

헬기탑재 다중모드 레이다 시스템 모델 설계

곽영길, 배재훈^o

한국항공대학교 전자정보통신공학부 부설 항공전자연구소

ykwag@hau.ac.kr, jhbae@hau.ac.kr

Multi-Mode Radar System Model Design for Helicopter

Young Kil Kwag and Jae Hoon Bae

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

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 conceptual design results of the multi-mode pulsed Doppler radar system testbed model for helicopter. Due to the inherent flight nature of the hovering vehicle which is flying in low-altitude and low speed, as well as rapid maneuvering, the moving clutters from the platform should be suppressed by using a special MTD (Moving Target Detector) processing. For the multi-mode radar system model design, the flight parameters of the moving helicopter platform were assumed: altitude of 3 Km, average cruising velocity of 150knots. The multi-mode operation capability was applied such as short-range, medium-range, and long-range depending on the mission of the vehicle. The nominal detection ranges is 30 Km for the testbed experimental model, but can be expanded up to 75 Km for the long range weather mode. The detection probability of each mode is also compared in terms of the signal-to noise ratio of each mode, and the designed radar system specifications are provided as a design results.

Key words : Pulsed Doppler Radar, Multi-Mode, Detection Range, Helicopter Radar

I. 서론

최근 항공기 시스템은 전자 기술의 발달로 기계적인 기능에서 전자적인 기능으로의 변화추세에 있어 항공기술 분야에서 항공전자 장치가 차지하는 비중과 중요도는 점점 높아가고 있다. 그러나 항공전자 기술의 난이성과 특수성으로 인해 기술경험이 없이 자체 기술개발이 용이하지 않을 뿐만 아니라 비행체에 탑재되기 위해서는 공인기관의 기술인증을 받아야 하는 복잡한 절차 등의 문제로 인해 기술 후발주자들이 쉽게 접근하기 어려운 기술 분야다. 따라서 기술 선진국에서 비행체를 도입하거나 기술도입 생산을 하여도 항공전자 분야는 일반적으로 기술이

전이 통제 되거나 부분적인 기술이전이 가능한 경우에도 매우 고가의 기술료를 지불해야 하는 실정이다. 항공전자 장치 중에서도 특히 비행체 탑재 레이다는 항공기, 전투기, 헬기, 무인기 등 비행체의 안전항행, 주변탐색 및 감시, 충돌회피, 이착륙 등 다양한 임무수행을 위해 필수적인 항공전자 장치로서 가장 정밀하고 고가의 전자장치다 [1]. 최근 한국형 다목적 헬기 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라 이와 관련한 헬기탑재 항공전자 시스템으로서 레이다의 개발에 대한 중요성이 인식되고 있다.

본 논문에서는 헬기 탑재 항공전자 장치로서 다중모드 펄스 도플러 레이다 시스템에 대한 설계 개념 결과를 제시한다. 헬기의 비행 특성상 저고도,

저속운항의 특성과 플랫폼의 이동으로 인한 고정 목표물에 대한 이동 클러터 현상을 해결하기 위한 펄스 도플러 방식의 MTD 기술을 적용하고[2] 다중모드 표적탐색 기능의 헬기 탑재 레이더 시스템 설계 사양을 제시하고 형상 설계에서 제한된 탑재 조건을 고려한 소형, 경량, 저 전력의 레이더 시스템 설계 요구조건을 제시 하였다. 본 논문에서는 헬기 탑재형 레이더 시스템 설계 방향을 정립하기 위하여 해외 기술 동향과 적용기술 등을 조사 분석하여 설계에 반영하였다. 표 1은 최신 기술추세에 따른 대표적인 헬기 탑재 레이더의 성능과 특징을 비교하였다 [2].

| 모델명 | RDR-1600 | RDR-1500/1700 | Seaspray 3000 | APS-143 |
|--------------|--------------|---------------------------|---------------|--------------------|
| 주파수 [GHz] | 9.375 | 9.375 | 9.0-9.3 | 9.25-9.7 |
| 출력 [kW] | 10 | 10 | 100 | 8 |
| PRF [Hz] | 200/1500 | 200/800/1600 | 750-5000 | 395-2491 |
| 펄스폭 [ms] | 0.2/0.5/2.35 | 0.1/0.5/2.35 | 0.2-1.2 | 0.1/10/30/40 |
| 송신기 | Magnetron | Magnetron | Magnetron | TWT |
| 안테나 크기 [cm] | 45.7×30.5 | 83.8×22.9/73.7×22.9 | 68.7×25.5 | 106.7×61/91.4×25.4 |
| 안테나 구동 | 60°/120° 스캔 | 60°/120°/360° 스캔 | 120°/360° 스캔 | 360° 스캔 |
| 스캔비율 | 28°/sec | 45,90°/sec | 100°,330°/sec | 6/12/30/60 rpm |
| 빔폭 [Az.×El.] | 5°/8° | 5°/8°, 3.2°/11°, 2.9°/11° | 3°/8° | 2.1°/8° |

표 1. 헬기 탑재 레이더의 성능 및 특징 비교

본 연구는 산자부 항공우주기술훈출개발사업의 일환으로 항공우주기술훈출연구조합의 지원으로 수행되고 있으며, 기초기술개발을 통하여 비행체 탑재 레이더 시스템에 필수적인 핵심기술을 개발하여 국내 항공 전자 및 항공탐재 레이더 기술 기반을 구축하고 향후 시스템에서 요구하는 시험개발에 적용할 계획이다.

II. 헬기 탑재 레이더의 시스템 구성

탑재체인 헬기의 운항 특성은 저고도, 저속비행, 정지비행(hovering)등 비교적 기동이 많은 비행을 하므로 일반적으로 고고도, 고속 비행을 하는 고정익 항공기 보다는 산악지대와 고층건물 등 장애물

에 대한 충돌위험이 많다. 안전운항을 위해 비행경로상의 장애물 탐지는 물론 목표지점 까지 기상조건에 관계없이 전천후 운항 기능이 요구된다. 안전운항 외에 헬기 레이더의 임무로는 지상 및 공중 감시와 지상 및 공중의 이동표적 과 장애물에 대한 탐지와 추적, 기상 클러터 맵핑, 비행체의 고도와 속도 측정을 통한 헬기 운항 및 이착륙에 필수적인 정보를 제공하는 임무가 있다.

본 논문에서는 탐지거리와 용도에 따라 단거리, 중거리, 장거리로 구분하여 다중모드를 적용하였다. 단거리 모드는 이착륙용으로 탐지거리는 7.5km, 중거리 모드는 항행 및 표적탐지 추적용으로 탐지거리는 30km, 장거리 모드는 기상 탐색용으로 75km 이상을 탐지하도록 설정하였다[3]. 헬기의 운용모드는 최대고도 3km, 항행속도는 100knots - 250knots 범위, 일반 순항속도는 150knots로 설정하여 시스템 설계를 수행하였다. 다음 그림 1에 헬기 탑재 레이더의 운용환경을 나타내었다.

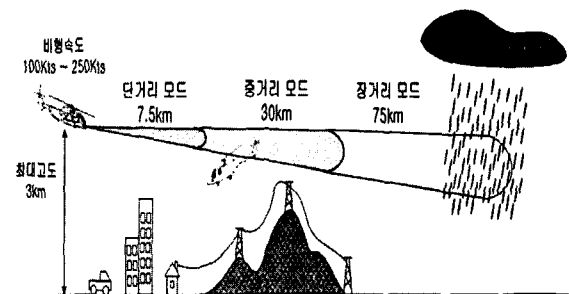


그림 1. 헬기 탑재 레이더 운용환경

레이더 시스템 형상은 헬기 탑재에 용이하도록 소형, 경량, 저전력의 탑재체 요구조건을 만족하는 4개의 LRU(Line Replacement Unit)-안테나 유닛(ANTU), 송수신기 유닛(TRU), TWTA 유닛, 신호처리 유닛(RSPU)-로 구성되며 표적, 클러터, 기상, 항법자료 등을 전시할 다기능 정보 전시 기능이 있다. 전체적인 헬기 탑재 레이더 시스템의 구성도는 다음 그림 2와 같다.

안테나는 소형, 경량으로 부엽 클러터의 영향을 최소화 할 수 있도록 고이득과 저부엽 레벨의 최신 평판 슬롯배열(Plan Slot Array) 안테나로 구성하여 전방 방위방향으로 120도의 구간탐색 및 360도 회전 탐색이 가능하도록 구성한다. 송신기는 이동표적 탐지가 가능하도록 코히어런트 방식의 위상정보를 얻어서

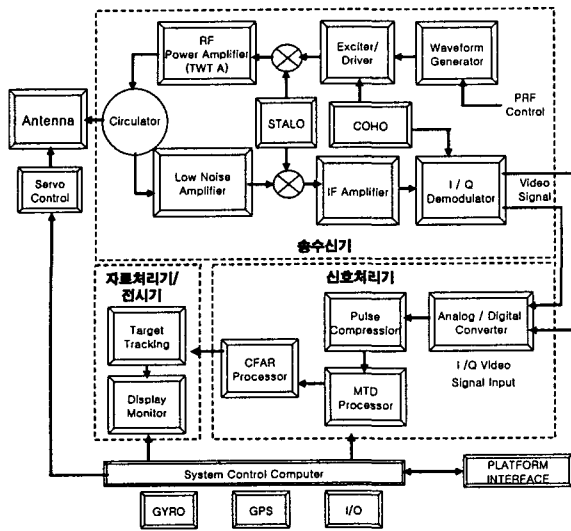


그림 2. 헬기타재 레이더 시스템 구성도

도플러 처리가 가능하도록 TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier)를 사용하고, 수신기는 저잡음 증폭기와 I/Q 검출기를 이용하여 도플러 속도 측정이 가능하도록 한다. 수신된 레이더 신호는 A/D 변환 거친 후, 고성능 DSP를 이용한 신호처리기에서 펄스 압축과 클러터 필터를 거쳐 표적을 탐지하여 전시기를 통해 표적 정보를 전시한다. 시스템 제어 컴퓨터는 운용자의 임무에 따라 다중 모드 입력 명령을 받아 시스템 제어에 필요한 제어 신호를 안테나, 송수신기, 신호처리기에 보내주고 비행체 플랫폼의 위치 및 자세정보를 받아서 신호 및 자료처리에 이용한다.

III. 레이더 시스템 설계 사양 도출

헬기 타재 레이더 시스템 설계를 위한 주요 파라미터로서 주파수, 탐지거리, 펄스 반복 주파수, 펄스 폭, 거리, 방위 및 도플러 분해능, 오경보 확률 및 탐지확률 등에 대한 사양을 결정하여야 한다. 레이더 파라미터는 변수들 간의 Trade-Off를 통하여 주어진 임무를 수행하는데 최적의 성능을 얻을 수 있도록 설정한다. 또한 본 연구에서는 레이더 시스템 핵심기술연구 차원에서 향후 다양한 비행체 플랫폼에 적용 가능하도록 레이더 변수를 조정할 수 있도록 Flexibility와 Modularity를 최대한 고려하여 설계하였다. 헬기 타재형 레이더 시스템 개념 설계 결과 사양은 표 2와 같다[4].

시스템 설계 파라미터로서 레이더 주파수는 대부

분의 소형, 경량 탑재 목적을 위해 헬기 및 항공기에 허가된 항공용 표준 X밴드 9.3GHz 대역을 선정하였다. 탐지거리는 단거리 7.5 Km, 중거리 30 Km, 장거리 75km 범위로 설정하여 이에 적합한 PRF (Pulse Repetition Frequency)를 5KHz, 2KHz, 1KHz로 각각 선정하였다. 펄스폭은 표적 거리 해상도를 결정하는 요소로서 단거리 이착륙 모드에서 분해능의 0.1usec를 설정하고, 중거리에서는 펄스압축을 사용하여 압축펄스 0.4usec 및 확장 펄스 폭 6.4usec를 사용하여 압축비 16:1로 하여 거리 분해능을 15m와 60m로 하였다. 장거리에서는 기상모드로 확장펄스 폭을 사용하여 최소 75Km 이상의 기상 클러터를 탐지하도록 설정하였다.

| 구분 | 항목 | 사양 |
|----------|---------|--|
| 시스템 | 동작 주파수 | X-밴드 (9.3 GHz) |
| | 탐지거리 | 7.5km/ 30km/ 75km (다중모드) |
| | 대상표적 | 지상/공중 이동표적 및 탐색 |
| | 운용모드 | 이·착륙 / 항행 / 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 | 80% for SW1, RCS 2(m ²) |
| 안테나 | 거리분해능 | 15m (PRF 5kHz), 60m (PRF 2kHz) |
| | 형태 | 평판 슬롯 배열형 |
| | 이득 | 32 dBi |
| | 빔 폭 | 3(수평), 8(수직) |
| | 부엽 레벨 | -30 dBc(수평), -25 dBc(수직) |
| | 편파 | 수평편파 |
| | 스캔 범위 | 수평:360°/120°, 고도:+20°/-80° |
| | 스캔 형태 | 기계적 스캔 |
| 송수신기 | 스캔 속도 | 회전:30 rpm, 선회:180°/sec |
| | 레이플 | 적용 (손실 : 1 dB) |
| | 형태 | Super Heterodyne |
| | 송신관 | 코히어런트 펄스형TWT(공기냉각) |
| | 동작주파수 | 9.38 GHz (대역폭:0.2 GHz) |
| | 송신출력 | 8 Kw (Duty 2%) |
| 신호처리기 | 펄스폭 | 0.1 usec / 6.4 usec (펄스 압축/확장:LFM 2.5 MHz) |
| | 중간주파수 | 60 MHz |
| 자료처리/전시기 | 검파형태 | I/Q 복조 (Digital 신호처리) |
| | 형태 | 고속 DSP 기반 프로그램 적용 |
| | 기능 | 펄스압축, MTD, CFAR |
| 추적능력 | 전시 | 비행체 타재용 디지털 LCD 적용 |
| | 기능 | 표적전시, 시스템 상황 전시 |
| 추적능력 | 추적능력 | 20개 표적(TWS) |

표 2. 레이더 시스템 설계 사양

안테나는 최근 항공 타재 레이더 기술 추세에 맞추어 파라볼릭 형태보다 설계, 제작이 용이하고, 기구적으로 모터부와의 연결이 편리한 소형, 경량의 평판형 배열 안테나를 선정하였다. 항공용 안테나는 클러터 영향을 최소화 하기 위하여 높은 이득과

낮은 부엽레벨이 요구되나 안테나 크기제한으로 주 빔 레벨 32dBi, 부엽 레벨 -25dBc의 부엽레벨을 설계하였다. 안테나 스캔 속도는 기계적으로 30rpm으로 하며, 스캔범위는 360도 회전과 120도 섹터 스캔이 가능하도록 설계하고, 고도방향은 +20도/-80도의 범위에 틸트(Tilt) 방식을 적용한다..

송신기는 레이더 시스템의 MTI, 펄스압축등의 신호처리 기법을 구현하기 위해 주파수 및 위상 안정도를 가지며 코히어런트 위상유지가 필수적인 TWT를 사용하며 출력은 8 KW급 공기 냉각방식을 채택함으로써 소형, 경량 목적에 부합되도록 하였다. 펄스 압축방식도 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 최신 기술을 적용하며 레이더 파형은 선형 주파수 변조방식(LFM)의 칩(chirp) 코드를 적용한다.

신호처리기 파라미터로는 신호처리기의 형태와 기능이 있는데 최신 고성능 DSP 기반 프로세스를 적용하고 기능으로는 펄스 압축, CFAR와 비행 탐재시 발생하는 주 빔 클러터와 부엽 빔 클러터를 효율적으로 제거할 수 있고 표적 탐지 확률이 높은 MTD 방식의 Doppler Filter Bank를 적용하도록 하였다. 도플러 필터의 신호처리 단위는 드웰 타임 내에서 CPI 단위로 수행하며 그림 3에 도시된 바와 같이 주어진 안테나의 방위각 빔 폭을 2개의 CPI로 나누고, 각 CPI 시간동안 펄스 반복 주파수로부터 주어지는 펄스 개수의 반인 16개의 펄스를 블록으로 처리하고 각각의 MTD 결과를 종합하여 CFAR에서 하나의 표적 데이터로 처리한다.

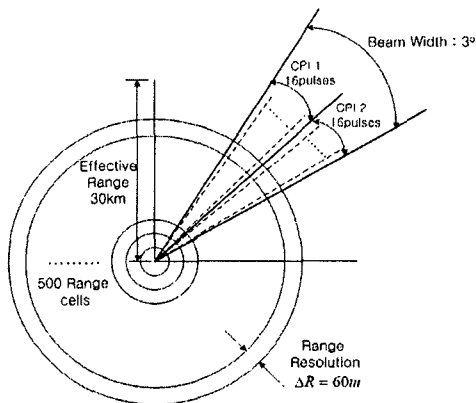


그림 3. 중거리 모드에서의 신호처리 단위

자료 처리기와 전시기에서는 탐지된 표적의 위치 정보를 현재의 모드에 적합한 데이터로 전환하여 LCD에 표시해 준다. 표적 위치 정보의 업데이트 시간 간격은 방위각 빔 폭만큼 안테나가 회전할 때

하고 TWS(Track-While-Scan) 방식으로 최대 20개까지의 표적을 추적할 수 있도록 한다.

IV. 레이더 탐지성능 분석

헬기탐재 레이더 기본 설계사양을 기준으로 레이더 시스템 거리 성능과 신호대 잡음비 성능을 살펴본다. Low PRF를 사용하는 2차원 Search Radar의 레이더 방정식은 식 (1)과 같이 주어진다[5].

$$R = \left(\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma T_D f_r \tau}{(4\pi)^3 (SNR)_n k TFL} \right)^{1/4} \quad (1)$$

여기서 R : 탐지거리(km), P_T : 최대 전송전력(KW), G : 안테나 이득(dB), λ : 파장(m), σ : 레이더 단면적(m^2), T_D : dwell time(sec), f_r : 펄스 반복 주파수(Hz), τ : 펄스 폭(sec), $(SNR)_n$: 펄스 n개일 때의 신호대 잡음비(dB), F : 잡음 지수(dB), k : 볼츠만 상수(1.38×10^{-23}), T : 절대온도(deg), L : 손실(dB)을 나타낸다.

표 3에 설계 사양으로 주어진 헬기 탐재 다중모드 펄스 도플러 레이더 파라미터 값들을 이용하여 탐지거리를 모드조건에 따라 시뮬레이션한 결과 시스템에서 요구하는 신호대 잡음비(SNR)와 탐지거리는 그림 4와 같다. 그림 5는 탐지확률 대 SNR의 시뮬레이션 결과로서 오경보율이 10^{-6} 이고, 펄스의 개수가 32개, 탐지확률이 80%이상일 때 요구되는 SNR값은 약 10dB 이상이다. 전체 손실과 SNR을 각각 12dB와 10dB로 설정하고 모드별 탐지거리와 거리 분해능, 블라인드 거리를 계산해보면 다음 표 3과 같다.

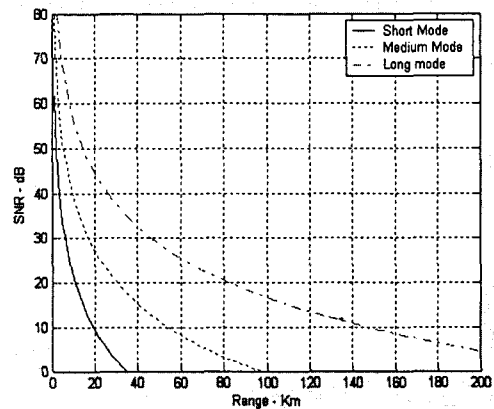


그림 4. 모드별 SNR 대 탐지거리

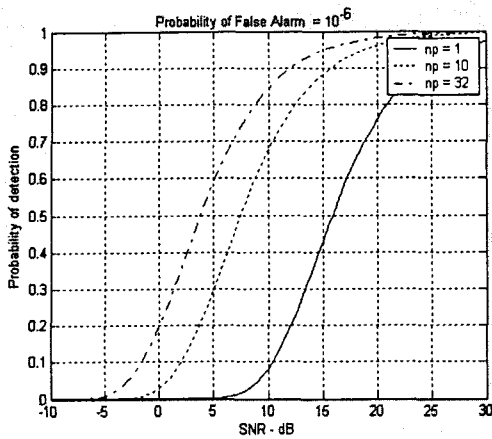


그림 5. 탐지확률 대 SNR

| Mode | Short | Medium | Long | 비고 |
|------------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|
| Instrument Range | 30km | 75km | 150km | |
| PRF(PRI) | 5kHz (0.2ms) | 2kHz (0.5ms) | 1kHz (1ms) | |
| Pulse Width | 0.1us | 6.4us | 6.4us | PC 1:16 |
| Range Resolution | 15m | 60m | 60m | |
| Blind Range | 15m | 60m | 195m | |
| Detection Range | 18.9km | 42.4km | 141km | 계산치 (DT=16ms) |
| Requirement | 7.5km | 30km | 75km | |

표 3. 모드별 탐지거리

V. 결론

비행체 탐재 레이더는 비행체의 안전항행, 감시, 충돌회피, 이착륙 등 다양한 임무수행을 위해 필수적인 항공전자 장치이다. 최근 한국형 다목적 헬기 개발에 대한 관심이 높아짐에 따라 이와 관련한 헬기탐재 항공전자 시스템으로서 레이더의 개발에 대한 중요성이 인식되고 있다. 본 논문에서는 헬기 탐재 다중 모드 레이더 시스템의 실험모델 개발을 위한 개념설계 연구결과로서 레이더의 임무 조건과 설계사양을 정립하고 이를 바탕으로 다중모드 펄스 도플러 레이더 시스템 개념 설계와 탐지 성능 분석 결과를 제시하였다. 본 연구를 통하여 국내 다목적 헬기 사업의 항공전자 및 레이더 기술 기반을 구축하는데 기여하리라 생각되며 소형 경항공기 및 무인기 등에 활용효과가 클 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Guy Morris, Airborne Pulsed Doppler Radar, 2nd Ed. Artech House, 1997
- [2] www.janes.com, www.naval-technology.com
- [3] B.R Mahafza, Radar Systems Analysis and Design, CRC Press, 2000.
- [4] 광영길 외, "MTD성능의 비행체 탐재용 레이더 시스템 핵심기술 연구- 중간보고서", 한국항공대학교 부설 항공전자연구소, 2003. 7
- [5] S.A. Leonov and A. I. Leonov, Handbook of Computer Simulation in Radio Engineering, Communications, and Radar, Artech House, 2001