

FM 라디오 기반 PCL 시스템 구현 (Implementation of FM-radio-based-PCL System)

박지훈, 김용준, 이형석, 박근호, 김형남

(Ji-Hun Park, Yong-Joon Kim, Hyeong-Seok Lee, Geun-Ho Park, Hyoung-Nam Kim)

부산대학교 전자공학과

Abstract : PCL system is a passive bistatic radar that exploits FM signal as a illuminator to detect and find the high speed target. PCL is composed of reference channel and surveillance channel which receive reference and target signal, respectively. There are many multi-path reflection signals in surveillance channel, so we should delete the signals by using ECA(extensive cancellation algorithm). CAF(cross ambiguity function) is a tool to measure the target signal's time delay and doppler frequency to compare with reference signal. In this paper, we used the MATLAB to simulate PCL system with modulated FM signal using music file, ECA and CAF to detect the target moving high speed.

Keywords : FM radio, PCL System, MATLAB, extensive cancellation algorithm, cross-ambiguity function

I. 서론

Passive coherent location(PCL)은 수동형 바이 스테틱 레이더로, FM(frequency modulation), DMB(digital multimedia broadcasting) 등과 같은 흔히 쓰이는 방송신호를 신호원으로 사용하여 이동 하는 목표물의 위치를 파악하는 시스템이다. 그 중 FM을 기반으로 한 PCL은 FM 송신기로부터 직접 받은 기준 신호와 목표물로부터 반사되어 들어오는 표적 신호 사이의 시간 지연과 도플러 주파수 정보를 이용하여 목표물의 위치와 속도를 측정한다.[1] 각각의 신호들은 기준 채널(reference channel)과 감시 채널(surveillance channel)을 통해 얻을 수 있다. 하지만, 감시 채널에는 기준 신호와 다중경로 페이딩에 의한 클러터가 포함되어 있으므로, 표적 신호를 가리는 masking 현상을 발생시켜 표적 탐 지 성능 열화가 일어날 수 있다. 따라서, ECA(extensive cancellation algorithm)와 같은 간섭신호 제거 알고리즘이 제안되었다.[2]

표적 신호의 시간 지연과 도플러 주파수 정보는 기준 신호와 간섭신호가 제거된 감시 신호간의 상관관계를 이용하여 구할 수 있는데 이를 구현한 함수가 CAF(cross ambiguity function)이며, CAF의

극댓값의 위치로부터 표적의 시간 지연 및 도플러 주파수를 추정할 수 있다.

본 논문에서는 MATLAB을 이용한 FM 신호 기반 PCL 시스템 구현 방법과 그 결과를 제시한다. PCL 시스템의 구현은 크게 신호 생성, 간섭 신호 제거, CAF의 세 단계로 구성하였다.

II. FM 변조 신호 생성

FM(frequency modulation)은 메시지 신호의 진폭이 순시 주파수가 되는 변조 방법으로 다음 식과 같이 변조한다.

$$s(t) = \exp(j2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau)$$

(1)

FM에 사용되는 메시지 신호는 스테레오 신호로써 왼쪽(L)과 오른쪽(R) 채널이 존재하는데 둘의 합(L+R), 차(L-R) 신호와 19kHz, 38kHz의 파일럿 신호를 조합하여 다음과 같이 생성한다.

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

(2)

전체 전력을 1로 만들기 위해 0.9와 0.1의 계수가 사용되었고 f_p 는 19kHz를 나타낸다. 본 모의실험에서는 샘플링 주파수가 220.5kHz인 1초 길이의 음원을 FM 신호로 변조하여 사용하였다.

III. Extensive cancellation algorithm

1. ECA의 목적

기준 채널에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$s_{ref}[n] = s + n_{ref} \quad (3)$$

s 는 기준 신호이고 $n[k]$ 는 잡음이다.

감시 채널에 수신되는 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_{surv}[n] = s * h + s_{target} + n_{surv} \quad (4)$$

$s[k]*h[k]$ 는 송-수신기의 직선 경로와 다중경로를 통해 들어온 기준 신호를 나타내고, $s_{target}[k]$ 는 표적 신호를 의미한다.

감시 채널에 수신된 기준 신호 성분 $s[k]*h[k]$ 는 표적 신호에 비해 통상적으로 신호 크기가 매우 커서 정확한 표적 신호를 구별하기 어렵게 만들고, 이에 따라 정확한 시간 지연과 도플러 주파수 정보를 파악할 수가 없게 된다. 따라서 표적 신호만을 추출하기 위한 일종의 필터가 필요한데 그것이 바로 ECA(extensive cancellation algorithm)이다.

2. ECA 구현 방법

$$\min_{\alpha} \| s_{surv} - X\alpha \|^2 \quad (5)$$

위 식의 비용 함수를 최소화하기 위한 최소제곱법(least square)을 이용하여 $\| s_{surv} - X\alpha \|^2$ 의 값을 최소화하는 α 를 구해준다. X 는 direct path 및 multipath를 통하여 시간 지연된 기준 신호이다. α 는 시간 지연된 기준 신호들의 크기를 의미한다. 위 식을 풀면 아래와 같다.

$$\alpha = (X^H X)^{-1} X^H s_{surv} \quad (6)$$

따라서 ECA 과정을 통과한 감시 신호(Surveillance Signal)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} s_{ECA} &= s_{surv} - X\alpha \\ &= [I_N - X(X^H X)^{-1} X^H] s_{surv} \\ &= P s_{surv}. \end{aligned} \quad (7)$$

최종적으로 ECA의 출력 신호에는 기준신호가 제거되며, 표적 신호만 남게 된다.

IV. Cross Ambiguity Function

CAF는 기준 신호와 ECA에 의해 간섭신호가 제거된 감시 채널 신호의 교차상관관계를 유도한 것으로서, 표적의 거리 및 도플러 주파수를 파악하는데 쓰이게 된다. CAF는 이산 시간 영역에서 다음과 같이 정의된다.

$$A(\tau, \nu) = \sum_{k=0}^{N-1} s_1[k] s_2^*[k + \tau] e^{\frac{-j2\pi \nu n}{E_s}} \quad (8)$$

여기서 τ 는 time delay, ν 는 Doppler를 나타낸다.

V. 모의실험 구현 결과

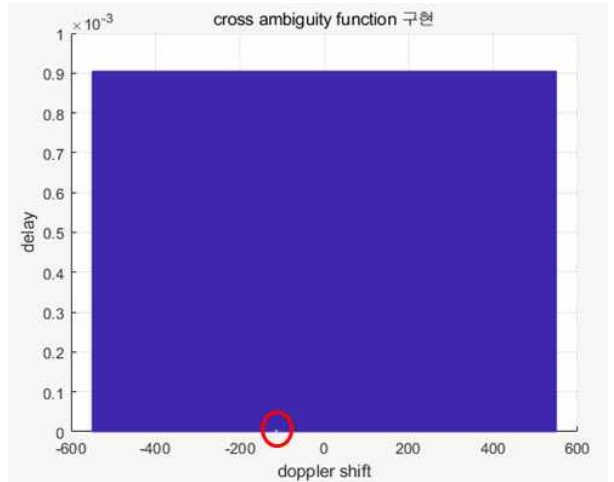


그림 1. CAF 구현

위의 사진은 FM 신호에 -113.6667Hz의 도플러 주파수를 천이시켰을 때 나타나는 CAF를 나타낸 것으로, 그림에서 표시한 부분에서 확인할 수 있듯이 -113.6의 위치에 최댓값이 나타나게 된다.

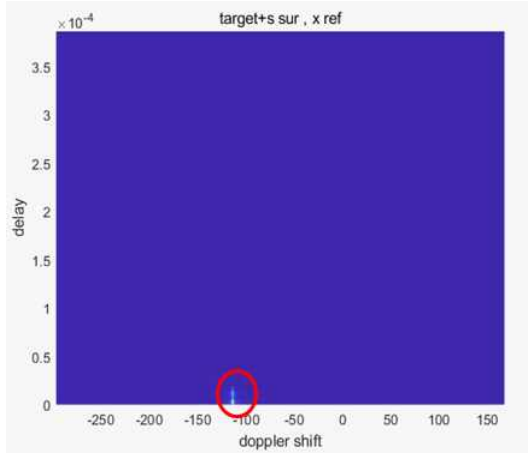


그림 2. ECA 적용하지 않은 CAF

위의 그림은 FM 신호를 통하여 기준 채널과 감시 채널을 구현하고 이를 CAF로 나타낸 것이다. 사진에서 표시한 부분에서 확인할 수 있듯이 ECA를 구현하지 않았을 때, 다중 경로에 의해 시간 지연값이 제대로 나타나지 않는다.

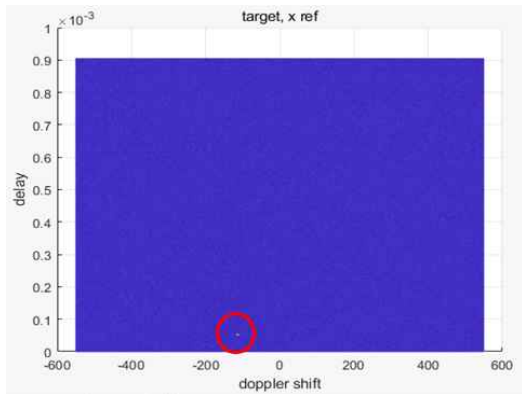


그림 3. ECA 적용한 CAF

위의 그림에서 표적 신호의 시간 지연은 5×10^{-5} 초이고 도플러 주파수는 -113.6667Hz 이다. ECA 적용한 신호로부터 CAF를 유도하면 표적의 위치를 정확하게 나타내는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 스테레오 음원을 FM 변조하여 메시지로 사용하였고 이 신호

가 이동하는 목표물에 반사되어 수신되는 상황을 모의하였다. 메시지 신호에 다중경로 반사, 시간 지연 그리고 도플러 주파수를 구현하여 ECA를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때 CAF의 결과를 나타내었다. ECA를 사용하지 않았을 때에는 다중경로 반사에 의한 신호들을 제거하지 못하기 때문에 시간 지연의 값이 제대로 나타나지 않는 것으로 보아 ECA의 필요성을 알 수 있다. 향후 연구에서는 CAF를 통해 목표물의 실제 위치와 속도를 구하는 방법을 알아내고 FM radio 실측을 통해 항공기의 위치를 측정할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 김동규, 박진오, 이문석, 박영미, 김형남, "통신 신호에서 TDOA/FDOA 정보 추출을 위한 2-단계 전역 최적화 알고리즘," 전자공학회논문지, vol. 52, no. 4, pp. 649-657, 2015년 4월.
- [2] 손소영, 박근호, 김형남, "FM 기반 PCL 시스템에서 기준 채널의 수신 환경에 따른 표적 신호의 감도 분석," 2018년도 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집, 정선, 2018년 1월, pp. 1463-1465.