

능동위상배열 레이더에서 다중표적 탐지/추적을 위한 효과적인 빔 구조 연구

Effective Beam Structure for Multi-Target Detection and Tracking in the Active Electrically Scanned Array Radar

이주현 · 이석곤 · 박대성 · 조병래*

Joo-Hyun Lee · Seok-Gon Lee · Dae-Sung Park · Byung-lae Cho*

요 약

본 논문은 능동위상배열 레이더가 여러 개의 표적을 탐지/추적하기에 효과적인 수신빔 구조에 대해 기술하고 있다. 위상배열 레이더가 갖는 특성 중 하나는 원하는 방향으로 빔을 조향하고, 디지털적으로 여러 개의 빔을 동시에 형성하는 것이다. 이와 같은 디지털 빔 형성 수신빔 구조를 통해서 동시 다발적으로 발생하여 접근하는 위협 표적을 빠르고 정확하게 탐지하는 방식을 제안한다. 본 논문에서 제안된 기법들은 시뮬레이션을 통해서 표적의 탐지 정확도 성능을 제시한다.

Abstract

This paper presents an efficient receive beam structure able to search and track the simultaneous bundle targets with the active electrically scanned array radar. One of the characteristic with the active phased array radar is to point toward wanted direction and to forming simultaneously the digital multi-beam. This paper proposes method to detect and track rapidly bundle targets coming to radar using the digital beam forming. The proposed the beam forming method in the paper is evaluated about the angle accuracy of targets via a computer simulation.

Key words: Active Electrically Scanned Array Antenna, Digital Beam Forming, Monopulse Beam

I. 서 론

레이더에 의한 표적의 탐지와 추적은 현대 전장에서 아군의 자원을 보호하고, 적군의 원점을 찾아내기 위한 핵심요소이다. 특히 단일 표적에 대한 탐지 추적뿐만 아니라, 동시 다발적으로 발생하여 아군을 위협하는 표적에 대한 탐지 추적 연구가 진행되어 왔다. 현재 레이더 발전 추세는 다수의 표적을 탐지, 추적하기 위해 능동위상배열

구조를 갖는 레이더가 주로 사용되고 있는 실정이다^[1]. 능동위상배열 레이더는 다수의 송수신 반도체 모듈(TR module)로 구성되어 송신빔과 수신빔을 형성한다. 이 레이더의 특징은 위상값을 조절하여 빔을 원하는 위치로 조향하는 것이다. 이와 유사한 신호처리 기법으로 디지털 빔 형성 방법이 있다.

디지털 빔 형성 기법(DBF: Digital Beam Forming)은 형성된 수신빔을 이용하여 원하는 방향, 원하는 수만큼 동

삼성탈레스(Samsung Thales)

*국방과학연구소(Agency of Defence Development)

· Manuscript received July 25, 2014 ; Revised September 16, 2014 ; Accepted September 19, 2014. (ID No. 20140725-054)

· Corresponding Author: Joo-Hyun Lee (e-mail: joo Hyun.lee@samsung.com)

일한 수신빔을 디지털적으로 형성하는 기법이다. DBF의 장점은 송신빔을 넓은 빔폭으로 스캔하고, 그 안을 여러 개의 좁은 빔폭을 갖는 DBF 수신빔을 형성하여 넓은 송신 영역을 빠르게 탐색할 수 있다는 점이다. 이를 위해서는 DBF 빔을 처리할 수 있는 신호처리 모듈의 지원이 필요할 뿐, DBF 빔 형성을 위한 추가적인 송수신 모듈이 필요하지 않다^{[2],[3]}.

레이더 신호처리 시 정확한 표적의 위치 정보(각도)를 계산하기 위한 방법들이 제시되어 왔다. 위치 정보를 추정하기 위한 기법들 중에서 ML(Maximum-Likelihood) 방식의 성능이 우수하며, 지속성과 효율성을 보장한다^{[10],[11]}. 다만 ML 방식은 계산량이 크다는 단점을 갖고 있기 때문에 실시간 운용에 제한을 받을 수 있고, 계산을 위한 디지털 하드웨어 비용이 상승할 수 있다. 시스템에 실시간으로 적용할 수 있는 방법들 중에 무게 중심법^[8]과 모노펄스 처리 기법이 있다^[7]. 무게 중심법은 간단한 구조로 계산량이 작은 반면에 정확도가 낮은 단점이 있다. 모노펄스 처리 기법은 두 가지로 구현할 수 있는데, 첫 번째로 하드웨어적으로 안테나를 구성하여 모노펄스 빔을 만드는 방법과 두 번째로 DBF 빔을 통해서 모노펄스 빔을 만드는 방법이 있다.

본 논문에서 제시하는 동시 다발적 표적 탐지 기법은 관심 영역 스캔 시 기존 9개의 탐지 수신빔에 인터빔(9개의 수신빔 사이에 4개의 수신빔 배치)을 생성하고, 인터빔을 통해 형성된 다수의 모노펄스 빔에서 다수의 표적 분리 및 각도의 탐지 정확도를 높일 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 성능 비교를 위해 기존에 9개 수신빔으로 무게 중심법을 이용하여 추출한 각도 정보(방위각, 고각)의 정확도와 인터빔을 사용하여 추출한 각도 정보의 정확도를 RMSE(Root Mean Square Error)를 통해 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Section II의 2-1에서는 능동위상배열 레이더의 표적 탐지/추적 기법을 기술하고, 2-2에서는 Digital Beam Forming 모델링, 2-3에서는 제안된 인터빔을 이용한 모노펄스 처리 기법, 2-4에서는 시뮬레이션 결과 그리고 Section III에서는 결론을 기술한다.

II. 본 론

2-1 능동위상 배열레이더의 표적 탐지/추적 기법

레이더를 통하여 공간상에 있는 표적을 탐지하기 위해서는 관심 영역에 대한 전자적인 빔 조향 절차가 수행된다. 위상배열 레이더의 경우, 기구적인 회전이나 치구 없이 레이더에서 방사하는 전자파를 위상값을 조절하여 원하는 탐색 위치로 빔을 조향한다.

표적을 탐지하기 위해서는 관심 영역에 전자파를 송신하여 수신된 정보를 신호처리하는 과정이 필요하다. 이 때 효율적인 탐색 방법은 가능한 넓은 영역에 송신빔을 방사하고, DBF 기법을 통해 빔폭이 좁은 수신빔을 형성하여 되돌아오는 전자파의 정보를 획득하는 것이다. 이와 같이 수신빔을 사용하는 경우, 송신빔 한 개를 사용하여 빔을 방사하고 수신하여 정보를 획득하는 것에 비해 보다 좋은 탐지 성능을 가질 수 있다. 수신빔을 통해 표적이 탐지되면, 탐지된 위치로 송신빔을 두 번 더 방사하여 표적이 있는지를 확인하게 된다. 이와 같은 과정을 표적 확인 과정이라고 부른다. 이때 표적이 존재하지 않으면, 표적 이외의 정보로 간주하고, 탐지된 정보는 사용하지 않는다. 반대로 정보가 존재하면 이를 진짜 표적으로 보고, 표적 추적에 들어간다. 표적 추적은 추적 주기에 맞춰서 탐지 정보의 위치로 빔을 조향하게 된다. 추적 시에는 탐색 시와 다르게 DBF 기법을 통해 5개 또는 4개의 수신빔을 조밀하게 겹쳐 형성하여 모노펄스 처리 기법을 통해 정밀한 각도 정보를 획득하게 된다.

2-2 디지털 빔 형성 기법 모델링

앞 절에서 언급된 수신빔은 모두 DBF를 통해 형성된 빔으로, 탐색 모드에서는 9개의 수신빔을 형성하였고, 추적 모드일 때는 5개의 수신빔을 형성하였다. 이를 통해 탐색의 경우, 빠른 시간 안에 넓은 영역을 탐지하여 자원 활용을 최적화 하였고, 추적 시에는 모노펄스 빔을 형성하여 정밀 추적 능력을 구현할 수 있다.

위상배열 레이더는 다수의 수신 안테나로부터 수신되는 신호를 처리해야 하며, 다수 채널의 신호가 ADC(Analog Digital Converter)를 통해서 디지털 데이터가 생성된다. 변환된 디지털 데이터는 빔 형성 계수와 매트릭스 연산에 의해 최종 수신빔으로 출력된다. 이 때 빔 형성 계수는

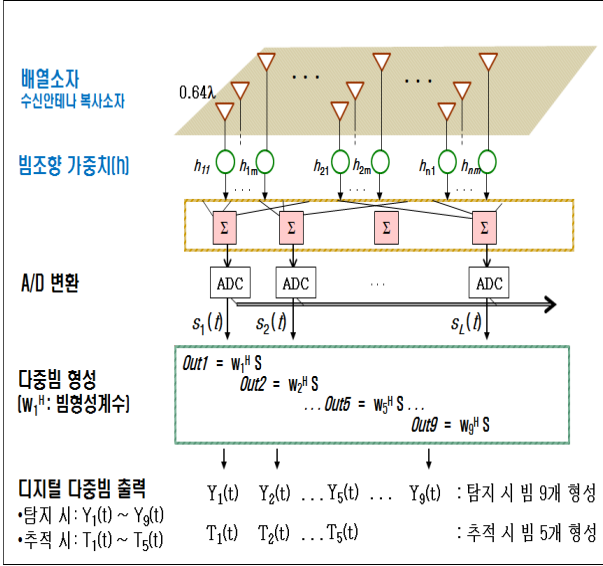


그림 1. 디지털 빔 형성 구조
Fig. 1. Digital beam forming structure.

수신빔폭과 수신빔 간 간격을 고려하여 미리 계산되어진다. 디지털 빔 형성 기법을 통한 탐지빔 형성 구조는 그림 1과 같다⁵⁾.

그림 1에서와 같이 다중빔 형성을 위한 수신 데이터(S)의 모델링은 다음과 같다.

$$S_p = \sum_{m,n \in \Omega_p} h_{mn} \exp(-j2\pi(u_0 x_{mn} + v_0 y_{mn})) \times s_{mn} \quad (1)$$

여기서 m 과 n 은 안테나 소자의 가로, 세로 개수이며, (u, v) 는 uv 도메인에서 본 안테나 소자들의 $u = \sin(\theta_{az})$, $v = \sin(\theta_{el})$ 값이다. s_{mn} 은 각 소자 신호이다. h_{mn} 은 안테나 개구면 전력 분포 가중치이며, 본 논문에서는 가중치를 정규분포로 설정하였다. 생성된 수신 데이터는 미리 계산된 빔 형성 계수와 행렬 곱셈 연산에 의해 다중 수신빔을 형성하게 된다. 빔 형성 계수는 다음과 같이 기술한다.

$$w(k, l) = \exp(-j2\pi(\Delta u(l)X_p(k) + \Delta v(l)Y_p(k))) \quad (2)$$

식 (2)번에서 빔 형성계수($w(k, l)$)는 지수항으로 수신 안테나의 위치(X_p, Y_p)와 형성될 디지털 빔의 조향 성분($\Delta u, \Delta v$)으로 계산된다. k 는 수신신호의 개수, l 은 형성하는 디지털 수신빔 계수를 의미한다. 최종적으로 형성되

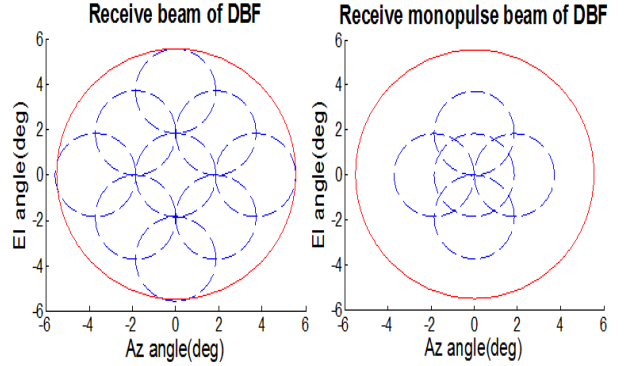


그림 2. 디지털 빔 형성 기법을 통한 다중 수신빔 형성
Fig. 2. Multi-receive beam forming using DBF.

는 디지털 수신빔은 아래 식 (3)에 의해서 계산된다.

$$out(l) = S(1, k) \times w(k, l) \quad (3)$$

식 (3)에 의해서 계산된 $out(l)$ 을 이용하여 형성된 다중 수신빔의 형상은 그림 2와 같다⁴⁾.

실선으로 표시된 원은 송신빔이며, 점선으로 표시된 원들은 수신빔이다. 그림 2의 왼쪽 9개로 형성된 수신빔 구조가 탐색빔에서 사용되며, 오른쪽의 5개로 형성된 모노펄스 수신빔 구조가 표적 추적 시 사용된다. 추적 모드인 경우, 5개의 모노펄스 수신빔의 중심에 표적이 위치하도록 조향하여 각도 정확도를 높게 된다. DBF로 형성된 수신빔의 빔폭은 상하 좌우 대칭구조를 이루며, 서로 다른 빔폭 차이(0.02도 이내)를 가지나, 본 논문에서는 동일한 것으로 가정한다.

2-3 인터빔을 이용한 모노펄스 처리 기법

탐색 모드에서 9개의 수신빔으로 표적의 각도를 탐지하는 간단한 방법으로는 무게 중심법이 사용되고 있다⁸⁾.

그림 3에서 θ 는 방위각을 나타내며, ϕ 는 고각을 나타낸다. a_n 는 n 번째 빔의 신호 크기를 나타낸다. 무게 중심법은 매우 간단하고 적용하기 쉬운 반면, 각도 추출하는데 있어서 모노펄스 기울기를 이용하여 각도를 추출하는 모노펄스 방식에 비해 정확도가 떨어지게 된다. 또한, 무게 중심법은 다중 수신빔의 중점 좌표를 이용해 표적의 위치를 추정하므로, 그림 2의 9개 수신빔을 형성할 경우, 추정할 수 있는 각도 범위가 전체 수신빔을 포함하지 못

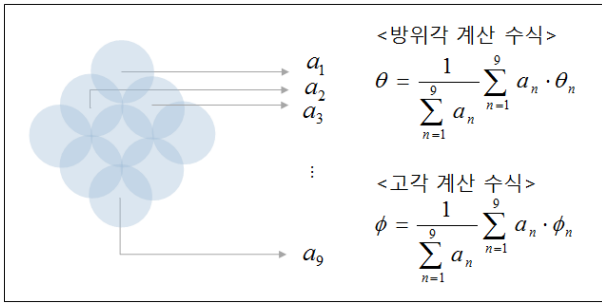
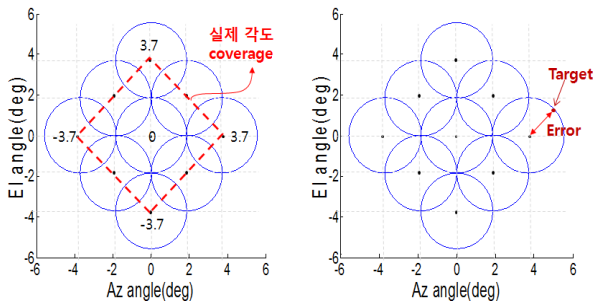


그림 3. 무게중심법을 이용한 각도 계산

Fig. 3. Angle calculation of the center of mass.



(a) 무게중심법 사용 시 실제 각도 coverage
(a) Angle coverage of center of mass

(b) 무게중심법 사용 시 각도 최대 오차
(b) Maximum angle error of center of mass

그림 4. 무게중심법 사용 시 문제점

Fig. 4. Problem using of the center of mass.

하게 된다. 따라서 그림 4의 (a)와 같이 사각형 안의 범위가 실제 각도 추정 영역이 되며, 사각형 밖의 표적들에 대해서는 모두 오차로 작용하게 된다. 이 때 최대 각도 측정 오차는 그림 4의 (b)와 같이 수신빔폭의 절반이 된다.

무게 중심법의 단점인 각도 처리 영역 확보와 모노펄스 방식의 정확도를 만족하고자 기존 9개 수신빔 사이에 그림 5와 같이 4개의 인터빔(점선으로 표시)을 형성하였다.

인터빔 형성 시 장점은 인터빔에 대한 신호처리 모듈 이외에 추가적인 하드웨어 없이 신호처리 과정에서 디지털 빔 형성 기법을 통해서 구현되며, 인터빔과 기존 9개 수신빔들을 이용하여 그림 6과 같이 1~5의 빔 영역에 모노펄스 처리가 가능한 모노펄스 빔을 형성할 수 있다. 그림 6의 (a)는 전체 수신빔의 중심을 기준으로 5개의 모노펄스 빔을 형성한 그림이며, (b)는 2번 빔을 기준으로 모

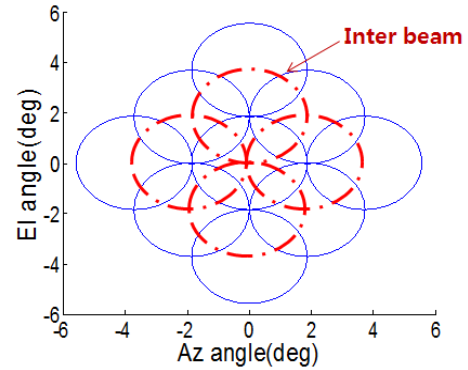


그림 5. 인터빔 구조

Fig. 5. Structure of the interbeam.

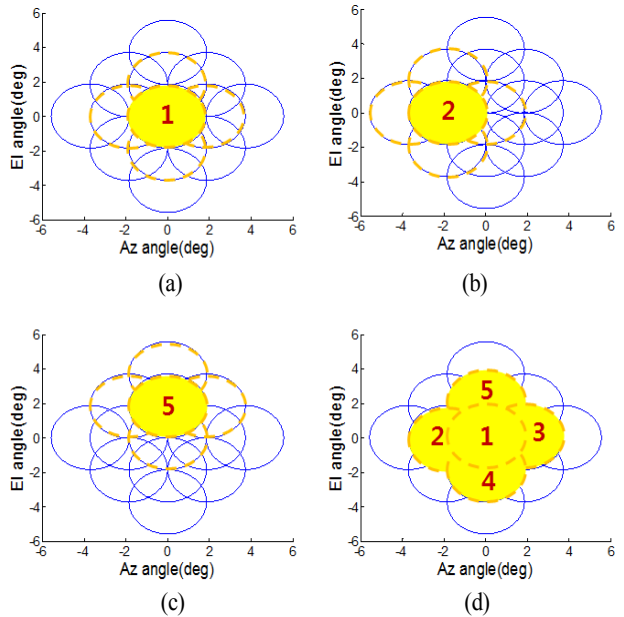


그림 6. 인터빔을 이용한 모노펄스 빔 형성

Fig. 6. Monopulse beam forming using interbeam.

노펄스 빔을 형성한 그림이다. 이렇게 인터빔을 사용함으로써, 수신빔의 중심과 인터빔을 기준으로 (d)와 같이 총 5개의 모노펄스 빔 그룹을 형성할 수 있게 된다. 또한, 4개의 모노펄스 기법^[6]을 적용하여 무게중심법 사용 시 수신빔의 최외각 부분의 미처리 영역에 대한 부분도 만족할 수 있다.

인터빔에 의해 형성된 5개 모노펄스 빔의 구조는 그림 2의 추적 모드 시 수신빔의 구조와 동일하나, 그림 2의 추

적 모드 시 사용하는 모노펄스 빔과 다른 점은 인터빔에 의한 모노펄스 빔은 탐색 개념에서 사용하기 때문에, 표적의 위치를 5개의 수신빔 중심으로 조향하지 않는다는 점이다. 이렇게 빔을 구성하면, 모노펄스 빔 내에 존재하는 표적은 그 외에 영역보다 각도 정보를 정확히 추출할 수 있다. 즉, 탐색 모드에서도 추적 모드 때와 같은 정밀한 정확도의 각도 정보를 추출할 수 있다. 인터빔에 의해 형성된 모노펄스 빔 내에서 동시 다발적으로 발생하는 표적에 대해서 표적의 각도 정보의 정확한 추출이 가능해진다.

본 논문에서 사용한 모노펄스 빔의 구조는 인터빔을 중심으로 좌, 우, 상, 하 총 5개의 빔을 빔폭의 절반을 겹치도록 형성하였다. 구체적인 형상은 그림 2의 추적 시 수신빔 패턴과 동일하다. 모노펄스 처리 기법을 이용하여 각도를 추출하기 위해서는 먼저 5개의 수신빔을 통해 합 패턴과 차 패턴을 형성하여 측정 각도 별 모노펄스 기울기를 계산해야 한다. 모노펄스 기울기(k_m) 계산 수식은 다음과 같다⁶⁾.

$$k_m = \frac{d(\Delta/\Sigma)}{d(\theta/\theta_3)} \quad (4)$$

여기서 빔의 중심이 합 패턴(Σ)이며, 좌, 우의 차를 방위각 차 패턴(Δ), 상, 하의 차가 고각의 차 패턴이 된다⁷⁾. 즉, 모노펄스 기울기는 차채널/합채널의 변화량 대비 반전력 빔폭으로 정규화된 각도의 변화값이 된다. 모노펄스 처리 기법을 통한 각도 계산 방법은 식 (5)번과 같다.

$$u_t = u_0 + \frac{BW_u}{k_m} Ru \quad (5)$$

u_0 는 (u, v) 도메인에서 본 조향된 빔의 중심위치이며, BW_u 는 반전력 빔폭, Ru 는 차채널 대비 합채널의 비이다. 수신빔에 인터빔을 적용한 모노펄스 빔 형성 시, 고각 방향에 대한 모노펄스 빔의 측정 패턴 결과는 그림 7의 좌측과 같다.

여기서 굵은 실선으로 표시된 부분이 고각 합 패턴이고, 점선으로 표시된 부분이 고각 차 패턴 계산을 위한 합 패턴을 기준으로 좌우 3.7도로 조향된 고각 패턴이다. 방위각 패턴도 고각과 유사한 패턴을 갖는다. 모노펄스 기

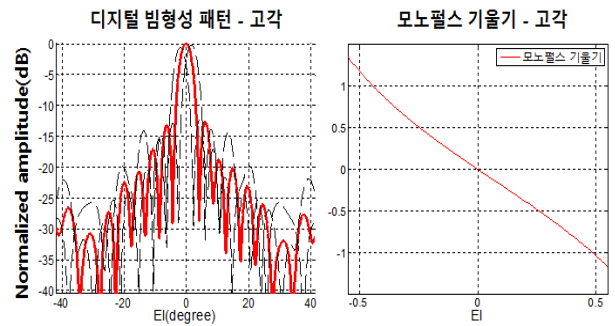


그림 7. 디지털 빔 형성 패턴 및 모노펄스 기울기
Fig. 7. Digital beam forming pattern and monopulse slope.

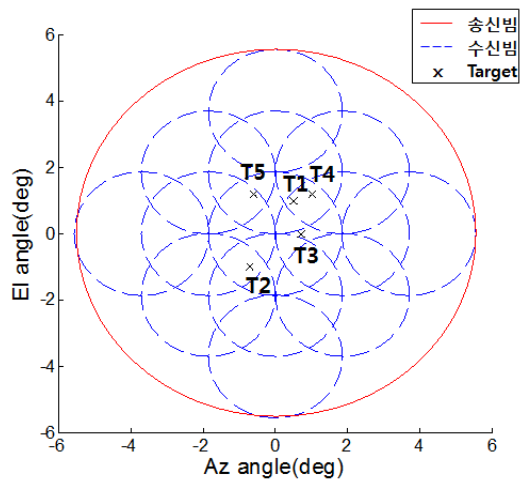
울기는 식 (4)번에 의해 그림 7의 우측과 같은 그래프로 계산된다. 기울기 값이 빔의 중심에서 멀어질수록 선형성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 즉, 표적이 빔의 중심에서 멀어질수록 각도 정확도가 떨어지며, 이를 보완하기 위해 각도별 기울기 값을 적용하여 사용한다.

2-4 시뮬레이션 결과

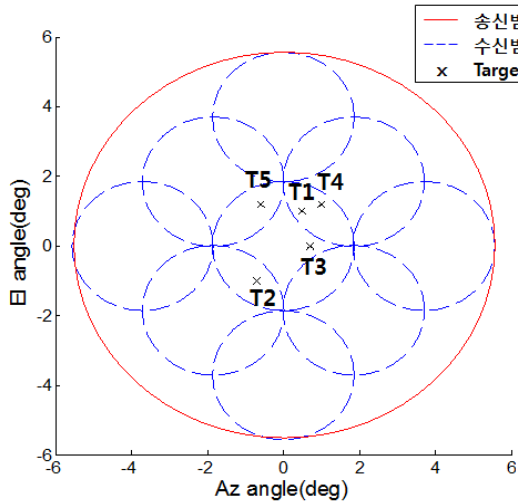
본 연구는 위상 배열 레이더를 통해 표적 탐색 시 인터빔을 적용하여 탐지 정확도를 개선하고, 다중 표적을 정확히 분리하는 기법을 제안하는 것이다. 시뮬레이션에서 사용된 위상배열 레이더의 동작 주파수 Ku 대역이며, 위상배열 안테나의 배열 개수는 24x4로 정사각형 배열구조이다. 안테나 배열 간격은 0.64λ 이며, 개구면 분포는 정규분포를 사용하였다.

인터빔을 이용한 모노펄스 처리 기법의 표적 탐지 성능을 시뮬레이션하기 위한 다중 표적 형상은 그림 8과 같다. 5개의 표적의 시나리오 각도 정보는 1번 표적은 (방위각, 고각)으로 (0.5, 1)도, 2번 표적은 (-0.7, -1)도, 3번 표적은 (0.7, 0)도, 4번 표적은 (1, 1.2)도, 5번 표적은 (-0.6, 1.2)도로 설정하였다. 표적의 탐지거리는 800 m, 속도는 400 m/s로 설정하였고, 레이더의 송신 빔폭은 11도, 수신 빔폭은 3.7도로 0.64λ 배열소자 간격에 대해 계산된 값으로 설정하였다.

표적에 대한 각도 측정 시뮬레이션은 그림 8과 같은 위치의 표적에 대해서 신호를 생성하고, 이를 신호처리하여 각도 정보를 추출하였다. 시뮬레이션은 두 가지 방법으로 수행하였다. 첫 번째 방법은 그림 8 (a)와 같이 인터



(a) 인터빔 이용한 시뮬레이션
(a) Simulation using the inter-beam



(b) 무게중심법을 이용한 시뮬레이션
(b) Simulation using the center of mass

그림 8. 동시 다발 표적 시나리오
Fig. 8. Scenario of simultaneous bundle target.

빔이 적용된 탐지빔에서 수행하는 경우와 그림 8 (b)와 같이 탐지빔에서 수행하는 경우이다. 첫 번째 방식은 모든 수신빔에서 문턱값을 넘는 신호를 찾고, 인터빔에 의해 형성된 5개의 모노펄스 빔 구조를 통해서 모노펄스 기울기를 계산하여 정확한 각도 정보를 추출한다. 다중 표적의 분리는 1차적으로 도플러 방향으로 고속 푸리에 변환을 수행하는 과정에서 거리 분해능 범위 밖에 존재하는

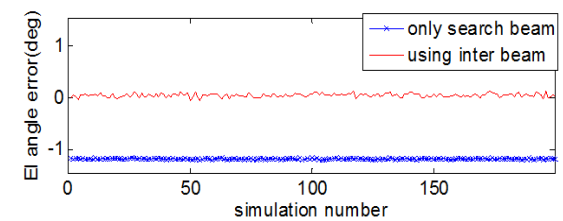
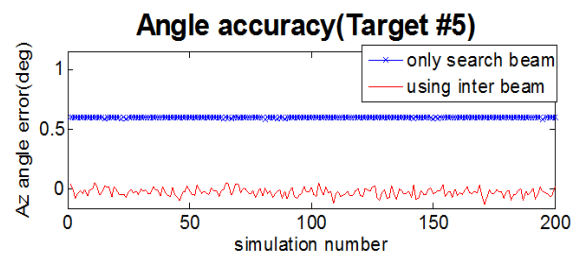
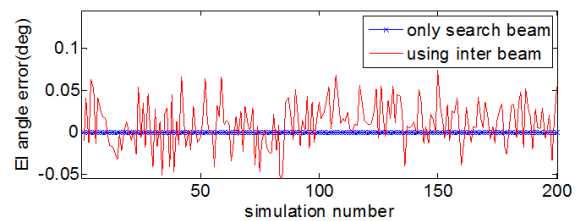
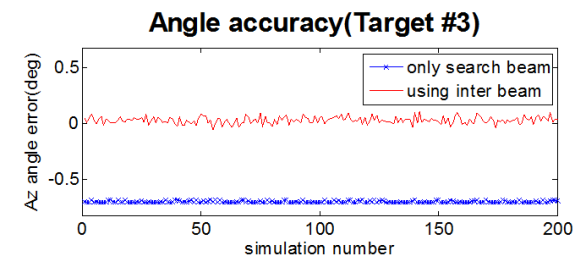
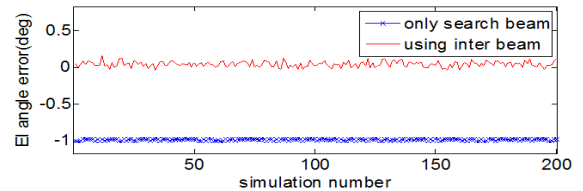
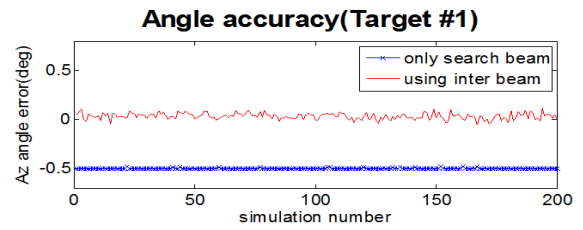


그림 9. 표적(1, 3, 5)에 대한 각도 정확도 결과
Fig. 9. Angle accuracy output of target #1, #3, #5.

표 1. RMS(Root Mean Square) error 산출 결과
Table 1. RMS error output.

Scenario	인터빔 사용		무계중심법 사용	
	방위각(도)	고각(도)	방위각(도)	고각(도)
Target #1	0.0457	0.0573	0.4991	0.9843
Target #2	0.0448	0.0574	0.6979	0.9873
Target #3	0.0453	0.0340	0.6948	0.2343
Target #4	0.0592	0.0560	0.9906	1.1824
Target #5	0.0439	0.0580	0.5992	1.1792

표적에 대해서 거리 및 속도 분리가 가능하다. 즉, 인터빔을 통한 모노펄스 처리 방식을 통해서 각도 정보의 정확한 분리가 가능하다. 두 번째 방식은 9개의 수신빔 내에서 신호 세기가 문턱값을 넘으면, 해당하는 빔의 중심 위치와 문턱값을 넘는 신호의 최대 크기를 이용하여 그림 3의 수식을 이용하여 표적의 각도로 추출한다. 이 경우, 모노펄스 방식에 비해 정확한 표적의 각도를 추출할 수 없다.

정확한 시뮬레이션을 수행하기 위해 5개의 각 표적에 대해서 각각 200회의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 각 표적에 대한 신호처리 결과와 입력 시나리오 간의 방위각, 고각 별 오차 그래프는 그림 9와 같다.

표적 1, 3, 5번에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과, 인터빔을 이용하여 추출한 표적의 각도 정확도가가 더 우수한 것을 확인할 수 있다. 단, Target #3 고각의 경우에는 고각의 시나리오 값이 0도로 설정되어 있어서, 탐지빔을 통해서 각도를 추출하는 경우, 고각 정확도가 더 우수하다. 이와 같은 경우를 제외하고는 모두 인터빔을 사용한 각도 추출 방식이 월등히 우수하다는 것을 알 수 있다. 표 1은 5개의 표적에 대한 RMSE(Root Mean Square Error) 값을 나타내고 있다. 식 (6)에서 n 은 시뮬레이션 횟수이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - x_i)^2}{n}}$$

\bar{x}_i : 추정치, x_i : 실제값 (6)

III. 결 론

본 논문에서는 능동위상배열 레이더를 이용하여 동시

다발적으로 발생하는 표적을 탐지할 때 효과적인 수신빔 구조에 대해 제안하였다. 기존에 사용하고 있는 9개 수신빔을 이용한 무계중심법은 간단한 구조로 실시간 시스템 적용이 가능하다. 그러나 각도 정확도 측면에서는 표적이 대략 어느 위치에 존재하는지만을 판단할 수 있는 수준이다.

시뮬레이션 결과, 인터빔을 통한 다중 모노펄스 처리 기법은 기존 무계중심법에 비해서, 각도 정확도 측면에서 우수한 결과를 보였다. 인터빔 모노펄스 기법은 기존 9개 탐지빔에 DBF를 통해 4개의 빔을 사용하여, 4개 인터빔을 위한 신호처리 모듈 이외에 하드웨어의 추가 없이 표적 추적 시와 같은 각도 정확도를 확보할 수 있음을 확인하였다. 또한, 다수의 표적이 산재해 있는 다중 표적 환경에서도 신호처리 과정에서 분리된 표적 신호들의 각도 정보를 정확히 산출해 낼 수 있음을 확인하였다.

향후에는 인터빔 처리 기법을 통해서 탐지와 추적을 동시에 수행하여 다수의 표적에 대해서 빠르게 대응할 수 있도록 표적 처리 시간을 단축할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] 김 현, 나형기, 전민현, "능동 위상 배열 레이더의 개발 동향", 한국전자과학회지 전자파기술, 25(2), pp. 39-49, 2014년 3월.
- [2] Harry L. Van Trees, *Optimum Array Processing: Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory*, A John Wiley & Sons, Inc., pp. 17-79, May 2002.
- [3] Wulf-Dieter Wirth, *Radar Techniques using Array Antennas*, The Institution of Electrical Engineers., pp. 87-109, 2001.
- [4] Arik D. Brown, *Electronically Scanned Arrays*, CRC Press., pp. 45-108, 2012.
- [5] U. Nickel, *Fundamentals of Signal Processing for Phased Array Radars*, NATO Science and Technology Organization Inc., pp. 5-1-5-20, 2006.
- [6] David K. Barton, *Modern Radar System Analysis*, Artech house Inc., pp. 397-422, 1988.
- [7] U. Nickel, "Monopulse estimation with subarray-adaptive

arrays and arbitrary sum and difference beams", *IEE Proc. Radar Sonar Navig.*, vol. 143, no. 4, pp. 232-238, 1996.

[8] Merrell I. Skolnik, *Radar Handbook, 2nd Edition*, McGraw-Hill, pp. 8.12, 1990.
 [9] Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design using Matlab. Second Edition*, Chapman & Hall/CRC, pp. 471-479, 2005.

[10] Richard M. Davis, "A maximum-likelihood beamspace processor for improved search and track", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 7. 2001.

[11] Kai-Bor Yu, "Digital beamforming of multiple simultaneous beams for improved target search", *IEEE Radar Conference*, May 2009.

이 주 현



2006년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터공학과 (공학사)
 2008년 2월: 한양대학교 전자전기제어계측공학과 (공학석사)
 2008년 3월~현재: 삼성탈레스 ISR·PGM 연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템 설계, 레이더

더 신호처리 등

박 대 성



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
 1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
 1999년 3월~2000년 10월: 대우통신(주) 무선통신연구소 연구원
 2000년 11월~2003년 1월: (주)머큐리 Defense 그룹 연구원

2003년 1월~현재: 삼성탈레스 ISR·PGM연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 레이더 시스템, 위상배열안테나, 신호처리 등

이 석 곤



1999년 2월: 한국고통대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2002년 2월: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
 2009년 8월: 충북대학교 전파공학과 박사과정 수료
 2002년 12월~2005년 9월: 자화전자부설

연구소 연구원

2005년 10월~현재: 삼성탈레스 ISR·PGM 연구소 전문연구원
 [주 관심분야] 능동위상배열레이더, 안테나, RF시스템 등

조 병 래



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

2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상레이더 등