

멀티 빔 구조의 실시간 레이더 신호 발생을 이용한 표적탐지 CFAR 알고리즘 성능분석

Real-time Radar Singal Generator Design and CFAR Performance Analysis

김도현*, 전인평, 곽영길(한국항공대학교)

1. 서 론

최근 전세계적으로 소형 항공기, 헬기, 무인기 등의 사용이 증가되고 그에 따른 항공기의 사고 또한 급속히 증가하고 있다. 사고의 주요 원인은 시계 불량 등의 장애물 탐지 실패로 인한 사건이 대부분이다. 시계 불량 상태에서도 장애물을 탐지할 수 있는 비행탐재 레이더는 안전항행, 주변탐색 및 감시, 충돌회피, 이착륙등의 다양한 임수 수행을 위해 필수적인 장치이다[1]. 소형 항공기 탐재용 Ka 밴드대역의 레이더의 경우 안테나의 빔폭이 작기 때문에 멀티 빔의 스캔 구조를 가진다.[2] 따라서 본 논문은 멀티 빔의 스캔 구조를 가지는 Ka밴드대역의 레이더 신호를 모델로 실시간 레이더 모의 신호 발생기의 구조를 설계 하였다, 또한 신호 발생기에서 발생 시킨 실시간 레이더 모의 신호를 이용한 표적탐지 CFAR (Constant False Alarm Rate)에 대한 기능과 특성 그리고 멀티 빔 구조 신호에서 CA-CFAR 사용하여 표적 탐지가 가능함을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. 멀티 빔 레이더 신호구조

본 논문에서 사용된 레이더 시스템 모델은 Ka 밴드대역의 Non-coherent 펄스 레이더로 안테나의 빔폭이 좁기 때문에 멀티빔 스캔구조를 가져야 한다. 그러므로 하나의 안테나에 4개의 피드혼을 스위칭하여 순차적으로 4개의 고도 빔을 발생하는 멀티 빔 구조이며 시스템의 주요 파라미터는 표 1과 같다. 레이더 신호의 단위 구조는 드웰타임 동안에 4개 안테나 빔의 16개의 펄스별 구조를 생성하고, 각 펄스는 거리셀 단위 구조를 가지게 된다.그러므로 모의 신호의 발생은 각각의 거리 셀 마다 신호값을 가진다.

Table 1. 밀리미터 레이더 신호처리 파라미터

Type	Non-coherent Pulsed Radar
Frequency	Ka band 35GHz
Antenna	2.0 deg (Az/El)
Beam Width	Four point switching
PRF	4.8KHz(Landing,Cruising) 1.2KHz(Weather)
Pulse Width	150ns(Landing, Cruising) 600ns(Weather)
Detection Range	2Km(Landing) /8Km(Cruising) 70Km(Weather)
Prob. of False Alarm	10 e-6
Prob. of Detection	90 %
Range Cell	89(2Km)/356(8Km)/778(70Km)
No. of Pulse/Beam	16pulse/beam

레이더 수신 신호의 구조는 각종 클러터와 표적신호로 이루어져 있다. 본 논문의 실시간 레이더 모의 신호 발생기에서는 지상 클러터, 기상 클러터, 해면 클러터, 표적신호 그리고 탐재 비행체의 이동효과 및 표적의 움직임도 고려 할 수 있게 모의 신호를 발생 하였다.

3. 레이더 모의신호 발생 모델

실시간 레이더 모의 신호발생기는 가상의 표적 및 클러터 시나리오를 설정하여 신호를 발생한 뒤 레이더 신호처리 알고리즘의 성능 분석 하기 위한 장치이다. 레이더 가상 신호 발생기의 구조는 클러터신호발생기, 표적 신호 발생기, 대기잡음 발생기에서 각각의 신호를 발생 시킨 뒤에 각 신호를 통합하여 시나리오에 따른 레이더 가상신호를 발생한다. 이는 다양한 신호 발생 시나리오에서 동작할 수 있는 환경을 제공

한다. 기본적으로 지상, 기상(비), 해면 클러터의 설정이 가능하도록 설계되었으며 및 표적의 시간적 이동이 가능하다. 클러터의 구현을 위한 알고리즘은 matlab 프로그램으로 구현하였고 표적 신호, 대기잡음 및 전체 시스템의 구현 및 통합은 lab view를 사용하여 구현하였다. 실시간 레이더 모의신호 발생기의 신호 발생기의 시스템 버스는 PXI로 사용하였고 주제어 컴퓨터로 NI-PXI 8175를 사용하였다. D/A 컨버터는 NI-6711 보드를 사용하여 구성하였다. 클러터 신호 생성과 시간과 표적 신호 및 잡음 생성의 동기를 맞추고 실시간 신호발생을 위해 더블 버퍼 방식으로 D/A 컨버터를 제어하도록 설계하였다. 실시간 레이더 모의신호 발생기는 가상의 신호 발생 시나리오에 따라 신호 발생시킨다. 본 논문에서 사용한 신호 발생 가상 시나리오의 그림 1과 같다.

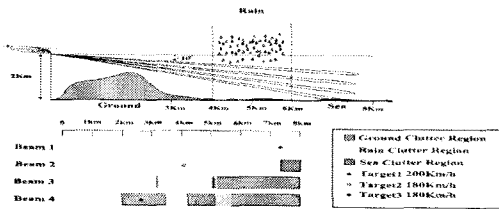


Fig 427 레이더 신호 발생 가상 시나리오

지면 클러터의 경우 그 스펙트럼 성분이 도플러의 영향을 거의 받지 않으며 평균 중심 주파수는 거의 0에 위치한다. 표준 편차의 경우 주변의 풍속에 따라 변화한다[2]. 그림 2은 신호 발생 가상 시나리오 따른 지면 클러터의 신호를 발생시킨 그림이다.

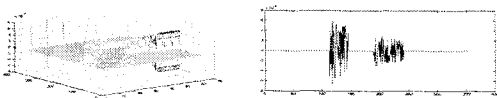


Fig 428 지상클러터의 모의신호 발생 결과

해면 클러터는 풍속과 해수면의 상태에 변화한다.[2][5] 그림 3는 신호 발생 가상 시나리오 따른 해면 클러터의 신호를 발생시킨 그림이다.

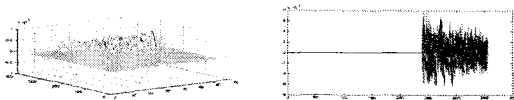


Fig 429 해면클러터의 모의신호 발생 결과

비(기상) 클러터는 바람 진행방향에 대한 풍속 변화율, 난기류, 낙하속도 그리고 Beam Broadening에 의해서 결정된다.[2][5] 그림 4는 신호 발생 가상 시나리오 따른 기상(비) 클러터의 신호를 발생시킨 그림이다.

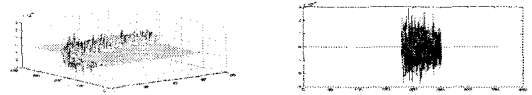


Fig 430 기상(비)클러터의 모의신호 발생 결과

표적 신호와 잡음의 경우 단일 펄스 신호와 잡음 신호를 합쳐 발생된다. 사용된 잡음 신호는 Gaussian noise를 사용하였다. 표적 신호 발생기의 경우 표적의 움직임을 신호의 시간적 이동으로 구현할수 있다. 그림 5은 표적 신호와 잡음의 영향을 구현한 것이다.

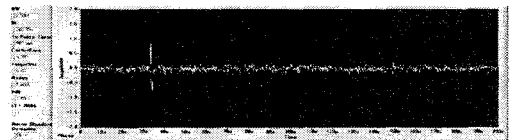


Fig 431 표적 및 잡음 모의신호 발생 결과

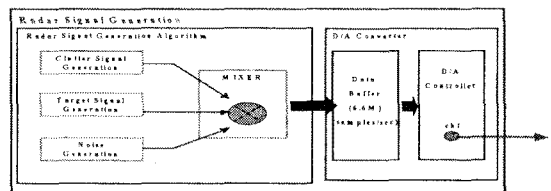


Fig 432 실시간 레이더 신호 발생기 구조도

그림 6은 실시간 레이더 모의 신호발생기의 구조이다. 위 구조에 따라 각각의 클러터 및 표적신호를 발생 시킨후 각데이터를 통합하여 수신신호를 생성한후 이 신호를 D/A 컨버터를 사용하여 실시간 레이더 수신 모의 신호를 발생시킨다. 그림 7, 8은 각각의 신호를 합성하여 발생시킨 레이더 모의 신호 발생 결과이다.

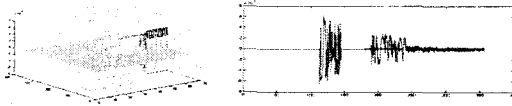


Fig 433 레이다 모의 수신 신호시물레이션 (지상+해면+기상(비)+표적+잡음)

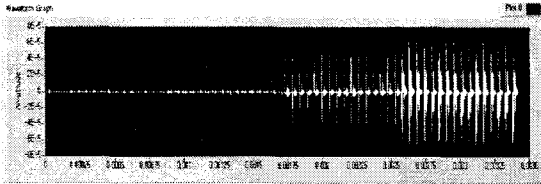


Fig 434 실시간 레이다 모의신호 발생결과 (1 Dewll time)

시물레이션한 신호 그림 7과 실제 발생 시킨 신호 그림 7을 비교하면, 가상 시나리오와 같이 각 빔마다 신호의 특성이 나타남을 확인 할 수 있다. 1, 2번째 빔의 경우 적은 기상 및 해면클러터가 나타나며, 3,4번째빔의 경우 지상클러터의 성분이 집중적으로 나타난다. 표적신호는 클러터 신호에 묻혀 있다. 표적신호의 확인은 CFAR 알고리즘 성능 분석후 간단한 CA-CFAR 알고리즘을 사용하여 확인하여 보겠다.

4. 레이다 모의신호를 이용 CFAR 알고리즘 성능 분석

4-1 CFAR 종류별 성능분석

CFAR의 성능 분석 환경을 위해 크게 균질한 상황과 비균질 상황으로 구분하여 모의 신호를 발생시켜 사용하였으며 비균질 상황 또한 Clutter Noise와 Multiple Target Noise에 따른 경우로 구분 하여 모의신호를 발생하여 CFAR 성능을 분석하였다. 각 CFAR는 기준창의 크기는 32, 탐지확률은 $10e-6$ 으로 하여 설정하였다. 각 성능 분석에 사용된 CFAR를 성능 및 특성 살펴 보면 다음과 같다. CA-CFAR는 기준창의 M개의 신호값을 평균하여 임계치를 적응적으로 변화시키는 것이다. 그림 9에서 보는 것과 같이 CA-CFAR는 잡음전력에 대한 Maximum likelihood estimate기법을 사용한 것으로 균질상황에서 좋은 성능을 보인다.

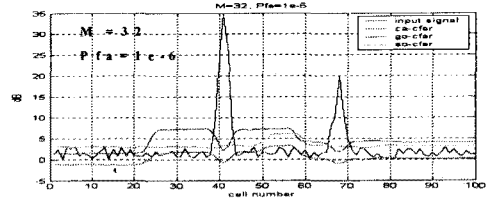


Fig 9. 균질상황시 CFAR별 임계치

GO-CFAR는 Leading widow의 합과 Lagging window의 합중에서 큰값을 선택하여 임계치를 결정한다.그림 10에서와 같이 GO-CFAR를 사용하면 클러터 경계면에서 오경보확률이 크게 증가하는 것을 방지할 수 있다.

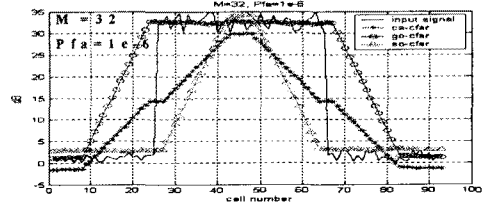


Fig 10. 클러터 잡음 존제시 CFAR별 임계치

SO-CFAR는 Leading window안의 신호들의 합과 Lagging window안의 신호들의 합중에서 작은 값을 이용하여 잡음전력을 추정하는 기법이다. 그림 11에서와 같이 SO-CFAR는 다중표적상황에서 우수한 성능 보인다.

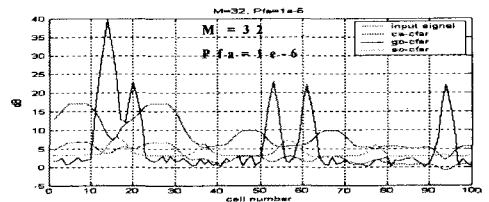


Fig 437 비균질 상황시 CFAR별 임계치

단일 CFAR 즉 CA-CFAR, GO-CFAR, SO-CFAR중 하나의 CFAR만을 사용하였을 때는 각종 입력신호 상황에서 문제점이 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 다양한 상황에 적응성이 강한 CFAR를 만들기 위해서는 환경에 따른 모드전환이 가능한 CFAR가 요구되어 짐을 알 수 있다. 그림 12는 환경에 따른 모드 변환이 가능한 구조를 갖는 CFAR이다.

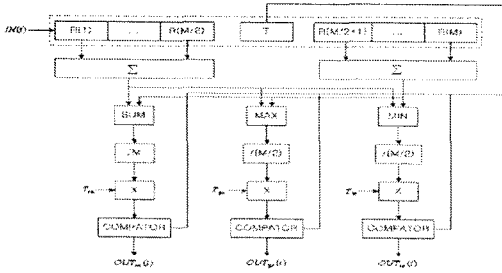


Fig 12. 환경에 따른 CFAR 모드 변환 구조
 즉 균질상황에서는 CA-CFAR모드를 사용하고, 클러터잡음 상황에서는 GO-CFAR 모드를 적용하고 다중 간섭표적상황에서는 SO-CFAR 모드를 적용하는 함으로써 최적의 CFAR의 성능을 가질 수 있다.

4-2 레이더 모의신호를 이용한 CA - CFAR 성능분석

가상 시나리오를 사용하여 발생시킨 모의 신호를 사용하여 기준창이 16개인 CA-CFAR를 하여 표적 신호 탐지 성능을 살펴보면 다음과 같다. 입력된 레이더 모의 신호는 레이더 신호 처리기의 Single delay line canceler를 거쳐 지상 클러터의 성분이 제거되어 그림 13과 같은 신호로 CA-CFAR 입력된다.

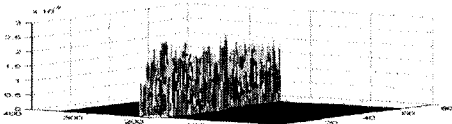


Fig 439. Single-delay line canceler를 거친 모의신호

기준창이 16개인 CA-CFAR에서 추정된 임계치는 그림 14와 같다.

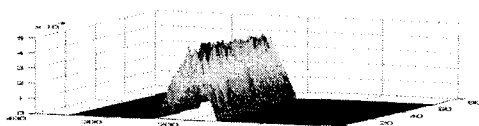


Fig 440. 기준창 16개 CA-CFAR 임계치

Single delay line canceler를 거친 모의 신호와 CA-CFAR에서 추정된 임계치와 비교하여 표적정보를 추출하면 그림 15와 같이 표적의

유무를 확인 할 수 있다.

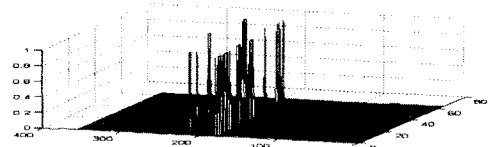


Fig 441. CA-CFAR를 사용 추출된 표적신호 위의 CA-CFAR 알고리즘 시뮬레이션을 통하여 모델로 사용된 Ka밴드 멀티 빔 레이더에서 가상 시나리오를 사용하여 발생된 레이더의 모의 신호가 유효함을 확인 인하였고 신호처리기 구조에서 CA-CFAR를 이용 표적신호 추출이 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 Ka 밴드 다중 모드 멀티 빔 구조의 레이더 신호처리기 성능분석 위한 실시간 레이더 모의신호 발생기를 구현하였다. 또한 모의신호를 이용하여 CFAR 알고리즘의 성능 분석 결과를 제시하였다. Ka밴드 멀티 빔 스캔 구조 레이더에서의 신호 단위 구조를 분석하고 가상 시나리오에 따라 변화하는 레이더 수신신호를 분석하여 적합한 실시간 멀티 빔 레이더 모의신호 발생기를 구현하였다. 그리고 가상 신호 발생 시나리오를 이용하여 실제 레이더 신호와 비슷한 레이더 모의 신호를 발생하여 CFAR 알고리즘의 성능을 분석하였다. 가상 시나리오에 따른 레이더 모의 신호를 이용하여 멀티 빔 레이더 신호처리기 구조에서 CA-CFAR를 사용하여 표적신호 추출을 확인하였다. 또한 발생된 레이더 모의 신호가 유효함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1]Guy Morris, "Airborne Pulsed Doppler Radar", 2nd Ed. Artech House, 1997
 [2]김도현 곽영길, "멀티 빔 다중모드 레이더 신호처리 구조설계와 성능분석", 대한전자공학회 하계 종합 학술대회제 27권 1호, 2004
 [3]G.Minkler and J.Minkler, "the principle of automatic radar detection in clutter CFAR", magellan book company, 1990.
 [4]. L. Eaves and E. K. Reddy, "Principles of Modern Radar", VAN NOSTRAND REINHOLD Company, 1987.