

FM 스테레오 신호 기반 PCL 시스템의 수신 신호 모델링

김호재, 김동규, 박근호, 박진오*, 고재현*, 김형남[©]
 부산대학교, *LIG Nex1

hnkim@pusan.ac.kr[©]

Modeling of a received signal in FM stereo based PCL systems

Ho Jae Kim, Dong-Gyu Kim, Geun-Ho Park, Jin-Oh Park*, Jae-Heon Ko*,
 Hyoung-Nam Kim[©]
 Pusan National Univ., *LIG Nex1

요약

바이스태틱 레이더를 이용한 표적 추정에 관한 연구는 기존의 모노스테틱 레이더의 위치 노출의 위험에 대비할 수 있는 특성으로 인해 최근 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 방송 신호를 이용한 PCL 연구는 외국에서 활발히 진행되고 있지만 국내에는 관련 연구가 거의 없는 상황이다. 향후 국내에 적합한 PCL 연구를 진행하기 위해서 국내 상용 FM 스테레오 신호를 신호원으로 이용하는 PCL 수신 신호 모델링이 필요할 것으로 예상되며 이를 위해 본 논문에서는 FM 스테레오 신호 기반 PCL 수신 신호를 모델링하고 그 결과를 제시한다.

I. 서론

표적의 위치를 추정 및 추적하기 위해 활용되는 기존의 모노스테틱 레이더 (Monostatic Radar)는 송신단과 수신단이 같은 위치에 있는 특성으로 인해 탐지 능력을 통하여 위치 노출의 위험이 있다. 따라서, 이에 대한 대안으로 송신기와 수신기가 분리된 바이스태틱 레이더(Bistatic Radar)가 주목을 받고 있다[1]. 바이스태틱 레이더 시스템 중에서 방송신호를 신호원으로 이용하여 표적의 위치를 탐지하는 수동 바이스태틱 레이더를 PCL(Passive Coherent Location) 시스템이라 한다. 이러한 PCL 시스템은 기존의 방송 인프라를 쉽게 활용할 수 있는 장점으로 인해 외국에서는 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 그러나 국내에서는 PCL 관련 연구는 거의 없는 상황으로, 국내에서도 원활한 대공 감시정찰을 위해서는 PCL 연구 진행이 필요할 것으로 보인다. 이에 따라서 본 논문에서는 국내에 적합한 PCL 시스템 연구의 기반으로 바이스태틱 레이더 기하 구조와 국내 상용 FM(Frequency Modulation) 스테레오(Stereo) 방송 신호를 이용하여 FM 스테레오 신호 기반 PCL 시스템의 수신 신호를 모델링 한다.

II. 바이스태틱 기하 구조

그림 1 과 표 1 은 바이스태틱 레이더의 송신단, 수신단 및 표적간의 기하 구조와 이에 따른 파라미터를 나타낸 것이다. 바이스태틱 레이더는 바이스태틱 거리 (Bistatic Range)로부터 표적의 위치를 추정하며, 도플러 주파수(Doppler Frequency)를 활용하여 표적의 속도 추정 및 클러터 제거를 수행한다[3]. 바이스태틱 거리는 식 (1)과 같이 송신단에서 수신단까지 신호원이 도달한 시간으로 나타낼 수 있으며 수신 신호 모델의 시간 지연 τ 가 된다.

$$\tau = \frac{R_T + R_R}{c} \quad (1)$$

여기서, c 는 빛의 속도를 나타낸다.

도플러 주파수는 표적의 속도에 의해 발생하는 물리적 현상으로 표 1 의 파라미터를 활용하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

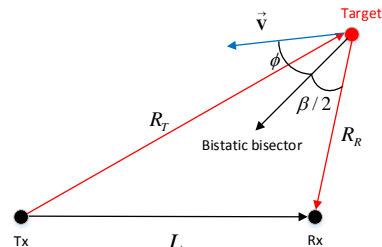


그림 1. 바이스태틱 기하 구조.

표 1. 바이스태틱 기하 구조 파라미터.

Symbol	Meaning
R_T	target-transmitter distance
R_R	target-Receiver distance
L	direct path distance
β	bistatic angle
ϕ	velocity aspect angle
\vec{V}	target velocity

$$f_D = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{d}{dt} R_T + R_R \right] = \frac{2V}{\lambda} \cos(\phi) \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2)$$

여기서, λ 는 파장을, V 는 표적의 속력을 나타낸다.

III. FM 스테레오 신호

PCL 위치추정에 활용되는 다양한 신호원 중에서 FM 신호는 신호 수집이 쉽고, 다중 주파수 망(Multi Frequency Network)을 사용하기 때문에 신호원을 판단하기 쉬우며, 수신기가 비교적 간단한 특성으로 인해 많이 활용되는 신호원이다[4].

$$s(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right] \quad (3)$$

식 (3)은 FM 전송신호를 나타낸 것이고 f_c 는 반송파 주파수, k_f 는 주파수 천이, A_c 는 신호의 세기를 나타낸다. 현재 국내 상용 FM 신호는 그림 2 와 같이 88MHz~108MHz 대역을 사용하며 100 개의 채널이 할당되어 각 채널당 200kHz 대역을 사용한다. 또한, k_f 는 75kHz로 설정하여 각 채널에서 반송파 주파수 기준 $\pm 75kHz$ 대역만을 사용하며 나머지 부분은 보호대역으로 사용한다.

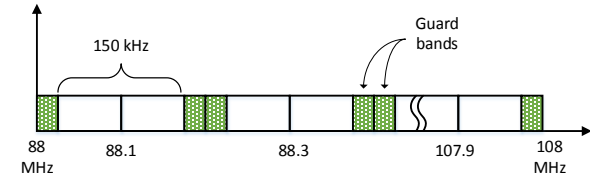


그림 2. 상용 FM 방송 대역.

FM 스테레오 신호는 두 개의 채널(L, R)을 사용하여 전송하는 방식이다. 19kHz 에 pilot 신호를 사용하며 기저대역에는 합 신호를(L+R) 38kHz 에는 차 신호를(L-R) 사용하여 식 (4)와 같이 메시지 신호를 생성한다[5].

$$m(t) = 0.9 \left[\frac{L+R}{2} + \frac{L-R}{2} \sin(4\pi f_p t) \right] + 0.1 \sin(2\pi f_p t) \quad (4)$$

여기서, f_p 는 19kHz를 나타낸다.

III. FM 수신 신호 기반 PCL 수신 신호 모델링

일반적으로 PCL 구성도는 그림 3 과 같이 기준 안테나에서는 송신 신호만을 수신하고, 감시 안테나는 표적의 유·무를 조사한다. 기준 안테나의 수신 신호는 수집시간 동안 송신 신호의 직진 신호만을 수신하며 안테나의 잡음이 포함된 형태로 식 (5)와 같이 모델링 된다.

$$r_{ref}(t) = A_{ref}s(t - \tau_d) + n_{ref}(t) \quad 0 \leq t < T \quad (5)$$

여기서, A_{ref} 는 기준 안테나의 직진 신호 복소 진폭을, τ_d 는 직진 신호의 지연을, n_{ref} 는 기준 안테나의 열 잡음을 나타낸다.

단일 표적과 단일 클러터 상황에서 표적만 속도를 가진다고 가정하여 감시 안테나의 수신 신호를 식(6)과 같이 모델링 하였다.

$$r_{surv}(t) = A_{surv}s(t - \tau_d) + A_{Tg} s(t - \tau_{Tg})e^{j2\pi f_D t} + C s(t - \tau_c) + n_{surv}(t) \quad 0 \leq t < T \quad (6)$$

여기서, A_{surv}, A_{Tg}, C 는 각각 감시 안테나의 직진 신호, 표적 반사 신호, 클러터 반사 신호의 복소 진폭, $\tau_d, \tau_{Tg}, \tau_c$ 는 직진 신호, 표적 반사 신호, 클러터 반사 신호의 시간지연, f_D 는 도플러 주파수, n_{surv} 는 감시 안테나의 열 잡음을 나타낸다. 그림 4 는 모델링 된 송신 신호와 수신 신호를 나타낸 그림이다.

III. 결론 및 고려 사항

본 논문에서는 PCL 위치 추정 시스템 연구의 기반 연구로서, FM 스테레오 신호를 신호원으로 사용하는 PCL 레이더 수신기에서의 수신 신호를 모델링 하였다. 수신 신호 모델링을 기반으로 수신단에서 다양한 신호처리 기법을 사용하여 표적의 위치를 추정 및 추적하는 모의실험을 진행하여 성능을 분석할 수 있다. 또한, 다중 표적과 다중 클러터 상황과 함께 속도를 가지는 클러터를 고려하여 수신 신호를 모델링 할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 LIG Nex1 의 “PCL 위치탐지기술 연구 (계약번호 Y16-009)”에 대한 연구용역으로 수행하였음.

참고 문헌

- [1] 최지환, 신한섭, 김대오, 김태형, “최근 바이스테틱 레이더 기술동향,” *항공우주산업기술동향*, 13 권, 1 호, pp. 160~165, 2015
- [2] H. D. Griffiths, C. J. Baker, “Passive coherent location radar systems part 1: performance prediction,” *IEE Proc. on RSN*, vol. 152, no. 3, pp. 153-159, June 2005
- [3] T. Taso, M. Slamini, P. Varshney, D. Weiner, H. Schwarzlander, “Ambiguity function for a bistatic radar,” *IEEE Trans. Aero. Electron. Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 1041-1051, Jul. 1997.
- [4] J. W. A. Brown, “FM Airborne Passive Radar”, Ph.D Thesis, University College London, April 2005
- [5] R. A. Sevimli, “TARGET DETECTION AND IMAGING ON PASSIVE BISTATIC RADAR SYSTEMS,” M.S thesis. Dep. Electrical and Electronics engineering. Bilkent Univ., pp. 1-10, Sep, 2014.

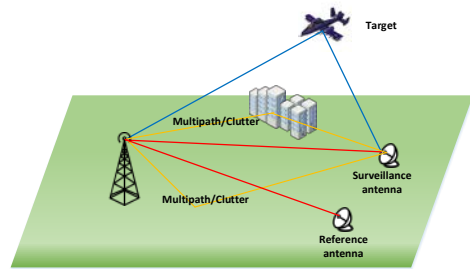


그림 3. PCL 구성도.

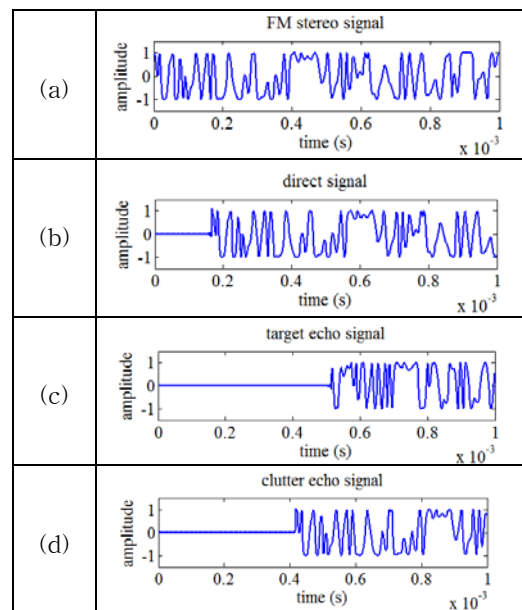


그림 4. (a) FM 송신신호 (b) 직진 신호 (c)타겟 반사 신호 (d) 클러터 반사신호.