

# 교차위상 재밍 상황에서 지표 산란에 대한 레이더 각도 추적 영향 분석

황현진, 유승형, 박소령

가톨릭대학교

mallang@catholic.ac.kr

## Effects of the Scattered Field by Terrain Bounce on Radar Angle Tracking Under Cross-Eye Jamming

Hyun Jin Hwang, Seung Hyeong Yoo, So Ryoung Park

The Catholic University Of Korea

### 요 약

본 논문은 교차위상 재밍(cross-eye jamming) 상황에서 재밍 신호의 지표 반사(terrain bounce)를 고려하여 레이더 각도 추적에 미치는 영향을 모델링한다. 레이더의 각도 추적은 진폭 감지(amplitude sensing)와 합-차(sum-difference) 검출의 모노펄스(monopulse) 방식을 사용한다. 지표 반사로 인해 생성된 전체 산란장(scattered field)에 대한 분석을 바탕으로 레이더의 각도 추적 오차를 계산하여 교차위상 재밍의 성능을 높일 수 있는 방법을 제시한다.

### I. 서론

본 논문은 교차위상 재밍(cross-eye jamming) 상황에서 재밍 신호의 지표 반사(terrain bounce)를 고려하여 레이더 각도 추적에 미치는 영향을 모델링한다. 레이더의 각도 추적은 진폭 감지(amplitude sensing)와 합-차(sum-difference) 검출의 모노펄스(monopulse) 방식을 사용한다. 교차위상 재밍 기법은 능동적으로 레이더 위협체를 교란하기 위한 각도기만(angle deception) 재밍 기법으로, 낮은 출력으로도 효과적으로 각도 추적을 교란할 수 있다[1]–[3].

교차위상 재밍 방식에서 지표 반사는 가상의 산란된 신호원이 추가되는 형태로 간주된다. 본 논문에서는 지표 반사로 인해 생성된 전체 산란장(scattered field)에 대한 분석을 바탕으로 레이더의 각도 추적 오차를 계산하여 교차위상 재밍의 성능을 높일 수 있는 방법을 제시한다.

### II. 본론

고르지 않은(rough) 지표에서의 반사는 하나의 신호원(point source)이 하나의 가상 신호원(point image)을 생성하는 모형보다는 확장된(extended) 가상 신호원을 가지는 모형이 된다. 지상의 한 점에서의 전력장 입사(field incident)는 확장된 신호원(extended source) 또는 확장된 지표 영역(extended area)으로부터 온 것처럼 보이며, 이 확장된 지표 영역을 섬광 영역(glistening area)이라고 부른다. 고르지 않은 지구 모형의 지표를 평평한 지구 모형의 값과 비슷한 진폭과 위상으로 변동하는 작은 영역들로 나눌 수도 있는데, 이때 전체 산란장(scattered field)은 평평한 지구 모형의 값에서  $\rho_s$  만큼 진폭 감소된 가상 신호원에 의해 발생하는 동위상(coherent) 전력장과 섬광 영역 내의 신호원들에 의해 발생하는 확산(diffuse) 전력장의 합으로 표현 가능하다. 지표 위 한 점에서 확장된 신호원에 의해 발생하는 전체 확산 전력장과 원래의 신호원으로부터 직접 도달하는 전력장의 비율을 확산 산란 계수  $\rho_d$ 로 정의한다. 각도기만 재밍에서 지표 반사의 기하학적 모형은 아래 그림으로 나타낼 수 있다[4].

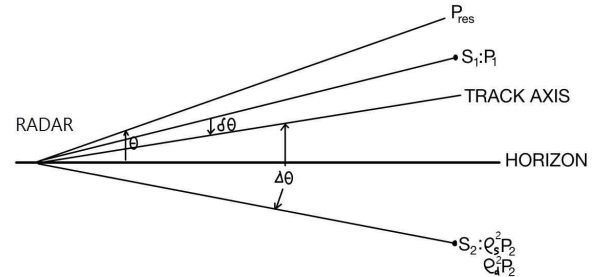


그림1. 각도기만 재밍에서 지표 반사 모형

그림 1에서  $P_1$ 과  $P_2$ 는 각각 재밍 신호원  $S_1$ 과 재밍이 지표 반사된 가상 신호원  $S_2$ 의 전력밀도이고,  $P_{res}$ 는 재밍 결과에 해당하는 동위상(coherent) 전력밀도이다. 또한,  $\theta$ 는 재밍으로 발생한 각도 오차이고,  $\delta\theta$ 와  $\Delta\theta$ 는 각각 레이더 추적 축과  $S_1$ ,  $S_2$  사이의 각도이다. 이 모형을 바탕으로 재밍의 송신 안테나는 레이더를 직접적으로 가리키는 것이 아니라 지표를 가리키며, 입사 재밍 신호가 모두 지표로부터 반사된다고 가정할 때 전력밀도  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_{res}$ 를 각각 다음과 같이 얻을 수 있다[4].

$$P_1 = \frac{P_r G_{r1}}{4\pi R^2} \left( \frac{\lambda^2 G_{jr}}{4\pi} \frac{G G_{j1}}{4\pi R^2} + \frac{\sigma}{4\pi R^2} \right) \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{P_r G_{r1}}{4\pi R^2} \left( \frac{\lambda^2 G_{jr}}{4\pi} \frac{G G_{j1}}{4\pi R^2} \right) \quad (2)$$

$$P_{res} = P_1 + \rho_s^2 P_2 - 2\rho_s \sqrt{P_1 P_2} \quad (3)$$

식 (1)–(3)의 변수에 대한 설명은 표 1로 정리하여 나타내었다. 이제, 다음과 같이 표현되는 재밍대신호비(jamming-to-signal ratio: JSR)와

$$(J/S)_o = \frac{\lambda^2 G_{jr}}{4\pi} \frac{G G_{j1}}{\sigma} \quad (4)$$

확산 전력장을 고려하면 표적에 대한 정규화된 각도 오차를 다음과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$\frac{\delta\theta}{\Delta\theta} = -\frac{\beta}{1-\beta} + \frac{1}{1-\beta} \times \quad (5)$$

$$\frac{\rho_d^2}{\rho_d^2 + \rho_s^2 - 2\rho_s \sqrt{\frac{G_{j2}}{G_{j1}} + \frac{1}{(J/S)_o}} + \left( \frac{G_{j2}}{G_{j1}} + \frac{1}{(J/S)_o} \right)}$$

여기서  $\beta$ 는 다음과 같은 동위상 전력밀도의 비율이다.

$$\beta^2 = \rho_s^2 \frac{P_2}{P_1} = \frac{\rho_s^2}{\frac{G_{j2}}{G_{j1}} + \frac{1}{(J/S)_o}} \quad (6)$$

표 1. 식 (1)과 (2)의 변수 설명

변수	설명
$P_r$	레이더의 방사 전력
$G_{r1}$	표적 방향의 레이더 안테나 이득
$G_{r2}$	지표 방향의 레이더 안테나 이득
$\lambda^2 G_{jr}/4\pi$	재머 수신 안테나의 유효 영역
$G$	재머 이득
$G_{j1}$	지표 방향의 재머 송신 안테나 최대 이득
$G_{j2}$	표적 방향의 재머 송신 안테나 최대 이득
$\sigma$	표적의 RCS(radar cross-section)

먼저, 동위상 전력장이 존재하지 않을 경우, 즉, 재밍이 없을 경우에 지표 반사에 의한 각도 오차를 확인하기 위하여,  $\rho_s = 0$ 으로 두었을 때 재밍대신호비에 따른 각도 오차를 그림 2에서 나타내었다. 지표 반사에 따른 확산 산란 계수  $\rho_d$ 가 클수록 각도 오차가 커지고, 표적 방향과 지표 방향의 재머 송신 안테나 최대 이득 비율인  $G_{j2}/G_{j1}$ 이 작아질수록 각도 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다.

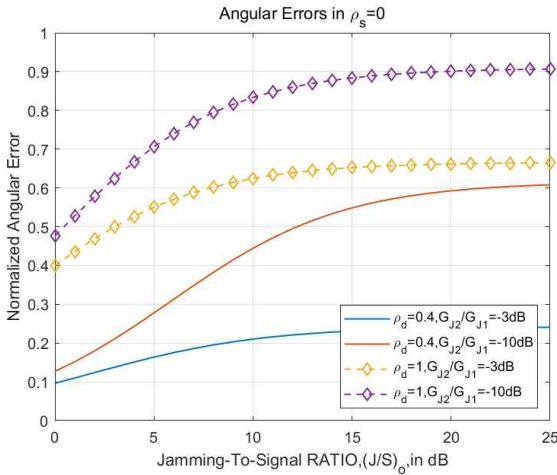


그림 2.  $\rho_s = 0$ 일 때의 정규화된 각도 오차

그림 3에서는 그림 2를 바탕으로  $G_{j2}/G_{j1}$ 을  $-10$  dB로 고정한 상태에서 몇 가지  $\rho_s$ 와  $\rho_d$  값에서 각도 오차를 확인한 결과이다.  $\rho_d$ 가 일정할 때  $\rho_s$ 가 커질수록 각도 오차가 증가하고,  $\rho_d = 1$ 이고  $\rho_s = 0.3$ 일 때에는 정규화된 각도 오차가 1로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

그림 4에서는  $\rho_d = 0.4$ 로 고정하고  $\rho_s$ 와  $G_{j2}/G_{j1}$ 을 변화시키면서 재밍대신호비에 따른 정규화된 각도 오차를 나타내었다. 결과적으로  $\rho_s$ 가 클수록,  $G_{j2}/G_{j1}$ 이 작을수록 각도 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다.

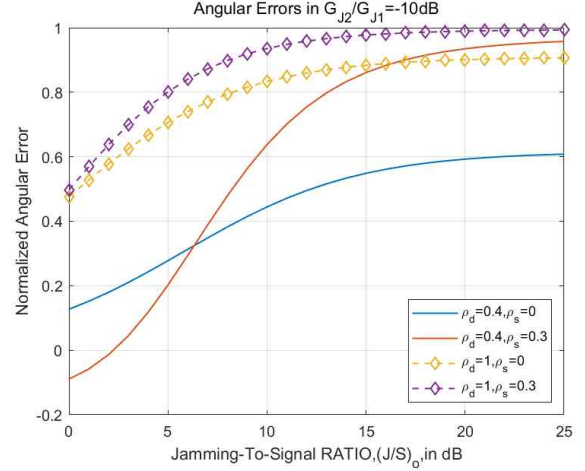


그림 3.  $G_{j2}/G_{j1} = -10$  dB일 때의 정규화된 각도 오차

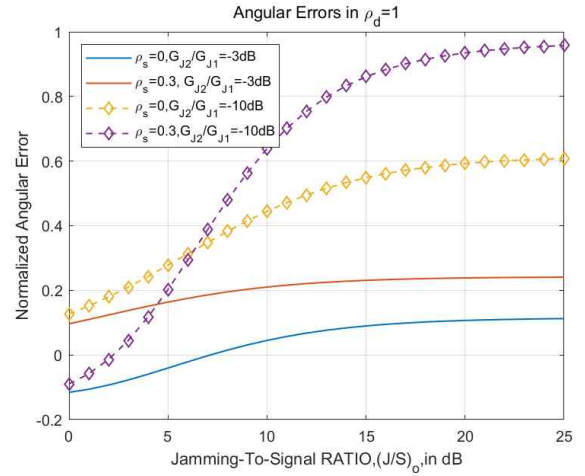


그림 4.  $\rho_d = 0.4$ 일 때의 정규화된 각도 오차

### III. 결론

본 논문에서는 모노펄스 각도 추적 레이더에 대한 교차위상 재밍 기법의 효과를 살펴보기 위해 지표 반사를 고려한 재밍 모형을 분석하고, 동위상 산란 계수  $\rho_s$ 와 확산 산란 계수  $\rho_d$ 를 변화시키면서 재밍대신호비에 따른 정규화된 각도 오차를 제시하였다.

재밍이 없을 경우, 확산 산란 계수  $\rho_d$ 가 클수록,  $G_{j2}/G_{j1}$ 가 작을수록 각도 오차가 커짐을 볼 수 있었다. 재밍이 존재할 때,  $\rho_d$ 가 일정할 때 동위상 산란 계수  $\rho_s$ 가 커질수록 각도 오차가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] 이일근, 박동철, 유태선, 명로훈, 임중수, 조용희, 강희창, 레이더 공학 과 전자전 응용, 대영사, 2006년
- [2] 장연수, 이창훈, "단일 송수신기 구조의 크로스 아이 기법", 한국군사 과학기술학회지, 29권 5호, 598-605쪽, 2016년 10월.
- [3] 장연수, 박진태, 이창훈, 김인선, 김기백, 조상왕, "모노펄스 센서에 대한 크로스 아이 재밍기법의 각도기반 성능 실험", 한국전자과학회논문지, 29권 2호, 146-149쪽, 2018년 2월.
- [4] August Golden, Radar Electronic Warfare, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 1987.