

# 28 GHz 트랜시버를 활용한 빔스위핑 기반 반사파 도래각 추정

이현수, 정현진, 김선우

한양대학교 융합전자공학과  
{geniusoo, hyeonjingo, remero}@hanyang.ac.kr

## Beam sweeping-based Reflected Signal AoA Estimation via 28 GHz Transceiver

Hyunsoo Lee, Hyeonjin Chung, and Sunwoo Kim

Department of Electronic Engineering, Hanyang University

### 요약

본 논문은 위상 배열 안테나와 초고속 빔 스위핑 (beam sweeping)이 가능한 28 GHz NI PXI 트랜시버를 활용하여 구조물의 각도별 반사파의 도래각을 추정한다. 도래각 추정 실험은 수신단과 구조물을 여러 각도로 배치하고 위상 배열 안테나에서 16개의 서로 다른 빔포밍 벡터가 저장된 빔 스위핑을 진행한다. 이때 수신단에서 빔별 수신 신호의 전력 측정, 가장 강한 전력이 측정된 빔의 빔포밍 벡터와 각도 정보 저장의 단계로 진행된다. 이번 실험을 통해 평균 수신 전력 측정과 반사된 신호의 도래각을 효과적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

### I. 서론

국제전기통신연합 ITU-R (international telecommunication union)은 6G 이동통신의 신규 서비스로 센싱과 통신을 결합한 ISAC (integrated sensing and communication)을 채택하였다 [1]. ISAC은 주변 환경 및 물체의 센싱 정보를 통신 성능 향상에 활용하는 기술로 물체의 각도, 거리, 속도 등의 센싱 정보를 추정하는 과정이 필수적이다. 최근 실제 환경에서 물체의 센싱 정보를 추정하여 통신 성능 향상에 활용한 연구가 진행된 바 있다 [2], [3]. 위와 같이 하드웨어를 활용한 실제 연구 사례는 지속적으로 늘어날 전망이다. 본 논문에서는 위상 배열 안테나와 28GHz 트랜시버를 활용하여 빔 스위핑 (beam sweeping) 제어를 통해 반사파의 도래각을 추정하고 평균 전력을 측정하였다.

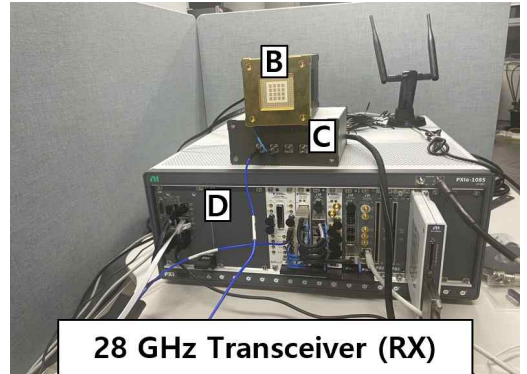
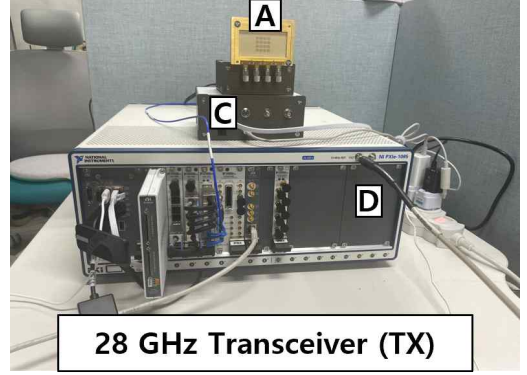


그림 1 28 GHz 트랜시버 (상) 송신단, (하) 수신단

### II. 28 GHz 트랜시버 구성

28 GHz 트랜시버는 그림 1과 같이 TMYTEK 사의 4×4 위상 배열 안테나 (그림 1-A, 그림 1-B) [4], RF 주파수 변환기 (그림 1-C), IF-LO (intermediate frequency-local oscillator) 모듈이 장착된 NI (National Instruments) 사의 PXI 기저대역 신호처리 시스템으로 구성된다.

위상 배열 안테나는 채널별 (그림 1-A: 4개 채널, 그림 1-B: 16개 채널) 위상과 gain을 독립적으로 제어하여 빔포밍 벡터의 방위각, 고도각, 빔 gain을 제어하며 약 3μs의 간격으로 빔포밍 벡터를 변경할 수 있는 SPI (serial peripheral interface) 방식을 사용한다.

PXI 기저대역 신호처리 시스템은 3.072 GS/s (giga samples per second)의 속도로 병렬 연산이 가능한 다수의 FPGA 프로세서와 DAC/ADC 모듈이 장착된 송수신단으로 구성된다. 트랜시버의 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

### III. 반사파 도래각 추정을 위한 수신단 빔 스위핑

28 GHz 트랜시버  $N \times M$  크기의 위상 배열 안테나의 각 요소별 위상변화  $\varphi_{MN}$ 는 식(1)과 같다.

$$\varphi_{MN} = \frac{2\pi}{\lambda}(md_x \sin \theta \cos \phi + nd_y \sin \theta \cos \phi), \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 파장의 길이,  $\phi$ 와  $\theta$ 는 빔포밍 벡터의 방위각과 고도각이며,

$d_x$ 와  $d_y$ 는 수평 및 수직 방향으로 안테나 요소별 간격이다.  $m$ 은 수평 방향의 안테나 요소별 번호,  $n$ 은 수직 방향의 안테나 요소별 번호이다. 또한 위상 배열 안테나의 빔포밍 벡터  $\mathbf{a}(\theta, \phi)$ 는 식 (2)와 같다 [5].

$$\mathbf{a}(\theta, \phi) = \begin{bmatrix} e^{-j\varphi_{00}} & \dots & e^{-j\varphi_{0N}} \\ e^{-j\varphi_{10}} & \dots & e^{-j\varphi_{1N}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-j\varphi_{M0}} & \dots & e^{-j\varphi_{MN}} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

본 논문에서는 빔포밍 벡터  $\mathbf{a}(\theta, \phi)$ 의 방위각과 고도각을 제어하기 위해  $\varphi_{MN}$ 을 5° 단위로 제한한다. 또한 빔 스위핑은 위상 배열 안테나에서 수평방향으로 방위각 0°~45°의 각도에서 3° 단위로

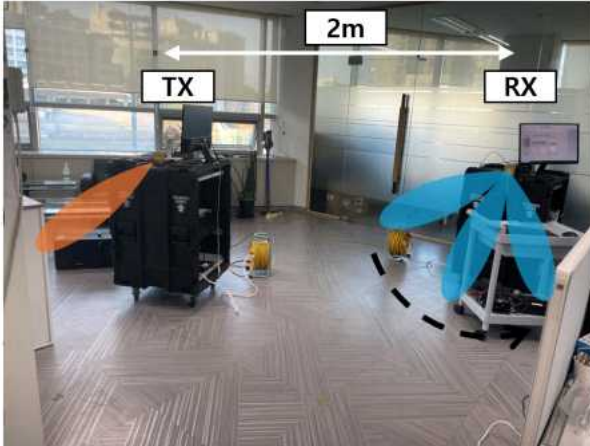


그림 2 (좌) 콘크리트 벽 반사파 각도 추정 환경, (중) 송신단 28 GHz 트랜시버, (우) 수신단 28 GHz 트랜시버

표 1 트랜시버 시스템 파라미터

파라미터	값	단위
중심 주파수	28	GHz
중간 주파수	10.56	GHz
대역폭	800	MHz
빔별 방위각 해상도	3	degree
빔 스위핑 방위각 범위	45	degree
빔 개수	16	-
송신단 빔 Gain	15	dB
수신단 빔 Gain	4	dB

분할하여 전체 16개의 빔을 사용한다. 전체 16개의 빔에 대한 빔포밍 벡터별 방위각, 고도각, gain에 따른 안테나 요소별 위상 및 gain을 1개의 코드북 형태로 저장한다. 이후 저장한 코드북은 PXI 기저대역 신호처리 시스템에서 FPGA bit-stream 형태로 위상 배열 안테나로 SPI flying cable을 통해 위상 배열 안테나로 전달된다.

#### IV. 실험환경 및 반사파 도래각 추정 결과

반사파 도래각 추정 실험은 그림 2와 같이 폭 6.682m, 길이 4.881m, 높이 2.7m의 한양대학교 퓨전테크센터의 실내에서 진행하였다. 송신단과 수신단은 1m의 동일한 높이에 배치하고 이격거리는 2m로 설정하였다. 구조물은 내부에 벽돌이 들어간 콘크리트 벽이며 수신단과 구조물이 15°, 30°, 45°의 각도를 형성하도록 배치하였다.

반사파 도래각 추정 과정은 수신단의 위상 배열 안테나에서 빔 스위핑, 16개의 빔별 수신 신호 전력 측정, 가장 강한 전력이 측정된 빔의 빔포밍 벡터와 각도 정보 저장의 단계로 진행된다. 본 실험에서는 수신단과 구조물이 배치된 각도에 따라 10회의 도래각 추정과 평균 수신 전력을 각각 측정하였으며 10회 실험에 따른 평균을 산출하였다.

표 2 반사파 도래각 추정 결과 및 평균 수신 전력

실제 각도	추정 도래각	평균 수신 전력	Monte Carlo
15°	16.2°	-60.4304dBm	10
30°	31.1°	-65.8504dBm	10
45°	41.3°	-68.7727dBm	10

실험 결과는 표 2와 같으며, 수신단과 구조물을 15°, 30°, 45°의 각도로 배치하였을 때 평균 도래각 추정 결과는 각각 16.2°, 31.1°, 41.3°이다. 이때 수신단에서 측정된 반사파 수신 신호의 평균 전력은 각각 -60.4304dBm,

-65.8504dBm, -68.7727dBm이다. 여기서 신호가 수신되지 않았을 때 수신단에서 측정된 평균 수신 전력은 -74dBm~80dBm 수준이다. 평균 수신 전력 측정을 통해 정상적으로 신호가 수신됨을 확인할 수 있었다. 또한 반사된 신호의 도래각을 효과적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

#### V. 결론

본 논문에서는 NI PXI 28 GHz 트랜시버를 활용하여 구조물의 반사파에 대한 도래각을 추정하고 수신 신호의 전력의 측정 결과를 제시한다. 도래각 추정 과정은 빔 스위핑, 빔별 수신 신호 전력 측정, 가장 강한 전력이 측정된 방향의 빔포밍 벡터 및 정보 저장의 단계로 진행된다. 본 실험에서는 수신단과 구조물을 배치한 각도에 따라 각 10회의 도래각 추정을 진행하고 수신 신호의 전력을 측정하였다. 평균 수신 전력 측정과 반사된 신호의 도래각을 효과적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2023R1A2C3002890).

#### 참고 문헌

- [1] SWG IMT-2030, Framework and overall objectives of the future development of IMT. FRAMEWORK for 2030 and Beyond, Jul. 2023.
- [2] J. Hong, J. Rodríguez-Piñero, X. Yin, and Z. Yu, "Joint Channel Parameter Estimation and Scatterers Localization," *IEEE Trans. Wireless. Commun.*, vol. 22, no. 5, pp. 3324-3340, May 2023.
- [3] Q. Zhang, K. Ji, Z. Wei, Z. Feng, and P. Zhang, "Joint Communication and Sensing System Performance Evaluation and Testbed: A Communication-Centric Approach," *IEEE Netw.*, Mar. 2024. [Early Access]
- [4] TMYTEK, "BBox 5G Lite and BBox 5G One" TMYTEK, Tech. Rep., Oct. 2022, version 1.4.7. [Online]. Available: <https://www.tmytek.com/products/beamformers/bbox>
- [5] W. Tan *et al.*, "Analysis of Different Planar Antenna Arrays for mmWave Massive MIMO Systems," in *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. Veh. Tech. Conf. (VTC Spring)*, 2022.