

분산 레이더 시스템을 이용한 타겟 위치 추정 및 추적

정재훈, 임소희, 이은지, 박정훈, 김성철

서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

{jay623, gml0488, ej9309, hoon0337, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

Target Localization and Tracking Using a Distributed Radar System

Jaehoon Jung, Sohee Lim, Eunji Lee, Jeong Hoon Park, Seong-Cheol Kim

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC, Seoul National University

요약

본 논문은 분산 레이더 시스템을 이용하여 움직이는 타겟의 위치를 추정하고 움직임을 추적하는 결과를 제시한다. 각 레이더에서 추정된 거리 정보를 기반으로 다변측량 알고리즘을 적용하여 타겟의 위치를 추정하였으며 추정한 타겟의 위치 정보를 칼만 필터의 입력으로 사용하여 타겟의 움직임을 추적하였다. 시뮬레이션 결과 타겟의 위치 추정값이 실제 경로와 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

I. 서론

레이더는 전자파를 사용하여 타겟의 거리, 속도, 각도와 같은 정보를 얻을 수 있는 센서이며 실내 탐지용으로 널리 사용되고 있다. 최근에는 레이더의 탐지 영역을 넓히기 위해 여러 대의 레이더를 분산시켜 배치한 뒤 각 레이더에서 탐지한 정보를 종합하는 분산 레이더 시스템이 활용되고 있다 [1]. 분산 레이더 시스템의 경우 각 레이더에서 추정한 거리 정보를 바탕으로 다변측량 알고리즘을 적용하면 타겟의 위치를 높은 정확도로 추정할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 분산 레이더 시스템을 가정하여 3대의 레이더를 배치한 뒤 각 레이더에서 추정한 거리 정보를 바탕으로 움직이는 타겟의 위치를 추정하고 움직임을 추적한다. 타겟이 2대의 레이더에서 관측되는 경우 두 원의 교점을 구함으로써 타겟의 위치를 추정하였으며 타겟이 3대의 레이더에서 관측되는 경우 반복적 최소자승법을 사용하였다. 그 다음 추정한 타겟의 위치 정보를 칼만 필터의 입력으로 사용하여 타겟의 움직임을 추적하였다. 칼만 필터를 적용한 결과 이상점에 의한 위치 추정 오차를 줄이고 타겟의 움직임을 실제 경로와 비슷하게 추정할 수 있었다.

II. 본론

가. 거리 기반 측위 알고리즘

다변측량은 여러 기준점으로부터 측정된 거리 정보를 기반으로 타겟의 위치를 추정하는 알고리즘이다 [2]. 기준점이 2개인 경우 각 기준점에서 측정된 거리를 반지름으로 원을 그리면 교점이 2개 발생하고 이 중 하나가 타겟의 위치에 해당한다. 그러나 기준점이 3개 이상인 경우 측정된 거리 정보에 오차가 있다면 원들은 한 점에서 교차하지 않게 된다. 이 경우 비선형 최소자승법을 통해 타겟의 좌표를 추정할 수 있다.

3개의 기준점에서 거리를 측정하는 경우 측정된 거리 정보는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{d}_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} + \epsilon_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

이때 (x_i, y_i) 는 i 번째 기준점의 좌표, (x, y) 는 위치를 추정하고자 하는 타겟의 좌표, 그리고 ϵ_i 는 i 번째 기준점에서의 거리 오차이다. 위의 식은

비선형 문제이기 때문에 우선 추정된 해를 기준으로 선형화한 뒤 최소자승법을 적용함으로써 새로운 해를 구할 수 있다. 그 다음 새로운 해를 기준으로 다시 선형화와 최소자승법을 적용할 수 있는데, 해가 수렴할 때까지 이 과정을 반복하는 방법을 반복적 최소자승법이라 한다.

나. 칼만 필터

칼만 필터는 잡음이 포함되어 있는 측정값을 이용하여 시스템의 상태를 추정하는 알고리즘으로써, 레이더 분야에서 타겟을 추적하는데 널리 사용되고 있다 [3]. 칼만 필터를 적용하기 위한 시스템 모델은 다음과 같다.

$$u[n] = Au[n-1] + w[n] \quad (2)$$

$$z[n] = Hu[n] + v[n] \quad (3)$$

이때 $u[n]$ 은 추정하고자 하는 상태 벡터, $z[n]$ 은 측정값 벡터, 그리고 $w[n]$ 과 $v[n]$ 은 잡음 벡터에 해당한다. 위의 식에서 볼 수 있듯이 칼만 필터는 현재 시점의 상태가 이전 시점의 상태와 선형 관계가 있는 경우에 적용 가능하다.

칼만 필터를 타겟의 위치 추적에 적용하기 위해 상태 벡터를 다음과 같이 정의하였다.

$$u[n] = [x[n] \quad \dot{x}[n] \quad \ddot{x}[n] \quad y[n] \quad \dot{y}[n] \quad \ddot{y}[n]]^T \quad (4)$$

직각 좌표계에서 x 방향 및 y 방향으로의 위치, 속도, 가속도로 상태 벡터를 구성하였다. 그리고 식 (2)는 등가속도 운동 식으로 모델링하였고, 식 (3)에서 측정값은 다변측량을 통해 추정한 x 좌표 및 y 좌표로 설정하였다.

다. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 그림 1과 같이 2대의 UWB 레이더와 1대의 FMCW 레이더를 이용하여 움직이는 타겟을 탐지하는 상황을 가정하였다. 이때 레이더의 시야각을 -45° 에서 45° 로 설정하여 구역 1에서는 파란색 UWB 레이더에 의해 탐지가 되지 않고, 구역 3에서는 빨간색 UWB 레이더에 의해 탐지가 되지 않는다고 가정하였다. 따라서 구역 1과 3에서는 두 개의 레이더에서만 측정이 되고 구역 2에서는 세 개의 레이더 모두에서 측정이 된다. 또한 각 레이더에서 측정된 거리는 실제 거리에 가우시안 오

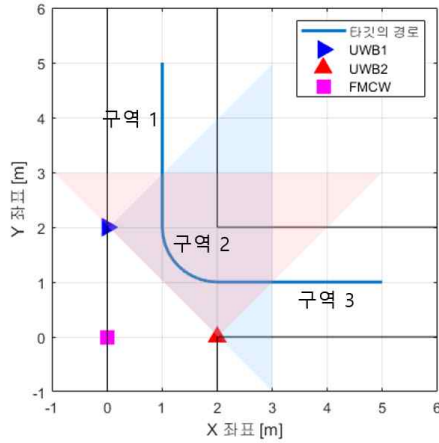


그림 1. 시뮬레이션 환경

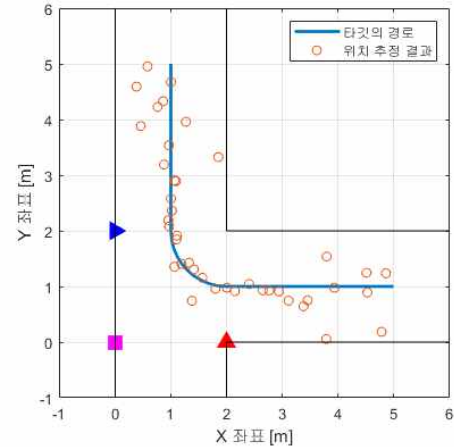


그림 2. 위치 추정 결과

차가 더해져서 측정된다고 설정하였다. UWB 레이더의 경우 FMCW 레이더보다 거리 분해능이 높은 점을 고려하여 UWB 레이더의 경우 $N(0, 0.1^2)$ 의 오차를, FMCW 레이더의 경우 $N(0, 0.2^2)$ 의 오차를 더해 주었다.

라. 타겟 위치 추정 및 추적 결과

움직이는 타겟의 위치를 추정한 결과를 그림 2에 나타냈다. 구역 1과 3에서는 두 개의 레이더에서 추정한 거리 정보를 기반으로 원을 그린 뒤 교점을 찾음으로써 타겟의 위치를 추정하였다. 그리고 구역 2에서는 세 개의 레이더에서 추정한 거리 정보를 기반으로 반복적 최소자승법을 적용하여 타겟의 위치를 추정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 세 개의 레이더로부터의 거리 정보를 사용한 구역 2의 위치 추정 성능이 두 개의 레이더로부터의 거리 정보를 사용한 구역 1과 3보다 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 위치 추정값의 평균 제곱근 오차는 구역 1과 3에서 0.4659m, 구역 2에서 0.1403m로 나타났다.

그림 2에서 추정한 위치 좌표를 이용하여 칼만 필터를 적용하고 타겟의 움직임을 추적한 결과를 그림 3에 나타냈다. 칼만 필터를 적용한 결과 이상값으로 인해 추정값이 크게 벗어나는 현상이 줄어들고 타겟의 실제 경로를 좀 더 잘 추정하는 것을 확인할 수 있었다. 전체 구역에서의 위치 추정값의 평균 제곱근 오차는 칼만 필터를 적용하기 전 0.3405m에서 칼만 필터를 적용한 뒤 0.2043m로 줄어들었다.

III. 결론

본 논문에서는 분산 레이더 시스템에서 추정한 거리 정보를 이용하여 타겟의 위치를 추정하고 칼만 필터를 통해 타겟의 움직임을 추적하였다. 위치 추정 결과 세 개의 기준점에서의 거리 정보를 이용하는 경우 두 개의 기준점에서의 거리 정보를 이용했을 때보다 위치 추정 오차가 줄어들었으며, 칼만 필터를 적용한 결과 이상점에 의한 영향이 줄어들어 전체적인 위치 추정 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

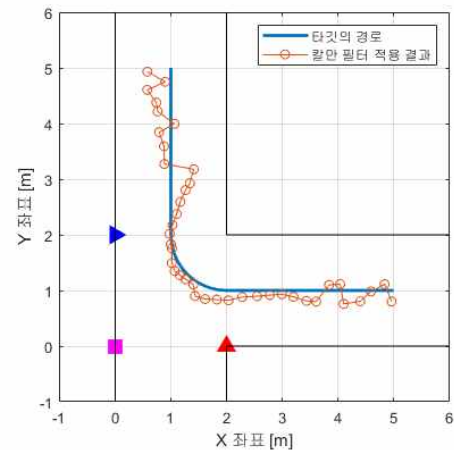


그림 3. 칼만 필터 적용 결과

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 현대오트모바일의 지원을 받아 수행된 결과임.

참고 문헌

- [1] J. van Kleef, J. Bergmans, L. Kester, and F. Groen, "Multiple-Hypothesis Trilateration and Tracking with Distributed Radars," International Conference on Information Fusion, July 2006.
- [2] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [3] S.-T. Park and J. G. Lee, "Improved Kalman filter design for three-dimensional radar tracking," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 37, no. 2, pp. 727-739, April 2001.