

아날로그 빔 조향을 위하여 RF Front-End에서는 60 GHz 대역에서 동작하는 Sivers사의 EVK06002 빔포머

모듈을 통합하였다. 빔포머 모듈에 차동 아날로그 신호를 전달하기 위하여 외부 balun들을 연결하였으며, balun들의 통과대역 특성을 고려하여 송수신 신호들을 1GHz의 IF (Intermediate Frequency) 대역으로 변환하였다.

고속으로 동작하는 신호의 송수신과 빔 조향을 완벽하게 동기화하기 위해 하드웨어 영역에서 빔을 제어하는 FSM (Finite State Machine) 기반 블록을 구현하였으며 빔 제어 신호를 GPIO (General Purpose Input/Output) 포트를 이용하여 빔포머에 전달하였다. 빔포머에서는 사전 정의된 빔복을 GPIO신호를 통해 인덱싱 함으로써 아날로그 빔 조향이 수행된다.

B. 소프트웨어 정의 기반 운용 및 신호처리

시스템의 제어 및 파형생성은 소프트웨어 영역에서 Python 언어를 기반으로 수행된다. 시스템은 신호 송신을 위하여 자가상관 특성이 우수한 m-sequence (maximum length sequence)를 생성하였으며, 특히 고해상도 거리추정 및 대역폭 최적화를 위하여 디지털 RRC (Root Raised Cosine) 필터를 적용하였다. 구체적인 파라미터는 표 1에 정리하였다. 수신된 신호는 TCP/IP 연결을 통해 실시간으로 서버로 전송되며, 이후 서버에서 레이더 파라미터 추정을 위한 연산을 수행한다.

System parameters	Values
Center frequency [GHz]	62.64 + IF
Intermediate Frequency [GHz]	1
Chip rate [MHz]	500
Chip length	1023
Roll-off Factor	1
Upsampling Factor	4
Sampling Rate [GHz]	4
DAC/ADC Rate Conversion	2

표 1. 구축된 레이더 시스템 파라미터

III. 실내외 측정 실험 결과

제안되는 시스템의 검증을 위하여 실내외 환경에서 실험을 진행하였으며, 송수신 빔을 각각 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 의 범위에서 63개의 빔으로 조향하여 약 1.45° 의 이론적 각도 분해능을 달성하였다.

A. 실내 정적 환경 실험 결과

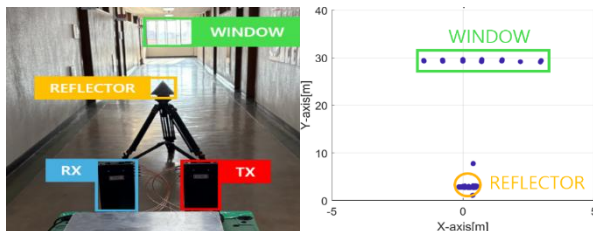


그림 2. 실내 실험 환경(좌) 및 결과(우)

그림 2는 실내 실험 환경 및 결과를 보여준다. 정적인 복도 환경에서 송수신기 정면에 높은 RCS (Radar Cross Section)를 가지는 반사체 (Reflector)를 배치하여 레이더의 거리 및 각도 추정 성능을 검증하였다.

아날로그 빔 조향이 수행됨에 따라 동일한 환경에서 서로 다른 송수신 빔 조합에 대해 신호가 수신된다. 각 타겟의 각도를 추정하기 위하여 다수의 빔 조합에

대하여 신호가 크게 측정된 빔 조합을 선택함으로써 타겟의 각도를 추정하는 방식을 적용하였다.

실험 결과, 바닥 또는 벽에 의한 반사로 인하여 클러터가 많은 환경임에도 높은 신호 세기가 측정된 빔 조합들을 선택함으로써 타겟의 거리와 위치를 추정할 수 있음을 확인하였다. 또한 실험 결과에서는 임의로 설치한 반사체 외에 레이더에서 29m 거리에 위치한 복도 끝 창문에 의한 반사도 측정할 수 있음을 확인하였다. 다만, 탐지되는 반사체와 창문의 point cloud가 x축으로 퍼지는 현상이 관측되었는데, 이는 빔 패턴의 부엽이 야기하는 고스트 타겟에 의한 영향으로 판단된다.

B. 실외 동적 환경 실험 결과

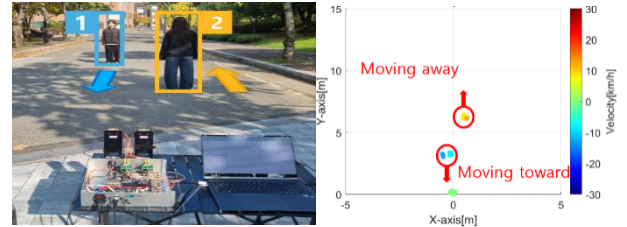


그림 3. 실외 실험 환경(좌) 및 결과(우)

그림 3은 실외 환경에서 두 명의 보행자 타겟이 서로 반대방향으로 이동하는 동적 시나리오와 해당 환경에서의 실험 결과를 보여준다. 속도 추정을 위하여 각 빔 조합에서 자가상관 및 2D-FFT (Two-Dimensional Fast Fourier Transform)를 수행하였다. 보행자 타겟들의 속력값과 방향을 정확하게 추정함으로써 제안하는 시스템이 다중 타겟의 거리, 속도, 각도 추정이 모두 가능함을 확인하였다.

III. 결론

본 연구에서는 단일 RF chain 기반 소프트웨어 정의 PMCW 레이더를 구현하고, 실내외 실험을 통해 다중 타겟의 3D 파라미터 추정 가능성을 입증하였다. 제안된 시스템은 광대역 신호 송수신 환경에서 하드웨어 복잡도를 획기적으로 낮추면서도 유효한 탐지성능을 보였으나, 아날로그 빔의 부엽에 의한 문제가 확인되었다. 향후 연구에서는 탐지 정확도를 더욱 높이기 위해 신호처리 기반의 부엽에 의한 고스트 타겟 억제 기술을 중점적으로 다룰 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00415938, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

참 고 문 헌

- [1] A. Bourdoux, U. Ahmad, D. Guermandi, S. Brebels, A. Dewilde, and W. Van Thillo, "Pmcw waveform and mimo technique for a 79 ghz cmos automotive radar," in Proc. IEEE Radar Conf. (RadarConf), 2016, pp.1-5.
- [2] J.-H. Park, D. Ham, J. Choi, S. Lee, and S.-C. Kim, "Compressive sensing-based demultiplexing of fast-time CDM-MIMO PMCW radar signals for self-code interference cancellation," IEEE Internet Things J., 2025.