Journal of the KIMST, Vol. 19, No. 5, pp. 598-605, 2016
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.5.598

Research Paper 센서 · 신호처리 부문

단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법

장연수[1] · 이창훈[*,1]

[1] 국방과학연구소 제2기술연구본부

Cross Eye Technique with Single Transceiver

Yeonsoo Jang[1] · Changhoon Lee[*,1]

[1] *The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 15 February 2016 / Revised 11 July 2016 / Accepted 23 September 2016)

ABSTRACT

One of the effective methods for angular deception against monopulse radar is a cross eye technique. The typical cross eye technique can cause significant angular errors to monopulse radar by using two transceivers which transmit the signals with opposite phases. However, typical cross eye systems have high complexity of implementation because two transceivers should be installed with enough distance on the platform. In this paper, we propose a new cross eye technique with single transceiver based on the multipath effect. Then, angular deception performance of the proposed technique is analyzed.

Key Words : Monopulse Radar(모노펄스 레이더), Cross Eye(크로스 아이), Angular Deception(각도 기만)

1. 서 론

현대의 감시정찰, 통신, 타격 체계에서 전자 시스템이 차지하는 비중은 과거에 비해 급증하였다. 이러한 전장 환경에서 우위를 점하기 위해서는 적 무기 체계의 전자장비에 효율적인 전자공격(electronic attack)을 가하는 것이 필요하며 이에 따라 전자장비에 대한 전자공격 기법이 다양하게 연구되고 있다[1-3]. 현대전의 핵심 전자장비 중에서 레이더는 목표물의 거리, 속도, 각도를 추정하여 공격하기 위한 정보를 유도 무기와 같은 타격 체계에 제공한다. 이로 인해 아군의 전투기 및 함정이 직접적인 피해를 받게 되므로 레이더에 대한 전자공격은 아군의 생존성 확보를 위해 필수적이라 할 수 있다.

레이더에 대한 전자공격은 레이더로부터 얻어지는 거리, 속도, 각도 정보를 기만하는 것으로 이루어진다. 이 중에서도 레이더의 각도 정보를 왜곡시키면 레이더의 추적 과정을 효과적으로 방해할 수 있으므로 전투기 및 함정과 같은 아군의 핵심 전력을 보호할 수 있다. 기존 레이더의 각도 추적 방식은 원추형 스캔(conical scan) 등과 같이 시간 순차적인 방식이 사용되었고 이러한 시간 순차적인 방식은 역 이득 진폭변조 재밍 기법 등으로 비교적 쉽게 기만될 수 있다. 순

* Corresponding author, E-mail: leech@add.re.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

차적 각도 추적 방식과는 달리 모노펄스 방식은 단일 수신펄스로부터 합 패턴과 차 패턴을 계산하여 각도를 추정함으로써 펄스간 진폭변화에 따른 영향이 작다[4]. 모노펄스 방식의 각도 추적은 원리 및 구조가 단순하고 기존 각도 기만 기법에 강인하기 때문에 대공 추적 레이더 및 유도 무기의 탐색기 등에서 대부분 모노펄스 방식을 이용하여 목표물의 각도를 추정하고 있다.

모노펄스 레이더는 단일 펄스를 이용하여 각도를 계산하기 때문에 시간 순차적인 기만 기법은 효과가 미미하다. 그러므로 모노펄스 레이더의 각도를 기만하기 위한 효과적인 방법으로 모노펄스 레이더의 수신부에 도달하는 전파를 왜곡시키는 방법이 있다. 이러한 전파왜곡의 대표적인 기법은 크로스 아이(cross eye)이다. 크로스 아이 기법은 레이더 신호를 수신 후 2개의 송수신기를 이용하여 크기가 동일하고 위상이 180° 차이가 나는 두 신호를 송신함으로써 대상 레이더의 수신단에서 전파왜곡 효과를 일으킨다[5,6]. 크로스 아이 기법은 이론적으로는 몇몇 연구결과가 제시되고 있으나, 실제 구현 및 무기 체계 적용 사례는 찾아보기 힘들다. 그 이유는 크로스 아이 기법 구현을 위해서는 충분히 이격되어 있는 2개의 송수신기가 설치되어야하는 등 구현 복잡도가 다소 크고 기존의 재밍 시스템 구조와 호환성이 떨어지기 때문이다.

본 논문에서는 기존 크로스 아이 기법의 제한점을 극복하기 위해 단일 송수신기 구조의 새로운 크로스 아이 기법을 제안한다. 그리고 제안된 크로스 아이 기법의 각도기만 성능을 분석한다.

2. 모노펄스 레이더 원리

추적 레이더에서 목표물의 각도는 매우 중요한 정보이며 레이더 개발 초기에 각도 추정 방식은 시간의 순서대로 펄스를 송신하여 목표물의 각도를 추정하는 순차적 로빙(sequential lobing)이 이용되었다. Fig. 1은 순차적 로빙의 대표적인 방식인 원추형 스캔을 나타내고 있다.

원추형 스캔 방식은 기준방향(boresight)에서 한쪽으로 약간 틀어진 방향으로 레이더 신호를 송신한 후, 급전 혼(feed horn) 회전을 통해 빔을 기준방향 주변에서 회전시킨다. 이때 목표물이 기준방향에서 한쪽으로 치우쳐 있다면, 빔 회전에 의한 수신 신호는 그 크기가 커졌다 작아지는 형태가 반복적으로 나타나게 되며 목표물 방향으로 향한 빔에 대해서만 강한 반사파를 수신하게 된다. Fig. 2에는 원추형 스캔에 의한 수신 신호 형태를 나타내었다.

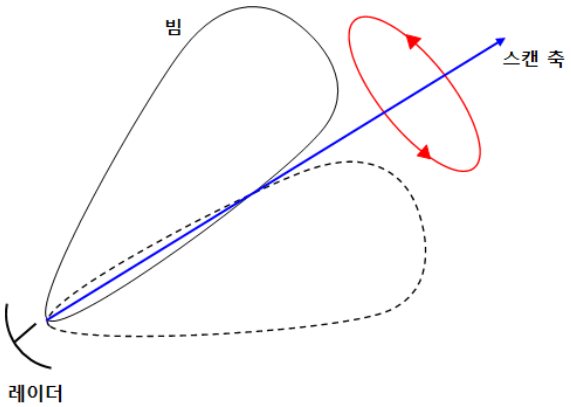


Fig. 1. Concept of conical scan

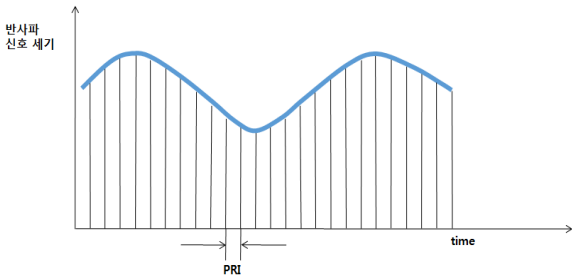


Fig. 2. Received signal of conical scan

원추형 스캔 방식은 수신된 신호에서 최대값을 나타내는 방향으로 안테나를 이동하는 과정을 통해 목표물을 추적한다. 이와 같이 순차적 로빙 방식은 수신된 전파에서 시간의 흐름에 따라 나타나는 진폭변화를 이용하여 각도를 추정하며, 각도 추정을 위해 필요한 신호가 수신될 때까지 기다려야한다. 이러한 이유로 빔의 위치를 바꾸지 않아도 빔을 회전시키는 동안 여러 가지 요인에 의해 수신 신호의 크기가 변할 수 있다. 즉, 빔이 회전하는 사이에 발생하는 목표물의 방향 전환 및 환경적인 요인이 순차적 로빙의 각도 추정을 방해할 수 있다. 또한 순차적 로빙 방식은 상대적으로 재밍에 취약하다. 재머에서 레이더 주파수에 맞추어 강한 신호를 반복적으로 전송하면 레이더의 수신부에서는 임의의 시간에 강한 반사파가 나타나게

되며 실제 목표물과 다른 방향에 목표물이 있다고 인식하게 된다. 순차적 로빙 방식에 대한 재밍을 효과를 향상시키기 위해서는 재밍 신호 송신 주기를 레이더의 회전 주기에 맞추고 약간의 시간 지연을 주면 레이더는 실제 목표물과 재밍 신호를 구분하기 더욱 어려워진다. 이러한 방식의 재밍 방법으로는 역 이득 진폭변조 재밍이 있다. Fig. 3에는 역 이득 진폭변조 재밍으로 인한 레이더 수신 신호를 나타내었다.

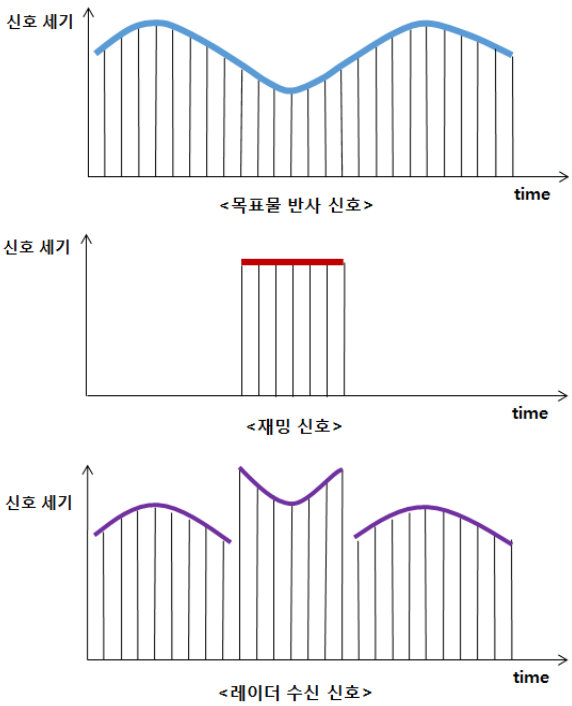
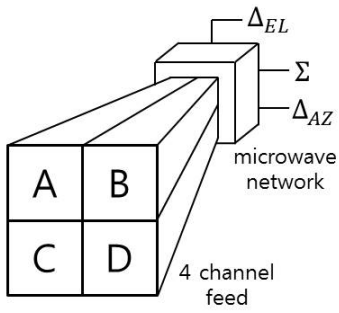


Fig. 3. Reverse gain amplitude modulation

역 이득 진폭변조 재밍은 추적 레이더의 회전주기에 맞추어 목표물에서 반사되는 크기와 상반되는 재밍 신호를 전송한다. 실제 레이더의 목표물이 기준방향에서 한쪽으로 치우쳐 있더라도 레이더에서는 실제 목표물에 의한 반사 신호와 재밍에 의한 신호의 합이 수신되어 크기의 변화가 없는 형태로 나타나거나 실제 목표물과 반대방향에 더 큰 신호가 발생하기 때문에 레이더는 실제 목표물 방향으로 따라갈 수 없게 된다.

모노펄스 레이더는 순차적인 로빙 방식의 단점을 보완한 방식으로 다양한 레이더와 미사일 탐색기에 추적 시스템으로 이용되고 있다. 모노펄스 시스템은 그 명칭에서 알 수 있듯이 한 개의 송신펄스로부터 각도 오차를 추정함으로써 펄스간 진폭변화에 따른 영향을 받지 않는다. 모노펄스 레이더 중에서 가장 널리 쓰이는 진폭비교 방식은 다수 개의 안테나 및 급전 혼을 사용하여 각 안테나의 빔 지향각도가 공간상에서 편향되어 동시에 전송 및 수신되도록 한다. 각도 측정값은 공통된 탐지영역에 포함되어 있는 인접 빔의 수신신호 진폭에 대한 합 패턴과 차 패턴으로부터 계산된다. 수신신호에 대한 진폭비교는 레이더 수신단의 고주파단, 중간 주파수(IF)단, 기저대역단에서 수행될 수 있지만, 고주파단 비교가 일반적으로 많이 쓰인다. 기본적인 진폭비교 방식의 모노펄스 레이더는 편향된 4개의 빔을 이용하여 목표물의 방위각과 고각을 추정한다. Fig. 4에는 모노펄스 레이더의 4개 수신채널 구조를 나타내었다.



$$\Sigma = A + B + C + D$$
$$\Delta_{AZ} = (\mathrm{A} + \mathrm{C}) - (\mathrm{B} + \mathrm{D})$$
$$\Delta_{EL} = (\mathrm{A} + B) - (\mathrm{C} + \mathrm{D})$$

Fig. 4. 4 channel receiver structure of monopulse radar

합과 차를 계산하는 시스템에서 마이크로파 네트워크는 네 빔의 동위상 합으로 합 채널(Σ)을 구성하고, 방위각 차 채널(Δ_{AZ})과 고각 차 채널(Δ_{EL})은 반대위상을 이용하여 구성된다. 이러한 과정은 hybrid junction 또는 magic T를 이용하여 구현된다. 모노펄스의 합, 차 빔 패턴을 Fig. 5에 나타내었다.

진폭비교 방식 모노펄스 레이더 안테나는 일반적으로 지향각이 편향되어 있는 방위각 및 고각 축 상에 각 2개씩 4개의 빔을 형성한다. 모노펄스 레이더는 모든 빔을 조합하는 합 패턴과 방위각 및 고각 방향에 대한 차 패턴의 비율을 이용하여 목표물의 각도를 계

산한다. 합과 차 신호의 세기 둘 다 동일하게 목표물 크기에 비례하기 때문에 모노펄스 레이더 합·차 비율은 목표물의 신호 크기에 영향을 받지 않는다. 추정각도는 레이더의 서보 시스템에 적용되어 합·차 비율이 0이 되도록 방향을 조정한다. 즉, 모노펄스 레이더가 목표물 각도를 추적할 때에는 레이더의 기준방향과 수신되는 파면이 직교하도록 한다. 모노펄스 방식은 시간 순차적 로빙 방식에 비해 정확한 각도추정이 가능하다. 항재밍 측면에서도 모노펄스 방식은 원추형 스캔과 같은 순차적 로빙 방식에 비해 우수하다.

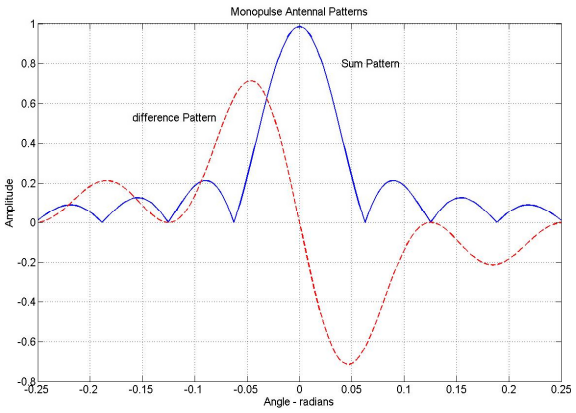


Fig. 5. Sum and difference patterns of monopulse radar

3. 기존의 크로스 아이 기법

모노펄스 레이더의 각도추적 과정을 기만하기 위해서는 수신되는 단일 펄스에 전파 왜곡을 발생시키는 것이 효과적이다. 모노펄스의 수신 신호를 왜곡시키는 방식으로는 교차 편파(cross polarization), 크로스 아이 등의 기법이 있다. 크로스 아이 기법은 모노펄스 레이더로부터 전송된 신호를 수신하여 한쪽 송신기에서는 수신 신호와 동일한 위상으로 반대쪽 송신기에서는 변이된 위상으로 신호를 송신하는 각도기만 기법이다. 크로스 아이 시스템을 구현하는 대표적인 방식은 수신된 신호를 반대편 안테나로 송신하는 역지향(retrodirective) 구조이다. 역지향 구조를 사용함으로써 경로차로 인해 발생할 수 있는 위상 차이를 보상가능하다. 전형적인 크로스 아이 시스템의 구조도를 Fig. 6에 나타내었다.

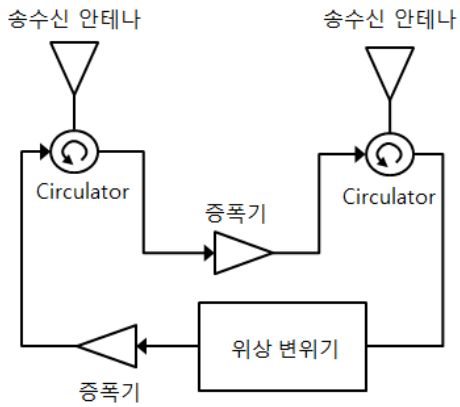


Fig. 6. Block diagram of a typical cross eye system

크로스 아이 시스템은 두 개의 송수신 안테나, 각 경로별 증폭기, 위상 변위기 등으로 구성된다. 안테나부는 수신 안테나와 송신 안테나 각각 두 개를 사용할 수 도 있고 써큘레이터(circulator)를 이용할 경우 송수신 안테나 두 개를 적용할 수도 있다. 모노펄스 레이더에 대한 각도기만 효과를 높이기 위해서는 레이더 재밍 대 신호 비율이 커야하므로 적합한 출력의 증폭기를 사용한다. 크로스 아이 시스템은 두 개의 송수신 경로를 갖게 된다. 한쪽 경로를 통해서는 수신 신호와 동일한 위상의 신호를 송신하고 다른 쪽 경로를 통해서는 위상이 변위된 신호를 송신한다. 이 때, 두 개의 재밍 송신 신호가 모노펄스 레이더의 수신부에 180°의 위상차로 도달하도록 위상을 조정하면 각도기만 효과를 크게 나타낼 수 있다. 이러한 기능을 하는 위상 변위기는 디지털고주파기억장치 등으로 구현될 수 있다.

Fig. 7에는 크로스 아이로 인한 각도 기만효과를 나타내었다.

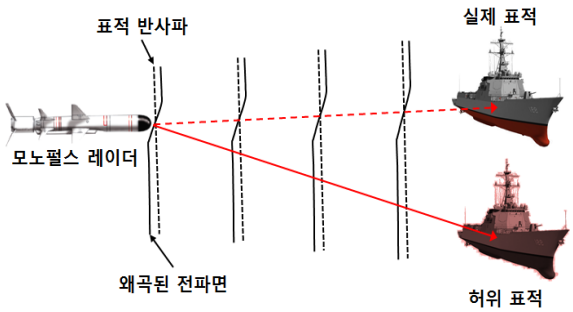


Fig. 7. Angular deception effect of cross eye system

Fig. 7에서와 같이 크로스 아이에 의해 왜곡된 전파면을 수신한 모노펄스 레이더는 실제 표적이 있는 방향이 아닌 허위 표적의 각도를 인지하게 된다.

2개의 송수신기를 사용하는 크로스 아이 기법은 각도기만 효과를 확보하기 위해 송수신기 간 충분한 거리 간격이 필요하다. 전투기나 함정에 크로스 아이 시스템을 설치할 경우 송수신기의 거리 간격이 멀어질수록 양쪽 송수신기 사이에 신호 교환을 위한 케이블이 길어지게 되며 이로 인해 추가적인 증폭기 설치가 필요하고 경로가 길어짐에 따른 정밀 보정을 해야 하는 등의 제한점이 있다. 이러한 제한점으로 인해 시스템 구현 및 설치비용이 급증하게 된다. 영국에서 구입한 유로 파이터의 경우 크로스 아이 시스템을 적용할 수 있도록 전투기 구조를 설계하였으나 비용상의 문제로 크로스 아이 시스템을 설치하지 않은 것으로 알려져 있다.

4. 제안하는 크로스 아이 기법

앞서 언급한 기존 크로스 아이 시스템의 제한점을 극복하기 위해 단일 송수신기 구조로 동일한 각도기만 효과를 내어줄 수 있다면 구현 및 비용 측면에서 유리할 것이다. 기존 크로스 아이 시스템과 유사한 각도기만 효과를 갖기 위해서는 단일 송수신기로 수신된 신호와 동일한 위상의 신호 그리고 다른 위상을 갖는 신호를 모노펄스 레이더로 송신할 수 있어야 한다. 이를 위해 다중경로 효과를 이용하면 위상이 변이된 신호를 생성할 수 있다.

현재 운용되고 있는 많은 레이더 및 탐색기는 지면, 수면, 인공구조물 등으로 인해 다중경로를 겪게 된다. 직접경로와 다중경로를 이용하면 단일 송수신기로 두 신호를 모노펄스 레이더로 전송할 수 있다. 일반적으로 다중경로 신호는 반사면의 특성과 경로차에 의해 진폭과 위상이 다양하게 발생하게 된다. 이러한 반사 신호의 특성으로 인해 각도기만 효과가 결정되며 높은 각도기만 효과를 얻기 위해서는 두 신호의 크기 비는 1, 위상은 180°에 가까워야 한다. 비교적 매끄러운 반사면에 전파가 낮은 각도로 입사될 경우, 다중경로 신호는 입사 신호 대비 크기는 1, 위상은 180°에 가까운 신호가 된다[7]. 이러한 다중경로 신호의 특성을 이용하면 단일 송수신기를 가지고도 크로스 아이 효과를 낼 수 있다. Fig. 8은 다중경로 효과를 이용한 새로운 크로스 아이 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

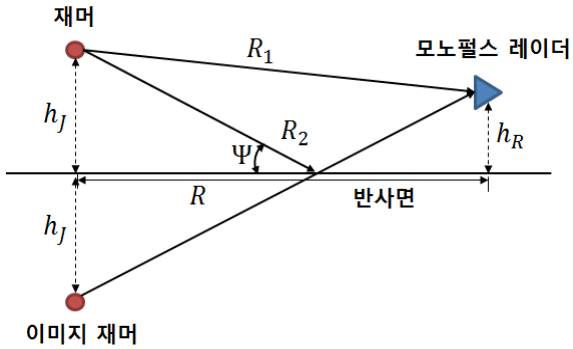


Fig. 8. Concept of a new cross eye system based on multipath effect

여기서 h_J는 반사면으로부터 재머까지의 높이, h_R는 반사면으로부터 모노펄스 레이더까지의 높이, Ψ는 반사면에 대한 입사각, R은 재머로부터 모노펄스 레이더까지의 수평거리, R_1은 재머로부터 모노펄스 레이더까지의 직접경로 거리, R_2는 재머로부터 모노펄스 레이더까지의 다중경로 거리이다.

단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법은 모노펄스 레이더로부터 수신된 신호를 반사면을 향해 송신한 후 모노펄스 레이더를 향해 송신함으로써 각도기만 효과를 얻을 수 있다. Fig. 8에서 알 수 있듯이, 모노펄스 레이더 수신부에서는 반사된 다중경로 신호가 흡사 이미지 재머가 위치한 곳에서 오는 신호로 여겨지기 때문에 이 경우 단일 재머만으로도 두 송수신기의 간격이 $2h_J$인 크로스 아이 시스템의 각도기만 성능을 나타낼 수 있다. 이 때, 충분한 각도기만 효과를 갖기 위해서는 직접경로 신호와 다중경로 신호가 동시에 모노펄스 레이더에 수신되어야 한다. 즉, 직접경로 신호의 수신각도와 다중경로 신호의 수신각도 차이가 모노펄스 레이더의 빔폭보다 작아야한다. 직접경로 신호와 다중경로 신호의 수신각도 차이는 반사면으로부터 재머까지의 거리 h_J가 작을수록 줄어들게 되므로 빔폭이 좁은 고이득 모노펄스 레이더에 대해서는 h_J가 작은 범위에서 각도기만 효과를 얻을 수 있다.

다중경로를 이용하는 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 시스템에서 고려해야할 점은 직접경로와 다중경로의 거리차이로 인해 발생하는 두 신호의 위상차와

도달 시간 차이이다. 직접경로와 다중경로를 통과한 재밍 신호는 모노펄스 레이더에 동시에 도착해야하며, 경로차이로 인해 발생하는 위상차를 보상해주어야 한다. 따라서 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 시스템은 위상과 지연시간을 조정하는 제어기가 필요하다.

본 논문에서 제안하는 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 시스템 블록도를 Fig. 9에 나타내었다.

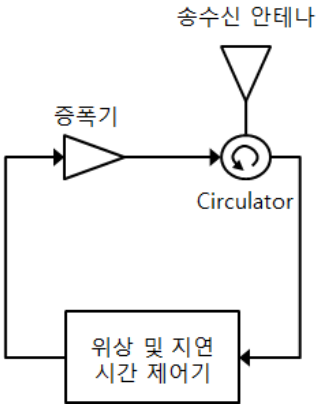


Fig. 9. Block diagram of a new cross eye system with single transceiver

제안하는 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 시스템은 방향 조향이 가능한 단일 안테나, 위상 및 지연 시간 제어기, 증폭기로 구성된다. 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 시스템 동작 과정은 다음과 같다. 우선 수신된 모노펄스 레이더 신호를 직접경로와 다중경로의 거리차를 이용하여 위상 보정 후 시간 지연 없이 반사면으로 송신한다. 이 때, 위상 보정값 $\Delta\phi$는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta R}{\lambda} = \frac{2\pi f \Delta R}{c} \tag{1}$$

여기에서 ΔR는 직접경로와 다중경로의 거리차, λ는 레이더 신호의 파장, f는 레이더 신호의 주파수, c는 빛 속도이다. 직접경로와 다중경로의 거리차 ΔR는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta R = \sqrt{R^2+(h_J+h_R)^2} - \sqrt{R^2+(h_J-h_R)^2} \tag{2}$$

첫 번째 신호를 반사면으로 송신한 후 수신된 신호와 동일한 위상의 신호를 시간 지연을 주어 모노펄스 레이더로 직접 송신한다. 이 때, 시간 지연 Δt는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{c} \tag{3}$$

이와 같은 위상보정 및 지연 시간 조정에 필요한 R 및 h_R 정보는 아군 레이더로부터 제공받을 수 있다. 또는 고정형 모노펄스 레이더에 대해서는 기확보된 위치 정보를 활용할 수 있을 것이다. 제안하는 크로스 아이 시스템은 역지향 구조의 크로스 아이 시스템에 비해 구현 복잡도가 낮으며, 기존 일반 재머의 시스템에 위상 및 지연 시간 제어 기능을 더함으로써 모노펄스 레이더 각도기만이 가능하기 때문에 일반 재밍 시스템과의 호환성이 높다.

5. 성능분석

제안된 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법의 각도기만 성능은 반사 신호의 특성에 의해 영향을 받는다. 따라서 반사 신호의 크기 비율 및 위상 변이 정도에 따른 각도기만 성능을 분석한다. 제안된 기법의 성능 분석을 위한 기하학적 모델은 Fig. 10과 같다.

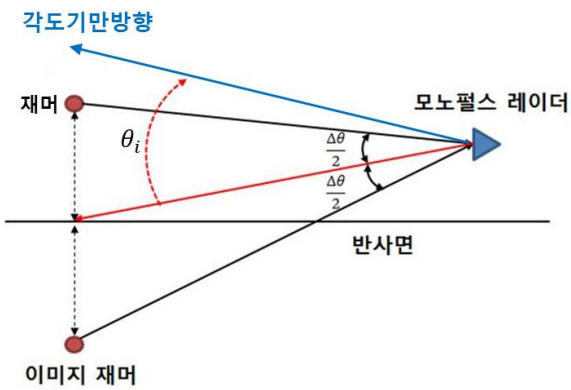


Fig. 10. Geometry model of proposed cross eye system

여기서 $\Delta\theta$는 재머, 모노펄스 레이더, 이미지 재머가 이루는 각도이며, θ_i는 모노펄스 레이더가 재머와 이미지 재머 사이의 각도 이등분 지점으로부터 기만되는

각도의 크기이다. 기만각도 θ_i는 직접경로 신호와 반사경로 신호에 의한 모노펄스 레이더의 수신신호 관계로부터 유도될 수 있다. 직접경로 신호에 의한 추정각도는 $\theta_1 = k\Delta_1/\Sigma_1$이고, 반사경로 신호에 의한 추정각도는 $\theta_2 = k\Delta_2/\Sigma_2$일 때, 모노펄스 레이더에서 각도추정을 위한 차/합 신호는 다음과 같이 나타내어진다[6].

$$\begin{aligned}\theta_c &= k\frac{\Delta_{total}}{\Sigma_{total}} \\ &= k\frac{\Delta_1+\Delta_2}{\Sigma_1+\Sigma_2} \\ &= \frac{\theta_1\Sigma_1+\theta_2\Sigma_2}{\Sigma_1+\Sigma_2}\end{aligned} \tag{4}$$

여기서 θ_c는 복소수 형태의 추정각도 신호이고 k는 비례상수이다. 식 (4)에서 직접경로 신호와 반사경로 신호의 관계를 $\Sigma_2 = \Sigma_1 a e^{j\Phi}$로 나타낼 수 있다. 여기에서 a는 직접경로 신호에 대한 간접경로 신호의 크기 비율, Φ는 직접경로 신호에 대한 간접경로 신호의 위상차이다. 그리고 $\theta_m = (\theta_1+\theta_2)/2$, $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$인 관계를 이용하여 정리한 후 실수부를 취하면 모노펄스 레이더의 추정각도를 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$\begin{aligned}Re[\theta_c] &= Re\left[\frac{\theta_1+\theta_2 a e^{j\Phi}}{1+a e^{j\Phi}}\right] \\ &= \theta_m - \frac{\Delta\theta}{2}\frac{1-a^2}{1+2a.\cos\Phi+a^2}\end{aligned} \tag{5}$$

식 (5)에서 θ_m는 모노펄스 레이더가 재머와 이미지 재머의 중점을 바라보는 각도이며 두 번째 항은 모노펄스 레이더가 두 재머의 중점으로부터 벗어나게 되는 각도이다. 따라서 제안하는 재밍 방법으로 인한 기만각도 크기는 최종적으로 다음과 같이 나타내어진다.

$$\theta_i = \frac{\Delta\theta}{2}\frac{1-a^2}{1+2a.\cos\Phi+a^2} \tag{6}$$

모노펄스 레이더로부터 재머와 이미지 재머 사이의 각도 이등분 지점을 기준으로 하였을 때, 기만각도 θ_i와 반사면으로부터 재머까지의 각도 $\Delta\theta/2$의 차이가 재머와 모노펄스 레이더의 추적각도 오차가 된다.

제안된 시스템에 의한 각도기만 성능을 분석하기 위해 해상 교전상황을 가정하여 추적각도 오차를 도출하였다. 모노펄스 레이더를 사용하는 대함미사일이 함정으로부터 3 km 지점에 있고(R = 3 km), 미사일의 높이는 20 m(h_R = 20 m), 함정에 설치된 크로스 아이 재머의 높이는 10 m(h_J = 10 m)를 가정하여 성능을 분석하였다.

일반적으로 반사면의 특성에 의해 반사 신호의 진폭과 위상은 달라진다. 따라서 반사 신호를 이용하는 크로스 아이 기법의 경우, 반사 신호의 반사면 특성에 의해 그 성능이 다양하게 나타날 수 있다. Fig. 11에는 직접경로 신호와 반사경로 신호의 크기 비율 및 위상차에 따른 추적각도 오차를 나타내었다.

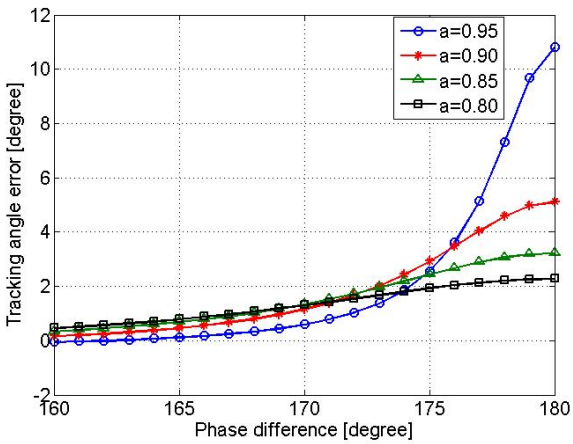


Fig. 11. Tracking angle error for amplitude ratio and phase difference

Fig. 11에서 볼 수 있듯이, 크기 비율 0.95 이상, 180°로부터 위상차 3° 이내일 경우 5° 이상의 추적각도 오차를 얻을 수 있다. 신호 크기 비율 0.9이고 180°로부터 위상차 3° 이내일 경우 4°~5°의 추적각도 오차가 발생한다.

6. 결 론

본 논문에서는 다중경로 효과를 이용한 단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법을 제안하였으며, 성능분석을 통해 제안된 방법으로 충분한 각도기만 효과를 갖는 것을 확인하였다. 제안된 새로운 크로스 아이 기법은 기존 방식에 비해 구현이 간단하며 현재 운용

되고 있는 재머의 구조와 호환이 가능하기 때문에 효과적으로 모노펄스 레이더 및 탐색기를 기만하기 위한 핵심기술로 활용할 수 있을 것이다.

References

[1] C. Lee, S. Jo, and J. Ryu, “Performance Analysis of Follower Noise Jamming Considering Tracking Parameters against Frequency Hopping Signals,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 67-75, 2008.

[2] Y. Lee, I. Kim, J. Park, H. Kwak, and W. Shin, “A Study on Evaluation of Jamming Performance on SAR Satellite,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 13, No. 2, pp. 252-257, 2010.

[3] J. Schuerger and D. Garmatyuk, “Deception Jamming Modeling in Radar Sensor Networks,” MILCOM 2008, Military Communications Conference, pp. 1-7, Nov. 2008.

[4] D. Kong, “A Study on the Gain and Phase Matching between Channels in the Monopulse Receiver,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 4, No. 1, pp. 83-92, 2001.

[5] F. Neri, “Anti-monopulse Jamming Techniques,” IMOC 2001, International Microwave and Optoelectronics Conference, pp. 45-50, 2001.

[6] D. Schleher, “Electronic Warfare in the Information Age,” Artech House, Inc., US, 1999.

[7] M. Skolnik, “Introduction to Radar Systems,” McGraw -Hill, US, 1980.