

FM 라디오 기반 PCL 수신기에서 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 방법

박도현, 박근호, *안준일, *송규하, 김형남[Ⓞ]

부산대학교, *국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr[Ⓞ]

A method for eliminating false detection results caused by sidelobes in FM radio-based PCL receiver

Park Do-Hyun, Park Geun-Ho, *Ahn Jun-Il, *Song Kyu-Ha, Kim Hyoung-Nam

Pusan National Univ., *Agency for Defense Development

요약

FM 라디오 기반 PCL 수신기는 표적의 위치와 속도에 대한 정보를 추정해내는 수동형 레이더이다. PCL 수신기를 이용하여 표적의 위치 및 속도를 추정할 때, FM 라디오 신호의 구조로 인하여 바이스테틱 거리 및 FDOA 추정 결과에서 부엽에 의한 오탐지 결과가 나타날 수 있다. 부엽에 의한 오탐지 결과는 PCL 수신기의 표적 탐지 성능을 저하시킬 수 있으므로 이를 적절히 제거할 방법이 요구된다. 본 논문에서는 모호함수로부터 FDOA 축으로의 부엽 발생 패턴을 분석한 후, 이를 기반으로 FDOA 축으로 형성되는 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거하는 방법을 제안하고 모의실험을 통해 이를 확인한다.

I. 서론

FM (frequency modulation) 라디오 기반 PCL (passive coherent location) 수신기는 FM 라디오 신호의 송신기로부터 수신기에 직선 상으로 수신되는 기준 신호와 표적으로부터 반사되어 수신되는 표적 신호를 이용하여 표적의 위치와 속도를 추정하는 수동형 레이더이다^[1]. 이와 같은 PCL 수신기는 표적 위치 및 속도 추정 전에 표적 탐지를 수행하며, 기준 신호와 표적 신호로부터 교차 모호함수(cross ambiguity function)를 유도한 후 CFAR (constant false alarm rate) 탐지^[2]를 교차 모호함수에 적용함으로써 표적을 탐지한다. CFAR 탐지 결과로부터 표적의 바이스테틱 거리(bistatic range)와 FDOA (frequency difference of arrival)를 추정할 수 있고 추정한 다수의 바이스테틱 거리와 FDOA로부터 표적의 위치와 속도를 최종적으로 획득할 수 있다^[1].

하지만 FM 라디오 신호의 구조로 인해 교차 모호함수에서 FDOA 축으로 다수의 부엽 (sidelobe)이 발생할 수 있으며, 이는 표적의 주엽(mainlobe)으로 인한 탐지 결과뿐만 아니라 부엽에 의한 탐지 결과를 발생시킨다. 이러한 부엽에 의한 오탐지 결과는 PCL 수신기의 표적 탐지 성능을 저하시키므로^[3] 부엽에 의한 탐지 결과를 제거할 방법이 요구된다.

교차 모호함수에서 나타나는 부엽은 주엽을 기준으로 FDOA 축에서 조화 주파수 또는 그 배수만큼 이격된 곳에 위치하므로 모호함수로부터 조화 주파수를 추출한다면 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 부엽으로 인해 발생하는 오탐지 결과를 제거하는 방법을 제안하고 이에 대한 모의실험을 진행한다.

II. 탐지 결과에 존재하는 FDOA 축 부엽 제거 방법

표적 검출 결과에 존재하는 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거하기 위하여 그림 1의 블록 다이어그램과 같이 PCL 수신기를 설계한다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이 제안한 방법은 모호함수에서 조화 주파수를 추출하는

과정과 추출한 조화 주파수를 이용하여 각 표적의 탐지 결과를 그룹으로 분류하고 교차 모호함수에서 나타나는 주엽과 부엽에 의한 탐지 결과를 구분하여 부엽에 의한 탐지 결과를 제거하는 두 단계로 구성되어 있다.

2.1 조화 주파수 추출

FM 라디오 기반 PCL 수신기에서 유도한 교차 모호함수에서의 부엽은 이론적으로 표적에 의해 생성된 주엽을 기준으로 FDOA 축에서 조화 주파수 또는 그 배수만큼 떨어진 곳에 위치하게 된다^[3]. 모호함수에 존재하는 부엽들 또한 FDOA 축에서 조화 주파수만큼 이격된 곳에 위치하게 되므로 모호함수에 CFAR 탐지를 적용하여 나온 탐지 결과들 간 FDOA 차이를 계산하여 부엽에 의한 오탐지 결과 제거에 사용될 조화 주파수를 구할 수 있다. 탐지 결과 간 FDOA 간격은 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta f = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^{N-1} f_{k+1} - f_k \quad (1)$$

Δf 는 조화 주파수의 추정값, N 은 전체 탐지 결과 개수, f_k 는 탐지 결과가 가지는 FDOA 값을 오름차순으로 정렬했을 때 k 번째 FDOA 값이다.



그림 1. PCL 수신기의 FDOA 축 부엽에 의한 탐지 결과 제거를 위한 PCL 설계도.

식 (1)을 정리하면 최종적으로 조화 주파수의 추정값은 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$\Delta\hat{f} = \frac{1}{N-1}(f_N - f_1). \quad (2)$$

2.2 부엽에 의한 오탐지 결과 제거

표적을 중심으로 교차 모호함수의 FDOA 축에서 형성된 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거하는 방법은 다음과 같다.

1. 교차 모호함수에 CFAR 탐지를 적용한 탐지 결과들 중에서 FDOA 축으로 조화 주파수 또는 그 배수만큼 떨어진 곳에 위치한 탐지 결과들을 하나의 그룹으로 묶는다.
2. 같은 방법으로 모든 탐지 결과들을 해당하는 그룹으로 분류한다.
3. 그룹 내에 존재하는 탐지 결과 중 교차 모호함수의 크기가 최댓값인 탐지 결과를 제외한 나머지 탐지 결과들을 제거한다.

위의 방법으로 표적을 중심으로 FDOA 축에서 형성된 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거할 수 있다.

III. 모의실험

표 1에 정리된 두 가지 음원을 기반으로 반송파 주파수가 94.1 MHz인 FM 스테레오 신호를 생성하였으며 두 개의 표적을 이용하여 모의실험을 진행하였다. 각 표적의 바이스테틱 거리는 54.42 km와 81.63 km, FDOA는 6.78 Hz와 -90.1 Hz를 가지도록 설정하였다. 그림 2와 3, 4는 첫 번째 음원을 이용하여 FM 신호를 생성하고 오경보율은 10^{-10} 으로 설정한 뒤 진행한 모의실험 결과를 나타낸 것이며, 그림 2에는 모호함수에 CFAR 탐지를 적용한 결과를 나타내었다. 탐지 결과에서 확인할 수 있듯이 FDOA 축에 대한 부엽 탐지 결과의 조화 주파수가 69.28 Hz임을 알 수 있다. 그림 3은 기준 신호와 표적 신호를 이용하여 유도한 교차 모호함수에 CFAR 탐지를 적용한 결과를 나타낸 것으로서, 표적을 기준으로 조화 주파수 또는 그 배수만큼 떨어진 곳에 부엽에 의한 오탐지 결과가 위치하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 모호함수로부터 추출한 조화 주파수를 이용하여 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거한 것으로서, 부엽에 의한 탐지 결과를 제외한 나머지 탐지 결과는 제거된 것을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6은 각각 음원 1과 음원 2를 이용하여 다양한 오경보율에 대하여 모의실험을 하고 부엽을 제거하기 전과 후의 전체 탐지 결과 개수를 100번 평균을 내어 비교한 결과이다. 전체 탐지 결과 개수를 비교했을 때 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 후가 제거 전보다 3~5배 정도 감소했음을 확인할 수 있다.

표 1. 모의실험에 사용된 음원

음원 No.	Artist - Title	구간
1	Coldplay - Everglow	20 ~ 21초
2	요조 - 꽃	3 ~ 4초

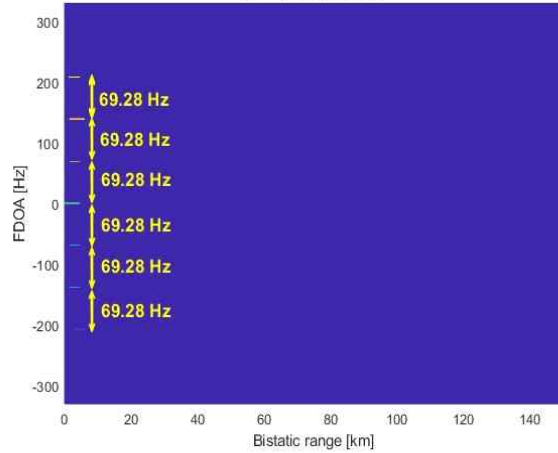


그림 2. 모호함수에 CFAR 탐지를 적용한 결과.

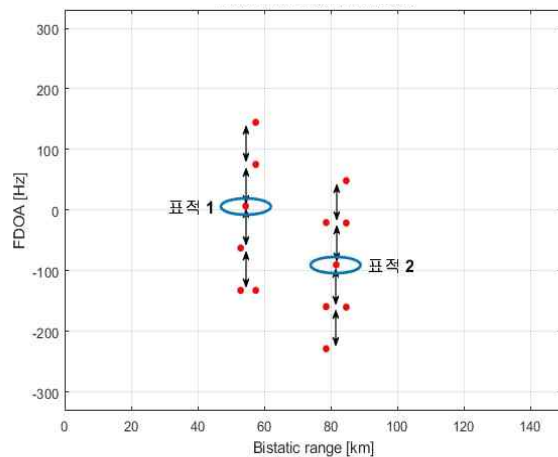


그림 3. 교차 모호함수에 CFAR 탐지를 적용한 결과.

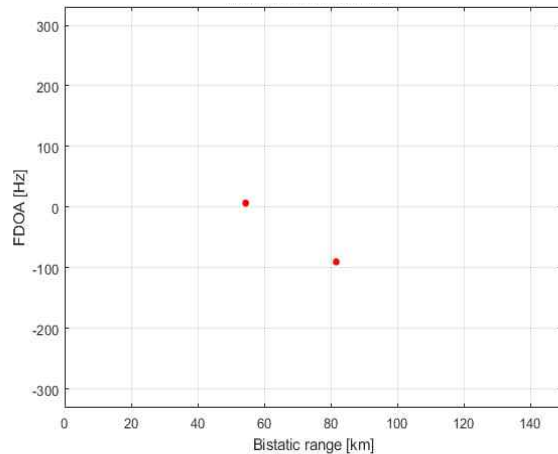


그림 4. 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거한 후의 결과.

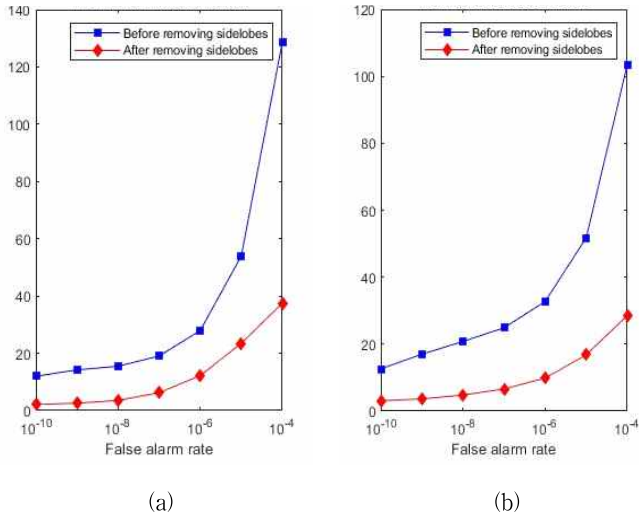


그림 5. 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 전과 후의 탐지 결과 개수의 비교, (a) : 음원 1을 이용한 모의실험, (b) : 음원 2를 이용한 모의실험.

III. 결론

본 논문에서는 FM 라디오 기반 PCL 수신기의 성능을 저하시키는 부엽에 의한 오탐지 결과의 제거 방법을 제시하고 모의실험을 통해 제안한 방법의 성능을 확인하였다. 제안한 방법은 모호함수에서 조화 주파수를 추정하는 첫 번째 단계와 추정된 조화 주파수를 이용하여 교차 모호함수에서 부엽에 의한 오탐지 결과를 제거하는 두 번째 단계로 구성하였다. 모의실험을 통해 표적을 기준으로 조화 주파수 또는 그 배수만큼 떨어진 곳에 위치한 부엽에 의한 오탐지 결과가 제거 가능함을 보였으며 오경보율을 변경해가면서 부엽 탐지 결과를 제거하기 전과 후의 탐지 개수들을 비교한 결과 탐지 개수가 3 배에서 5 배까지 감소한 것을 확인하였다. 이러한 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 방법은 FM 라디오 기반 PCL 수신기의 표적 탐지 성능을 향상시키는 데에 효과적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] 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, Apr. 2009.
- [2] P.P. Gandhi, S.A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in Non-homogeneous Background", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System*, vol. 24, no. 4, pp. 427-445, July 1988.
- [3] Y. Fu, X. Wan, X. Zhang, G. Fang, J. 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.