

Analysis on SNR of target-echo signal according to the beam pattern of an FM transmitter

Geun-Ho Park, Dong-Gyu Kim, Ho Jae Kim (Pusan National Univ.), Jin-Oh Park, Jae Heon Ko, Won-Jin

Lee (LIG Nex1), Hyoung-Nam Kim[©] (Pusan National Univ.)

요약

FM (frequency modulation) 기반의 PCL (passive coherent location) 시스템은 서로 이격된 FM 송신기와 수신기를 이용하여 표적의 위치 및 속도를 추정하는 수동형 레이더 시스템으로서, 표적으로부터 반사된 FM 신호의 획득 및 탐지가 표적의 위치 추정을 위한 전제 조건이 된다. 표적반사 신호의 탐지 성능은 표적으로부터 반사된 신호의 SNR (signal-to-noise ratio) 로부터 결정되기 때문에, 표적반사 신호의 SNR을 분석 및 예측하는 과정이 필요하며, 이를 바이스테틱 레이더 방정식으로부터 유도할 수 있다. 하지만, FM 송신기는 일반적으로 고도가 높은 위치에서 고도가 상대적으로 낮은 지역에 신호를 방사하기 때문에, 송신기에 비해 높은 고도 (9~12 km)에서 이동하는 표적에 대한 반사 신호의 SNR에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 FM 송신기 안테나의 빔 패턴을 고려하여 표적반사 신호의 SNR을 유도하고, 유도한 결과로부터 FM 송신기의 빔 패턴이 표적반사 신호의 SNR에 미치는 영향을 분석 및 정리한다.

I. 서론

FM (frequency modulation) 기반의 PCL (passive coherent location) 위치 탐지 시스템은 고속으로 이동하는 표적으로부터 반사된 FM 상용 방송신호를 획득하고, 표적반사 신호로부터 바이스테틱 거리 및 도플러 주파수를 추정하는 과정과 거리 및 도플러 추정 값으로부터 표적의 위치와 속도를 추정하는 두 단계로 구분된다. 표적의 위치 및 속도 추정 성능은 표적반사 신호로부터 추정된 바이스테틱 거리 및 도플러 추정 정확도에 따라 결정되며, 거리 및 도플러 주파수 정확도는 표적반사 신호의 SNR (signal-to-noise ratio)에 따라 결정되기 때문에[1], 다양한 신호 수신 환경에 따른 SNR 분석이 필수적으로 요구된다.

표적반사 신호에 대한 SNR은 바이스테틱 레이더 방정식으로부터 계산할 수 있다[2]. 하지만, FM 송신소는 전파 방해물을 회피하고 가청권역 (audible area)을 넓히기 위해 고지대에 배치되기 때문에, FM 송신기는 고도각에 대한 FM 송신 안테나의 송신 파위를 상대적으로 저지대에 집중할 수 있도록 설계된다[3]. 따라서, 본 논문에서는 FM 송신기의 고도각에 따른 빔 패턴이 표적반사 신호의 SNR에 미치는 영향을 분석하기 위하여, FM 송신기의 빔 패턴에 의해 발생하는 표적반사 신호의 감쇄 정도에 대해 분석하며, FM 송신기의 빔 패턴을 고려하는 바이스테틱 레이더 방정식으로부터 표적반사 신호의 SNR을 유도하여 FM 송신기의 빔 패턴이 표적반사 신호의 감쇄에 미치는 영향을 분석한다.

II. FM 송신 빔 패턴을 고려한 바이스테틱 레이더 방정식 유도

그림 1은 송신기, 표적, 수신기가 형성하는 바이스테틱 기하 구조를 나타낸 것으로서, 바이스테틱 레이더 방정식은 그림 1에서의 송신기-표적-수신기로 이어지는 전파 이동 거리 r_1 , r_2 에 의한 감쇄를 반영하여 표적반사 신호의 SNR을 계산할 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SNR = \frac{P_r}{P_n} = \sigma_b \frac{P_t G_t}{(4\pi r_1 r_2)^2} \cdot \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{L}{k T_0 B F} \quad (1)$$

식 (1)의 파라미터와 본 논문에서 사용하는 파라미터의 값은 다음과 같다.

- P_r : 수신 신호 전력
- G_r : 수신 안테나 이득 (9 dB)
- P_n : 잡음 전력
- λ : 신호 파장 (3.2 m)

- σ_b : 바이스테틱 레이더 반사 면적 ($\sigma_b = 10 \text{ m}^2$)
- L : 시스템 손실 (-5 dB)
- r_1 : 송신기-표적 거리
- k : Boltzmann 상수
- r_2 : 표적-수신기 거리
- T_0 : 잡음 온도 (290 K)
- F : 수신기 잡음 지수 (20 dB)
- B : 유효 대역폭 (50 kHz)
- P_t : 송신 전력, G_t : 송신 안테나 이득 ($P_t G_t = 250 \text{ kW}$)

식 (1)로부터 유도되는 표적반사 신호의 SNR은 r_1 과 r_2 에 대한 변수로 나타나지만, 고도각에 대한 FM 송신기의 빔 패턴을 고려할 경우에 대한 표적반사 신호의 SNR은 송신기와 표적이 이루는 고도각에 대한 변수가 추가되어야 한다. 표적과 송신기 사이의 고도각을 θ , 지향각에 대해 0 dB의 이득을 가지는 정규화된 빔 패턴을 $\tilde{b}(\theta)$ 라 하면, 고도각에 따른 빔 패턴을 고려한 바이스테틱 레이더 방정식은 식 (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$SNR_e = \frac{P_r}{P_n} = \sigma_b \tilde{b}(\theta) \frac{P_t G_t}{(4\pi r_1 r_2)^2} \cdot \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{L}{k T_0 B F} \quad (2)$$

본 논문에서 고도각 θ 는 지표면과 이루는 각도로 정의한다. 3 장에서는 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 표적반사 신호에 대한 SNR을 유도한다.

III. 표적반사 신호의 SNR 분석

FM 송신기에 대한 고도각의 빔 패턴은 그림 2와 같다[3]. FM 송신기의 송신 파위가 가장 높은 각도는 고도각 0° 이며, 고도각 30° 에서는 -15 dB의 낮은 송신 파위를 나타낸다. 따라서, FM 송신기의 빔 패턴으로 인해 송신기와 표적이 이루는 고도각이 증가할수록 송신 파위가 감소하며, 이는 송신기에 근접한 위치에서 표적이 기동할 경우, 표적의 탐지 성능이 급격히 저하된다는 것을 예상할 수 있다. FM 송신기에 대한 빔 패턴은 고도각이 0° 에서 30° 일 때의 값만 주어지 있어, 본 논문의 모의실험에서는 고도각이 30° 이상일 때 송신 파위가 -15 dB 감쇄한다고 가정하였다.

그림 3은 9 km의 고도에서 기동하는 표적의 모든 위치에 대해, FM 송신

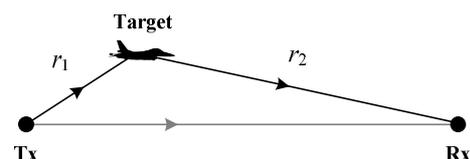


그림 1. 바이스테틱 기하 구조.

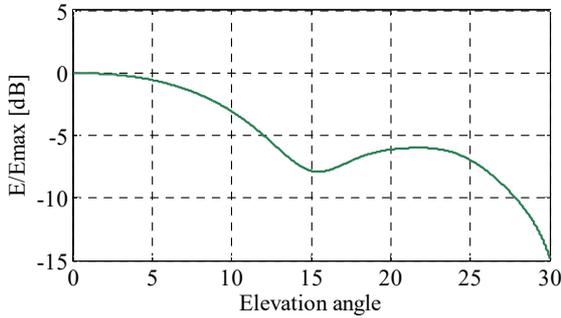


그림 2. FM 송신기의 고도각에 따른 빔 패턴[3].

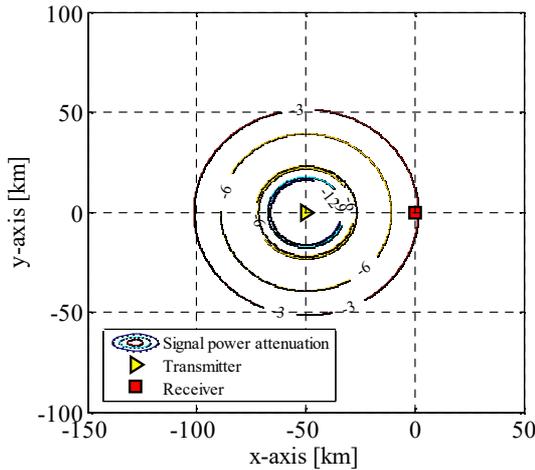


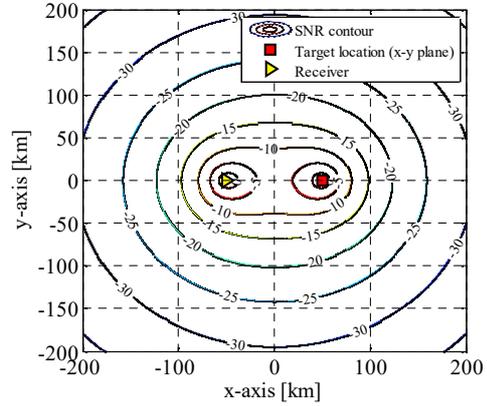
그림 3. 송신기의 빔 패턴에 의한 표적반사 신호의 파워 감쇄.

기의 빔 패턴에 의한 신호 파워 감쇄를 그래프로 나타낸 것으로서, 송신기의 위치 (-50, 0) km를 기준으로 50 km 이격된 위치에서 -3 dB의 신호 파워 감쇄가 발생하며, 송신기에 근접한 위치에서 표적반사 신호의 감쇄가 급격히 증가하는 특징을 나타낸다. 반면에 송신기로부터 50 km 이상 이격된 표적의 위치에서는 고도각이 0°에 근접하기 때문에, 송신기의 빔 패턴에 의한 표적반사 신호의 감쇄는 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

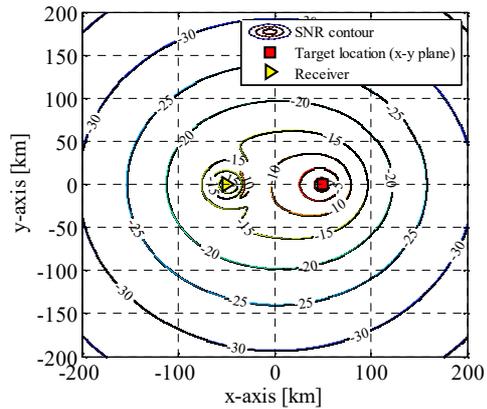
그림 4는 바이스태틱 레이더 방정식과 2 장에서 정리한 모의실험 파라미터를 이용하여 모든 표적의 위치에 대한 SNR을 등고선 그래프로 나타낸 것으로서, 그림 4의 (a)는 식 (1)을 이용하여 나타내었고, (b)는 식 (2)로부터 유도되었다. 그림 4의 계산에서 표적은 9 km의 고도로 기동한다고 가정하였다. 그림 4의 (a)와 (b)에서 송신기-수신기 교점인 원점으로부터 200 km 이격된 위치에서 표적반사 신호에 대한 SNR은 약 -30 dB로 거의 동일한 것을 확인할 수 있으나, 송신기에 근접하는 위치에서는 표적반사 신호의 SNR 계산 결과에 큰 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 그림 3에서의 분석 결과와 일치하는 것으로서, 표적이 송신기에 근접할수록 표적반사 신호의 SNR이 급격히 감소하는 경향을 보인다. 그림 4 (a)에서는 표적반사 신호의 SNR이 송신기 근처에서 0 dB 이상이 될 것으로 예측되는 반면에, 그림 (b)에서는 송신기 근처에서 -15 dB 이하의 SNR이 나타날 것으로 유도된다. 그림 2에서 나타낸 빔 패턴은 30° 이상의 고도각에서는 정보가 주어지지 않으나, 빔 패턴 값이 감소하는 경향을 고려할 때, 송신기의 위치에 근접하여 표적이 기동하는 경우 표적반사 신호의 SNR이 매우 낮아 탐지가 어려울 것으로 판단된다.

III. 결론

본 논문에서는 FM 송신기안테나의 고도각에 대한 빔 패턴을 고려한 바이스태틱 레이더 방정식으로부터 표적반사 신호의 SNR을 유도하였다. 모



(a)



(b)

그림 4. 표적의 위치에 따른 표적반사 신호의 SNR : (a) 송신기 빔 패턴을 고려하지 않은 경우, (b) 송신기 빔 패턴을 고려한 경우.

의실험 결과에서 확인할 수 있듯이, 100 km 이상 이격된 표적에 대해서는 고도각이 0°에 근접하기 때문에 표적반사 신호의 SNR이 FM 송신기의 빔 패턴에 큰 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 표적이 송신기 근처에서 기동하는 경우에는 고도각에 따른 빔 패턴에 의해 표적반사 신호의 SNR이 급격히 감소하는 경향을 보인다. FM 송신기의 빔 패턴이 고도각 0°에서 30°에 대한 정보만 존재하지만, 고도각 증가에 따른 빔 이득 감소 경향을 고려하면 송신기 근처에서 기동하는 표적에 대한 표적반사 신호는 수신기로부터 탐지되지 않을 확률이 매우 높다고 예상할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 LIG Nex1의 “PCL 위치탐지기술 연구 (계약번호 Y16-009)”에 대한 연구용역으로 수행하였음.

참고 문헌

[1] A. Noroozi, and M. A. Sebt, “Target Localization from Bistatic Range Measurements in Multi-Transmitter Multi-Receiver Passive Radar,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 22, no. 12, pp. 2445-2449, Dec. 2015.

[2] H. D. Griffiths and C. J. Baker, “Passive coherent location radar systems. Part 1: performance prediction,” *IET Radar Sonar & Navigation*, vol. 152, no. 3, pp. 153-159, Jun. 2005.

[3] <http://www.rfsworld.com/product-solutions-results,560,1.html?sol=tv-radio/>