THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2018 Feb.; 29(2), 146～149.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.2.146
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

모노펄스 센서에 대한 크로스 아이 재밍기법의 각도기만 성능 실험

Performance Experiment of the Angle Deception of Cross-Eye Jamming against a Monopulse Sensor

장연수 · 박진태 · 이창훈 · 김인선 · 김기백 · 조상왕*

Yeonsoo Jang · Jintae Park · Changhoon Lee · In-sun Kim · Ghiback Kim · Sangwang Cho*

요 약

모노펄스 센서는 수신된 단일 펄스마다 목표물의 각도를 추정한다. 이러한 모노펄스 센서의 각도 추정을 기만하기 위한 방법으로는 크로스 아이 기법이 효과적인 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 크로스 아이 기법의 각도기만 성능을 확인하기 위해 무반향 챔버에 모노펄스 수신 안테나와 크로스 아이 송신기를 이용해 각도기만 시험 환경을 구성한 결과를 소개한다. 그리고 시험 구성을 이용하여 두 개의 크로스 아이 송신기 간격을 변화시키면서 모노펄스 수신 안테나에 인가되는 합 신호와 차 신호의 크기를 측정하고, 그에 해당하는 각도기만 성능을 분석한다.

Abstract

A monopulse sensor is used to estimate the angle of a target with respect to each received single pulse. It is well known that the cross-eye technique can result in an angle deception effect against monopulse sensors. To verify this effect, we propose a test environment configuration for the angle deception using monopulse receiving antennae and cross-eye transmitters in an anechoic chamber. Using the proposed test environment configuration, we have measured powers of the sum and difference of the signals received by the monopulse receiving antennae when the distance of the two cross-eye transmitters is varied. Finally, the angle deception performance related to the powers of the sum and difference signals was analyzed.

Key words: Monopulse Sensor, Angle Estimation, Cross Eye, Angle Deception, Anechoic Chamber

Ⅰ. 서 론

모노펄스 센서는 다수의 안테나를 틀어진 각도로 배치하여 구성하며, 목표물 반사 신호가 각 안테나로 수신될 때 서로 다른 안테나 이득과 위상값을 가지게 되는 현상을 이용한다. 모노펄스 센서는 반사 신호의 매 펄스마다 각 안테나로부터 수신된 합과 차를 비교하여 목표물의 각도를 추정할 수 있다[1],[2]. 모노펄스 센서로부터 아군의 전투기 및 함정을 보호하기 위한 방법으로는 재밍(jamming)이 있으며, 재밍 기법 중에서도 각도기만이 효과적이다[3]. 모노펄스 센서의 이러한 특성으로 인해 진폭변조 기법과 같은 기존의 각도기만 기법으로 모노펄스 센서에 각도 오차를 발생시키는 것은 제한적이다. 모노펄스 센서에 각도 오차를 발생하기 위한 효과적인 방법으로 크로스 아

국방과학연구소 제2기술연구본부(The 2nd R&D Institute, Agency for Defense Development)
*LIG넥스원 전자전연구소(Department of Electronic Warfare, LIG-Nex1)
· Manuscript received January 18, 2018 ; Revised January, 23, 2018 ; Accepted February 2, 2018. (ID No. 20180118-010)
· Corresponding Author: Yeonsoo Jang (e-mail: ysjang83@gmail.com)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

이(cross eye)가 널리 알려져 있다[3],[4]. 크로스 아이 기법은 모노펄스 센서의 신호를 이격된 두 개의 송신기를 이용하여 방사하는 재밍기법이다. 이때, 두 송신기 간의 위상차를 180도로 만들어 모노펄스 센서 수신부에 전파면 왜곡 현상을 발생시킨다. 크로스 아이로 인한 신호는 모노펄스 센서의 수신 합과 차의 값을 변화시켜 각도 오차를 유발한다. 크로스 아이 기법은 이론상으로 모노펄스 센서에 각도 오차를 유발할 수 있는 것으로 알려져 있지만 무기체계에서 활용되기 위해서는 하드웨어 구현 시 각도기만 효과에 대한 검증이 필요하다.

본 논문에서는 대형 무반향 챔버(anechoic chamber)에 모노펄스 수신 안테나와 크로스 아이 송신기를 설치하여 각도기만 효과 확인을 위한 시험구성안을 소개한다. 그리고 구성된 시험 환경을 이용하여 두 개의 크로스 아이 송신기 간격에 따라 모노펄스 수신 안테나에 인가되는 합 신호와 차 신호의 크기를 분석하여 각도기만 성능을 분석한다.

Ⅱ. 시험 구성

그림 1은 각도기만 시험 구성도이다.

시험 구성은 길이 20 m급 무반향 챔버에서 이루어졌다. 기존 문헌에서는 소규모 챔버에서 모노펄스 센서와 재밍송신 안테나 거리 약 6 m, 크로스 아이 송신기 간격 55 cm로 고정하여 단일 안테나로 시험하였다[4]. 본 시험에서는 모노펄스 센서와 재밍송신 안테나 거리 약 15 m, 배열안테나를 적용한 크로스 아이 송신기 간격 최대 240 cm로 시험하여 실효성 있는 결과를 얻고자 하였다. 우선 두 개의 혼 안테나를 이용하여 모노펄스 수신 안테나를

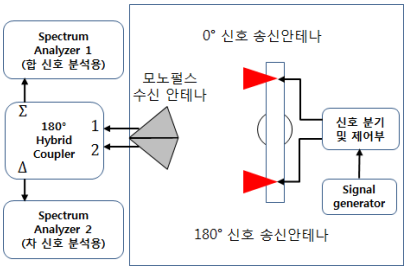

그림 1. 시험 구성도
Fig. 1. Test configurations.

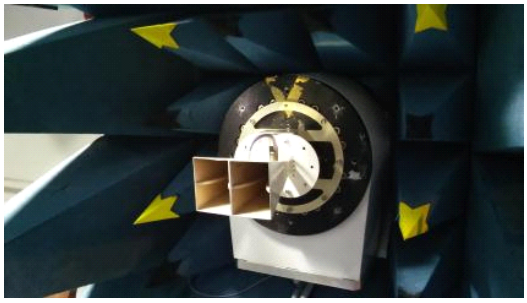

그림 2. 모노펄스 수신 안테나
Fig. 2. Monopulse receiver antennas.

제작하였다. 제작된 모노펄스 수신 안테나의 형상은 그림 2와 같다.

모노펄스 수신 안테나는 3 dB 빔폭 약 20°인 혼 안테나를 선정하였다. 입사 각도에 따른 두 안테나의 이득차 발생을 위해 정면방향 기준으로 2.5°씩 틀어서 결합하였다[5]. 두 안테나의 수신 신호는 180° hybrid coupler로 인가되어 합 신호와 차 신호를 출력한다. 각각의 합 신호와 차 신호는 스펙트럼 분석기에 입력되어 합 신호와 차 신호의 크기를 측정한다. 모노펄스 수신 안테나의 특성 측정 결과는 다음 절에서 기술한다.

그림 3은 크로스 아이 송신기 구성도이다.

신호 발생기에서 생성된 신호는 180° hybrid coupler를 통해 위상이 0°인 신호와 180°인 신호로 나뉘어 두 송신기로 전달된다. 두 경로에는 phase trimmer를 설치하여 1차적으로 위상을 보정하고, 한쪽 경로에는 신호세기 제어를 위한 DCA(Digitally Controlled Attenuator)를 설치하였다. 각각의 경로는 4 way divider를 통해 증폭기를 거친 후

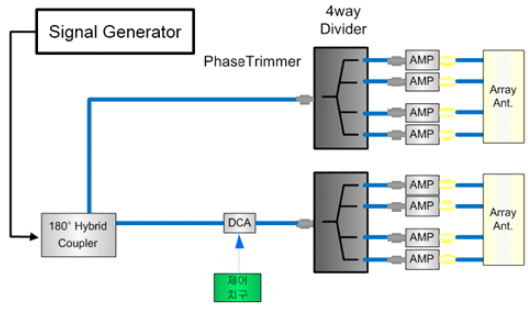

그림 3. 크로스 아이 송신기 구성도
Fig. 3. Configuration of cross eye transmitters.

4배열 안테나로 인가되며, 4배열 경로에는 세부 위상 조정을 위한 phase trimmer가 각각 연결되어 있다. 시험에서는 크로스 아이 시험 효과도 확보를 위해 위상차 ○° 및 진폭비 ○ dB 이내로 보정하여 시험 진행하였다. 그림 4에는 크로스 아이 송신기 장착대를 나타내었다. 크로스 아이 송신기 장착대는 두 개의 크로스 아이 송신 안테나의 간격을 조정하기 용이하도록 프로파일 형태의 바를 이용하여 구성하였다.

Ⅲ. 시험 결과 분석

모노펄스 수신 안테나의 합차 패턴을 측정한 결과를 나타내고, 추정 각도에 따른 합차비를 분석한다. 그리고 모노펄스 수신 안테나에 대해 0° 방향에서 크로스 아이 신호를 인가하였을 때, 기만각도 성능을 분석한다. 모노펄스 수신 안테나의 합 패턴과 차 패턴은 그림 5와 같다.

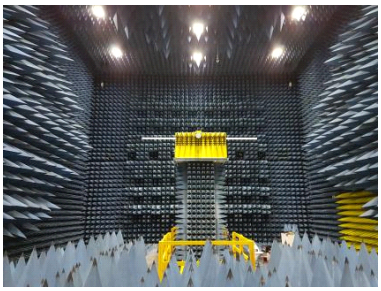

그림 4. 크로스 아이 송신기 장착대
Fig. 4. Mount of cross eye transmitters.

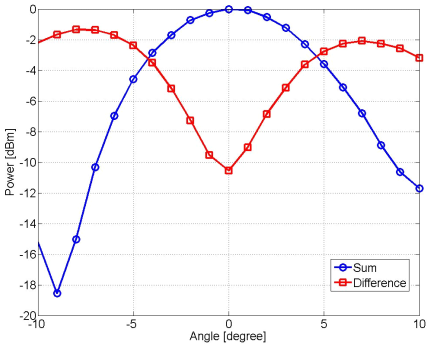

그림 5. 모노펄스 수신 안테나의 합차 패턴
Fig. 5. Sum and difference patterns of monopulse receiving antennas.

그림 5는 모노펄스 수신 안테나로 입사되는 신호의 각도에 따른 합 신호와 차 신호의 크기 패턴을 나타내고 있다. 모노펄스 수신 안테나의 합차 패턴에 따라 모노펄스 수신 안테나의 각도 추정 범위는 0°부터 9°까지로 정의하였다.

그림 6은 모노펄스 수신 안테나를 거친 후 180° hybrid coupler에서 출력되는 추정 각도에 따른 합차비를 나타내었다. 예를 들어 합차비가 5 dB일 경우 모노펄스 수신기는 6° 방향에 목표물이 있는 것으로 추정한다.

모노펄스 센서 각도기만 시험을 위해 그림 2와 같이 무반향 챔버의 벽면 이동 장착대에 모노펄스 수신 안테나를 설치하였다. 그리고 모노펄스 수신 안테나와 0° 방향에서 약 15 m 떨어진 장착대에 크로스 아이 송신기를 설치하였다. 크로스 아이 송신기의 간격을 변화시키면서 모노펄스 수신 안테나에서 측정되는 합차비를 표 1에 나타내었다.

크로스 아이 송신기 간격은 60 cm부터 240 cm까지 20 cm 간격으로 시험을 수행하였다. 표 1과 그림 6을 이용하여 크로스 아이 신호로 인한 모노펄스 수신 안테나의 각도 추정 오차를 분석할 수 있다. 각도기만 성능을 분석하기 위해 크로스 아이 송신기의 이격 거리에 따른 각도 오차를 그림 7에 나타내었다.

그림 7을 통해서 알 수 있듯이 크로스 아이 송신기의 이격 거리가 80 cm 이상일 때 정면 기준으로 각도 오차가 7° 이상 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이격 거리 80 cm 미만에서는 각도 오차가 급격히 저하되는 현상이 나타나며, 이는 두 크로스 아이 송신기의 간격이 좁을 때 상호 간섭 현상으로 인해 각도기만 효과가 저하되기 때문으로 추정된다. 이격 거리 140 cm까지는 이격 거리가 증가될

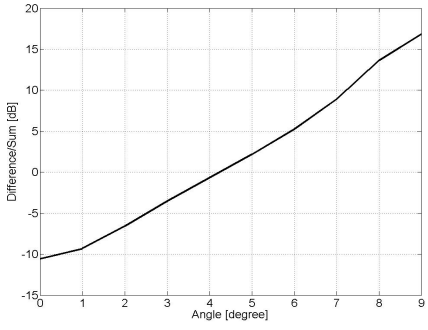

그림 6. 추정 각도에 따른 합차비
Fig. 6. Difference to sum ratio for estimated angle.

표 1. 크로스 아이 송신기 이격 거리에 따른 합차비
Table 1. Difference to sum ratio for distance of two cross eye transmitters.

Distance(cm)	Difference/Sum(dB)
240	9.05
220	9.97
200	10.48
180	10.02
160	10.47
140	14.08
120	12.95
100	11.17
80	9.88
60	−6.52

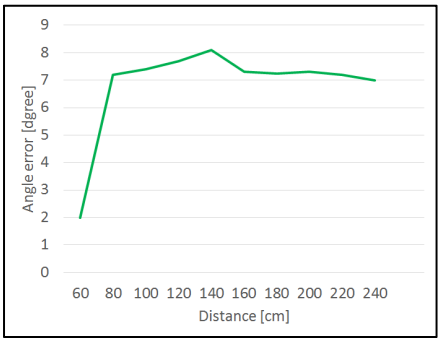

그림 7. 이격 거리에 따른 각도 오차
Fig. 7. Angle error for distance of two cross eye transmitters.

수록 각도 오차가 증가하는 경향을 나타내었으나 140 cm 초과되는 범위에서는 다시 감소하는 추세가 나타난다. 이격 거리가 증가할수록 크로스 아이 신호로 인한 합차비를 크게 인가시킬 수 있는 반면 이격 거리가 특정 거리 이상으로 증가하면 모노펄스 수신 안테나 이득이 감소하는 영역으로 들어가기 때문으로 분석된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 모노펄스 수신 안테나와 크로스 아이 송신기를 이용하여 무반향 챔버에서 모노펄스 센서에 대한 각도기만 시험환경을 구축한 결과를 소개하였다. 모노펄스 수신 안테나의 합 패턴과 차 패턴을 측정하여 추정 각도에 따른 합차비를 분석하였다. 신호 세기 및 위상 보정이 가능한 4배열 구조의 크로스 아이 송신기를 제작하였으며, 챔버의 장착대에 송신기 간 거리 이동이 용이하도록 설치하였다. 제작된 모노펄스 수신 안테나와 크로스 아이 송신기를 대형 무반향 챔버에 배치하여 송수신 시험을 수행하였고, 크로스 아이 송신기의 이격 거리에 따른 모노펄스 수신 신호의 합차비를 측정하였다. 측정 결과, 크로스 아이 송신기의 이격 거리가 80 cm 이상일 때 모노펄스 수신 안테나에서 추정하는 각도 오차가 7° 이상으로 발생하는 것을 확인하였다. 크로스 아이 송신기의 간격이 60 cm 이하일 때는 각도 오차 발생 정도가 현저히 저하되는 현상이 나타났다. 이는 추후 크로스 아이를 활용한 재밍 시스템을 개발할 경우 상호간섭 완화 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시한 시험 환경 및 측정 결과를 통해 크로스 아이 기법의 각도기만 효과를 실험적으로 확인하였으며, 실제 무기체계 구현 시 고려해야 할 사항들을 식별할 수 있었다. 이러한 결과는 향후 모노펄스 방식을 사용하는 위협에 대한 재밍 시스템을 개발할 때 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] S. M. Sherman, *Monopulse Principles and Techniques*, Artech House, 1984.

[2] 양성욱, 박동민, 나영진, "추적 레이다용 Dual-band 모노펄스 수신기," 한국전자파학회논문지, 17(8), pp. 767-772, 2006년 8월.

[3] F. Neri, "Anti-monopulse jamming techniques," in *Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference*, Belem, 2001, vol. 2, pp. 45-50.

[4] W. P. duPlessis, J. W. Odendaal, and J. Joubert, "Experimental simulation of retrodirective cross-eye jamming," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 734-740, Jan. 2011.

[5] M. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, US, McGraw-Hill, 1980.