 개 장치(Unit)로 구성되어 있으며, 구성된 각각의 장치에는 부 체계별 조립체(Assembly)로 구성되며, 조립체는 각각의 모듈(Module)로 나뉘어진다.

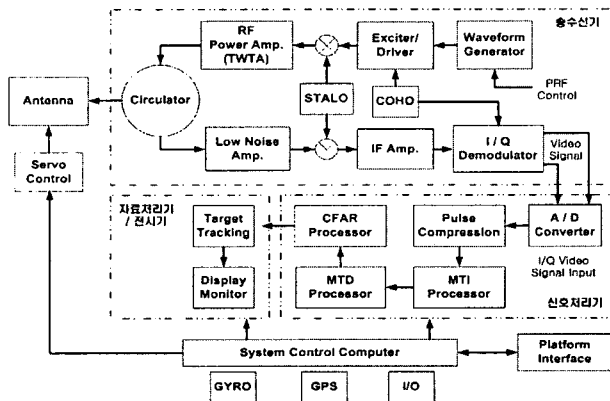


그림 1. 헬기탐재 레이더 시스템 구성도

3. 레이더 신호처리부 구성

신호처리부는 크게 신호처리기(RSPA)와 자료처리기(RSDA)로 구성된다. 신호 및 자료처리기는 아날로그 수신신호를 디지털신호로 변환하여 각종 알고리즘을 통해 유효 표적을 탐지하고 추적하며 시스템 전체를 통제하는 기능을 수행하며, 레이더 시스템 사양 및 목표 성능 요구조건에 부합되는 신호 및 자료처리기의 설계 사양은 다음 표 2와 같다[2].

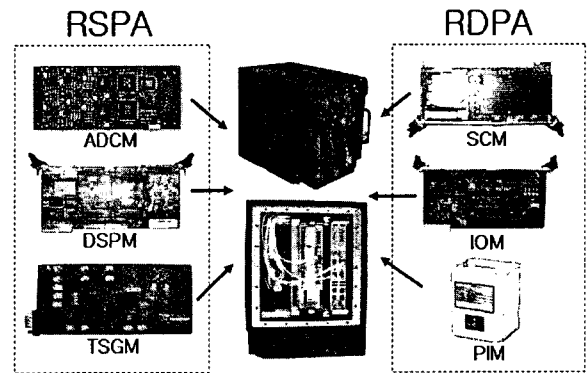


그림 2. RSDU 구성품

표 2. 신호 및 자료처리기 설계 사양

내 용	요 구 조 건
PRF	5kHz/2kHz/1kHz
Pulse Width	0.1us/6.4us/6.4us
탐지거리	7.5km/30km/75km
거리분해능	60m/15m
펄스압축	LFM, 16:1 (디지털방식)
Range cell	500 cell
Dwell Time	16ms
MTD	16 Doppler Bank
CPI	2
False Alarm	10E-6
표적추적	20개(TWS)

신호처리부의 구성은 그림 3과 같고 신호처리기에서 레이더 수신신호인 Base Band 신호(I/Q)를 받아 디지털 데이터로 샘플링하여 펄스압축, MTI, DFB, CFAR 알고리즘을 수행하고 탐지된 표적 정보를 자료처리기에 보낸다. 자료처리기는 범용 인터페이스를 통해서 외부 디바이스를 통제하고 표적 추적 및 운용자에게 필요한 정보를 전시기에 보내준다.

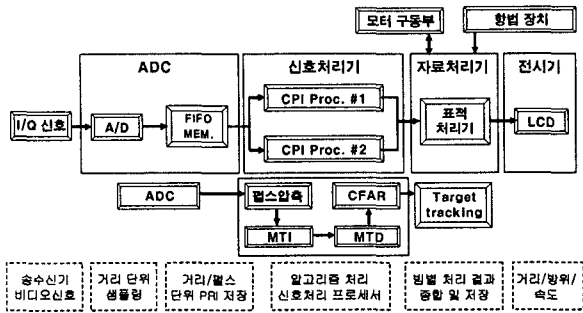


그림 3. 신호처리부 구성

4. 레이더 신호처리기 설계 및 제작

신호처리기는 DSPM(Digital Signal Processing Module), ADCM(Analog-to-digital Converter Module) 그리고 TSGM(Timing Signal Generation Module)으로 되어 있다.

(1) DSPM

DSPM은 신호처리의 펄스 압축 및 DFB와 CFAR 알고리즘을 처리하는 핵심모듈이며, TMS320C6701을 탑재한 C-PCI (Compact PCI) 의 DSP 보드를 선정하여 알고리즘 처리를 담당하게 하였다. DSP 신호처리 보드는 한 CPI 동안에 16개의 펄스를 받아서 모든 거리 셀 별로 연산을 끝낼 수 있는 성능을 갖도록 1 G FLOPS DSP 2개를 병렬로 사용하였으며, Dwell Time 동안 두 개의 DSP 보드를 번갈아 가며 신호처리를 수행하여 데이터 전송시간에 여유를 갖게 하였다. 제작 사양은 표 3과 같다.

표 3. DSPM 제작사양

구분	내용
CPU	TMS320C6701(32Bit), 167MHz Clock
성능	1G FLOPS
버스	C-PCI 버스
데이터전송속도	132M/sec
디지털 I/O	32Bit 디지털 I/O 포트, 80M/sec 512x16 FIFO 포트
주파수생성	프로그램가능한 디지털 주파수합성기: 0-25MHz
타이머/카운터	내부에 32Bit 타이머, 16Bit 카운터/타이머
연장커넥터	데이터입출력장치의 확장시 세 개 모듈사용
OS	WIN NT
ADC sampling rate	10MHz 12bits
Dynamic range	-2V ~ 2V
ADC 메모리용량	8k byte x 4
DMA 속도	100Mbyte/sec(내부메모리)

표 4. Bench Marking 결과

항 목	방법	B.M Time
LFM Pulse Compression	Cross-Correlation	120usec(120*4=480)
FFT Doppler Processing	16 points Radix 2	3.6usec + α (bit_reverse+ data arrange)
CA-CFAR	reference cells: 20 Guard cells: 5	65us (65*16frame= 1.04msec)
MTI	Single Delay Line Canceler	150u ↓
Data Transfer	1024 Data Transfer	150u sec(바틀락 포함)

신호처리 알고리즘의 계산 시간을 검토하여 bench marking한 결과를 표 4에 나타내었다.

(2) ADCM

ADCM은 아날로그-디지털 신호변환기로 신호를 샘플링하여 연장 커넥터의 I/O 버스를 통해 DSPM으로 데이터 전송한다. 신호처리 모드 중 Short Mode에서 가장 빠른 샘플링 속도(10MHz)가 요구되며 ADCM은 이 샘플링 속도이상의 디지털 변환능력이 있어야 한다. 선정된 ADCM은 Analog Devices 사의 AD9260을 내장한 모듈로써 Short Mode의 샘플링 속도의 두 배인 20MHz 디지털 변환능력을 갖고 있다. 샘플링 한 데이터 전송시에는 8Kbyte 데이터크기의 FIFO 메모리를 버퍼로 사용하며 DMA(Direct Memory Access) 방식으로 DSP 내부 메모리에 데이터를 전달한다. [표 5]는 ADCM 하드웨어 사양이다.

표 5. ADCM 하드웨어 사양

구분	내용
Physicals	OMNIBUS mezzanine card; 2.000"x4.600
A/D converter	4 AD9260 converters
Resolution	12bit(±1848count)
Input Type	single-ended
Update rate	1kHz - 20MHz
Input impedance	50 Ohms
Setting time	15us max to 0.0007%
Analog input range	±2V
S/N ratio	60dB

(3) TSGM

I/Q 비디오 신호의 신호처리는 두 개의 CPI(Coherent Pulse Integration)로 분류되어 각 CPI당 한 쌍의

ADCM과 DSPM 모듈이 처리하고 있어서 송수신에서 전달된 I/Q 비디오 신호를 두 개의 DSPM에 스위칭하여 전달해야 하므로 이를 TSGM에서 담당하고 있다. TSGM의 요구 사양은 표 6과 같다.

표 6. TSGM 사양

항목	사양
스위칭 방식	디지털 2점접
스위치 갯수	3개(I/Q, PRF)
입출력 impedance	50오옴
스위칭 소요 시간	0.5usec 이하
controller	C8051F120

(4) 신호처리기 시험결과

신호처리기의 성능시험은 I/Q 신호재생기를 이용하여 실제 시험에서 수집된 신호를 ADCM에서 샘플링을 하고 DSPM에 전송 후 각 모드별 신호처리 알고리즘을 처리하여 성능을 분석하였다. 그림 4는 Medium Mode로 지상 성능 시험시 수집된 이동 표적 신호이다. 그림 5는 ADCM에서 획득한 디지털 신호를 펄스 압축한 결과이며 그림 6은 DFB와 CA-CFAR알고리즘을 수행한후 탐지된 결과이다.[4] 클러터 및 노이즈 때문에 가시적으로 볼수 없었던 표적신호가 DSPM에서 레이다 신호처리 알고리즘을 수행한 이후 노이즈가 모두 제거 되어 표적이 탐지됨을 확인할수 있다.

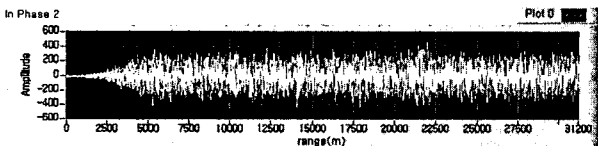


그림 4. 이동 표적 수집 신호

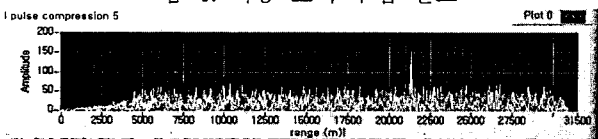


그림 5. 펄스 압축후 표적탐지

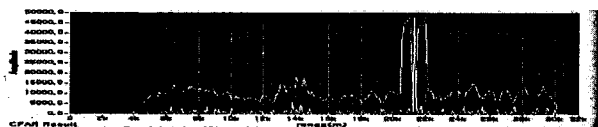


그림 6. CFAR 이후 표적 탐지 결과

5. 레이다 자료처리기 설계 및 제작

자료처리기(RDPA)는 SCM(System Control Module), IOM(Input Output Module)과 PIM(Platform Interface Module)으로 구성되어 있다.[4]

5.1. SCM(System control Module)

시스템 전체를 통제 하는 역할을 하므로 시스템 전체의 각 구성품과 연동 되어 각종 제어 신호 및 데이터를 주고 받을 수 있는 통신 인터페이스가 구비되어야 하며 이러한 사양을 [표 7]에 나타내었다. 또한 전달 받은 자료들을 운용자에게 필요한 정보로 변환하고 레이다 각 구성품 간의 통제가 원활하게 이루어지기 위한 처리 능력이 있어야 한다. 이러한 요구사항에 부합되도록 1.7GHz의 P-4 프로세서를 탑재한 시스템 CPU 보드를 선정하였다.

5.2. IOM(Input Output Module)

RDSA의 엔코더 값을 실시간으로 SCM 내부로 가져오기 위해 사용한다. 엔코더 값은 표적 각도 정보의 정확도에 직결되므로 직렬버스를 사용하는 다른 구성품과 달리 시스템 버스를 사용하여 데이터를 전송하여 각도 오차범위를 최소화한다.

표 7. RDPA의 인터페이스 사양

구성품	인터페이스	데이터
TRU	RS232	mode 및 제어신호
ANTU	USB	제어신호
RSPA	C-PCI	mode 및 신호처리결과
PIM	RS232	항법정보
DISU	LAN	디스플레이 정보 및 운용자 입력 신호
IOM	C-PCI	엔코더 정보

5.3. PIM(Platform Interface Module)

SCM에서 레이다를 탑재한 비행체의 위치와 속도 그리고 자세 정보를 획득하기 위해 사용한다. 정확도와 신뢰도 측면에서 BEI사의 C-MIGHTS를 RDPA의 PIM으로 선정하였다.

6. 비행체 이동 클러터 도플러 보상

비행탐재 레이다에서 필수적인 비행체 이동 도플러 추정 보상을 위해 TACCAR 기능을 구현하였다. 비행체 이동에 의한 도플러 현상이 발생하며 지면 클러터 스펙트럼의 중심 주파수가 0Hz 있지 않고, 비행체 속도에 의해 발생된 도플러 주파수만큼 이동되어 나타난다. TACCAR는 비행체의 속도에 의한 지면 클러터 스펙트럼의 중심 주파수 변화를 평균적으로 추정하여, 송수신기에서 보상해주는 방법이다.[6] 안테나 빔 주사 방향 정보와 비행체 이동속도 정보를 이용하여 수신된 신호를 RSDU에서 A/D 변환 후, FFT를 수행하여 도플러 주파수를 추정한다. 추정된 도플러 주파수 정보는 송신기의 Waveform Generator에 전송되어 DDS(AD9854)를 통하여 도플러 주파수를 발생시켜,

송신신호에 보상하여 보내게 된다. 이렇게 송신된 신호는 비행체의 도플러 주파수를 미리 보상하여, 수신 신호에서는 이동 도플러 성분이 보상되므로 레이다 이동에 의한 영향을 제거할 수 있다. 구성도는 그림 6과 같다.[7]

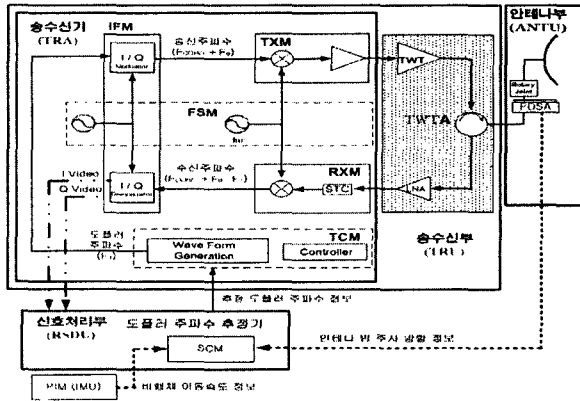


그림 7. 도플러 이동보상 구성도

7. 비행시험 성능 분석

레이다 신호처리부의 설계, 제작을 통하여 실제로 헬기 플랫폼에 장착하여 헬기탑재 성능 분석을 수행하였다. 생성된 신호 분석 결과는 그림 7에서 그림 10에 나타내었다. 그림 8은 헬기 탑재한 MTD 성능의 레이다가 방위각 0도, 고각 -5도, 플랫폼 속도 80knots, 고도 3200ft인 경우의 Raw Radar Video Signal이다. 그림 9는 A/D 변환된 데이터를 펄스 압축한 결과이다. 그림 10은 MTD(Moving Target Detection) 알고리즘을 통한 도플러 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이 때 도플러 주파수는 2535Hz이며 5번째 DFB에 나타남을 확인할 수 있었으며, 비행탑재 레이다에서 필수적인 비행체 이동 도플러 추정 보상 기술인 TACCAR 기능을 구현할 수 있다. 그림 11은 비행시험에 실제로 사용된 W-3A SOKOL 헬기의 모습이다.

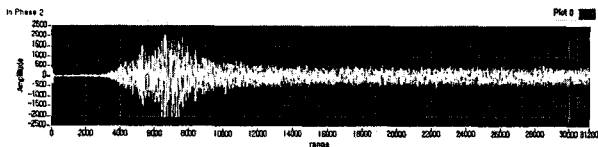


그림 8. Raw Radar Video Signal

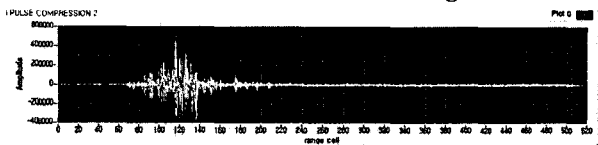


그림 9. 펄스압축

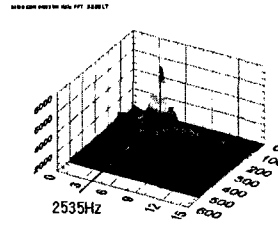


그림 10. 도플러 스펙트럼

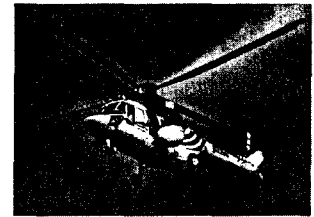


그림 11. W-3A Sokol 헬기

8. 결론

개발된 헬기 레이다 시스템의 신호처리는 실험실 테스트베드 시험을 거쳐서 지상 고정 시험을 통하여 시스템 설계 사양을 만족함을 확인하였다. 비행탑재 시험에서 수집된 데이터를 이용하여 레이다의 표적 탐지 성능을 높이기 위한 신호처리의 동작을 확인하였고, 헬기 플랫폼의 이동으로 인한 클러터 도플러 주파수 스펙트럼을 분석을 통해 적용된 신호처리 알고리즘의 성능과 표적탐지 성능을 확인하였다. 향후 항공기 탑재 레이다 시스템의 신호처리 알고리즘 개선을 위하여 개발된 항공기용 레이다 시스템은 한국항공대학교 전자관 실험실 옥상에 설치하여 운용될 예정이다.

Acknowledgement: 본 연구는 산자부 항공우주기술개발사업의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] 곽영길, 배재훈, "헬기탑재 다중모드 레이다 시스템 모델 설계" *Proceeding of KEES Conference*, pp.208, Oct. 2003
- [2] 곽영길 외, "MTD성능의 비행체 탑재용 레이다 시스템 핵심 기술 연구 중간보고서", 한국항공대학교 부설 항공전자연구소, 2004. 7.
- [3] 곽영길, 배재훈, "헬기탑재 다중모드 레이다 시스템 모델 설계" 한국전자파학회 2003년도 종합학술발표회, pp.208
- [4] 곽영길 외, "헬기 탑재 레이다 비행시험을 위한 실시간 고속 레이다 자료 수집 장치 모델 설계, 군사과학 기술학회 2005년도 종합학술발표회
- [5] D.Curtis Schleher, "MTI and Pulseed Doppler Radar", Artech House, 1991
- [6] M.I.Skolnik, ed., "Radar handbook" 2nd Ed, Ch.15 MTI Radar, pp.15.9, 1990
- [7] G. Andrews, "Airborne Radar Motion Compensation Techniques, Evaluation of TACCAR" NRL Rep.1972

M E M O