

28 GHz 대역 빔 포밍 테스트베드 구현 및 방사패턴 측정을 통한 위상오차 원인분석

홍준열, 방지훈, 정현진, 김동현*, 최재훈, 김선우

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, *국방과학연구소

{ftsh610, jhbang, hyeonjingo, choijh, remero}@hanyang.ac.kr, *dh-kim@add.re.kr

Implementation of Beamforming Test-bed on 28 GHz Band and Analysis on Phase Error via Measurement on Radiation Pattern

Junyeol Hong, Jihoon Bang, Hyeonjin Chung,

Donghyun Kim*, Jaehoon Choi, and Sunwoo Kim

Hanyang University, Department of Electronics and Computer Engineering,

*Agency for Defense Development

요 약

본 논문에서는 28 GHz 주파수 대역의 송신 빔 포밍 테스트베드를 구현하고, 테스트베드의 RF 구성을 포함한 안테나의 방사 패턴 측정 결과를 제시한다. 선형 편파 특성을 갖는 패치 안테나가 28 GHz 주파수의 반 파장 간격으로 떨어져있는 16x4 패치 배열 안테나와 16포트 빔 포머 보드 4개를 사용하여 64개 안테나를 지원하는 아날로그 빔 포밍 테스트베드를 구현하였다. 전방으로 조향한 빔에 대한 방사 패턴의 측정 결과를 토대로 시스템 내에서 위상오차가 발생하는 원인을 분석하고 위상 보정의 필요성을 확인하였다.

I. 서 론

배열 안테나를 이용한 빔 포밍 기술은 차세대 이동통신이나 신호처리를 통한 항 제밍에 있어 핵심적인 기술로서 주목받고 있다 [1]. 이에 따라 빔 포밍, 정렬, 널링 등의 알고리즘을 탑재하여 실제적인 실험을 수행하기 위한 빔 포밍 테스트베드를 구현하는 것이 매우 중요한 과제가 되었다. 하지만 시스템 내에서 각 안테나 포트에 인가되는 신호 별로 가지는 서로 다른 위상 오차로 인해, 의도한 방향으로 정확한 빔을 형성하는 데 어려움이 있다 [2]. 따라서 전체 테스트베드의 성능시험을 통해 방사 패턴을 측정하고, 이를 통해 하드웨어에서 생기는 상대적인 위상 편차를 파악할 필요가 있다. 본 논문에서는 이 테스트베드의 구성에 대하여 다루었고, RF단 빔 포밍을 정확히 평가하기 위해 성능시험을 진행하여 그 결과를 분석하였다.

II. 28 GHz 대역 빔 포밍 테스트베드

본 연구에서는 13.8 GHz 주파수 대역을 다루었던 논문 [3], [4]의 후속 연구로서, 더 높은 주파수 대역과 더 큰 규모의 안테나 소자를 가진 배열

안테나를 이용한 테스트베드를 새로이 구축하였다. 이는 상용 빔 포머 보드와 16x4 크기의 평면 배열 안테나를 이용해 28 GHz 주파수 대역에서 무선 신호 송신 테스트베드이다. 본 연구에서 사용한 빔 포머 보드는 Analog Devices사에서 제조한 ADMV-4801 평가보드로, 중심 동작 주파수는 28 GHz이며 하나의 보드에 16개 포트에 대한 위상 편이를 지원한다. 배열 안테나는 수평 방향으로 16개, 수직 방향으로 4개의 총 64개의 안테나 소자를 가진 평면 배열 안테나이다. 각 안테나 소자는 선형 편파 특성을 가진 패치 안테나로 구성된다. 따라서 수직 방향을 포함한 3차원의 빔 조향이 가능하며 수평 방향에 대하여 더 좁은 빔폭을 가진다. 안테나 간 거리는 28 GHz 전파의 반 파장 길이로 설계되어있다.

평면 배열 안테나의 수평 축 방향으로 한 줄씩 16개 안테나 소자를 하나의 빔 포머 보드에 연결하였다. 따라서 방위각 방향으로의 빔 조향은 각 빔 포머 보드의 포트 별 위상 편이로 수행하고, 고각 방향으로의 빔 조향은 각 빔 포머 보드 간에 전체적인 위상 차이를 두어 수행하도록

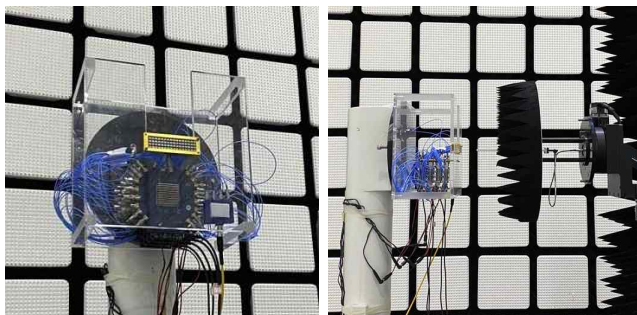


그림 1. (좌) 테스트베드 RF단 (우) 측정 과정

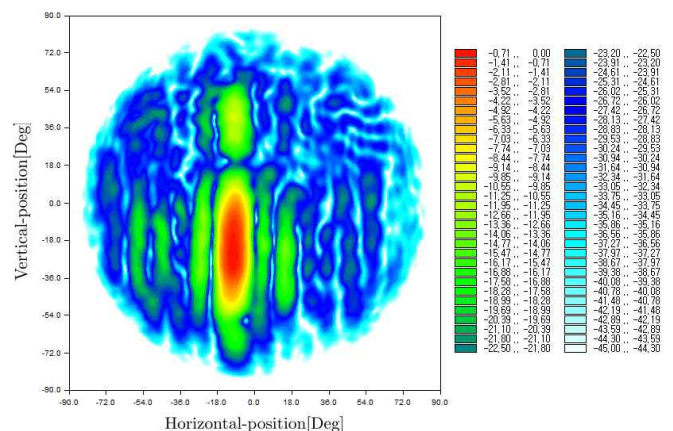


그림 2. Far-field 3D 빔 패턴

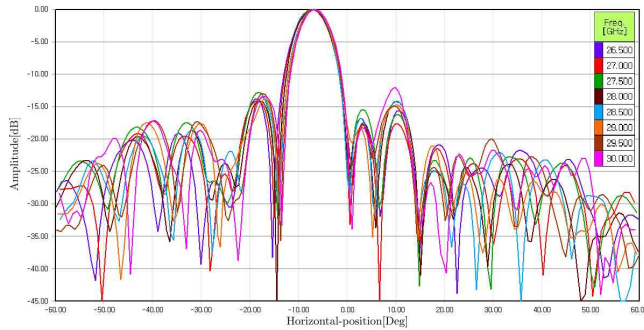


그림 3. 수평평면에 대한 정규화된 안테나 이득 패턴

하였다. 본 테스트베드에 사용한 각 부품들의 데이터시트에서 확인한 최대 위상 오차는 전력 분배기 각 출력 포트 사이에서 $\pm 16^\circ$, 빔 포머 보드의 각 포트 사이에서 $\pm 2^\circ$ 이다.

III. 빔 방사 패턴 측정 결과 및 분석

테스트베드를 이용해 조향한 빔의 방사 패턴을 정확하게 측정하기 위해 인천광역시 연구에 위치한 정보통신산업진흥원 IoT기술지원센터의 전파무반향실(anechoic chamber)에서 near-field probing method를 이용하여 성능시험을 진행하였다.

그림 2는 빔 포머 보드의 모든 위상을 동일하게 천이하여 빔을 방위각 0° , 고각 0° 인 전방으로 향하도록 설정한 상태에서 측정한 정규화 된 빔 패턴을 heat-map으로 나타낸 이미지이다. 붉은색으로 표시된 부분이 가장 큰 안테나 이득을 보이는 부분이며, 하늘색 부분이 가장 낮은 안테나 이득을 나타내는 부분이다. 그림 3은 26.5 GHz 주파수에서 30 GHz 주파수까지 0.5 GHz 간격으로 고각 0° 에 대한 수평평면에 대하여 측정한 수신신호를 정규화 한 그래프이며 그림 4는 이를 방위각 0° 인 수직평면에 대하여 측정한 그래프이다. 그림 3, 4에서 28 GHz 주파수를 기준으로 방위각에 대한 HPBW (half power beamwidth)는 약 $6^\circ 7'$ 이며, 수직 방향으로 고각에 대한 HPBW는 약 $24^\circ 25'$ 이다. 최대의 안테나 이득을 갖는 방위각과 고각은 각각 -6.940° , -17.861° 인데, 실제로 의도한 0° , 0° 와 상이한 결과이다. 이는 전력 분배기, 빔 포머 보드의 내부 회로, 위상 천이기 등의 위상 오차의 총합으로 이루어진 것으로서, [5]의 코드북과 빔 패턴 측정값을 통해 추정한 각 포트 별 위상 편차는 표 1과 같다.

본 테스트베드에 사용한 부품들의 데이터시트에 명시된 최대 위상 편차의 총합은 $\pm 16^\circ$ 임에 비해, 위상 편차의 추정값을 나타낸 표 1에는 이보다 훨씬 큰 값도 들어있다. 이는 개별 안테나 소자가 가진 편향된 방사 패턴의 영향까지도 포트 별 위상 편차로서 추정하였기 때문으로 예상된다.

IV. 결론

본 연구에서는 28 GHz 빔 포밍 테스트베드를 구현하고, 실제로 원하는 방향으로 빔을 조향할 수 있는지 검증하였다. 하지만 전방에 대한 빔 조향

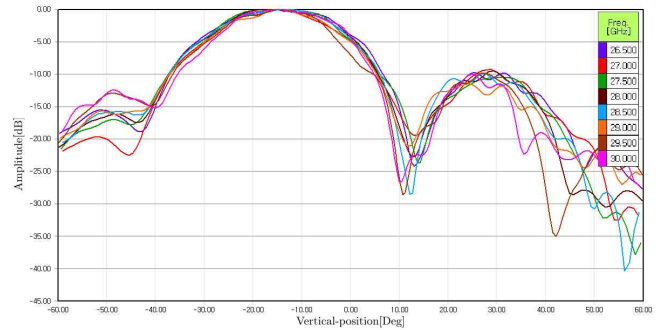


그림 4. 수직평면에 대한 정규화된 안테나 이득 패턴

시 실제로 조향된 빔의 각도는 이상적인 빔 조향 각도에 대하여 약 19.121° 의 차이를 보였다. 따라서 모든 안테나 소자에 인가되는 각 포트 사이에 위상 편차가 있음을 확인하였다. 결과적으로, 각 RF 포트 별로 누적된 위상 편차와 안테나 방사 패턴이 빔을 틀어지게 하여 방위각 -6.940° , 고각 -17.861° 의 오차를 만들어 낸 것으로 보인다. 따라서 의도한 방향으로 정확하게 빔을 조향하기 위해서는 계측 결과를 이용해 각 포트 별 위상 편차를 역산하여 array calibration를 진행해야 한다. 후속 연구에서는 위상 편차를 실제로 보상하여 정확한 빔을 구현하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행하였음. (UD160070BD)

참 고 문 헌

- [1] S. A. Hamza and M. G. Amin, "Optimum sparse array receive beamforming for wideband signal model," *2018 52nd Asilomar Conf. Sig., Syst., Comput.*, Pacific Grove, CA, USA, 2018, pp. 89–93.
- [2] T. Moon et al., "Online millimeter wave phased array calibration based on channel estimation," *IEEE Design & Test (Early Access)*.
- [3] 홍준열, 송용민, 정현진, 강정완, 김선우, "빔 포머 구현 및 MIMO 채널 빔 정합 이득 검증," *한국통신학회논문지*, 44권, 10호, 1975–1978, 2019.
- [4] 홍준열, 정현진, 박영미, 김선우, "빔 포밍 테스트베드를 이용한 위치기반 빔 정렬의 실험적 검증," *2020 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집*, 262–263, 2020.
- [5] D. Yang, et al., "DFT-based beamforming weight-vector codebook design for spatially correlated channels in the unitary precoding aided multiuser downlink," *2010 IEEE Int. Conf. on Commun.*, Cape Town, 2010, pp. 1–5.

표 1. 빔 포밍 테스트베드의 각 포트 별 위상 편차 추정값 (단위 $^\circ$)

포트	1열	2열	3열	4열	5열	6열	7열	8열	9열	10열	11열	12열	13열	14열	15열	16열
1행	0	299.56	239.12	178.69	118.25	57.81	357.37	296.94	236.50	176.06	115.62	55.18	354.75	294.31	233.87	173.43
2행	150.34	89.90	29.47	329.03	268.59	208.15	147.72	87.28	26.84	326.40	265.96	205.53	145.09	84.65	24.21	323.78
3행	300.68	240.25	179.81	119.37	58.93	0	298.06	237.62	177.18	116.74	56.31	355.87	295.43	234.99	174.56	114.12
4행	91.03	30.59	330.15	269.71	209.27	148.84	88.40	27.96	327.52	267.09	206.65	146.21	85.77	25.33	324.90	264.46