

FM 기반 PCL 시스템에서 기준 채널의 수신 환경에 따른 표적 신호의 감도 분석

손소영, 박근호, 김형남
부산대학교 전자공학과

hnkim@pusan.ac.kr

Analysis on Target Echo Signal Power According to Receiving Environment of Reference Channel in an FM-based PCL system

So-Young Son, Geun-Ho Park, Hyoung-Nam Kim
Pusan National Univ.

요 약

FM (frequency-modulation) 기반 PCL (passive coherent location) 시스템은 FM 라디오 신호를 이용하여 표적을 탐지하고 추적하는 기술로서, FM 송신기와 수신기 사이의 직선 경로로 전파되는 직접경로 신호와 표적 신호 사이의 지연 시간과 도플러 주파수 차이 정보를 이용하여 표적의 위치 및 속도를 추적한다. 그러나 표적 신호를 획득하기 위한 감시 채널에 간섭 신호가 수신되면 표적의 탐지 성능을 저하시킬 수 있기 때문에 간섭 신호 제거 알고리즘을 이용하여 감시 채널에 포함된 간섭 신호를 제거한다. 이 때, 간섭 신호 제거 알고리즘은 직접경로 신호만이 수신되는 기준 채널을 요구한다. 그러나 기준 채널에 표적 반사 신호가 수신되면, 감시 채널에서 간섭 신호와 표적 신호를 함께 제거하여 표적 신호의 SNR 이 감소하는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 분석하기 위해서 기준 채널에서 수신된 표적 신호가 간섭 신호 제거 알고리즘에 적용되었을 때, 감시 채널에서 얻어지는 표적 신호에 미치는 영향을 수식적으로 정리하고 시뮬레이션을 수행한다.

I. 서 론

FM 기반 PCL 시스템은 FM 송신기와 수신기 사이에서 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. PCL 시스템은 직접경로 신호를 획득하기 위한 기준 채널과 표적 신호를 획득하기 위한 감시 채널을 동시에 운용한다. 그러나 감시 채널에는 직접경로 신호와 클러터 등의 간섭 신호가 표적 신호의 세기보다 크게 수신되는 masking effect 를 발생시킬 수 있다[1]. 따라서 이러한 masking effect 를 극복하고 표적 신호를 용이하게 획득하기 위해 적응 필터 기반의 LMS (least mean square), RLS (recursive least squares)[2], 최소 자승법 기반의 ECA (extensive cancellation algorithm)와 같은 간섭 신호 제거 알고리즘이 제안되었다[1].

이러한 간섭 신호 제거 알고리즘은 기준 채널에서의 직접경로 신호 획득을 전제로 동작한다. 그러나 기준 채널에 표적 신호가 수신되면, 감시 채널의 간섭 신호와 표적 신호가 함께 제거되거나 표적 신호 감도가 감소하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 파악하기 위해서, 본 논문에서는 기준 채널에서 수신되는 표적 신호가 감시 채널에서의 간섭 신호 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 수식적으로 정리하고, 이를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

II. 표적 신호가 포함된 기준 채널을 이용한 간섭 신호 제거 알고리즘

직접경로 신호와 표적 반사 신호가 수신되는 기준 채널은 다음 식과 같이 모델링 할 수 있다.

$$s_{ref}(t) = A_{dr}s(t) + A_{r}s(t-t_d)e^{j2\pi f_d t} + n_r(t). \quad (1)$$

여기서 A_{dr} 은 직접경로 신호의 진폭, A_r 은 표적 반사 신호의 진폭, $n_r(t)$ 는 가우시안 잡음, 그리고 $s(t)$ 는 직접경로로 수신되는 FM 신호를 나타낸다. 또한, t_d 와 f_d 는 각각 표적의 위치와 속도에 의해 결정되는 지연 시간과 도플러 주파수를 의미한다.

직접경로 신호와 표적 반사 신호가 수신되는 감시 채널은 다음 식과 같이 모델링 할 수 있다.

$$s_{surv}(t) = A_{ds}s(t) + A_{s}s(t-t_d)e^{j2\pi f_d t} + n_s(t). \quad (2)$$

여기서 A_{ds} 은 직접경로 신호의 진폭, A_s 은 표적 반사 신호의 진폭, $n_s(t)$ 는 가우시안 잡음을 나타낸다.

감시 채널의 간섭 신호를 제거하기 위한 ECA 알고리즘의 출력 신호는 다음 식과 같다[1].

$$\mathbf{s}_{ECA} = \mathbf{s}_{surv} - \mathbf{X}\mathbf{a}. \quad (3)$$

이 때 \mathbf{x} 는 시간 지연된 기준 채널 신호를 열 벡터로 가지는 행렬이며, \mathbf{a} 는 감시 채널의 간섭 신호를 제거하기 위한 가중치 벡터이다. 감시 채널에 직접경로 신호만이 존재할 때, 직접경로 신호를 제거하기 위한 이상적인 가중치 벡터는 아래와 같이 나타난다.

$$\mathbf{a} = [\alpha_1 \ 0 \ \dots \ 0]^T. \quad (4)$$

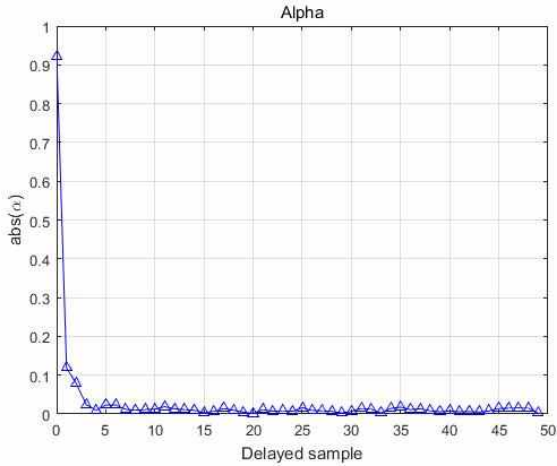


그림 1. 시뮬레이션 환경에서의 α 값

식 (1), (2), (3), (4)를 고려하여 간섭 신호가 제거된 감시 채널 신호는 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$s_{ECA} = (A_{ds} - \alpha_1 A_{dr})s(t) + (A_{bs} - \alpha_1 A_{br})s(t - t_d)e^{j2\pi f_d t} + n_s(t) - n_r(t). \quad (5)$$

여기서 α_1 은 직접경로 신호의 진폭인 $A_{bs} - \alpha_1 A_{br}$ 가 0 이 되도록 유도되는 값으로서, 기준 채널과 감시 채널에 포함된 각각의 직접경로 신호의 비율과 같으며 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\alpha_1 = \frac{A_{ds}}{A_{dr}} \quad (6)$$

식 (5)를 통해 기준 채널에 포함된 표적 신호가 감시 채널의 표적 신호를 제거하는 것을 확인할 수 있다. 간섭 신호 제거 알고리즘을 적용한 후, ECA 출력 신호에 남은 표적 신호는 다음 식과 같다.

$$s_{remain}(t) = (A_{bs} - \alpha_1 A_{br})s(t - t_d)e^{j2\pi f_d t}. \quad (7)$$

식 (7)을 통해 기준 채널의 표적 신호는 ECA 출력 신호의 표적 신호를 감시 채널에 비해 $\alpha_1 A_{br}$ 만큼 제거하는 것을 확인할 수 있다. 이 때, 기준 채널과 감시 채널에 포함된 각각의 표적 신호의 비율 역시 식 (6)과 같으면 식 (7)의 $A_{bs} - \alpha_1 A_{br}$ 가 0 이 되어 ECA 출력 신호에서 표적 신호가 완전히 제거되는 문제점이 발생한다.

III. 모의실험

모의실험을 위한 SNR (signal-to-noise ratio)은 기준 채널에 포함된 직접경로 신호를 30 dB 로 설정하였고, 표적 반사 신호를 -50 dB 에서 -5 dB 까지 0.5 dB 간격으로 증가시키면서 모의실험을 진행하였다. 감시 채널에 포함된 직접경로 신호와 표적 반사 신호는 각각 30 dB 와 -10 dB 로 설정하였다.

그림 2 는 기준 채널에 포함된 표적 신호의 SNR 변화에 따른 ECA 출력 신호에 포함된 표적 신호의 SNR 변화를 나타낸 것이다. 각 채널에 포함된 표적 신호의 SNR 이 유사할수록 ECA 출력 신호에서 표적 신호가 거의 남지 않는 것을 확인할 수 있다.

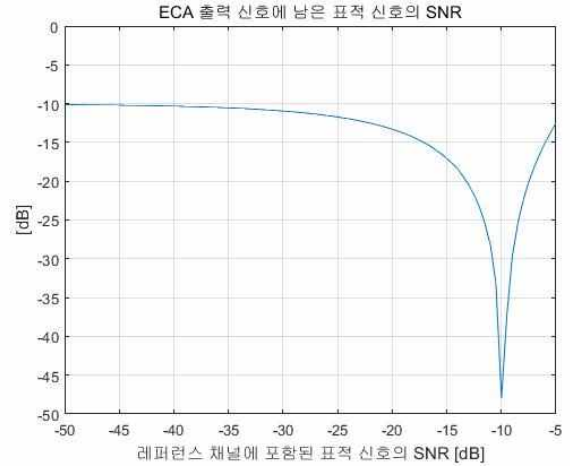


그림 2. 기준 채널의 표적 반사 신호 SNR 에 따른 ECA 출력 신호에 포함된 표적 반사 신호의 SNR.

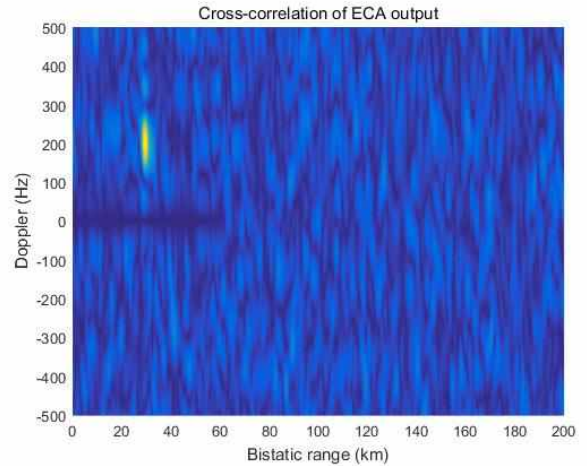


그림 3. 기준 채널의 표적 신호가 -25 dB 일 때 ECA 출력 신호와의 상호상관 함수 결과.

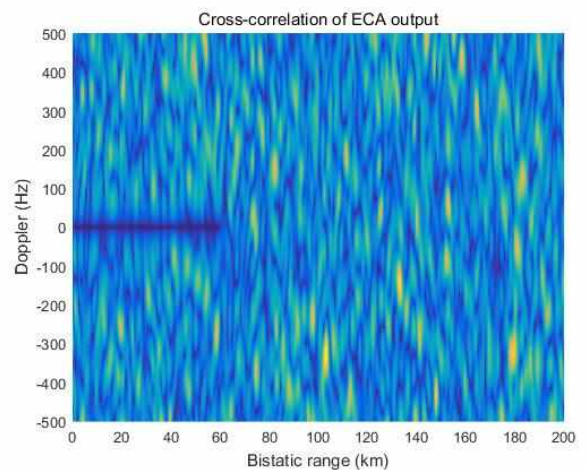


그림 4. 기준 채널의 표적 신호가 -10 dB 일 때 ECA 출력 신호와의 상호상관 함수 결과.

그림 3 은 기준 채널의 표적 신호가 -25 dB 일 때, 그림 4 는 기준 채널의 표적 신호가 -10 dB 일 때, ECA 의 출력 신호와 기준 채널 간의 상호 상관 함수 (cross-correlation function)를 나타낸 것이다. 그림 4 는 기준 채널의 표적 신호가 식 (6)의 $A_s - \alpha_1 A_r$ 를 0 에 가깝게 만들어서 ECA 출력 신호에 포함된 표적 신호 SNR 이 -60 dB 이하까지 제거되어 상호상관 함수 결과에서 표적이 탐지되지 않는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 간섭 신호 제거 알고리즘에서 기준 채널의 표적 신호가 감시 채널의 표적 신호를 제거하는 것을 보이고, 모의실험을 통해 감시 채널에 남은 표적 신호의 양을 정량적으로 분석하였다. 기준 채널의 표적 신호는 감시 채널에서 표적 신호를 제거하기 때문에 ECA 출력 신호에서 원하는 표적 신호를 남기고 간섭 신호만을 제거하기 위해서는 기준 채널에 정확한 직접경로 신호가 수신되는 것이 중요하다. 따라서, 기준 채널에 직접경로 신호 외에 다른 신호들이 수신될 때 직접경로 신호만을 추출해 내는 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A1B04035230)

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] R. Cardinali, F. Colone, C. Ferretti, P. Lombardo, " Comparison of Clutter and Multipath Cancellation Techniques for Passive Radar," *IEEE Radar Conference*, Boston, MA, USA, pp. 469-474, Apr. 2007.