

# Pull-Off 재밍 기법 대응을 위한 선단 추적기의 대응 효과도 분석

## Analysis of a Leading Edge Tracker for Pull-off Deceptive Jamming Techniques

이건 · 김효정 · 성진용\* · 변우주\* · 김준혁\* · 김경태

Geon Lee · Hyo-Jeong Kim · Jin-Yong Sung\* · U-Ju Byoun\* · Jun-Hyeok Kim\* · Kyung-Tae Kim

### 요 약

항공기용 AESA 레이다는 항공기를 향해 고속으로 접근하는 표적을 효율적이고 신속하게 탐지하고 추적하기 위하여 여러 운용 모드를 사용한다. 이때, 전자전 공격에 대비하여 운용 모드마다 다양한 형태의 레이다 신호와 중심 주파수, PRF 등을 사용하게 되며, 이에 따라 운용 모드에 따른 재밍 효과가 달라진다. 본 논문에서는 실제 항공기 AESA 레이다 운용 환경과 잡음 및 기만 재밍을 위한 재머를 설계하고, 표적 접근 시나리오에서 재밍 효과도 분석을 수행한다. 이를 위하여 AESA 레이다를 설계하여 빔폭 및 수신 신호 세기를 설정하고, 항공기가 접근함에 따라 NAST, AAST, ACM의 운용 모드를 설정하여 각 모드마다 레이다 신호 및 재밍 신호를 생성하고 재밍 효과도 분석을 수행하였다.

### Abstract

In modern warfare, various jamming techniques are employed to disrupt enemy radar systems using radio waves. The pull-off deceptive jamming technique misguides the enemy into incorrectly detecting the positions of allies, causing it to waste radar resources while protecting friendly information. The development and advancement of digital radio frequency memory (DRFM) have enabled the precise replication of received radar signals, making it difficult to distinguish between the deceptive range and velocity signals generated through this technique and signals reflected from actual targets. To address this, a countermeasure technique was developed that exploits the fact that a delay occurs when analyzing and replicating signals by focusing on detecting only the leading edge of the received signal to eliminate deceptive signals. This study simulates air-to-air radar operating environments and analyzes the performance of a leading-edge tracker-jamming countermeasure technique based on various indicators.

Key words: Electronic Warfare, Electronic Countermeasure, Leading Edge Tracker, VGPO, RGPO.

### I. 서 론

현대전에서는 적대적 대상의 레이다 신호를 교란하기

위하여 다양한 재밍 신호를 사용하고 있다. 대표적인 재밍 기법에는 잡음 재밍(noise jamming) 및 기만 재밍(deceptive jamming) 기법이 존재하며, 잡음 재밍 기법의

「이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-057).」

포항공과대학교 전자전기공학과(Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

\*LIG넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd)

· Manuscript received November 5, 2024 ; Revised November 14, 2024 ; Accepted December 12, 2024. (ID No. 20241105-124)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

경우 잡음 수준을 높여 레이더의 탐지 성능을 열화시키고, 기만 재밍 기법의 경우 높은 전력을 가진 기만 신호를 생성하여 잘못된 표적을 추적하도록 한다<sup>[1]~[3]</sup>. 일반적인 기만 재밍 기법들 중에서, DRFM(digital radio frequency memory)를 사용하여 수신 신호를 복제하고<sup>[4]</sup>, 복제한 신호를 일정 시간 지연하여 재송신하는 RGPO(range gate pull off) 기법과 위상 정보를 변조하는 VGPO(velocity gate pull off) 기법이 대표적으로 사용된다<sup>[5]</sup>. 이러한 pull off 방식의 기만 재밍 기법에 대응하기 위한 여러 방법들이 개발되었다. 먼저, 탐지기에서 탐지된 표적 정보와 추적 필터를 통해 계산된 표적 추적 결과 간에 차이가 발생하는 점을 이용하여, 추적 결과와 표적의 탐지 결과를 비교한 뒤 오차가 크게 발생하면 기만 재밍이 존재한다고 판정하여 재추적(re-lock)을 수행하는 방법이 있다<sup>[1],[6]</sup>. 하지만, 재머가 RGPO와 VGPO를 결합하여 사용하는 경우 실제 신호와 허위 신호를 구별하기 어려워지는 문제가 발생한다. 한편으로, DRFM을 이용하여 표적의 신호를 복제할 때, 신호를 분석하고 복제하기 위해 필연적으로 지연이 발생하게 되며, 수신 신호의 선단(leading edge) 부분에 재머 신호에 오염되지 않은 표적 신호가 존재하게 된다. 선단 추적기는 이러한 점을 이용하여 수신 신호의 선단(leading edge)만을 사용하여 탐지를 수행한다. 하지만, 획득한 신호의 일부 정보만을 사용하기 때문에, 원신호와 비교하여 상대적으로 작은 에너지와 대역폭을 가진 신호를 사용하여 신호처리를 수행하게 되고, 그 결과 거리측의 해상도가 상대적으로 감소하거나 잡음에 취약해질 수 있다<sup>[1],[7],[8]</sup>. 재머의 입장에서도 이에 대응하기 위해 잡음의 수준을 높이거나, 재밍 신호의 출력을 높여 시스템에서 출력할 수 있는 잡음 수준에는 한계가 존재하며, DRFM의 신호 복제 지연이 증가할수록 재밍에 실패할 확률이 증가한다는 문제가 존재한다. 그 결과, 잡음 수준이나 재머의 출력 및 DRFM 지연 등과 같은 각종 지표에 따른 선단 추적기의 재밍 대응 성능을 분석한다면 실제 운용 환경에서 선단 추적기의 신뢰성을 평가하는 데에 활용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는, 공대공 운용 모드 내에서 pull-off 기반 재밍 기법이 큰 영향을 미치는 단일 표적 추적(STT, single target tracking) 모드를 가정하여 시뮬레이션을 구성

하고, 여러 환경 변수를 이용하여 성능을 분석하였다.

## II. Pull-Off 기만 재밍 기법 특성 및 선단 추적기

### 2-1 Pull-Off 기만 재밍 기법

Pull-off 기반의 기만 재머는 재밍을 수행하려는 대상의 추적 게이트를 교란하여 잘못된 대상을 추적하도록 유도하는 방법이다<sup>[9]</sup>. DRFM을 사용하여 희생자의 레이더 신호를 복제하고, 시간 혹은 위상에 지연을 발생시켜 재송신하는 방식을 사용하며, 재밍 대상자는 지연된 허위 신호에 대해 추적 게이트를 형성하게 되며 이를 통해 자신에 대한 추적을 회피한다.

그림 1은 RGPO 재밍 기법의 수행 과정을 보여주며, 재머는 초기에 표적과 동일한 위치에 허위 신호를 생성하지만, 시간의 흐름에 따라 재머의 신호에 지연을 발생시켜 추적 레이더가 자신에 대한 정보를 소실하도록 유도한다.

VGPO 기법은 실제 표적과 다른 속도로 움직이는 허위 표적을 생성하는 기만 재밍 방법이다. 레이더에 수신되는 정보에는 표적 정보 외에도 잡음이나 클러터 등과 같은 원하지 않는 성분들이 존재하며, 속도 게이트를 형성하여 탐지하고자 하는 표적의 도플러 정보 외의 불필요한 정보를 제거한 후 탐지를 수행하는 레이더에 대해 유효하다. 레이더에서 표적의 속도 정보는 반사된 신호의 위상 정보를 이용하여 획득하기 때문에, VGPO는 RGPO와 달리 위상이 지연된 신호를 생성한다. 그림 2는 VGPO 재밍 시 발생하는 주파수 이격을 보여준다. RGPO 재밍과 유사한 방법으로, 표적과 유사한 속도 정보로부터 서서히 도플러 이격을 발생시킨다.

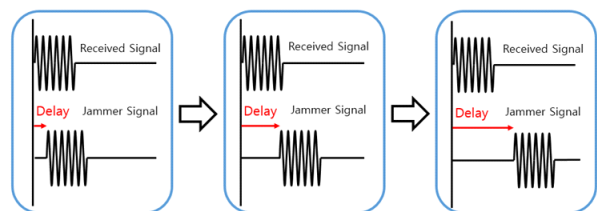


그림 1. RGPO 재밍

Fig. 1. RGPO jamming.

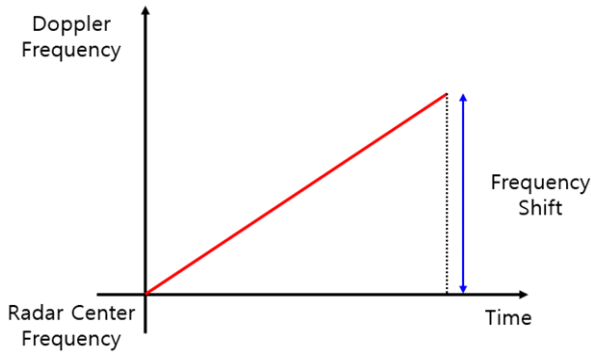


그림 2. VGPO 재밍  
Fig. 2. VGPO jamming.

설명한 바와 같이, RGPO 및 VGPO 기반 기법은 적대적 레이더의 추적 게이트를 실제 표적 위치와 전혀 다른 위치에 유도하는 방법을 사용하며, 잡음 재밍과 비교하여 재밍 희생자가 자신이 재밍을 당하고 있는지 알 수가 없고, 재밍이 종료된 후에도 희생자는 재탐색을 위해 추가적인 자원 및 시간을 소모해야 하며, 상대적으로 낮은 출력으로도 재밍 효과를 볼 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 재밍 초기에 허위 표적에 추적 게이트를 유도하는 것에 실패한다면 한 주기 전체의 기만 재밍 기법이 오동작한다는 단점이 존재한다.

## 2.2 선단 추적기

선단 추적기는 수신 신호의 선단 부분을 사용하여 표적 탐지를 수행한다.

그림 3은 pull-off 기반의 기만 재밍 신호가 생성되는 형태를 보여주며, DRFM 지연에 의해 반사된 신호와 복제된 재밍 신호 간에 지연이 발생하는 것을 보여준다. 선단 추적기는 이러한 DRFM 지연에 의해 발생하는 재밍 신호의 지연을 이용하여, 수신 신호의 선단 부분의 신뢰성이 높다고 가정하여 탐지를 수행한다.

그림 4는 선단 추적기에 기반한 전체 표적 탐지 및 추적 흐름도를 보여준다. 신호가 수신됨을 확인한 후, 가장 먼저 도착한 펄스 위치를 기준으로 선단 부분을 결정한다. 결정된 선단 부분에서 pull-off가 존재함이 판단된다면 선단 위치의 탐지 결과를 신뢰하고, 반대로 존재하지 않

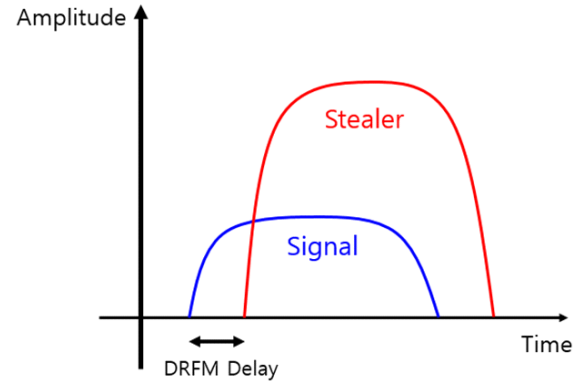


그림 3. Pull-off 기반 재밍 신호 및 DRFM 지연  
Fig. 3. Pull-off based jamming signal and DRFM delay.

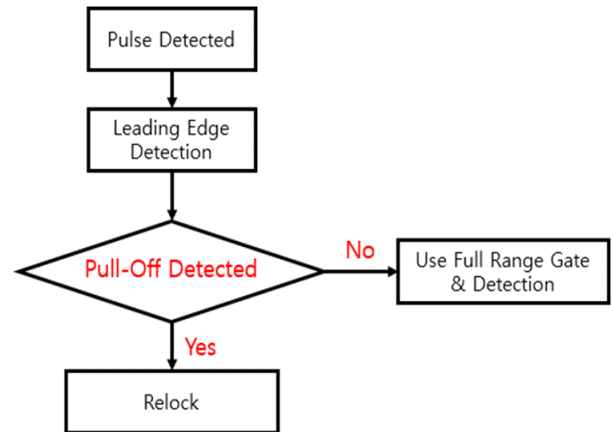


그림 4. 선단 추적기 기반 표적 추적 흐름도  
Fig. 4. Flowchart of Leading edge tracker.

는다면 전체 수신 펄스에 대해 탐지를 수행한다.

일반적으로 수신 신호의 선단 부분 탐지는 신호 획득 시 급격하게 변하는 지점을 찾아 획득하며, 그림 5와 같이 수신 신호를 시간 축에 대해 미분하여 찾을 수 있다<sup>[7]</sup>. 이러한 선단 추적기에 대응하기 위해, pull-off 기반의 기만 재밍 기법은 기만 신호와 잡음 신호를 함께 송신하여 탐지기의 임계값을 증가시켜 선단부를 탐지하지 못하게 하여 재밍 신호가 존재하지 않는 것처럼 만들거나, DRFM의 수신 신호의 분석 및 복제 속도를 향상하여 신호의 선단부의 길이를 줄여 선단부의 탐지를 어렵게 만드는 방법을 사용한다<sup>[7],[8]</sup>.

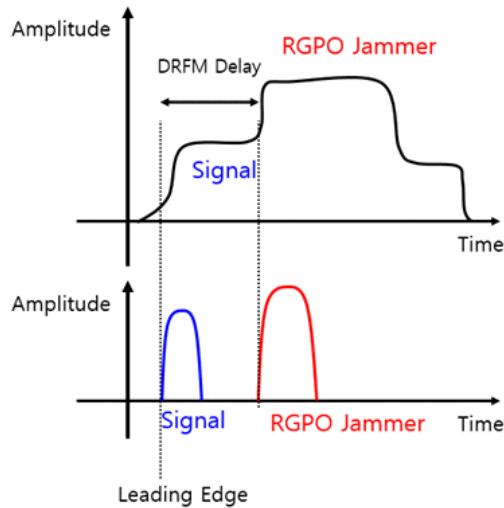


그림 5. 획득한 신호(위)와 미분한 신호(아래)  
Fig. 5. Received signal (top) and differentiated signal (bottom).

### Ⅲ. 선단 추적기 기반 기만 재밍 대응 시뮬레이션

이 장에서는 pull-off 방식의 기만 재밍에 대한 선단 추적기의 대응 효과도 분석을 위하여 시뮬레이션을 수행한다. 공대공 표적 추적 상황에서 재머가 RGPO 및 VGPO를 동시에 운용하는 상황을 가정하며, 단일 표적 추적 운용 모드를 가정한다. 레이더는 linear frequency modulation 형태의 펄스 도플러 방식을 사용하여 신호를 송수신한다. 추적 레이더의 변수는 표 1과 같다.

사용하는 레이더의 해상도가 매우 작고, 시뮬레이션의 단순화를 위해 표적은 재머가 선단 추적기를 향해 접근하는 상황을 가정하였으며, 사용된 표적의 움직임 및 기만 재머의 변수는 표 2와 같다.

표 1. 추적 레이더 파라메타  
Table 1. Parameters for the tracking radar.

Type	Value
Center frequency	9.5 GHz
Bandwidth	5 MHz
Pulse repetition frequency	100 KHz
Sampling frequency	800 MHz
Pulse width	1.25 us
Number of pulse	100

표 2. 시뮬레이션 파라메타  
Table 2. Parameters for the simulation.

Type	Value
Target velocity	400 m/s
Deceptive jammer velocity	500 m/s
Jammer default range delay	0 m
DRFM sampling frequency	800 MHz

선단 탐지 기법은 그림 4와 같이 진행되며, 획득한 신호에 대해 정합 필터(matched filter)를 수행하고 푸리에 변환을 사용하여 도플러 정보를 획득한다. 획득한 도플러 신호에 평균 일정 오경보율(CA CFAR: cell averaging constant false alarm rate) 탐지기를 사용하여 표적 신호를 검출하였으며, CA CFAR 탐지기는 그림 6과 같은 구조를 가진다.

CA CFAR 탐지기는 훈련 셀(training cell)의 평균값을 바탕으로 문턱값을 결정하고, 문턱값보다 시험 셀(test cell)의 크기가 더 크다면 표적으로 간주한다<sup>[2]</sup>.

마지막으로, 선단 추적 기법의 특성상, 다중경로 신호나 클러스터 신호의 영향을 크게 받으나, 본 논문의 목표는 선단 추적기의 RGPO 재밍 기법 대응 효과도 분석이므로, 클러스터 및 다중경로 신호는 전처리에서 제거하였음을 가정하였다. 기만 재밍에 대한 대응 성공 판정은, 선단 추적기에서 추정된 표적의 도플러 정보가 실제 표적과 일치하였을 때 대응에 성공한 것으로 판정하였다.

선단 추적기의 효과도 분석을 위해, 그림 7과 같이 재밍 신호 크기 대비 신호 크기 비(JSR: jamming to signal ratio), 재밍 신호 크기 대비 잡음 크기 비(JSNR: jamming signal to noise ratio), DRFM 지연 크기를 고려하였다. JSR 지표를 통해 선단 추적기의 재밍 신호에 대한 대응 성능을 분석할 수 있으며, JSNR 지표는 pull-off 기반의 재밍 방법이 선단 추적기에 대응하기 위해 잡음을 추가하였을

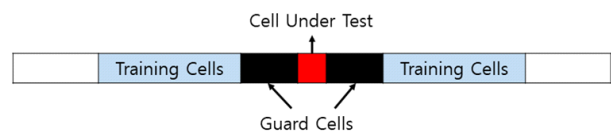


그림 6. CFAR 탐지기 구조  
Fig. 6. Structure of CFAR detector.

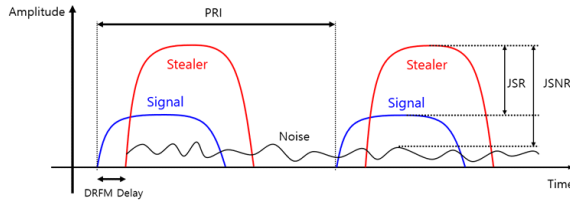


그림 7. 성능 분석을 위한 파라메타  
Fig. 7. Parameters for performance analysis.

때 선단 추적기의 성능이 얼마나 감소하는지 분석할 수 있고, 마지막으로 DRFM 지연에 따른 성능 분석을 통해 재밍 신호의 송신 딜레이에 따른 선단 추적기의 재밍 대응 성능을 분석할 수 있다. 시뮬레이션에서는 재밍 성능 지표를 표 3에서 설정한 범위 내에서 변경하며 선단 추적기의 재밍 대응 성능을 분석하도록 하였다.

표 3에서 단일 요소에 대해 분석을 수행할 경우, JSR은 3 dB로, JSNR은 3 dB로, DRFM 지연의 경우 100 ns로 설정하여 분석을 수행하였으며, 단일 요소에 대한 분석과 여러 요소를 복합적으로 변경했을 때의 분석을 수행하였다. 시뮬레이션의 동작은 그림 7과 같이 표적 및 재머 신호 생성, 선단 탐지, 도플러 처리, 표적 탐지의 순으로 수행한다. JSNR에 의해 설정되는 임의의 잡음 환경에 따라 결과가 영향을 받을 수 있으므로, 시뮬레이션은 100회 반복 수행하여 신뢰도를 높였으며, 탐지율,  $P_d$ 를 식 (1)과 같이 정의하고 성능 평가 지표로 선정하였다.

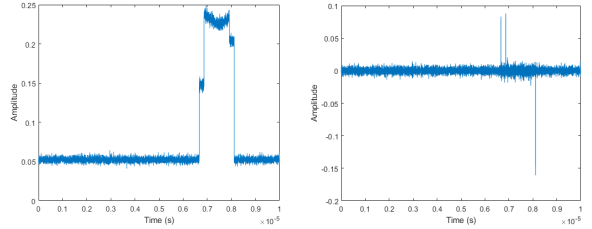
$$P_d = \frac{N_d}{N} \quad (1)$$

수식에서  $N$ 은 전체 시행 횟수를,  $N_d$ 는 기만 신호가 아닌 표적 신호를 정상적으로 탐지한 횟수를 의미한다.

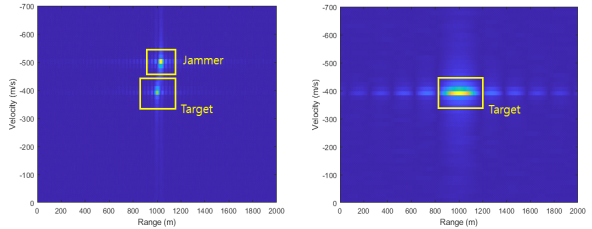
그림 8은 표 1 및 표 2의 설정값을 바탕으로 표적 추적 시나리오를 생성한 결과이다. 표적은 1,000 m에서 400 m/s의 속도를 가지는 점 표적을 가정하였으며, 재머는 표

표 3. 성능 분석 파라메타  
Table 3. Parameters for performance analysis.

Type	Value
JSR	0~20 dB
JSNR	-10~10 dB
DRFM delay	0~10 ns



(a) 획득한 펄스 평균 (b) 신호 미분 결과  
(a) Average amplitude of pulses (b) Result of signal differentiation



(c) 원신호의 거리-도플러 영상 (d) 선단 신호의 거리-도플러 영상  
(c) Range-Doppler map of original (d) Range-Doppler map of leading edge signal

그림 8. 선단 탐지 시뮬레이션 예시  
Fig. 8. Simulation example of leading edge detection.

적과 동일한 위치에 500 m/s의 속도를 가지는 점 표적을 생성하도록 하였다. 또한, JSR을 3 dB, JSNR을 3 dB, DRFM 지연은 100 ns로 설정하였다.

그림 8(a)는 다중 펄스로부터 획득한 신호들의 평균 크기를 보여주며, DRFM 지연에 의한 재밍 신호의 지연을 확인할 수 있다. 그림 8(b)에서, 시간에 대한 신호의 미분을 통해 선단이 시작되는 지점과 재밍 신호가 시작되는 지점을 확인할 수 있다. 그림 8(c) 및 그림 8(d)의 도플러 신호처리 결과로부터 선단 탐지를 통해 재머의 신호가 제거됨을 확인할 수 있으며, 선단 추적기의 경우 신호의 선단 부분만을 사용하기 때문에, 원신호와 비교하여 해상도가 상대적으로 감소한 것 또한 확인할 수 있다.

그림 9는 DRFM 지연에 따른 탐지율을 보여준다. DRFM의 지연에 의한 영향만을 분석하기 위하여, JSR을 3 dB로, JSNR은 3 dB로 설정하였다. 특정 지연 크기 이전까지는 선단 추적기가 정상적인 동작을 하지 못하나, 그 이후부터 높은 탐지율을 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 이는 DRFM의 신호 복제 성능이 우수하여, 빠른 시간

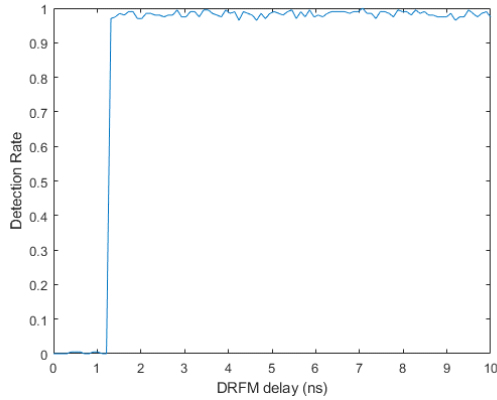


그림 9. DRFM 지연에 따른 탐지율(JSR=3 dB, JSNR=3 dB)  
Fig. 9. Detection rate as DRFM delay (JSR=3 dB, JSNR=3 dB).

내에 기만 신호를 생성한다면, 획득한 신호의 선단의 정보 정확도가 크게 감소하는 것을 보여준다. 이론적인 측면에서, 설정한 DRFM 샘플링 주파수에 따른 지연의 크기를 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$f_d = f_s t_d \quad (2)$$

식 (2)에서  $f_d$ 는 디지털 신호에서 DRFM 지연에 의해 발생하는 지연 크기를 의미하며,  $f_s$ 는 샘플링 주파수를,  $t_d$ 는 DRFM 지연을 의미한다. 선단 추적기는 DRFM 지연에 의한 차이를 찾아내며, 시뮬레이션 설정에서  $f_d$ 가 1이 되기 위한 DRFM의 지연은 1.25 ns가 되며, 이는 그림 9의 탐지율이 크게 상승하는 시점과 동일한 것을 확인할 수 있다. 즉, 선단 추적기의 RGPO 재밍 대응 성능과 RGPO 재머의 DRFM 지연 및 샘플링 주파수가 크게 연관되어 있음을 확인할 수 있다.

그림 10은 JSR에 따른 탐지율을 보여주며, 재밍 신호에 대한 영향만을 분석하기 위하여 JSNR은 3 dB로, DRFM 지연은 100 ns로 설정하였다. 재밍 신호의 크기가 표적 신호에 비해 증가하게 된다면 CFAR 탐지 수행 시 설정하는 임계값이 증가하게 되며, 재밍 신호와 비교하여 크기가 작은 선단 부분의 정상적인 탐지가 어려워지게 됨을 확인할 수 있다.

그림 11은 JSNR에 따른 탐지율을 보여주며, 기만 신호의 크기를 고정하고 잡음의 영향에 따라 재밍 효과도를 얼마나 향상할 수 있는지를 분석하기 위하여, JSR은 3 dB

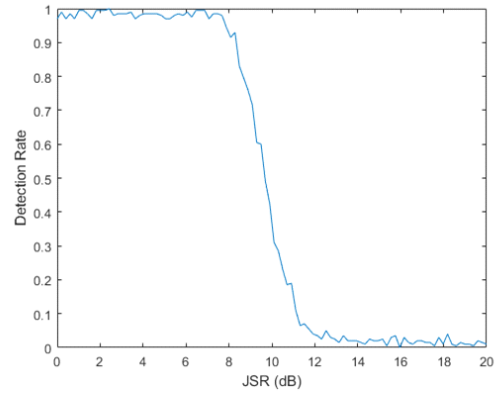


그림 10. JSR에 따른 탐지율(JSNR=3 dB, DRFM 지연=100 ns)  
Fig. 10. Detection rate as JSR (JSNR=3 dB, DRFM delay=100 ns).

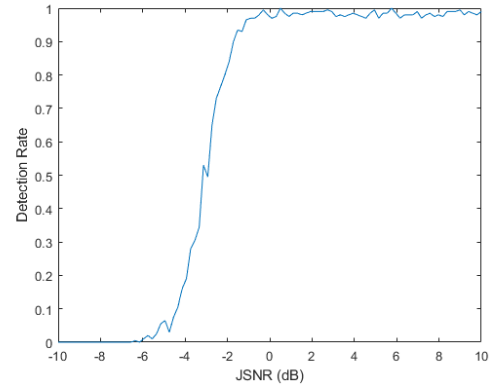


그림 11. JSNR에 따른 탐지율(JSR=3 dB, DRFM 지연=100 ns)  
Fig. 11. Detection rate as JSNR (JSR=3 dB, DRFM delay=100 ns).

로, DRFM 지연은 100 ns로 설정하였다. JSNR이 감소할수록 수신한 신호에 대해 잡음이 관여하는 비율이 증가하게 되며, 획득 신호의 선단 부분이 잡음에 의해 오염되어 선단 추적기의 탐지율이 떨어짐을 확인할 수 있다. 제시한 실험 결과와 같이, 단순히 재머 신호의 크기 혹은 잡음 신호의 크기를 증가시키거나, DRFM 지연을 줄인다면 선단 추적기의 대응 성능이 감소하는 것은 자명하나, 여러 요소가 복합적으로 작용하였을 때, 선단 추적기의 재밍 대응 성능이 얼마나 감소하는지 또한 분석할 필요가 있다.

그림 12는 DRFM 지연 및 JSR의 변화에 따른 탐지율을 보여주며, JSNR은 3 dB로 설정하였다. 그림 9와 비교하



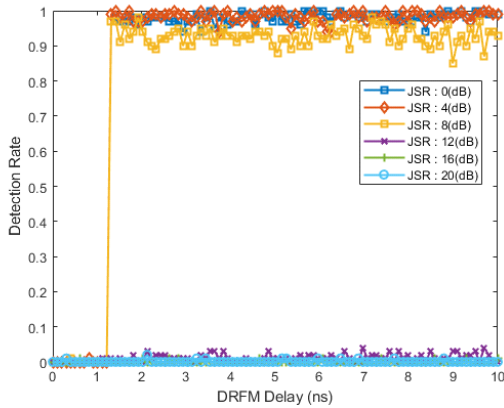


그림 12. DRFM 지연 및 JSR에 따른 탐지율(JSNR=3 dB)  
Fig. 12. Detection rate as DRFM delay and JSR (JSNR=3 dB).

여, 재밍 신호의 크기가 충분히 크다면, DRFM 지연이 크게 발생하는 상황에서도 기만 신호가 탐지 임계값을 크게 증가시키고 이에 따라 선단 탐지를 어렵게 만들어 재밍 대응 성능을 떨어뜨리는 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 DRFM 지연 및 JSNR의 변화에 따른 탐지율을 보여주며, JSR은 3 dB로 설정하였다. 그림 9와 비교하여, DRFM 지연이 크게 발생하는 상황에서도 재머에 포함된 잡음의 크기가 충분히 크다면, 선단 부분이 오염되어 탐지를 어렵게 만들어 선단 추적기의 재밍 대응 성능을 떨어뜨리는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 JSNR 및 JSR의 변화에 따른 탐지율을 보여주며, DRFM 지연은 100 ns로 설정하였다. 그림 14로부터,

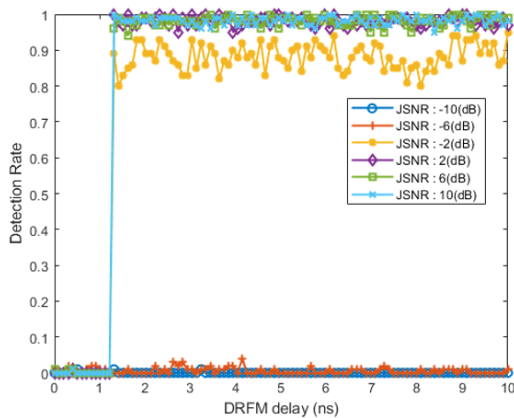


그림 13. DRFM 지연 및 JSNR에 따른 탐지율(JSR=3 dB)  
Fig. 13. Detection rate as DRFM delay and JSNR (JSR=3 dB).

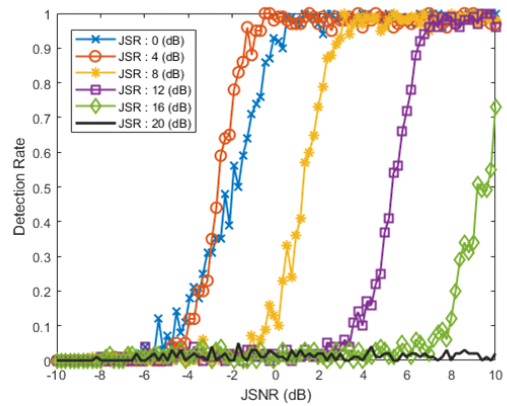


그림 14. JSNR 및 JSR의 변화에 따른 탐지율(DRFM 지연=100 ns)  
Fig. 14. Detection rate as JSNR and JSR (DRFM delay=100 ns).

단순히 기만 신호의 크기가 증가함에 따라 선단 추적기의 대응 성능이 감소함을 확인할 수 있지만, 기만 신호에 의도적으로 잡음을 더한다면 동일한 크기의 기만 신호를 사용하여도 선단 추적기의 성능을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

수행한 시뮬레이션으로부터, pull-off 기반 기만 재밍 기법의 DRFM 지연, JSR 및 JSNR값들에 따른 선단 추적기의 대응 성능을 분석할 수 있다. 또한, 각각의 단일 요소만으로도 선단 추적기의 대응 성능이 감소할 수 있지만, 재머 및 잡음 신호의 크기와 DRFM 지연의 크기와 같은 기만 재머의 여러 요소를 복합적으로 고려한다면 상대적으로 떨어지는 하드웨어적인 성능에도 선단 추적기의 성능이 감소할 수 있음을 확인할 수 있다.

수행한 시뮬레이션으로부터, pull-off 기반 기만 재밍 기법의 DRFM 지연, JSR 및 JSNR값들에 따른 선단 추적기의 대응 성능을 분석할 수 있다. 또한, 각각의 단일 요소만으로도 선단 추적기의 대응 성능이 감소할 수 있지만, 재머 및 잡음 신호의 크기와 DRFM 지연의 크기와 같은 기만 재머의 여러 요소를 복합적으로 고려한다면 상대적으로 떨어지는 하드웨어적인 성능에도 선단 추적기의 성능이 감소할 수 있음을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 pull-off 방식의 기만 재밍 기법에 대응한 선단 추적기를 시뮬레이션하고 기만 재머의 각종 지표에 따른 선단 추적기의 재밍 대응 효과도 분석을 수행하였다. 제시한 시뮬레이션을 통해 기만 재머의 DRFM 지연, JSR 및 JSNR이 선단 추적기의 선단 탐지 성능에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 여러 요소들이 복합적으로 고려되었을 때 자원적인 측면이나 요구되는 하드웨어 성능과 같은 측면에서 각각의 요소의 성능이 떨어

지더라도 선단 추적기의 대응 성능을 효과적으로 떨어트림을 확인할 수 있다. 이러한 성능 분석으로부터, pull-off 기반 기만 재밍 기법에 대응하여 선단 추적기를 사용할 때 재밍 대응 신뢰도를 평가할 수 있으며, 반대로 선단 추적기가 존재하는 상황에서 재밍을 수행할 시 효과적인 재머 자원 할당 방법이나 요구되는 하드웨어 성능을 분석할 수 있을 것이다.

## References

- [1] G. W. Stimson, *Introduction to Airborne Radar*, 2nd ed. Raleigh, NC, SciTech, 1998.
- [2] B. R. Mahafza, *Introduction to Radar Analysis*, New York, NY, Chapman and Hall/CRC, 2017.
- [3] S. H. Lee, N. H. Jeong, Y. I. Choi, S. G. Hong, S. S. Oh, and I. S. Na, et al., "An analysis of spot noise jamming technique in a monopulse sensor," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 3, pp. 237-245, Mar. 2017.
- [4] S. S. Kim, J. H. Kim, S. W. Cho, J. H. Ko, and J. Jo, "Development of pulse-tracking noise-generation DRFM (digital radio frequency memory) using phase synthesis," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 9, pp. 780-787, Sep. 2020.
- [5] Y. H. Kim, B. J. Moon, S. G. Hong, K. M. Sung, Y. I. Jeon, and I. S. Na, "Implementation of VGPO/VGPI velocity deception jamming technique using phase sampled DRFM," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 7, pp. 955-961, Jul. 2021.
- [6] T. H. Kim, S. Y. Beak, H. W. Jeon, J. H. Park, S. W. Lee, and M. I. Kang, et al., "Design and test analysis of countermeasures against deceptive jamming for fighter radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 35, no. 2, pp. 157-167, Feb. 2024.
- [7] F. Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, 3rd ed. Raleigh, NC, SciTech, 2018.
- [8] J. Genova, *Electronic Warfare Signal Processing*, Norwood, MA, Artech House, 2018.
- [9] D. C. Schleher Curtis, *Introduction to Electronic Warfare*, Dedham, Artech House, 1986.
- [10] S. Jang, S. Kim, "Radar countermeasure and effect analysis for the pull-off deceptive jamming signal," *Journal of the Korean Institute of Military Science and Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 221-228, Jun. 2020.

이 건 [포항공과대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-6607-5177>



2019년 8월: 경북대학교 전자공학부 (공학사)

2021년 8월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

2021년 9월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정

[주 관심분야] 레이더 신호처리

김 효 정 [포항공과대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0003-6623-7158>



2023년 2월: 경북대학교 전자공학부 (공학사)

2023년 2월~현재: 포항공과대학교 전자공학과 (석사과정)

[주 관심분야] 레이더 신호처리, FMCW 레이더, Human Detection



성진용 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0003-1384-4165>



2023년 2월: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 (공학사)  
2023년 1월~현재: LIG넥스원 전자전연구소 연구원  
[주 관심분야] 전자전 EA 시스템, 디지털 신호처리

김준혁 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0006-8163-7493>



2024년 2월: 경북대학교 전자공학부 (공학사)  
2024년 1월~현재: LIG넥스원 전자전연구소 연구원  
[주 관심분야] 전자전 EA 시스템, 디지털 신호처리

변우주 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0007-5118-6545>



2023년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)  
2023년 1월~현재: LIG넥스원 전자전연구소 연구원  
[주 관심분야] EW, SW 등

김경태 [포항공과대학교/정교수]

<https://orcid.org/0000-0003-1200-5282>



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)  
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전자공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
2012년 9월~2017년 12월: 레이더/IR 표적식별 특화연구실실장  
2018년 1월~현재: 무인감시정찰기술연구센터장  
2019년 4월~현재: 차세대 영상레이다시스템 연구센터장  
2020년 11월~현재: 차세대 국방융합기술 연구센터장  
[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정