

진폭 비교 모노펄스 레이더에 대한 교차위상 재밍 기법의 효과 분석

이용한, 황현진, 박소령

가톨릭대학교

lyh961121@catholic.ac.kr

An Effect Analysis of the Cross-Eye Jamming on Amplitude Comparison Monopulse Radar

Yong Han Lee, Hyun Jin Hwang, So Ryoung Park

The Catholic University Of Korea

요약

본 논문은 진폭 비교(amplitude comparison) 방식의 모노펄스(monopulse) 추적 레이더에 교차위상(cross-eye) 재밍(jamming) 기법을 적용하였을 때의 재밍 효과를 모델링하고 재밍이 없는 경우와 비교한다. 교차위상 재밍 기법의 다양한 변수들-두 재머(jammer) 간 거리, 두 재머 신호의 위상차, 두 재머 신호의 진폭비-을 변화시키며 재밍의 효과를 제시한다.

I. 서론

현대의 레이더 시스템에서는 표적의 각도를 추적하기 위하여 일반적으로 모노펄스(monopulse) 방식을 주로 사용하고 있다. 모노펄스 각도 추적 방식은 진폭을 검출하는 진폭 비교(amplitude comparison) 모노펄스 방식과 위상을 검출하는 위상 비교(phase comparison) 모노펄스 방식으로 분류할 수 있다[1]. 모노펄스 각도 추적 방식은 기존의 원추형 스캔(conical scan)과 같은 시간 순차적 각도 추적 방식보다 재밍(jamming) 신호에 강인하다고 알려져 있다.

모노펄스 레이더에 효과적인 재밍 방법으로 교차위상(cross-eye) 기법과 교차극성(cross-polarization) 기법이 있다[2]. 본 논문에서 고려하는 교차위상 기법은 상대적인 간격을 두고 탑재된 2개의 EA(electronic attack) 안테나가 레이더 신호를 수신하면 한 개의 신호는 시간 지연 없이 반대편 송신 안테나를 통해서 재송신하고, 다른 한 신호는 180° 위상 변환을 시킨 후 다른 반대편 안테나를 통해 재송신 하는 기법이다[3].

본 논문에서는 진폭 비교 모노펄스 방식의 레이더에 교차위상 재밍 기법을 적용하였을 때의 재밍 효과를 모델링하여, 두 재머(jammer) 사이의 거리, 신호 위상차, 신호의 진폭비 변화에 따른 재밍 효과를 분석하고, 재밍이 없을 경우와 비교한다.

II. 본론

진폭 비교 모노펄스 레이더는 그림 1과 같이 4개의 안테나에서 수신되는 신호의 크기를 이용하여 목표물의 방위각(azimuth angle)과 고도각(elevation angle)을 추정한다. 4개의 안테나 A, B, C, D 에서 수신되는 신호 크기의 합 Σ , 방위각 차 Δ_{az} , 고도각 차 Δ_{el} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\Sigma &= A + B + C + D \\ \Delta_{az} &= (A + C) - (B + D) \\ \Delta_{el} &= (A + B) - (C + D)\end{aligned}\quad (1)$$

진폭 비교 모노펄스 레이더는 식 (1)을 통해 유도된 합과 차의 비를 이용

하여 추적 중심축에서의 방위각 오차와 고도각 오차를 계산하여 목표를 추적한다[1].

교차위상 기법 재밍의 동작 원리 블록도는 그림 2와 같다. 2개의 재머에서는 신호를 서로 교차해서 송수신한다. 재머 1에서 수신된 신호는 재머 2에서 같은 위상으로 송신되고, 재머 2에서 수신된 신호는 180° 위상 변환되어 재머 1에서 송신된다.

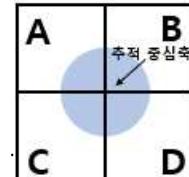


그림 1: 모노펄스 레이더의 안테나 범 수신 신호

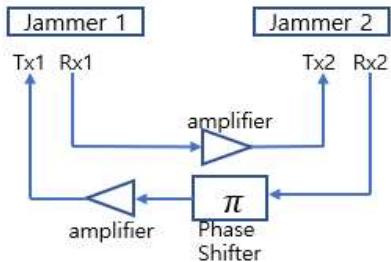


그림 2: 교차위상 기법 재밍의 블록도

레이더에 교차위상 기법 재밍 기법을 적용하였을 경우의 모형은 그림 3과 같다. L 은 두 재머 사이의 거리, R 은 모노펄스 레이더와 두 재머 사이의 중심과의 거리, $\Delta\theta$ 는 모노펄스 레이더와 두 재머의 중심이 이루는 각도이다. 재밍으로 인한 각도 오차 θ_{miss} 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\theta_{miss} = \tan^{-1}\left(\frac{L}{2R} G_C\right) \quad (2)$$

여기서 G_C 는 교차위상 기법 재밍의 이득으로서 다음 식과 같이 나타낼

수 있고, 크기가 클수록 재밍의 성능이 커진다.

$$G_C = \frac{1-a^2}{1+2a \cos \phi + a^2} \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 두 재머 사이의 위상차이고, a 는 재머의 진폭비로써 재머 1의 진폭을 재머 2의 진폭으로 나눈 값이다. 식 (3)에서 살펴보면 G_C 는 ϕ 가 180° 에 가까울수록, a 가 1에 가까울수록 증가하게 된다. G_C 의 부호가 음일 때는 재머 1번 방향으로, 양일 때는 재머 2번의 방향으로 모노펄스 레이더가 재밍이 된다[3].

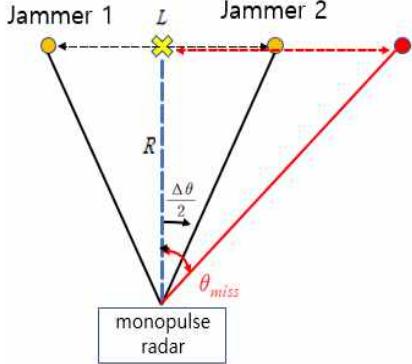


그림 3: 교차 위상 기법 재밍 모형

각도 추적 오차와 재밍 이득을 모델링하는 데에 필요한 세 개의 요소, 즉, 두 재머 사이의 거리 L , 위상차 ϕ , 진폭비 a 의 변화에 따른 재밍 성능을 비교해보자. 잡음이 없는 상황에서 다른 두 개 요소의 값을 고정하고 한 개 요소의 값을 변화시키면서 재밍이 없을 때의 각도 추적 결과와 재밍이 있을 때의 각도 추적 결과를 비교하여 재밍의 성능을 비교해보았다.

그림 4에서는 $\phi = 180^\circ$ 와 $a = 1.1$ 로 고정하고, L 을 10 m, 15 m, 20 m로 변화시키며 각도 추적 결과를 살펴보았다. 재밍이 없는 상황과 비교하였을 때, L 이 커질수록 재밍의 성능이 더 좋아지는 것을 확인하였다.

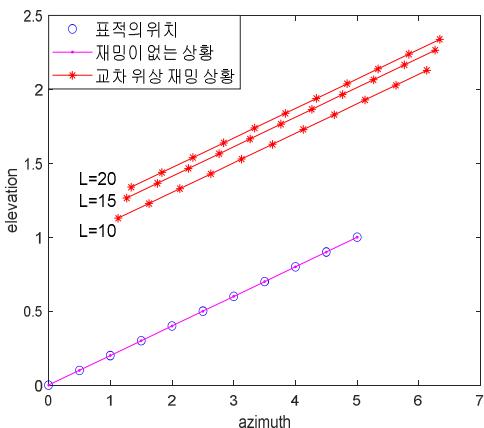


그림 4: 두 재머 사이 거리에 따른 재밍 성능

그림 5에서는 $L = 10$ m와 $a = 1.1$ 로 고정하고, ϕ 를 $140^\circ, 160^\circ, 180^\circ$ 로 변화시키며, 재밍이 없는 상황과 비교해보았다. ϕ 가 180° 에 가까울수록 $G_C = -0.4, -1.5, -21$ G_C 의 크기가 증가했고, 따라서 재밍의 성능도 더 좋아지는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 $L = 10$ m와 $\phi = 180^\circ$ 로 고정하고, 재머 1의 신호가 더 강한 경우 $a = 1.1, 1.9$ 와 재머 2의 신호가 더 강한 경우 $a = 0.1, 0.9$ 로 변화시키며 재밍이 없는 상황과 비교한 결과이다. 재머 1의 신호가 더 강할

때는 음의 G_C 값으로, $a = 1.1$ 일 때, $G_C = -21$ 이고, $a = 1.9$ 일 때, $G_C = -3.2$ 이다. 재머 2의 신호가 더 강할 때는 양의 G_C 값으로, $a = 0.1$ 일 때 $G_C = 1.2$ 이고, $a = 0.9$ 일 때 $G_C = 19$ 이므로, G_C 의 부호가 음일 때는 재머 1의 방향으로 양일 때는 재머 2의 방향으로 재밍되는 것과 a 가 1에 가까울수록 재밍 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

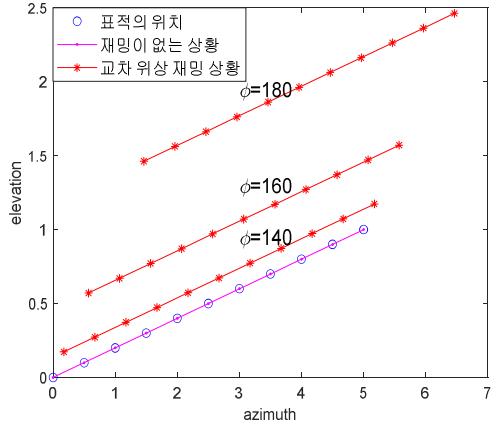


그림 5: 두 재머 사이 위상차 따른 재밍 성능

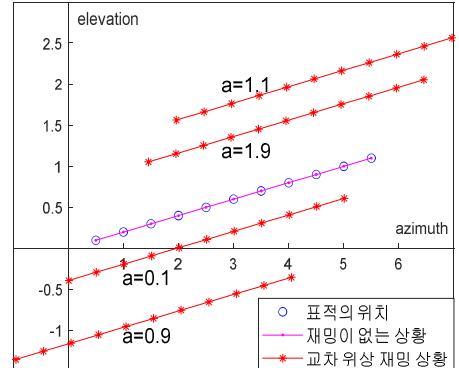


그림 6: 두 재머 사이 진폭비 따른 재밍 성능

III. 결론

본 논문에서는 진폭 비교 모노펄스 방식의 레이더에 교차위상 재밍 기법을 적용하였을 때의 재밍 효과를 모델링하였고, 두 재머 간의 거리 L , 위상차 ϕ , 진폭비 a 에 따라 변화하는 재밍의 효과를 확인하였다. 따라서 본 논문의 결과를 통해 교차위상 기법 재밍의 두 재머 간의 거리, 위상차, 진폭비의 변화를 통해 진폭 비교 모노펄스 레이더의 추적을 효과적으로 재밍하는데 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 박소령, 정희창, 권재완, 노상우, “전자전 위협체 역추적을 위한 송수신 모델링 및 검증”, 한국차세대컴퓨팅학회논문지, 13권 4호, 112-123쪽, 2017년 8월.
- [2] 장연수, 이창훈, “단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법”, 한국군사 과학기술학회지, 29권 5호, 598-605쪽, 2016년 10월.
- [3] 장연수, 김기백, 박진태, 이창훈, “모노펄스 센서에 대한 크로스 아이 재밍기법의 각도기반 성능 실험”, 한국전자과학회논문지, 29권 2호, 146-149쪽, 2018년 2월.
- [4] 이일근, 박동철, 유태선, 명로훈, 임중수, 조용희, 강희창, 레이더 공학과 전자전 응용, 대영사, 2006년.