

진폭비 섭동에 의한 cross-eye 재밍에 대한 수치적분 기반 성능분석

김제안¹, 최윤주², 이준호^{3*}

¹세종대학교 정보통신학과 학생, ²세종대학교 전자정보통신공학과 학생, ³세종대학교 정보통신공학과 교수

Numerical Integration-based Performance Analysis of Cross-eye Jamming Algorithm through Amplitude Ratio Perturbation

Je-An Kim¹, Yoon-Ju Choi², Joon-Ho Lee^{3*}

¹Student, Department of Information & Communication Engineering, Sejong University

²Student, Department of Electrical Engineering, Sejong University

³Professor, Department of Information & Communication Engineering, Sejong University

요약 본 논문에서는 기계적 결함에 따른 실제 진폭비와 명목상 진폭비의 차이를 정규분포를 갖는 랜덤변수로 모델링할 때, cross-eye의 재밍 효과의 성능 분석을 다룬다. 수치 적분 기반 접근법을 사용하여 구한 mean square difference (MSD)를 제안한다. 수치 적분 기반 접근법을 사용하여 구한 MSD는 1차 테일러 근사 기반 성능 분석 방법과 2차 테일러 근사 기반 해석적 성능 분석 방법을 이용하여 계산한 analytic 기반 MSD보다 근사하지 않은 Monte-Carlo 기반 Simulation MSD에 가깝다. 이는 수치 적분 기반 MSD가 정확성이 더 높은 것을 뜻한다. 계산비용이 큰 Monte-Carlo 기반 Simulation을 이용하지 않아도 수치적분을 통하여 MSD로 주어지는 진폭비 섭동이 성능 저하에 미치는 영향을 구할 수 있음을 보인다.

주제어 : 크로스아이, 재밍, 전자공격, MSD, 수치적분

Abstract This paper deals with the performance analysis of the jamming effect of cross-eye when the difference between the real amplitude ratio and the nominal amplitude ratio due to mechanical defects is modeled as a random variable with a normal distribution. We propose how to evaluate mean square difference (MSD) obtained using a numerical integration-based approach. The MSD obtained by the proposed method is closer to non-approximated Monte-Carlo simulation-based MSD than the analytic MSD calculated using the first-order Taylor approximation and the second-order Taylor approximation. It is shown that, based on the numerical integration, the effect of amplitude ratio perturbation on the cross-eye jamming performance can be evaluated without going through the computationally intensive Monte-Carlo method.

Key Words : Cross-eye, Jamming, EA, MSD, Numerical integration

*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 11, 2021

Revised November 9, 2021

Accepted December 20, 2021

Published December 28, 2021

1. 서론

레이더는 타겟의 거리, 속도, 각도 정보를 수신하고 수신된 정보를 사용하여 목표물을 탐색하고 추적한다. Squint 각이 동일한 4개의 빔 패턴으로 구성된 모노펄스 레이더는 반사되어 안테나로부터 수신된 신호의 합과 차를 비교하여 대상의 각도를 추정할 수 있다[1-6].

이러한 방법으로 레이더는 목표물의 거리, 속도, 각도를 추정하고 유도 정보를 제공한다. 이 정보는 아군 함정과 비행기의 생존확률에 큰 위협을 가하기 때문에 레이더를 교란시키는 것이 필수적이다. 따라서 모노펄스 레이더 추적을 피하려면 타겟이 모노펄스 레이더의 정보수신을 방해하여야 한다. 모노펄스 레이더로부터 아군 함정을 보호하는 한 방법은 전파 방해인데 그 중에서도 각도 재밍이 효과적이다[7]. Cross-eye 재밍 기법은 모노펄스 레이더의 각도 추적을 효과적으로 방해할 수 있다. Cross-eye 재밍 기법은 각도 오류를 통해 타겟의 실제 위치가 아닌 잘못된 위치를 유도하게끔 기반한다. Cross-eye 재밍은 두 개의 재머 송신기를 사용하여 교란 신호를 모노펄스 레이더로 방사한다. 이때 두 재머 송신기 간의 진폭이 같고 위상차가 180° 인 신호를 모노펄스 레이더가 수신하면 전파가 왜곡된다. Cross-eye의 재머 안테나에 의해 생성된 재밍 신호는 각도 오류를 유발하여 모노펄스 레이더의 수신 신호의 합과 차를 변경한다 [8-10].

재밍 신호를 생성하는 cross-eye의 두 재머 안테나는 거리 L 만큼 떨어져 위치한다. 재머 안테나의 신호에 의해 기반된 각도는 실제 대상의 위치를 속이게 된다. Cross-eye gain은 진폭비 a 와 위상 차이 ϕ 를 가진 두 개의 재머 안테나의 방해 신호를 사용하여 얻는다. Cross-eye gain은 a 와 ϕ 의 함수이기 때문에 재밍 성능은 a 와 ϕ 에 크게 의존한다. a 가 같고 ϕ 가 180° 일 때 가장 성능이 우수하다[11-13]. a 는 기계적 결함으로 인해 명목상 진폭비와 다를 수 있고 zero-mean 가우시안 랜덤 변수 만큼 차이가 생길 수 있다고 가정한다. 그 결과, cross-eye 성능이 저하될 수 있으며, mean square difference (MSD)를 이용하여 성능을 예측할 수 있다. 이전에 cross-eye gain의 성능 분석에 대한 많은 연구들이 있으나 이전 연구는 모노펄스 레이더가 각도를 정확하게 추적하지 못하도록 cross-eye gain을 최대화하여 재밍 성능이 좋아지는 방법에 초점을 맞추었다. 이와는 다르게 본 논문은 a 값에 따라 cross-eye gain을 증가시키는 데

초점을 맞추지 않는다. 본 논문은 cross-eye 재밍 기법의 성능을 높이기 위한 연구를 실시하지 않았다.

해석 기반 MSD를 계산하기 위해선 테일러 근사를 사용하여 cross-eye gain을 근사화하여야 한다. Cross-eye gain은 분수 형태로 표현되는 비선형 함수이기 때문에 해석적 분석 방법을 수행하기가 어렵다. 따라서 1차 및 2차 테일러 근사를 사용하여 a 에 대한 다항식 함수로 cross-eye gain을 근사한 후 평균 연산 계산이 수행된다. Monte-Carlo 기반 시뮬레이션 방법을 사용하여 근사가 없는 cross-eye gain, 1차 테일러 근사 및 2차 테일러 근사 cross-eye gain의 simulation MSD를 얻는다. MSD의 해석적 표현은 진폭비 a 의 분산 측면에서 명시적 표현으로 주어진다. Cross-eye gain의 수치적분기반 MSD는 수치 적분법을 사용했다. 진폭비 a 가 랜덤변수이기 때문에 PDF를 이용하여 평균을 계산할 수 있다[14-15]. Cross-eye 재밍 기법의 정확성을 분석하기 위해 다양한 표준 편차의 경우에 대한 연구를 수행한다. MSD 계산의 정확도를 향상시키고 계산비용을 줄이기 위하여 본 논문은 cross-eye gain의 수치 적분기반 MSD를 이용한다.

Monte-Carlo 기반 simulation MSD 방법은 반복 횟수가 많아짐에 따라 계산 비용이 크게 늘어나게 된다. 해석 기반 MSD의 계산 시간은 반복 횟수가 많은 Monte-Carlo 방법으로 계산한 MSD의 계산 시간보다 짧지만 근사로 인해 정확도가 낮아진다. 근사가 없는 simulation MSD와 해석 기반의 근사된 MSD 사이에는 차이가 있는데 이는 정확도 측면에서 저하가 일어났다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 수치 적분을 통하여 Monte-Carlo 기반 simulation MSD보다 계산 비용을 적게 할 뿐만 아니라, 해석 기반 MSD보다 계산 정확도를 개선할 수 있음을 보인다. 수치 적분 방법의 추정 성능이 해석적 방법의 추정 성능보다 우수하다는 의미는 아니다. 중요한 점은 해석법보다 근사가 없는 시뮬레이션 기반 MSD에 가깝다는 것이다. 본 논문에서 정확도의 의미는 근사가 없는 시뮬레이션 MSD에 가깝다는 뜻이다.

2. 본론

2.1 Crosse-eye gain

Cross-eye 재밍 기법은 모노펄스의 각도 추적을 속일 수 있다. Cross-eye는 두 개의 재머 안테나를 배치

하여 작동된다. 배치된 두 재머 안테나가 진폭이 같고 위상차가 180°인 재밍 신호를 방사하여 적 레이더를 기만한다.

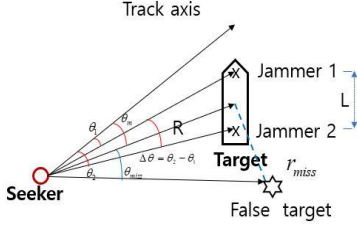


Fig. 1. cross-eye Jamming method

Fig. 1은 cross-eye 재밍 기법에 대한 간략한 그림이다. 함정 위에 거리 \$L\$로 배치된 두 개의 재머 안테나에 의해 거짓 표적이 생성된다. 거리오차, \$r_{miss}\$ 및 각도오차, \$\theta_{miss}\$는 다음과 같이 주어진다. 식(1)과 식(2)는 [1]에서 자세하게 유도되어있다.

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

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

거리오차인 \$r_{miss}\$와 각도오차인 \$\theta_{miss}\$는 cross-eye gain 항인 \$\frac{1 - a^2}{1 + 2a \cos \phi + a^2}\$을 똑같이 갖는다.

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

그러므로 거리오차, \$r_{miss}\$와 각도오차, \$\theta_{miss}\$는 식(3)과 같이 단순화할 수 있다.

$$r_{miss} = \frac{L \cos \psi}{2} GC$$

$$\theta_{miss} = \frac{\Delta \theta}{2} GC \quad (3)$$

\$r_{miss}\$와 \$\theta_{miss}\$는 \$a\$와 \$\phi\$의 함수이므로 \$a\$와 \$\phi\$의 영향을 크게 받는다. Cross-eye 재밍의 성능은 두 재밍 신호의 진폭비 값 변경에 민감하다. 진폭비의 불안정성을 zero-mean 가우시안 랜덤 변수로 모델링할 수 있다고 가정한다.

$$\delta_a \sim N(0, \sigma_a) \quad (4)$$

식 (4)의 \$\sigma_a\$는 진폭비의 표준 편차이다. 따라서 섭동이 발생하는 \$a_{real}\$은 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$a_{real} = a_{nominal} + \delta_a \quad (5)$$

Cross-eye gain인 \$GC\$는 \$a\$의 함수이다. \$GC_{real}\$과 \$GC_{nominal}\$은 식 (2)에서 각각 \$a_{real}\$과 \$a_{nominal}\$를 대입하여 계산할 수 있다.

$$GC_{nominal}(a_{nominal}) = \frac{1 - a_{nominal}^2}{1 + a_{nominal}^2 + 2a_{nominal} \cos \phi} \quad (6)$$

$$GC_{real}(a_{real}) = \frac{1 - a_{real}^2}{1 + a_{real}^2 + 2a_{real} \cos \phi} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7) 사이의 차이의 제곱은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(GC_{real} - GC_{nominal})^2 = \left(\frac{1 - a_{real}^2}{1 + a_{real}^2 + 2a_{real} \cos \phi} - \frac{1 - a_{nominal}^2}{1 + a_{nominal}^2 + 2a_{nominal} \cos \phi} \right)^2 \quad (8)$$

MSD가 식 (8)의 평균을 의미한다.

$$MSD = E[(GC_{real} - GC_{nominal})^2] = E\left[\left(\frac{1 - a_{real}^2}{1 + a_{real}^2 + 2a_{real} \cos \phi} - \frac{1 - a_{nominal}^2}{1 + a_{nominal}^2 + 2a_{nominal} \cos \phi} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Monte-Carlo 기반 simulation MSD는 다음과 같이 계산한다.

$$MSD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((GC_{real}(a_{real})_i - GC_{nominal}(a_{nominal}))^2) = \text{Simulation} E[(GC_{real}(a_{real})_i - GC_{nominal}(a_{nominal}))^2], \quad (10)$$

여기서 \$N\$은 Monte-Carlo의 반복 횟수이다. 1차 테일러 근사의 Monte-Carlo 기반 simulation MSD는 식(11)과 같이 주어진다.

$$E[(GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 1)} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[\alpha_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2] \quad (11)$$

식 (11)에서 α_a 는 1차 테일러 근사의 계수이다. 2차 테일러 근사의 Monte-Carlo 기반 simulation MSD는 식 (12)와 같이 주어진다.

$$E[(GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 2)} - GC_{\text{nominal}})^2] = E[(\alpha_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}}) + \beta_a (a_{\text{real}} - a_{\text{nominal}})^2)^2] \quad (12)$$

식 (12)에서 β_a 는 2차 테일러 근사의 계수이다. 1차 테일러 근사와 2차 테일러 근사에 기초한 해석 기반 MSD는 식 (13)과 식 (14)와 같다.

$$E[(GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 1)} - GC_{\text{nominal}})^2] = \alpha_a^2 \sigma_a^2 \quad (13)$$

$$E[(GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 2)} - GC_{\text{nominal}})^2] = \alpha_a^2 \sigma_a^2 + \frac{3}{4} \beta_a^2 \sigma_a^4 \quad (14)$$

1차 테일러 근사치와 2차 테일러 근사치 α_a, β_a 의 각 계수는 식 (15)와 식 (16)과 같이 유도할 수 있다.

$$GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 1)} = GC_{\text{nominal}} + \frac{-2(\cos\phi a_{\text{nominal}}^2 + 2a_{\text{nominal}} + \cos\phi)}{(1 + 2\cos\phi a_{\text{nominal}} + a_{\text{nominal}}^2)^2} \delta_a \quad (15)$$

$$GC_{\text{real}}^{(\text{approx} i = 2)} = GC_{\text{nominal}} + \left(\frac{-2(\cos\phi a_{\text{nominal}}^2 + 2a_{\text{nominal}} + \cos\phi)}{(1 + 2\cos\phi a_{\text{nominal}} + a_{\text{nominal}}^2)^2} \delta_a + \left[\frac{8\cos\phi^2 + 12a_{\text{nominal}}\cos\phi + 12a_{\text{nominal}}^2 + 4a_{\text{nominal}}^3\cos\phi - 4}{(1 + 2\cos\phi a_{\text{nominal}} + a_{\text{nominal}}^2)^3} \right] \delta_a^2 \right) \quad (16)$$

이 때 δ_a 의 계수를 α_a , δ_a^2 의 계수를 β_a 라고 정의한다.

2.2 수치적분 기반 MSD

식 (5)에 명시한 바와 같이, a 는 원치 않는 섭동에 의한 랜덤변수이다. a_{real} 의 함수는 랜덤 변수이기 때문에 MSD를 a_{real} 의 PDF를 이용하여 계산할 수 있다. 따라서 식 (10)의 Monte-Carlo 기반 simulation 방법이나 식 (13), 식 (14)의 해석적 방법을 사용하지 않고 a 의 PDF, $f_a(a)$ 를 사용하여 MSD를 계산할 수 있다. PDF를 사용

하여 MSD를 구하면 식 (17)과 같다.

$$MSD = E[(GC_{\text{real}} - GC_{\text{nominal}})^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (GC_{\text{real}} - GC_{\text{nominal}})^2 f_a(a) da \quad (17)$$

여기서 a 는 평균 a_{nominal} 및 분산 σ_a 인 가우시안 랜덤 변수이다. 그러므로 변수 a 는 가우시안 PDF를 가지며 식(18)과 같이 주어진다.

$$f_a(a) = \frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(a - a_{\text{nominal}})^2}{2\sigma_a^2}\right) \quad (18)$$

3. 분석 및 평가

이 절에서는 앞서 언급한 Monte-Carlo 기반 simulation MSD, 해석 기반 MSD 및 수치적분 기반 MSD를 이용한 cross-eye 재밍의 성능 분석을 다룬다. 다양한 경우를 고려하기 위해 시뮬레이션에서 6개의 표준 편차가 σ_a 로 설정되었다. σ_a 의 경우 0.01에서 0.02까지 같은 간격을 가진 6개의 표준편차가 설정되었다.

σ_a 값들을 변경시키고 위상차는 고정시켜 시뮬레이션을 진행하였다. 성능 분석은 표준 편차를 포함한 랜덤 변수인 진폭비에 대해 수행한다. Monte-Carlo 기반 simulation MSD와 해석 기반 MSD의 결과를 수치적분 기반 MSD와 비교한다. Fig. 2와 Fig. 3은 각 진폭 비에 대해 6개의 표준 편차를 사용하여 계산한 결과이다. Fig. 2와 Fig. 3은 위상차를 고정시키고 표준편차 σ_a 를 변화시킬 때 결과 그래프이다.

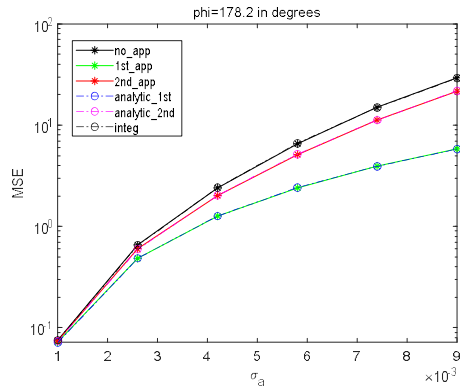


Fig. 2. MSD of cross-eye gain, a=0.975

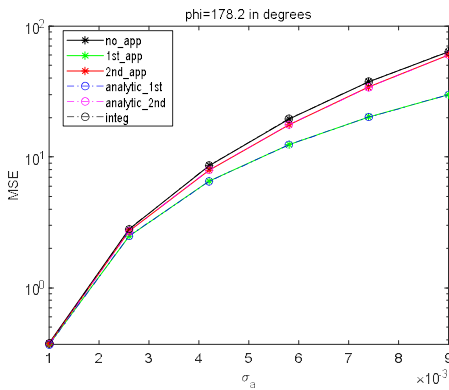


Fig. 3. MSD of cross-eye gain, $a=0.98$

Fig. 2와 Fig. 3의 simulation MSD는 근사를 하지 않은 cross-eye gain 식 (2)에서 구했으며 1차 테일러 근사를 사용하는 simulation MSD와 2차 테일러 근사를 사용하는 simulation MSD는 각각 식 (11)과 식 (12)에서 구했다. Fig. 2와 Fig. 3에서 1차 테일러 근사를 사용하는 해석 기반 MSD와 2차 테일러 근사를 사용하는 해석 기반 MSD는 식 (13)과 식 (14)에서 구했다. 마지막으로 수치 적분 기반 MSD는 식 (17)에서 구했다. Simulation은 식 (10)을 사용하여 진행되었다. 1차 테일러 근사 simulation과 1차 테일러 근사의 해석 기반 MSD가 완전히 일치하는 것을 발견할 수 있다. 마찬가지로 2차 테일러 근사 simulation과 2차 테일러 근사의 해석 기반 MSD가 완전히 일치하는 것을 발견할 수 있다. 중요한 것은 근사를 하지 않은 simulation MSD와 수치 적분 기반 MSD도 완전히 일치하는 것이다. 이는 수치 적분 기반 MSD의 정확도가 해석 기반 MSD보다 높다는 것을 의미한다.

Monte-Carlo 기반 simulation MSD, 해석 기반 MSD, 수치적분 기반 MSD의 작동시간을 비교하면, Monte-Carlo 반복 횟수가 증가함에 따라 simulation MSD의 작동 시간도 증가한다. 그러나 해석 기반 MSD와 수치 적분 기반 MSD는 Monte-Carlo 반복 횟수와 무관하므로 해석 기반 MSD와 수치적분 기반 MSD의 작동 시간은 증가하지 않는다. 반복 횟수가 증가함에 따라 Monte-Carlo 기반 simulation MSD의 시간은 많은 증가를 보이지만 해석 기반 MSD와 수치 적분 기반 MSD는 작동 시간이 변하지 않는다. 수치 적분 기반

MSD가 정확도 측면에서 해석 기반 MSD보다 높다는 것을 Fig. 2와 Fig. 3을 통해 확인 할 수 있다.

4. 결론

기계적 결합으로 인해 진폭비가 명목상 진폭비의 값과 다르게 변경되어 cross-eye의 gain이 변경될 수 있다. 섭동이 생긴 실제 cross-eye gain을 GC_{real} 이라고 하고 명목상 cross-eye gain을 $GC_{nominal}$ 이라고 한다. GC_{real} 는 진폭 비율에 zero-mean 가우시안 랜덤 변수 값을 더한 a_{real} 에서 얻은 cross-eye gain이다. MSD는 GC_{real} 과 $GC_{nominal}$ 차이의 제곱의 평균이다. 평균은 추정치의 정확도 측도 중 하나이다. MSD를 계산하는 방법 중 Monte-Carlo 기반 simulation 방법의 경우, 수많은 반복계산을 통하여 MSD를 계산한다. 이것은 반복 횟수가 증가할수록 계산 비용이 증가한다는 것을 의미한다. 해석 기반의 경우, 계산 비용이 반복 횟수와 무관하다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 해석기반이 Monte-Carlo 기반 simulation의 시간 비용보다 훨씬 낮은 시간 비용을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 cross-eye gain은 분수형태로 나타낸 비선형 함수이므로 평균연산을 해석적으로 계산하기 어렵다. 따라서 근사가 적용되기 때문에 정확도가 저하된다. 근사가 적용되었기 때문에 해석 기반 MSD가 근사하지 않은 simulation MSD에 가깝지만 완전히 일치하지는 않음을 Fig. 2와 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 따라서 본 논문은 수치적분법을 통해 MSD를 계산하는 방법을 제시한다. 이것은 PDF를 사용하여 MSD를 계산하는 방법이다. Fig. 2와 Fig. 3은 수치 적분 기반 MSD가 해석 기반 MSD보다 정확도가 높다는 것을 보여준다. 수치 적분 기반 MSD와 해석 기반 MSD를 비교하면 수치 적분 기반 MSD가 근사가 없는 simulation MSD와 일치하는 것을 보인다. 다시 말해, 이는 MSD가 수많은 반복 계산을 수행하는 Monte-Carlo를 통하지 않고도 계산 될 수 있음을 뜻한다. 근사를 통한 방법은 차수가 높을수록 근사가 없는 MSD에 가까워지는 것을 예상할 수가 있지만 근사하는 차수가 높아질수록 복잡성이 늘어가게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 수치 적분 기반 MSD가 계산량이 많은 Monte-Carlo 기반 simulation 방법과 정확성이 떨어지는 근사를 이용한

해석적 방법보다 우수하다.

REFERENCES

- [1] S. M. Sherman & D. K. Barton. (1984). *Monopulse principles and techniques*. Artech House.
- [2] A. I. Leonov & K. I. Fomichev. (1986). *Monopulse radar*. Artech House.
- [3] D. R. Rhodes. (1980). *Introduction to monopulse*. Artech House.
- [4] B. R. Mahafza. (2013). *Radar systems analysis and design using MATLAB third edition*. Chapman and Hall.
- [5] T. W. Tucker & B. Vidger. (2009). *Cross-eye jamming effectiveness*. Tactical Technologies Inc. Ottawa, ON K2A 3V6, Tech.Rep.
DOI : 10.1.1.507.516
- [6] D. J. An & J. H. Lee. (2020). Performance analysis of amplitude comparison monopulse direction-of-arrival estimation. *Applied Sciences*, 10(4).
DOI : 10.3390/app10041246
- [7] 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
- [8] S. A. Vakin & L. N. Shusto. (1969). *Principles of Jamming and Electronic Reconnaissance-Volume I*, Technical Report for U.S. Air Force.
- [9] A. Golden. (1987). *Radar Electronic Warfare*. AIAA: New York, NY, USA.
- [10] L. Falk. (2007). Cross-eye jamming of monopulse radar. *2007 International Waveform Diversity and Design Conference. IEEE*.
DOI : 10.1109/WDDC.2007.4339412
- [11] D. C. Schleher. (1999). *Electronic Warfare in the Information Age*. Artech House, MA, USA.
DOI : 10.5555/519999
- [12] W P. du Plessis. (2010). *A Comprehensive Investigation of Retrodirective Cross-Eye Jamming*. Ph.D. Dissertation, University of Pretoria, Pretoria, South Africa.
<http://hdl.handle.net/2263/25480>
- [13] 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.
DOI : 10.7763/IPCSIT.2012.V55.2

- [14] R. D. Yates & D. J. Goodman. (1999). *Probability and stochastic processes*. John Wiley and Sons.
- [15] P. Z. Peebles Jr. (2001). *Probability, random variables, and random signal principles*. McGraw-Hill.

김 제 안(Je-An Kim)

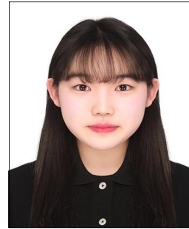
[학생회원]



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

최 윤 주(Yoon-Ju Choi)

[학생회원]



- 2020년 2월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보통신공학과(학사과정)
- 관심분야 : 레이더신호처리
- E-Mail : jj010513@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 : joonlee@sejong.ac.kr