

Beam 조향을 이용한 Radar의 수평 각도 분해능 향상에 관한 연구

문성빈, *이성주

세종대학교 반도체시스템공학과 및 지능형드론융합전공, *전자정보통신공학과 및 지능형드론융합전공
anstjdqls55@itsoc.sejong.ac.kr, *seongjoo@sejong.ac.kr

A Study on the High Azimuth Angular Reolution for Radar with Beam Steering

Sungbin Moon, *Seongjoo Lee

Dept. of Semiconductor System Engineering and Dept. of Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong Univ.

*Dept. of Electrical Engineering and Dept. of Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong Univ.

요약

Radar는 악조건의 환경에서도 신뢰성이 높아 주목받기 시작하면서 Radar의 성능을 향상시키고자 하는 연구들이 활발해졌다. 그 중 각도 분해능은 Radar의 안테나 수를 증가시킴으로써 향상시킬 수 있다. 그러나 각도 해상도를 향상시키고자 안테나 수를 무한히 늘릴 수 없다. 본 논문은 beam 조향을 이용해 Radar의 수평 각도 분해능을 향상시키는 방법을 제안한다. 계산된 threshold를 가지고 물체를 탐지하고, beam이 조향할 때의 해당 물체의 수신 전력 변화를 분석해 비교적 정확한 위치를 파악한다. 20° 수평 beam 폭을 갖는 24GHz FMCW Radar를 통해 SNR이 0~40dB 사이의 값으로 실험했을 때, 10° 간격의 거리와 속도가 같은 두 물체를 분해했다.

I. 서론

요즘 들어 자율 주행이 각광받기 시작하면서 Radar에 대한 관심이 높아지고 있다. Camera는 비 또는 눈이 오거나 햇볕이 강한 환경에서 사용하기 어렵다. 그에 반해, Radar는 이러한 악조건에 영향을 받지 않고 물체를 탐지할 수 있기 때문이다. Radar를 자율 주행뿐만 아니라 다양한 분야에 적용 가능하도록 성능을 확보하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다.

Radar 성능에 대해서 말할 때 Radar 분해능이 자주 언급된다. 분해능은 서로 인접한 두 물체를 구분할 수 있는 능력이다. Radar는 물체의 거리, 속도, 각도 정보를 이용해 여러 물체들을 구별한다. 그 중 각도 분해능은 식 (1)과 같다.

$$\theta_{res} = \frac{\lambda}{Nd\cos\theta} \quad (1)$$

λ 는 파장을, θ 는 물체의 각도를 의미한다. N은 수신 안테나 개수이고, d는 수신 안테나 간격으로 주로 파장 절반의 값을 갖는다. 식 (1)에서 보듯이 수신 안테나 수를 증가시키면 분해 가능한 각도가 작아져 각도 분해능이 향상된다. 그러나 안테나 수를 늘리는 데에는 물리적으로 한계가 있으며, 안테나 수가 많아질수록 Radar의 크기가 커질 것이다. 본 논문은 안테나 수를 늘리지 않고 beam 조향을 이용해 각도 분해능을 향상시키는 방법을 제안한다.

II 본론에서 Radar의 방사 형태인 beampattern을 살펴보고, 본 논문이 제안하는 방법을 소개한다. 그리고 실험 결과까지 알아보겠다. III 결론에서 실험 결과에 대해 토의하며 마무리한다.

II. 본론

* 교신저자: 이성주

1. Beampattern

Radar는 특정 방향으로 전력이 집중된 전자기파 전파함으로써 신호를 송출한다. 이러한 전자기파를 beam이라 부르며, Radar가 방사하는 beam들의 모양을 나타낸 것이 그림 1.의 beampattern이다. 그림 1에서 최대 전력이 방사되는 방향의 beam을 main lobe라 하고, main lobe를 제외한 다른 방향으로 방사되는 beam들을 side lobe라 한다. 이렇듯, beampattern은 하나의 main lobe와 여러 side lobe들을 가지고 있다.

Main lobe에서 최대 방사 세기의 절반이 되는 두 지점 사이의 각도를 Half Power Beam Width(이하 HPBW)라 한다. 그림 1.에서 main lobe의 두 -3dB 지점 사이 각도를 의미한다. 또한 beampattern은 main lobe에서 최대 전력이 나타나는 지점을 기준으로 거의 양쪽 대칭이다.

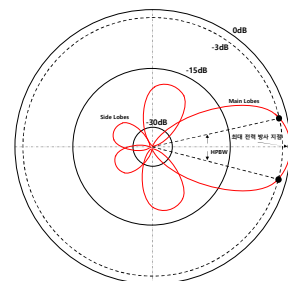


그림1. Radar가 방사하는 Beampattern.

2. 제안하는 방법

본 논문은 Radar가 조향하면서 생기는 수신 전력의 변화에 따라 인접한 각도의 여러 물체를 구분하는 방법을 제안한다. 제안하는 방식은

HPBW의 절반에 해당하는 각도만큼 beam이 조향한다고 가정한다.

2.1 FFT fusing

Radar가 전파한 송신 신호는 물체에서 반사되어 Radar가 다시 수신한다. Radar는 analog to digital converter(이하 ADC)를 통해 수신된 신호를 디지털 신호로 바꿔 출력한다. 제안하는 방식은 우선 Radar 출력 신호에 다음 식 (2)처럼 Fourier Fast Transform(이하 FFT)를 적용한다.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N_s-1} x[n] \exp(-j2\pi nk/N_s) \quad (2)$$

k는 주파수 영역의 index이며, N_s 은 Sample 수를 의미한다. 출력 신호에 대한 FFT 값들은 beam이 조향할 때마다 발생한다. Beam이 조향할 때의 발생하는 각 FFT 값들을 다음 식 (3)과 같이 fusing한다. N_b 는 조향 횟수를 의미한다.

$$X_{fusing}[k] = \frac{1}{N_b} \sum_{i=0}^{N_b-1} X_i[k] \quad (3)$$

fusing한 FFT에서 CA-CFAR를 통해 detection threshold를 계산하고, 해당 threshold를 fusing 전 FFT들에 적용함으로써 물체를 탐지한다 [1].

2.2 수신 전력 변화율

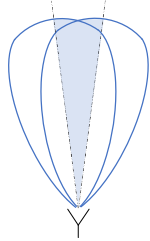


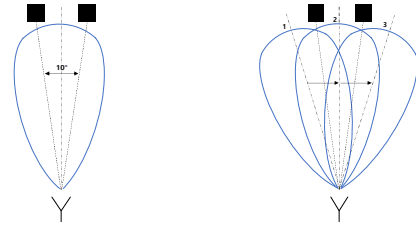
그림 2. HPBW 절반 각도만큼 beam이 조향하는 상황.

그림 2는 Radar가 HPBW 절반의 각도만큼 beam을 조향할 때의 상황이다. 가운데 중심 부분에서 두 beam이 HPBW 절반만큼의 중복 영역을 갖는 것을 알 수 있다. 해당 영역에 물체가 존재한다면 beam은 최대 전력 지점을 기준으로 대칭이므로 두 beam에 나타난 해당 물체의 수신 전력 크기는 거의 차이가 없을 것이다. 반대로 중복 영역 밖에 존재하는 물체의 수신 전력 크기는 beam이 조향할 때 2배 이상 달라지게 된다.

수신 전력은 탐지된 물체의 주파수 성분 크기로 나타난다. FFT fusing 으로부터 얻은 threshold를 이용해 두 beam에 대해서 물체를 탐지하고, 두 beam에서 동일한 주파수 성분끼리의 크기를 비교함으로써 해당 물체의 위치를 파악할 수 있다.

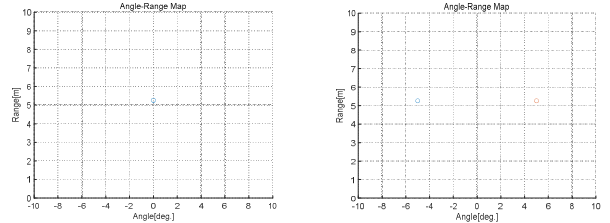
3. 실험 및 결과

MATLAB simulation 환경에서 20°의 수평 beam 폭을 갖는 24GHz FMCW Radar 모델링하여 실험했다. SNR은 0~40dB 사이의 랜덤 값을 사용했다. 전방에 10° 간격의 거리와 속도가 같은 두 물체 배치하고 어떠한 알고리즘도 적용하지 않은 경우와 본 논문이 제안한 방식을 적용한 경우를 비교한다. 그림 3은 이에 대한 simulation 상황이다. 그림 4는 simulation 결과를 angle-range domain으로 출력한 것이다.



(a) 어떠한 알고리즘도 적용하지 않은 경우, (b) 제안하는 방식을 적용한 경우

그림 3. Simulation 상황



(a) 어떠한 알고리즘도 적용하지 않은 경우, (b) 제안하는 방식을 적용한 경우

그림 4. Simulation 결과

Simulation 결과 제안하는 방식을 적용한 경우만 두 물체를 구분할 수 있었다. 그림 5는 제안하는 방식을 적용한 경우의 조향했을 때 각 FFT 결과들이다. 탐지된 물체의 주파수 성분 크기가 2배 이상 달라지지 않는 것을 알 수 있다.

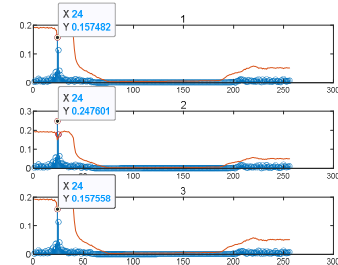


그림 5. Beam을 조향했을 때의 각 FFT 결과들.

III. 결론

본 논문에서는 beam 조향을 통해 FMCW Radar의 분해능을 향상시키는 방법을 제안했다. 제안하는 방식은 20° beam 폭을 갖는 24GHz FMCW Radar로 사용하여 10° 간격의 거리와 속도가 같은 두 물체를 분해했다. 본 연구는 수신 안테나 수를 늘리지 않고 각도 분해능을 향상시킴으로써 하드웨어의 물리적인 복잡도를 줄일 수 있었다. 수신 전력을 사용해 FMCW Radar의 성능을 개선시켰다는 점에서 의의를 갖는다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 이공분야 대학중점연구소지원사업의 지원(No. 2020R1A6A1A03038540) 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2023R1A2C1006340)을 받아 수행한 연구결과이며, 검증에 위한 EDA 관련 툴은 IDEC의 지원을 받았음.

참고 문헌

[1] Mathworks, "Constant False Alarm Rate (CFAR) Detection", 2023, (<https://kr.mathworks.com/help/phased/ug/constant-false-alarm-rate-cfar-detection.html>).