

## 진폭비 불일치에 의한 cross-eye 재밍 성능: 각도 추적 오차 성능 분석 비교

김제안<sup>1</sup>, 김진성<sup>2</sup>, 이준호<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 정보통신학과 학생, <sup>2</sup>세종대학교 전자정보통신공학과 학생, <sup>3</sup>세종대학교 정보통신공학과 교수

### Performance of cross-eye jamming due to amplitude mismatch: Comparison of performance analysis of angle tracking error

Je-An Kim<sup>1</sup>, Jin-Sung Kim<sup>2</sup>, Joon-Ho Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Department of Information & Communication Engineering, Sejong University

<sup>2</sup>Student, Department of Electrical Engineering, Sejong University

<sup>3</sup>Professor, Department of Information & Communication Engineering, Sejong University

**요약** 본 논문에서는 cross-eye의 두 재밍 안테나의 진폭 불일치로 인한 성능 저하를 고려한다. 진폭비의 불일치는 기계적 결함에 따른 실제 진폭비와 명목상 진폭비의 차이가 정규분포를 갖는 랜덤변수로 모델링한다. 1차 테일러 전개와 2차 테일러 전개를 통한 해석적 성능분석이 제안된다. 실제 진폭비와 명목상 진폭비의 불일치가 발생한 Cross-eye 재밍의 성능 측정은 mean square difference (MSD)를 계산함으로써 측정된다. 해석적으로 유도된 MSD는 1차 테일러 전개 기반 시뮬레이션 기반 MSD 및 2차 테일러 전개 기반 시뮬레이션 기반 MSD와 해석 기반 MSD와 비교함으로써 검증된다. 계산비용이 높은 Monte-Carlo기반 MSD보다 해석 기반 MSD가 우수함을 보인다.

**주제어** : 재밍, 크로스아이, 테일러 전개, 몬테카를로 시뮬레이션, Mean Square Difference

**Abstract** In this paper, performance degradation in the cross-eye jamming due to amplitude mismatch of two jamming antennas is considered. The mismatch of the amplitude ratio is modeled as a random variable with a normal distribution of the difference between the actual amplitude ratio and the nominal amplitude ratio due to mechanical defects. In the proposed analytic performance analysis, the first-order Taylor series expansion and the second-order Taylor series expansion is adopted. Performance measure of the cross-eye jamming is the mean square difference (MSD). The analytically derived MSD is validated by comparing the analytically derived MSD with the first-order Taylor series-based simulation-based MSD and the second-order Taylor series-based simulation-based MSD. It shows that the analysis-based MSD is superior to the Monte-Carlo-based MSD, which has a high calculation cost.

**Key Words** : Jamming, Cross-Eye, Taylor approximation, Monte-Carlo simulation, Mean Square Difference

### 1. 서론

모노펄스 추적레이더의 경우 하나의 펄스로 타겟의 각도 위치를 측정할 수 있다. 모노펄스 레이더는 4개의

squint angle을 가진 빔을 이용하여 각도 위치를 측정한다. 이때 수신 신호는 4개의 수신 안테나로 들어오게 되고 각각의 안테나에서 sum 채널과 difference 채널로 입력되어 채널들의 진폭 및 위상을 이용하여

\*The authors gratefully acknowledge the support from Electronic Warfare Research Center at Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), originally funded by Defense Acquisition Program Administration (DAPA) and Agency for Defense Development (ADD)

\*Corresponding Author : Joon-Ho Lee(joonhlee@sejong.ac.kr)

Received October 10, 2021

Accepted November 20, 2021

Revised November 6, 2021

Published November 28, 2021

azimuth 및 elevation 각도 정보를 계산할 수 있다 [1-3]. Cross-eye 재밍 기법은 모노 펄스의 각도 추정을 효과적으로 기만할 수 있는 재밍 기법 중 하나이다 [4]. Cross-eye 재밍 기법은 재밍 신호를 일으키는 두 개의 재밍 안테나를 거리  $L$  만큼 떨어뜨려 배치함으로써 구현될 수 있다. 모노펄스 추적 레이더는 재머 안테나에서 발생시킨 신호에 대해서도 차 패턴과 합 패턴을 이용하여 측정 각도를 추정하고 이러한 추정 각도가 실제 타겟의 추정 각도를 벗어나게 만들게 된다[5-8].

재밍 신호의 합 패턴에 대한 비율은 두 신호의 진폭비와 위상차로 이루어지게 되고 이를 이용하여 cross-eye gain을 구할 수 있다. 따라서 cross-eye의 재밍 성능은 진폭비와 위상차에 좌우된다. 최대기만 효과를 낼 수 있는 조건은 진폭비가 1, 위상차가  $180^\circ$  인 경우에 나타나게 된다[9,10]. 기계적 결합으로 인하여 cross-eye가 설정한 진폭 비율 평균이 0인 랜덤 가우시안 모델을 따르는 오차가 발생할 수 있다. 이에 따라 cross-eye의 성능이 저하될 수 있으며, 오차에 따라 성능이 얼마나 차이가 나는지에 대해 mean square difference (MSD)를 통하여 계산을 할 수 있게 된다.

본 연구에서는 오차가 생긴 cross-eye gain의 MSD를 테일러 1차 및 2차 전개를 통하여 근사화 하고, 이를 이용하여 해석적 표현을 계산하였다. MSD를 구하는 방식으로 많은 반복 횟수를 통하여 얻어지는 Monte-Carlo 기반 simulation MSD와 Taylor 전개 방식을 사용하여 해석적 기법으로 구한 해석 기반 MSD 방법이 있다. 본 논문에서는 이 두 가지 방법을 비교하고 해석 기반 MSD 방법이 반복계산을 수행하는 Monte-Carlo 기반 simulation MSD보다 계산비용이 적게 들면서도 비슷한 성능을 가진 해석 기반 MSD 방법을 소개한다.

## 2. 본론

### 2.1 Cross-eye jamming 기법

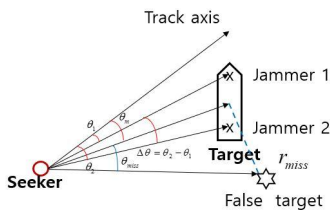


Fig. 1. Cross-eye jamming

Fig. 1은 모노펄스 레이더망에 잡힌 표적물 각도와 거리 정보를 속여 표적물상에서 거리  $L$ 만큼 떨어져 있는 재밍 신호원을 배치한 것을 도식화하였다. Cross-eye gain은 [9]에서 자세히 유도되어 있다. 두 재머 안테나가 방사하는 재밍 신호에 대한 모노펄스 추적레이더의 측정각도  $\theta_1, \theta_2$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= k_m \theta_1 \Sigma_1 \\ \Delta_2 &= k_m \theta_2 \Sigma_2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $k_m$ 은 스케일 인자이며 모노펄스 추적레이더의 추적각도  $\theta_i$ 는 다음과 같다.

$$\theta_i = \frac{1}{k_m} \frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\Sigma_1 + \Sigma_2} = \frac{\theta_1 \Sigma_1 + \theta_2 \Sigma_2}{\Sigma_1 + \Sigma_2} \quad (2)$$

두 합 신호의 비는  $\frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = ae^{j\phi}$ 와 같이 복소수 형태로 나타 낼 수 있다. 식에서  $a$ 와  $\phi$ 는 각각 두 재머로부터 수신된 재밍 신호의 진폭비와 위상차를 의미한다. 식 (2)를 복소수 형태로 정리하게 되면 다음과 같이 주어진다.

$$\theta_i = \frac{\theta_1 + ae^{j\phi} \theta_2}{1 + ae^{j\phi}} \quad (3)$$

식 (3)의 오른쪽 항에  $\frac{1 - ae^{j\phi}}{1 - ae^{j\phi}}$ 를 곱한 후 오일러 공식을 적용하면 식 (4)를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\theta_i = \theta_m - \frac{\Delta\theta}{2} \frac{1 - 2ja \sin\phi - a^2}{1 + 2a \cos\phi + a^2} \quad (4)$$

식 (4)의 실수부는 재밍 신호로 인하여 모노펄스 추적 레이더에 나타나는 추적각도로 다음과 같이 주어진다.

$$Re(\theta_i) = \theta_m - \frac{\Delta\theta}{2} \frac{1 - a^2}{1 + 2a \cos\phi + a^2} \quad (5)$$

식 (5)의  $\theta_m$ 은 boresight에서 두 안테나 사이의 중앙 지점사이의 각도이며,  $\Delta\theta$ 는 두 재머안테나 사이의 각도를 의미한다. 재머를 벗어난 각도  $\theta_{miss}$ 는 다음과 같다.

$$\theta_{miss} = \frac{\Delta\theta}{2} \frac{1 - a^2}{1 + 2a \cos\phi + a^2} \quad (6)$$

식 (6)을 이용하면 벗어난 거리  $r_{miss}$ 를 구할 수 있게 된다.

$$r_{miss} = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta\theta}{2} \frac{1-a^2}{1+2a\cos\phi+a^2}\right) \quad (7)$$

식 (7)에서  $R$ 은 두 재머의 중앙과 레이더까지의 거리이다. 식 (6)에 정의된 오차각도가 작은 것으로 가정하고  $\Delta\theta = \frac{L\cos\psi}{R}$ 을 적용하면 벗어난 거리  $r_{miss}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$r_{miss} = \frac{L\cos\psi}{2} \frac{1-a^2}{1+2a\cos\phi+a^2} \quad (8)$$

식 (8)에서  $\psi$ 는 seeker의 track axis과 재머를 수직 이등분하는 선 사이의 각도를 의미한다.

Cross eye gain, GC는  $\theta_{miss}, r_{miss}$  식에 공통으로 들어 있는 항이 된다.

$$GC = \frac{1-a^2}{1+2a\cos\phi+a^2} \quad (9)$$

따라서 식 (9)를 이용하여  $\theta_{miss}$ 와  $r_{miss}$ 를 표현할 수 있다.

$$\theta_{miss} = \frac{\Delta\theta}{2} GC \quad (10)$$

$$r_{miss} = \frac{L\cos\psi}{2} GC \quad (11)$$

Cross-eye gain은  $a=1, \phi=180$ 일 때 최대의 재밍 효과를 가지게 된다.

### 2.2 Taylor 전개를 통한 Cross-eye gain

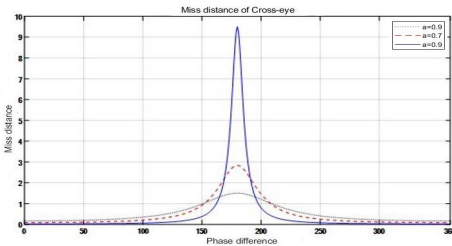


Fig. 2. Miss distance according to amplitude ratio

Fig. 2를 보면 알 수 있듯이 Cross-eye의 재밍효과는 진폭비,  $a$ 에 영향을 많이 받게 된다는 것을 알 수 있다[11]. 이런 두 재머 안테나에서 방사한 신호는 기계적

결합에 따라 처음 cross-eye jamming이 설정한 명목상 진폭비에 오차가 생길 수 있게 된다. 이때 생기는 오차는 평균 0인 가우시안분포를 따른다고 가정한다. Cross-eye가 명목상 진폭비, 그리고 오차가 생긴 실제 진폭비를 각각  $a_{nominal}, a_{real}$  이라고 하면 각각의 cross-eye gain은 식 (9)에 각각의 진폭비  $a_{nominal}, a_{real}$ 를 대입하여 계산할 수 있다.

$$GC(a_{nominal}) = \frac{1-a_{nominal}^2}{1+2a_{nominal}\cos\phi+a_{nominal}^2} \quad (12)$$

$$GC(a_{real}) = \frac{1-a_{real}^2}{1+2a_{real}\cos\phi+a_{real}^2} \quad (13)$$

MSD는 nominal cross-eye gain,  $GC_{nominal}$ 과 real cross-eye gain,  $GC_{real}$ 의 차이의 제곱의 평균을 의미한다.

$$MSD = E[GC_{real} - GC_{nominal}] \quad (14)$$

$GC_{real}$ 와  $GC_{nominal}$ 의 경우 식 (12)와 식 (13)에서 정의되었다. cross-eye gain인 식 (9)의 경우 진폭비에 대해서 비선형함수이기 때문에 MSD를 구하는 오차 제곱의 평균 연산 수행이 어렵고 해석적으로 나타내기 어려움이 있다. 그래서 식 (13)을  $a_{real}$ 의 다항함수로 근사하여 MSD를 구하고 해석적 분석을 수행하기 위하여 테일러 전개를 진행한다. 식 (13)의 1차 테일러 전개를 이용한 근사식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$GC_{real}^{approx} = 1(a_{real}) = GC_{nominal}(a_{nominal}) + \frac{\partial GC(a)}{\partial a} \Big|_{a=a_{nominal}} (a_{real} - a_{nominal}) \quad (15)$$

테일러 1차 근사식 식 (15)의 테일러 1차 테일러 계수  $\frac{\partial GC(a)}{\partial a} \Big|_{a=a_{nominal}}$ 는 다음과 같이  $\alpha_a$ 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial GC(a)}{\partial a} \Big|_{a=a_{nominal}} = \alpha_a = \frac{-2(\cos\phi_0 a_{nominal}^2 + 2a_{nominal} + \cos\phi_0)}{(1 + 2\cos\phi_0 a_{nominal} + a_{nominal}^2)^2} \quad (16)$$

식 (15)와 유사하게 식 (13)의 2차 테일러 전개를 이용한 근사식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=2}(a_{\text{real}}) = GC_{\text{nominal}}(a_{\text{nominal}}) + \frac{\partial GC(a)}{\partial a} \Big|_{a=a_{\text{nominal}}} (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}}) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 GC(a)}{\partial a^2} \Big|_{a=a_{\text{nominal}}} (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2 \right] \quad (17)$$

식 (16)과 유사하게 2차 테일러 계수를 구하게 되면 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 GC(a)}{\partial a^2} \Big|_{a=a_{\text{nominal}}} = \beta_a = \left[ \frac{8c \cos^2 \phi_0 + 12a_0 \cos \phi_0 + 12a_0^2 + 4a_{\text{nominal}}^3 \cos \phi_0 - 4}{(1 + 2c \cos \phi_0 a_{\text{nominal}} + a_{\text{nominal}}^2)^3} \right] \quad (18)$$

식 (16)과 식 (18)을 이용하여 식 (15)와 식 (17)을 간략화 할 수 있게 된다.

$$GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=1}(a_{\text{real}}) = GC_{\text{nominal}}(a_{\text{nominal}}) + \alpha_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}}) \quad (19)$$

$$GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=2}(a_{\text{real}}) = GC_{\text{nominal}}(a_{\text{nominal}}) + \alpha_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}}) + \frac{1}{2} \beta_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2 \quad (20)$$

### 2.3 Cross-eye gain의 MSD

본 논문에서, 우리는 진폭 비율의 섭동으로 인해 cross-eye gain의 차이가 얼마나 발생하는지를 정량화하는 방법을 제안한다. cross-eye gain의 차이는 몬테 카를로 시뮬레이션에서 얻을 수 있다. 하지만 몬테 카를로 시뮬레이션은 계산량의 단점이 존재하고, 본 논문은 이를 해석적 표현으로 계산량을 감소하는 방법을 제안한다. MSD는 식 (14)로써 구할 수 있다. 시뮬레이션 MSD는 몬테카를로 방법으로 시행되며 추정오차의 합에 반복횟수를 나눔으로써 구할 수 있게 된다.

$$MSD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(GC_{\text{real}}(a_{\text{real}})_i - GC_{\text{nominal}}(a_{\text{nominal}}))]^2 = \text{SimulationE}[GC_{\text{real}}(a_{\text{real}})_i - GC_{\text{nominal}}(a_{\text{nominal}})]^2 \quad (21)$$

식 (21)의 아래첨자  $i$ 는  $i$ 번째 반복을 말하며  $N$ 은 반복횟수를 말한다. 또한  $GC_{\text{real}}$ 을 테일러전개로 구한 식 (19)와 식 (20)을 이용하여 MSD를 구할 수 있다. 식 (19)와 식 (20)을 보면 알 수 있듯이 첫 번째 항이  $GC_{\text{nominal}}$ 이기 때문에 이 값이 사라지게 되어 뒤에 이어지는 오차 항들의 부분만 남게 된다. 따라서 테일러 1차, 2차의 MSD를 구하면 다음과 같다.

$$E[(GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=1} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[\alpha_a^2 (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2] \quad (22)$$

$$E[(GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=2} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[(\alpha_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}}) + \beta_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2)^2] \quad (23)$$

식 (22)와 식 (23)을 이용하여 해석적 MSD를 구할 수 있게 된다. 우선  $a_{\text{real}}$  값은  $a_{\text{nominal}}$  의 값에 평균 0, 분산  $\sigma_a$ 를 가진 값을 사용하게 된다.  $a_{\text{real}}$ 와  $a_{\text{nominal}}$ 의 차이를  $\delta_a$ 라 할 때, 테일러 1차 전개를 통한 해석적 MSD와 테일러 2차 전개를 통한 MSD는 다음과 같이 유도 될 수 있다.

$$E[(GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=1} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[(\alpha_a \delta_a)^2] = \alpha_a^2 E(\delta_a^2) = \alpha_a^2 \sigma_a^2 \quad (24)$$

$$E[(GC_{\text{real}}^{\text{approx}i=2} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[(\alpha_a \delta_a + \frac{1}{2} \beta_a \delta_a^2)^2] = \alpha_a^2 \sigma_a^2 + \frac{3}{4} \beta_a^2 \sigma_a^4 \quad (25)$$

### 2.4 MSD의 비교 결과

Monte-Carlo 기반 simulation MSD와 해석 기반 MSD의 결과를 비교하기 위하여 진폭비율  $a$ 에 여러 가지 표준편차를 설정하고 위상차이인  $\phi$ 의 값을 고정시키며 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션과 1차, 2차 테일러 근사의 해석적 결과를 비교하였다.

아래 그래프 그림의 경우 각 진폭비의 표준편차에 대한 MSE 그래프들이다. 표준편차의 값은 0.0001부터 0.0009 사이의 6개의 동일한 간격으로 설정하였다. Fig. 3의 경우  $a$ 의 값을 0.975로 설정하여 진행하였고, Fig. 4의 경우  $a$ 의 값을 0.98로 설정하여 진행하였다. 두 그래프 모두 위상차의 경우 178.2°로 고정시킨 후  $a$ 의 표준편차에 따라 시뮬레이션을 진행했을 때의 결과 그래프이다.

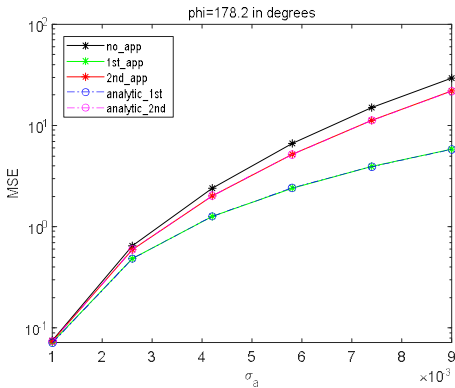


Fig. 3. MSD of cross-eye gain when a=0.975

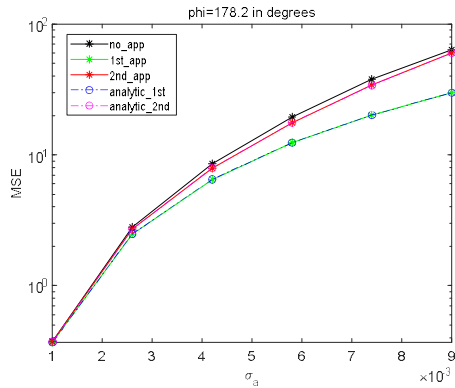


Fig. 4. MSD of cross-eye gain when a=0.98

시뮬레이션의 경우 식 (21)을 이용하여 진행 하였고, 테일러 1차 근사와 2차 근사의 시뮬레이션의 경우 각각 식 (22)와 식 (23)을 식 (21)에 적용시킴으로써 구할 수 있다. 식 (24)와 식 (25)를 이용하여 테일러 1차 근사와 2차 근사에 대한 analytic의 결과그래프를 그렸다. 각 그림의 simulation의 결과를 보게 되면 검은 실선이 테일러근사를 하지 않은 cross-eye gain의 MSD 그래프인데, 각각의 1차, 2차 근사를 한 그래프가 근사를 하지 않은 식의 MSD 아래쪽에 위치 한 것을 확인할 수 있다. 테일러 근사를 식 (9)에 관하여 진행하였으므로 테일러 2차 근사의 simulation 결과 그래프가 테일러 1차 근사의 simulation보다 원래 식에 더 가까워지는 건 당연하다고 볼 수 있다. 그림들의 점선의 그래프들은 위의 simulation 결과가 아니라 식 (24), 식 (25)를 이용한 1차 2차 근사에 대한 analytic 결과 그래프이다. 각 analytic의 결과는 1차,2차 테일러 근사의 simulation 근사와 일치하는 것을 확인할 수 있다.

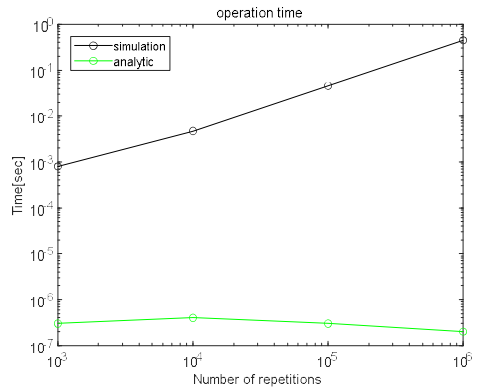


Fig. 5. operation time

Fig 5은 Monte-Carlo 기반 MSD와 해석 기반 MSD의 계산시간을 나타낸 것이다. 반복횟수가 늘어날 수록 Monte-Carlo 기반 MSD 계산시간은 늘어나나, 해석 기반 MSD의 경우 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 적은 계산을 통해서도 결과를 도출해내는 해석적 결과가 효율적임을 뜻한다.

### 3. 결론

두 재밍 신호의 진폭비가 재밍 성능에 큰 영향을 미치게 되는 것을 식 (10)과 식 (11)을 통하여 확인하였다. 하지만 기계적 결함으로 인하여 처음 cross-eye가 설정했던 명목상 진폭비로 cross-eye gain이 계산되는 것이 아니라, 진폭비에 오차 값이 더해진 실제 진폭비로 계산되게 된다. 다양한 오차가 생기는 상황에서 cross-eye 재밍 성능을 알고자 MSD를 계산하는 것에 연구를 진행하였다. 1차 테일러 근사와 2차 테일러 근사를 통하여 cross-eye 재밍의 성능을 예측할 수 있다. 하지만 Monte-Carlo 기반 simulation 결과의 경우 계산량의 단점이 있게 되고 이를 해결하기 위하여 테일러 전개를 통한 해석 기반 방법을 이용 할 수 있다. Monte-Carlo 기반 simulation과 해석 기반 방법의 계산을 비교하였을 때 결과는 큰 차이를 보이지 않으나 연산시간이 해석 기반 방법의 계산이 더 낮다는 결과를 확인할 수 있다. 이는 해석 기반 방법이 반복계산을 수행하지 않기 때문에 계산시간에 있어서 큰 차이를 보임을 뜻한다. 또한 2차 근사를 수행함에 따라 1차 근사보다 더욱 높은 정확성을 가지게 하였다. 즉, MSD를 효율적으로 계산하기 위하여 반복계산을 수행하는 몬테

카를로 대신 테일러 1차,2차 근사를 통한 해석 기반 MSD 계산 방법을 이용하여 계산시간을 개선하였다.

## REFERENCES

- [1] S. M. Sherman & D. K. Barton. (1984). *Monopulse principles and techniques*. Artech House.
- [2] E. Hofstetter & D. DeLong. (1969). Detection and parameter estimation in an amplitude-comparison monopulse radar, *IEEE Transactions on Information Theory*, 12(1), 22-30.
- [3] D.J. An & J.H. Lee. (2020). Performance analysis of amplitude comparison monopulse direction-of-arrival estimation. *Applied Sciences*, 10(4), 1246.  
DOI : 10.3390/app10041246
- [4] Y. S. Jang & C. H. Lee. (2016). Cross Eye Technique with Single Transceiver. *Journal of the KIMST*, 19(5), 598-605.  
DOI : 10.9766/KIMST.2016.19.5.598
- [5] S. A. Vakin & L. N. Shusto. (1969). *Principles of Jamming and Electronic Reconnaissance-Volume I*, Technical Report for U.S. Air Force.
- [6] A. Golden. (1987). *Radar Electronic Warfare*. AIAA: NewYork, NY, USA.
- [7] L. Falk. (2007). "Cross-eye jamming of monopulse radar." *2007 International Waveform Diversity and Design Conference*. IEEE.
- [8] D. C. Schleher. (1999). *Electronic Warfare in the Information Age*. Norwood: Artech House, MA, USA.
- [9] W. P. du Plessis. (2010). *A Comprehensive Investigation of Retrodirective Cross-Eye Jamming*. Ph.D. Dissertation, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
- [10] S. Zhigang, B. Weixiong & F. Xiaolong (2012). Analysis of cross-eye jamming. *In Proceedings of the Second International Conference on Information Communication and Management (ICICM 2012)*, Hong Kong.
- [11] J. S. Lim & G. S. Chae. (2020). Range Error of Monopulse Radar according to the Engagement Angle of Cross-Eye Jammer. *Journal of Convergence for Information Technology*. 10(5), 30-35.  
DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.05.030

김 제 안(Je-An Kim)

[학생회원]



- 2021년 2월 : 세종대학교 전자공학과(공학사)
- 2021년 2월 ~ 현재 : 세종대학교 정보통신공학과(석사과정)
- 관심분야 : 레이더신호처리
- E-Mail : wpdks6414@naver.com

김 진 성(Jin-Sung Kim)

[학생회원]



- 2017년 2월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보통신공학과(학사과정)
- 관심분야 : 레이더신호처리
- E-Mail : kjskms25@naver.com

이 준 호(Joon-Ho Lee)

[정회원]



- 1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 1999년 8월 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 배열신호처리, 레이더신호처리, 스마트안테나
- E-Mail : joonhlee@sejong.ac.kr