

분산 레이더를 이용한 타겟 각도 추정 향상 기법

조완제, 함도영, 박정훈, 김성철

서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

{wjc1423, wj2dy, hoon0337, sckim}@maxwell.ac.kr

Enhanced angular resolution using distributed radars

Wanjei Cho, Do-young Ham, Jeong-hoon Park, Seong-Cheol Kim

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

요약

본 논문은 분산된 레이더를 이용하여 타겟의 각도를 추정할 때, 하나의 타겟이 두개의 타겟으로 보이는 현상을 해결하기 위해 정합필터 기반의 방식을 적용하여 각도 추정을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 far-field 가정이 성립하기 힘든 근거리에서 타겟의 각도 추정 결과가 개선됨을 확인하였다.

I. 서론

센서를 활용한 타겟의 위치 추정은 센서운용을 통한 자동차 자율주행, 무인 항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 운영과 같은 미래 이동수단에 필수적인 기술이다. 일반적으로 하나의 센서만을 운용하는 것이 아니라, Field-Of-View(FOV) 확보, 타겟의 검출 성능 향상, 센서 별 취약부분 보완과 같은 이유들로 다양한 종류 및 다수의 센서가 사용된다.

레이더 센서에서 각도를 추정할 때, 일반적으로 far-field 에서 전파되는 환경을 가정하고, 안테나 배열에서 안테나 간의 거리에 의해 생기는 위상차를 통해 추정한다. 이를 위해 연산량과 구현 복잡도를 고려하여 Fast-Fourier Transform(FFT) 기법들이 다수 사용된다.

본 논문에서는 분산된 복수의 레이더 센서를 사용하여 타겟과의 각도 추정을 수행할 때, 각도 추정 성능을 기존의 fft 기반 기법보다 높일 수 있는 기법을 제시한다.

II. 본론

가. 신호 모델

본 연구에서는 그림 1 과 같이 Frequency Modulated Continuous Wave(FMCW) 레이더 두개가 일정한 거리만큼 떨어져 있는 환경에서 하나의 타겟에 대해 각도 추정을 하는 상황을 가정한다. 하나의 FMCW 레이더에서 타겟으로부터 반사되어 수신된 신호를 믹싱 후, 저주파 대역 필터와 샘플링을 거쳐 나오는 beat signal 은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다[1].

$$s_b[n, k] = \exp\{j2\pi(\frac{\tau_k B n}{N_s} + f_c \tau_k)\} \quad (1)$$

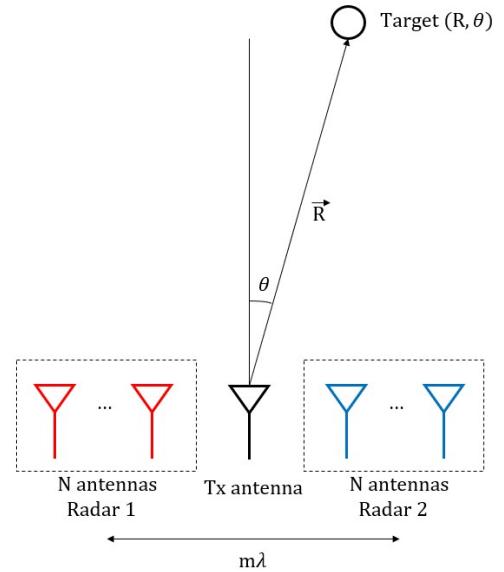


그림 1. 시뮬레이션 환경

수식(1)에서 τ_k 는 k 번째 수신안테나와 송신 안테나 간의 전달 지연 시간, B 는 사용 대역폭, n 은 샘플 인덱스, N_s 총 샘플 개수, f_c 는 중심 주파수를 뜻한다.

나. 제안 기법

FFT 기반 각도 추정을 하기 위해선 타겟이 충분히 멀어 송신신호가 각 수신 안테나 배열에 도달하는 시간이 동일하며, 또한 평면파를 가정하면 안테나 배열에서 수신되는 신호의 위상차는 오로지 안테나 배열 간격에 의해 결정된다는 원리를 이용한다. 하지만, 타겟이 충분히 멀지 않을 경우 그림 2 와 같이 각각 레이더에서 추정하는 타겟의 각도가 서로 달라 하나의 타겟에 대해 서로 다른 두개의 각도 추정값을 부여하게 된다. 이를 해결하기 위해 수식(2)와 같은 near-field

기본 matched filter 를 각각 안테나에 적용하여 타겟 각도 추정 성능을 향상한다.

$$h(R_e, k) = \exp\{-j2\pi(\frac{|R_{e,k}-R_c|}{c} \frac{Bn}{N_s} + f_c \frac{|R_{e,k}-R_c|}{c})\} \quad (2)$$

위 수식에서 R_e 벡터는 FOV 내에서 타겟의 예상되는 위치 벡터이며, $R_{e,k}$ 는 k 번째 안테나에서 타겟의 예상되는 위치까지의 벡터, R_c 는 송신안테나로부터 타겟의 예상되는 위치까지의 벡터이다. 본 기법에서는 타겟의 예상되는 위치를 모른다고 가정하여, FOV 를 grid search 하는 방식으로 구현하였다.

다. 시뮬레이션 결과

본 기법을 검증하기 위해 8m 만큼 떨어진 타겟에 대한 FFT 기반 각도 추정을 수행하였을 때 아래 그림 2 와 같은 결과가, matched filter 기반 기법을 적용하였을 때 그림 3 과 같은 결과가 나타났다.

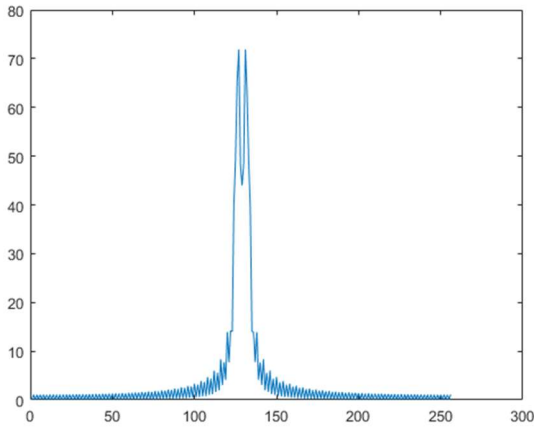


그림 2. 기존 FFT 기반 각도 추정 결과

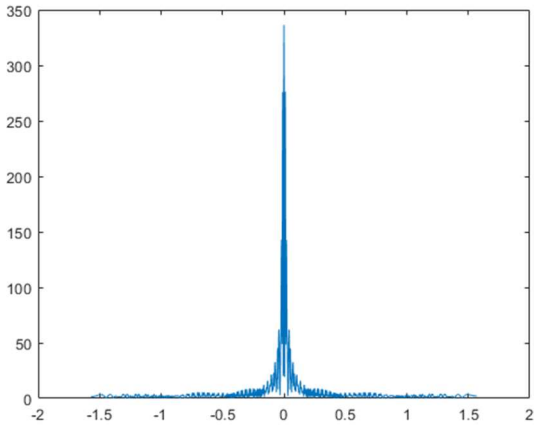


그림 3. 제안 기법 기반 각도 추정 결과

III. 결론

본 논문에서는 분산된 레이더가 하나의 타겟에 대한 각도 추정을 수행할 때, 타겟과의 거리에 안테나 배열에서 수신되는 신호의 위상차에 오차가 생겨 하나의 타겟에 대해 두 개의 각도로 추정하는 문제를 해결하고자 정합필터 기반의 기법을 제안하여 적용하였다.

시뮬레이션 결과 8m 정도 떨어진 타겟에 대해서도 해당 현상이 나타남을 확인할 수 있었으며, 본 논문에서 제안한 기법을 통해 이러한 효과를 줄일 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2024-2021-0-02048)

참 고 문 헌

- [1] J. -H. Park, S. Lee, G. Moon and S. -C. Kim, "Spatial-Wideband Effect Compensation for High-Resolution Imaging in MIMO FMCW Radar," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 73, pp. 1-12, 2024, Art no. 8003312, doi: 10.1109/TIM.2024.3381262.