바이스태틱 센서를 이용한 칼만 필터 기반 개체 추적 시스템 성능 분석

*김호재, 김형남
부산대학교 전자공학과
e-mail : *kkhhjj007@pusan.ac.kr, hnkim@pusan.ac.kr*

Target detection method of a passive radar system with a single channel

*Ho Jae Kim, Hyoung-Nam Kim
Dept. of Electronics Engineering
Pusan National University

Abstract

Bistatic systems are detection systems in which the transmitter and receiver are separated, and may be used to detect various objects such as aircraft, unmanned aerial vehicles, vehicles, and people. It is being actively promoted. The bistatic system can be used as an alternative to CCTV in the event of a fire, heavy snow, heavy rain, or other situation where it is not possible to secure a visible distance for CCTV, and can be used complementarily with CCTV. In this paper, we introduced a Kalman filter for continuous tracking of moving objects in such a bistatic sensor system. The results of object detection and tracking were analyzed and it was confirmed that the distance estimation error was reduced when the Kalman filter was used than when the measured values were used alone.

I. 서론

바이스태틱(bistatic) 센서 시스템은 그림 1과 같이 송신기와 수신기가 이격된 상태에서 표적을 탐지하는 시스템으로, 송신신호의 직진 신호와 표적 반사신호의 시간 차를 이용하여 표적의 위치를 추정하는 시스템이다. 바이스태틱 시스템을 이용하여 항공기 탐지[1, 2], 드론 탐지 및 사람 탐지[3, 4]와 같은 연구가 진행되고 있다.

현대 기술 발전에 따라 다양한 분야에서 보안 시스템의 필수 요소로 CCTV를 사용하고 있으나, CCTV의 경우 기상 상황 및 화재와 같은 긴급 상황에서 가시거리 확보의 어려움이 발생한다. 이와 같은 상황에서도 전파를 이용하여 사람 탐지가 가능한 바이스태틱 센서 시스템을 고려할 수 있으며[4], CCTV와 함께 보안 시스템으로 사용될 수 있다. 바이스태틱 시스템의 경우 표적의 움직임에 의하여 표적 반사 신호에서 도플러(Doppler)가 발생하며, 신호처리를 통하여 거리 및 도플러 정보로 이동하는 표적을 탐지한다. 이동하는 표적의 탐지 정확도를 높이기 위하여 칼만 필터(Kalman Filter)를 사용하여 표적의 탐지 성능을 개선할 수 있다. 이에 본 논문에서는 바이스태틱 센서 시스템을 이용하여 움직이는 개체의 연속적인 추적을 위하여 칼만 필터를 이용한 개체 탐지 추적에 대한 결과 분석을 진행한다.

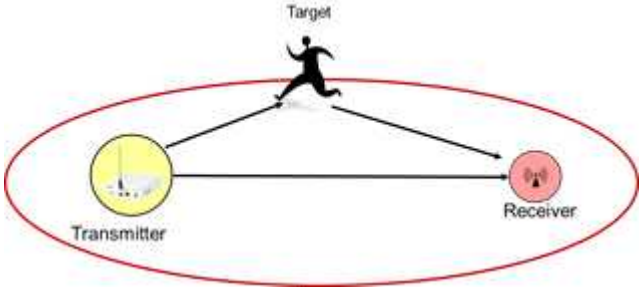

그림 1. 바이스태틱 기하 구조.

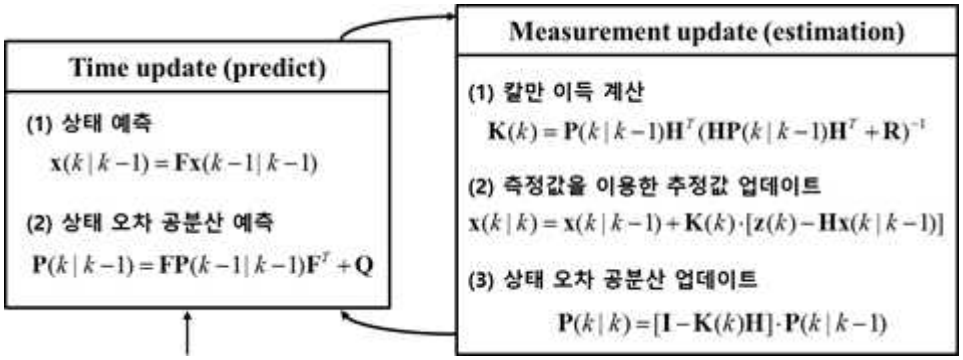

그림 2. 칼만 필터 알고리즘 구조.

II. 칼만 필터

칼만 필터는 잡음이 포함된 상태의 측정값을 추적하는 재귀 필터로, 표적의 동적 시스템 모델을 이용하여 측정값의 오차를 보정할 수 있다[5]. 특정 시점의 측정값은 확률적인 오차가 포함되어 있으며, 연속적인 측정값을 이용하여 표적의 위치를 추정할 수 있다.

칼만 필터에 사용되는 알고리즘의 상태 방정식 및 출력 방정식은 다음과 같다.

$$\mathbf{x}(k+1)=\mathbf{F}\mathbf{x}(k)+\mathbf{n}(k) \quad (1)$$

$$\mathbf{z}(k+1)=\mathbf{H}\mathbf{x}(k)+\mathbf{v}(k) \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{x}(k)$는 상태 벡터, $\mathbf{z}(k)$는 측정 벡터, $\mathbf{n}(k)$는 시스템 잡음 벡터, $\mathbf{v}(k)$는 측정 잡음 벡터, $\mathbf{F}$는 상태 행렬, $\mathbf{H}$는 출력 행렬을 나타낸다. 이러한 칼만 필터는 그림 2와 같이 모델링된 파라미터와 이전 값을 이용하여 현재 상태 및 오차 공분산을 예측한 후, 칼만 이득을 계산한다. 계산된 칼만 이득을 이용하여 측정값과 예측값을 보정한 후 추정값을 업데이트한다. 이후 새로운 추정값의 오차 공분산을 업데이트 한 후 재귀적으로 추정값을 도출한다.

III. 모의실험 결과

모의실험에는 송신기 위치 수신기의 위치에 배치하여 진행하였으며, 표적은 에서 양의 x축 방향으로 초당 1 m/s 이동한다고 가정하였다. 모의실험에 사용된 신호원은2.9 GHz 중심 주파수를 사용하며, IEEE 802.11a 신호 표준을 참고하여 20 MHz 대역폭을 가지는 WLAN(wireless LAN) 의사 신호를 사용하였다.

그림 3은 모의실험을 통하여 도출된 표적의 바이스

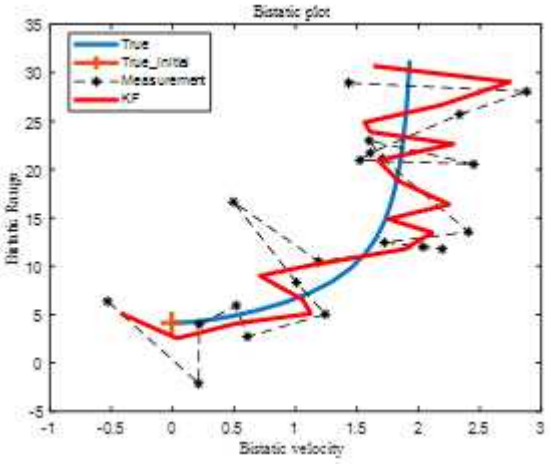

그림 3. 바이스태틱 거리-속도 맵 모의실험 결과

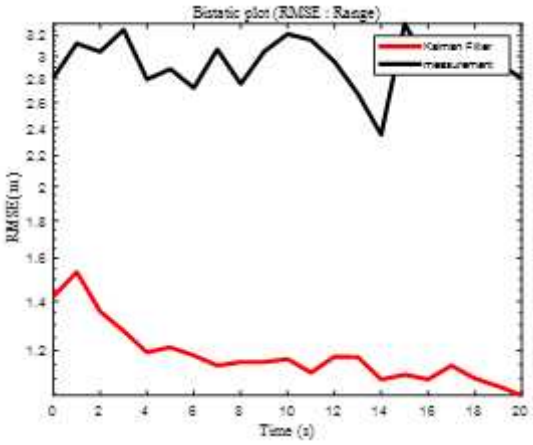

그림 4. 시간에 뜨른 바이스태틱 거리 오차

태틱 거리-속도 맵 결과이며, 그림 4는 시간에 따른 바이스태틱 거리 오차를 나타낸 그림이다. 칼만 필터를 사용할 경우 측정값만을 이용한 결과에 비하여 약 2m의 거리 오차가 감소한 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 바이스태틱 센서 시스템에서 칼만 필터를 이용하여 움직이는 개체의 연속적인 추적에 대한 분석을 진행하였다. 칼만필터를 이용한 경우에 측정값만을 사용한 경우보다 거리 추정 오차가 감소한 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019-0-00706, 주요 보안시설 및 항만 인프라 보안성 강화용 3S(Security,Safety,Safeguard) 보안허브플랫폼 개발).

참고문헌

[1] 최지환, 신한섭, 김대오, 김태형, “최근 바이스태틱 레이더 기술 동향,” *항공우주산업기술동향*, 제 13권 1호, 2015, pp. 160~165.

[2] 박중희, 이원우, 유진철, 양훈기, 정용식, 배경빈, “바이스태틱 레이더의 탐지 커버리지 분석 및 표적 위치 산출을 위한 M&S Tool,” *한국군사과학기술학회지*, 제 14권 5호, 2011년 10월, pp. 904~912.

[3] T. Martelli, F. Murgia, F. Colone, C. Bongioanni, and P. Lombardo, “Detection and 3D localization of ultralight aircrafts and drone with a WiFi-based Passive Radar,” *International Conference on Radar Systems (Radar 2017), Belfast*, UK, Oct. 2017, pp. 23-26.

[4] Martina Broetje, “Person tracking for WiFi based multistatic passive radar,” *16th International Conference on Information Fusion, Istanbul*, Turkey, pp. 280-287, July 9-12, 2013

[5] Mohinder S. Grewal “Kalman Filtering: Theory and Practice with MATLAB, 4th Edition,” *Wiley*