

FM 스테레오 신호 기반 PCL 시스템에서 상호상관 함수의 부엽 분석

손소영, 박근호, 김동규, 김지현, 곽현규*, 김형남[Ⓢ]
부산대학교 전자공학과, 국방과학연구소*

hnkim@pusan.ac.kr[Ⓢ]

An Analysis of Sidelobes of the Cross-correlation Function in FM Stereo Signal Based PCL System

So-Young Son, Geun-Ho Park, Dong-Gyu Kim, Ji-Hyeon Kim, Hyungyu Kwak*,
Hyoung-Nam Kim[Ⓢ]
Pusan National Univ., Agency for Defense Development*

요 약

FM (frequency-modulation) 스테레오 신호 기반 PCL (passive coherent location) 시스템은 FM 신호를 이용하여 표적을 탐지하는 기술로서, FM 송신기와 수신기의 직선 거리로 전파되는 직접경로 신호와 표적으로부터 반사되어 수신되는 표적 신호의 상호상관 함수 (cross-correlation function)를 유도하여 표적을 탐지한다. FM 스테레오 신호의 구조로 인해 상호상관 함수의 결과에서 부엽 (sidelobe)이 발생하며, 이는 탐지 (detection) 단계에서 오 경보율 (false alarm rate)을 증가시켜 표적 탐지 성능을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 FM 스테레오 신호의 구조로 인해 상호상관 함수의 결과에서 발생하는 부엽을 시뮬레이션을 통해 분석한다.

I. 서 론

FM 스테레오 신호 기반 PCL 시스템은 FM 송신기와 수신기 사이에 직선 경로로 전파되는 직접경로 신호와 표적으로부터 반사되어 수신되는 표적 신호 간의 지연 시간과 도플러 주파수 차이 정보를 이용하여 표적의 위치와 속도를 추적하는 수동형 레이더 시스템이다. 직접경로 신호와 표적 신호 간의 지연 시간과 도플러 주파수 차이 정보는 두 신호 간의 상호상관 함수를 유도하여 추정한다. 하지만 FM 스테레오 신호의 구조로 인해 상호상관 함수의 결과에서 도플러 주파수 축의 부엽 (sidelobe)이 발생하며, 이러한 부엽은 표적 신호를 탐지하기 위한 단계에서 오 경보율을 증가시켜 표적 탐지 성능을 저하시킬 수 있다[1].

따라서 본 논문에서는 FM 스테레오 신호의 구조로 인해 발생하는 부엽의 경향성을 수식으로 정리한다. 또한, 여러가지 음원 파일을 이용하여 FM 스테레오 신호를 생성한 후, 상호상관 함수의 결과에서 발생한 부엽을 시뮬레이션을 통해 확인한다.

II. FM 스테레오 신호

FM 스테레오 신호는 스피커의 왼쪽, 오른쪽 신호가 각각 다르게 출력되는 신호로, 왼쪽 채널 신호 (L)와 오른쪽 채널 신호 (R)를 사용하여 전송하는 방식이다. 메시지 신호는 19kHz 에 파일럿 (pilot) 신호, 기저대역 (baseband)에 합 신호 (L+R)를, 38kHz 에 차 신호 (L-R)를 사용하여 다음 식과 같이 생성한다[2].

$$m(t) = 0.9 \left[\frac{L+R}{2} + \frac{L-R}{2} \sin(4\pi f_p t) \right] + 0.1 \sin(2\pi f_p t). \quad (1)$$

여기서 f_p 는 19kHz 의 파일럿 주파수를 나타낸다. 최종 FM 스테레오 신호는 식 (1)의 메시지 신호를 이용하여 복소 (complex) 기저대역 신호로 생성하며 이를 나타내면 다음 식과 같다.

$$s(t) = \exp \left\{ j2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \right\}. \quad (2)$$

여기서 k_f 는 75kHz 의 최대 주파수 편이를 나타낸다.

식 (2)에 식 (1)을 대입하면 식 (2)는 다음 식과 같이 정리된다.

$$s(t) = \exp \left\{ j2\pi k_f \times \frac{0.9}{2} \int_0^t [L(\tau) + R(\tau)] d\tau \right\} \\ \times \exp \left\{ j2\pi k_f \times \frac{0.9}{2} \int_0^t [L(\tau) - R(\tau)] \sin(4\pi f_p \tau) d\tau \right\} \\ \times A_c \exp \left\{ j2\pi k_f \times 0.1 \int_0^t \sin(2\pi f_p \tau) d\tau \right\}. \quad (3)$$

식 (3)에서 합 신호 (L+R)에 대한 적분 항을 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$S_1(t) = \int_0^t [L(\tau) + R(\tau)] d\tau. \quad (4)$$

식 (2)의 FM 스테레오 신호를 이용한 상호상관 함수의 결과에서 도플러 주파수 축의 부엽은 다음 식과 같이 발생한다.

$$f_d = \pm m f_p \pm n f_c. \quad (5)$$

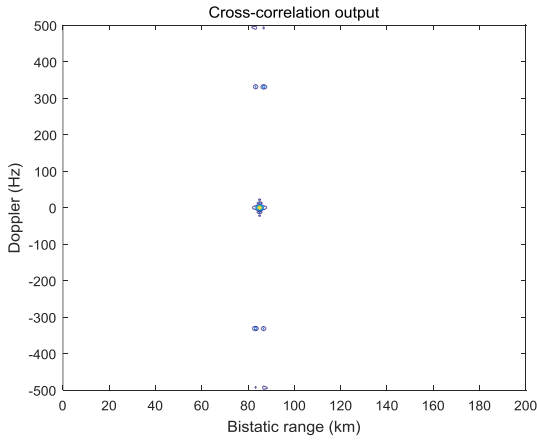


그림 1. 상호상관 함수에서 나타난 부엽.

여기서 f_d 는 도플러 주파수, f_i 는 식 (4)에 포함된 고주파 성분을 나타내며, m, n 은 $m+n \neq 0$ 을 만족하는 0 을 포함한 양의 정수이다[1].

표적에 의해 발생하는 도플러 주파수의 범위가 $\pm 500\text{Hz}$ 까지 정도인 것을 고려하면, 파일럿 주파수 $f_p = 19\text{kHz}$ 의 배수는 해당 도플러 주파수 범위를 벗어나기 때문에, 상호상관 함수 결과에서 도플러 주파수 축의 부엽은 다음 식과 같이 발생한다[1].

$$f_d = \pm n f_i \tag{6}$$

그림 1 은 상호상관 함수의 결과에서 도플러 주파수 축의 부엽을 보여준다.

III. 모의실험

FM 스테레오 신호는 표 1 에 정리된 세 가지 음원 파일을 사용하여 생성하였다. 음원 파일은 임의의 시작 지점으로부터 0.1134 초 동안 수집하였고, 2 만 개의 샘플을 이용하였다. 표적 신호의 도플러 주파수는 0Hz 로 설정하였고, 상호상관 함수의 도플러 주파수 간격은 1Hz 로 설정하였다.

그림 2 와 3 은 첫 번째 음원에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 2 는 식 (4)의 주파수 영역 스펙트럼으로, 330.8Hz 의 고주파 성분을 확인할 수 있다. 그림 3 은 도플러 주파수 축의 상호상관 함수 결과로, 식 (4)의 고주파 성분이 331Hz 에서 부엽으로 발생하였다.

그림 4 와 5 는 두 번째 음원에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 4 는 식 (4)의 주파수 영역 스펙트럼으로, 37.48Hz 의 고주파 성분을 확인할 수 있다. 그림 5 는 도플러 주파수 축의 상호상관 함수 결과로, 식 (4)의 고주파 성분이 37Hz 에서 부엽으로 발생하였다.

그림 6 과 7 은 세 번째 음원에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 6 은 식 (4)의 주파수 영역 스펙트럼으로, 180.8Hz 의 고주파 성분을 확인할 수 있다. 그림 7 은 도플러 주파수 축의 상호상관 함수 결과로, 식 (4)의 고주파 성분이 181Hz 에서 부엽으로 발생하였다.

표 1. 모의실험에 활용된 음원 정보

| No. | Artist | Title |
|-----|----------|------------|
| 1 | 요조 | 꽃 |
| 2 | 김진표 & 요조 | 좋아해 |
| 3 | Muse | Unintended |

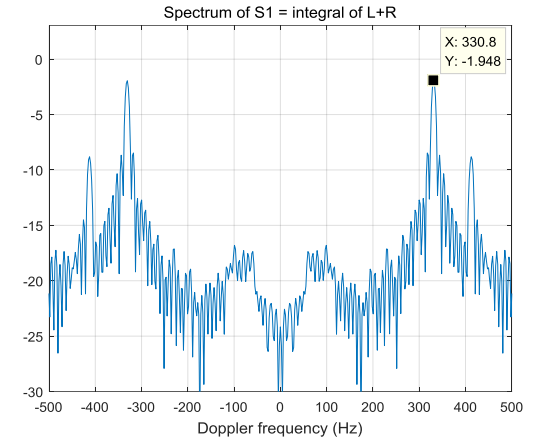


그림 2. 첫 번째 음원의 $S_1(t)$ 의 주파수 스펙트럼.

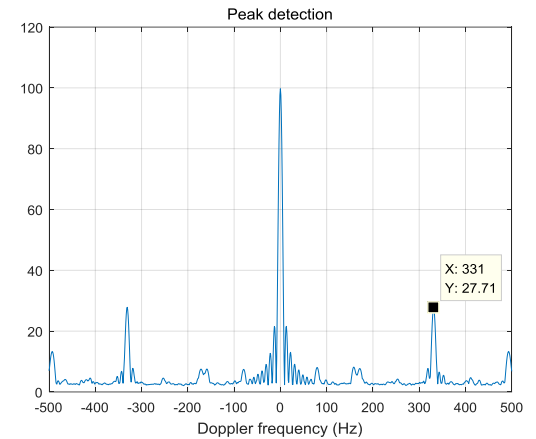


그림 3. 첫 번째 음원의 도플러 주파수 축 상호상관 함수.

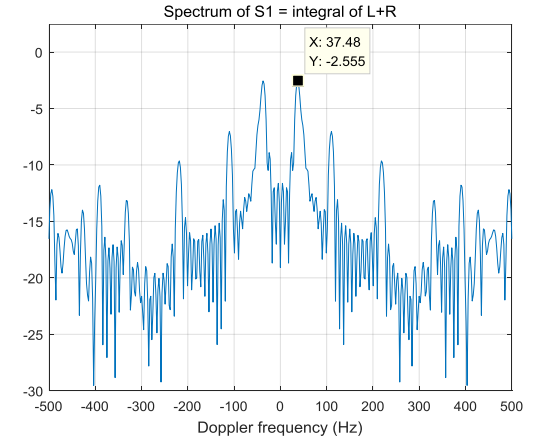


그림 4. 두 번째 음원의 $S_1(t)$ 의 주파수 스펙트럼.

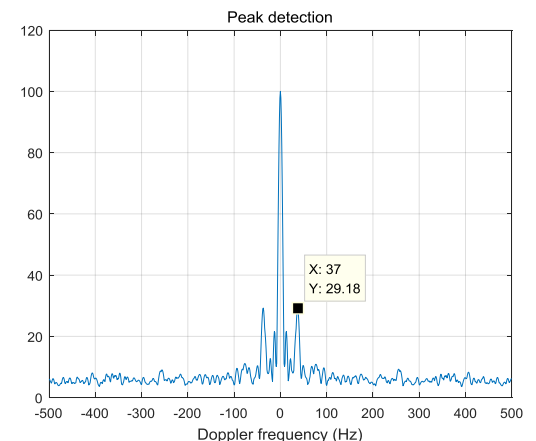


그림 5. 두 번째 음원의 도플러 주파수 축 상호상관 함수.

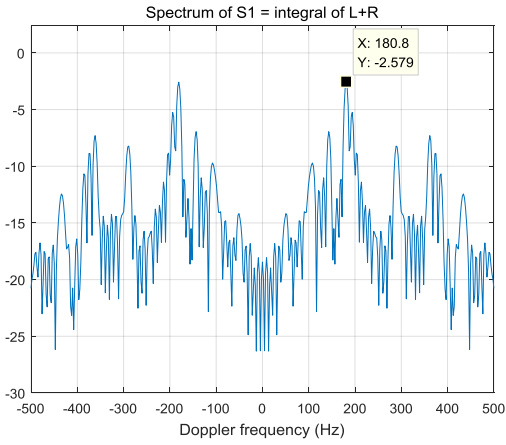


그림 6. 세 번째 음원의 $S_1(t)$ 의 주파수 스펙트럼.

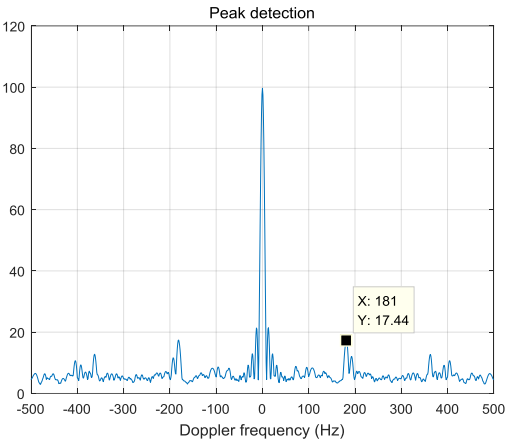


그림 7. 세 번째 음원의 도플러 주파수 축 상호상관 함수.

III. 결론

본 논문에서는 FM 스테레오 신호의 구조에서 왼쪽 채널과 오른쪽 채널의 합 신호 (L+R)의 적분 항에 포함된 고주파 성분이 상호상관 함수의 결과에서 도플러 주파수 축의 부엽에 나타난다는 것을 수식으로 정리하였다. 이를 확인하기 위하여 여러가지 음원 파일을 이용하여 FM 스테레오 신호를 생성하였고, 생성한 신호를 이용하여 L+R 신호의 적분항에 포함된 고주파 성분이 상호상관 함수 결과에서 도플러 축의 부엽에 나타남을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 따라서, 향후 연구에서는 FM 스테레오 신호의 구조로 인해 상호상관 함수의 결과에서 나타나는 부엽을 경감시키는 방안에 대한 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행하였습니다. (과제명: 표적 신호 추출 기술 연구, 계약번호 UD180008ED)

참고 문헌

[1] Yan Fu, Xianrong Wan, Xun Zhang, Gao Fang, Jianxin Yi, "Side Peak Interference Mitigation in FM-Based Passive Radar Via Detection Identification," *IEEE Transactions on*

Aerospace and Electronic Systems, vol. 53, no. 2, pp. 778-788, April, 2009.

[2] F. Colone, D. W. O'Hagan, P. Lombardo, C. J. Baker, "A Multistage Processing Algorithm for Disturbance Removal and Target Detection in Passive Radar," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 45, no. 2, pp. 698-722, April, 2009.