

# 철도 통신에서 빔포밍 기술 연구 동향

백중현, 전우현, 이지연, 송찬빈, 노고산\*

국립한밭대학교

wp06071@naver.com, gsw07053@naver.com,

20211091@o365.hanbat.ac.kr, 20201595@edu.hanbat.ac.kr, \*gsnoh@hanbat.ac.kr

## A Research Trend on Beamforming for Train Communications

Junghyeon Baek, Woohyun Jeon, Jiyeon Lee, Chanbin Song, Gosan Noh\*

Hanbat National Univ.

### 요약

본 논문은 철도 통신 환경에서 빔포밍 기술 활용에 대해 소개한다. 빔포밍은 안테나 여러 개를 일정한 간격으로 배열하고, 각 안테나를 공급되는 신호의 진폭과 위상을 변화시켜 특정한 방향으로 안테나 빔을 만들어 그 방향으로 신호를 강하게 송수신하는 기술이다. 빔포밍은 무선 통신 분야에서 활발하게 사용되고 있으며, 그 중에서도 고품질 광대역 철도 통신에 활용되고 있는 현재의 실제 사례들에 대해서 서술한다.

### I. 서론

대한민국의 통신 시스템은 5G 기술로 구성되어 있다. 5G의 주요 후보 주파수 중 하나는 밀리미터파이고, 주파수가 24GHz 이상이며 전파의 파장이 밀리미터 수준인 초고주파 전파 신호로 더 빠른 속도의 무선 통신을 가능하게 한다. 이러한 밀리미터파를 이용한 기술로 바로 빔포밍이 있다.

빔포밍은 안테나 여러 개를 일정한 간격으로 배열하고, 각 안테나를 공급되는 신호의 진폭과 위상을 변화시켜 특정한 방향으로 안테나 빔을 만들어 그 방향으로 신호를 강하게 송수신하는 기술로, 광선을 뜻하는 beam과 모양을 만들어 낸다는 forming의 합성어이다.

빔포밍은 파동의 모양과 방향을 원하는 대로 바꿀 수 있어서 무선 통신 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 초기 빔포밍 기술은 수신 범위가 한 방향으로만 고정되어 있었지만 좁은 범위를 극복하기 위해 여러 안테나의 간섭을 실시간으로 조정하는 기술로 발전하였다.

철도 통신 환경에서 고품질 광대역 통신에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 이에 따라 빔포밍 기술을 철도 통신에 접목시켜 활발하게 활용되고 있다. 본 논문에서는 철도 통신에 빔포밍이 활용되고 있는 실제 사례들을 조사하고 분석한다.

### II. 본론

현재 주로 사용되는 6GHz 이하의 주파수 대역은 거의 포화되어, 이 대역에서의 트래픽 수용을 위한 추가적인 주파수 대역 확보가 어렵기에, 이동통신의 트래픽을 처리하기 위해 광대역의 주파수를 확보하기 위한 기술로서 밀리미터파 기술이 연구되고 있다.

밀리미터파 채널은 30 GHz~300 GHz 대역의 스펙트럼을 사용하며, 넓은 대역폭을 사용할 수 있고 직진성이 높으며 데이터 처리 속도가 빠르다는 장점이 있다. 그러나, 높은 반송파 주파수와 짧은 파장을 가지는 밀리미터파 대역의 특성으로 인해 경로 감쇠(손실)가 크다는 단점이 존재하여 Massive MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) 기술과 이를 응용한

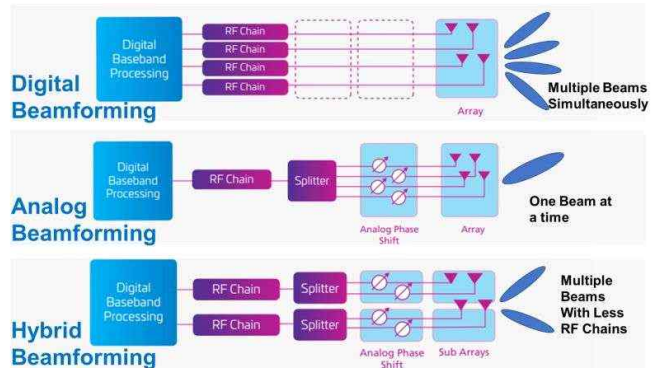


그림 1. 빔포밍 구현 방식의 종류

(출처: <https://blog.naver.com/wjw1225/223044725712>)

빔포밍 기술(그림 1)을 사용하여 이러한 문제를 보완하고 있다[1].

이러한 빔포밍 기술은 다양한 분야에서 응용되고 있는데, 그중에서도 철도 통신에서 빔포밍 기술이 응용되는 사례를 소개하고자 한다.

첫 번째로, 한국전자통신연구원(ETRI)에서 빔포밍 기술을 이용해 곡률이 심한 서울 지하철 구간에서도 5G AR(Augmented Reality) 서비스를 성공적으로 시연한 사례가 있다(그림 2). 여기서 직진성이 강한 용도 미지정 주파수 대역(FACS: Flexible Access Common Spectrum) 밀리미터파 주파수를 기반으로 하는 초고주파 기반 무선 백홀 시스템을 빔포밍 기술로 보완해 지하철에 적용하였는데, 이때 빔포밍은 단말에 송신 신호를 집중적으로 보내는 데 사용되었다. 이를 통해 기존보다 30배 빠른 최대 1.9기가비트(1.9Gbps)급으로 전송속도를 달성했고, AR 서비스를 190명이 동시에 이용할 수 있게 하는데 성공하였다. 또한 기존의 3.5GHz 5G 기지국과 차별화되는 28GHz 5G 기지국을 차세대 와이파이가 불리는 '와이파이 6E' 서비스를 제공하는 데 활용할 예정인데, 차세대 와이파이는 기존의 와이파이보다 10배 이상 빠른 평균 700Mbps의 데이터 다운로드 속도를

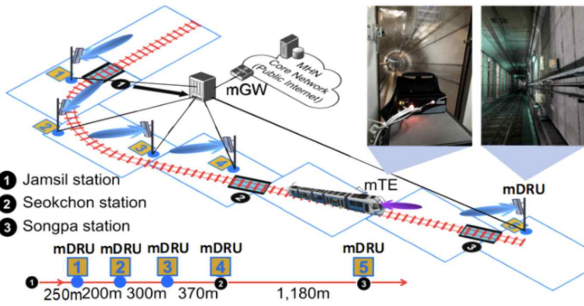


그림 2. 서울 지하철 시험 환경[2]

보여주며, 1대의 AP에서 두 자릿수 연결을 넘기 어려웠던 기존의 와이파이에 비해 1대의 AP에 최대 80명의 연결 수용량을 감당하는 향상된 성능을 보여주며, 이를 통해 28GHz 5G의 폭넓은 적용 가능성을 기대할 수 있다.[2]

그다음으로 소개하는 사례는 초고속 통신을 위해 단일 RF(고주파) 체인을 사용하여 ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나를 설계한 사례이다. 열차가 고속으로 이동하는 철도 통신 환경으로 인해 기지국과의 무선 통신 채널에서 빠른 페이딩이 발생하며, 기지국과 열차 사이의 장애물에 의한 왜곡이 생기는 문제점이 있다. 이에 대응해 빔포밍 기술을 적용하는 연구가 진행되고 있으며, 이 중 하나가 ESPAR 안테나를 이용한 빔포밍 기술이다.

ESPAR 안테나는 3개의 소자를 가지는 모노폴 형태로 구성되어 있으며, 중앙에 단일 RF-체인을 가지는 능동소자와 양 옆으로 2개의 기생소자들이 둘러싸는 형태의 안테나로, 기생소자들의 리액턴스를 조절하여 원하는 방향으로 빔포밍이 가능하다는 특징이 있다.

기존의 안테나들은 다수의 RF-체인을 사용해서 소모 전력이 크고, 시스템이 복잡하지만 ESPAR 안테나는 사용하는 RF-체인의 수가 적기 때문에 소모 전력이 적고, 안테나의 시스템 크기와 복잡도를 줄일 수 있다는 장점이 있다. ESPAR 안테나에서 부엽의 크기가 작으면서 안테나의 행간 거리가  $\lambda$  일 때 빔의 이득과 지향성이 가장 높은 빔을 생성할 수 있는데, 이를 통해 철도 통신 환경에서 좌우 방향의 고이득 빔포밍이 적용될 수 있고, 이러한 고이득 빔포밍을 통해 고품질, 신뢰성 있는 철도 통신이 가능할 것이라고 예상되고 있다[3].

마지막으로 소개하는 사례는 고속열차 통신을 위한 고주파 대역 활용 및 빔포밍 선정 방안에 관한 해외 연구이며, 여기서는 HST(High Speed Train)의 도입으로 인해서 세계 여러 지역에서 승객들에게 고품질의 무선 통신 서비스를 제공할 필요성을 제기하고 있다. 이를 위해 HFB(High Frequency Bandwidth)의 사용 가능성을 검토하여 이에 대해 제시하였다.

논문에서는 HFB를 사용하여 HST 네트워크에서 대역폭을 확장하고 데이터 전송률을 높이는 것이 목표로 연구를 하였으며, 여기서 HFB를 사용하는 HST 네트워크에서의 통신 성능을 향상시키기 위해 빔포밍 기술을 적용하였다. 즉, HFB와 빔포밍 기술을 결합하여 HST 네트워크에서의 통신 성능을 개선하는 방법을 연구하였으며, HFB에 대한 채널 모델 및 다양한 경로 손실 모델의 영향을 분석하여 결론에서 HST를 위한 간단한 아날로그 빔포밍 선택 방법을 제안하였고, 이를 통해 제안된 빔포밍 방식의 성능을 SVD(Singular Value Decomposition:특이값 분해) 빔포밍 및 LTE 기반의 성능과 비교하면서, 특정 시간에 가장 적합한 빔포밍을 선택하는 시간 기반 아날로그 빔포밍 선택 알고리즘도 제안하였다[4].

### III. 결론

본 논문에서는 철도 통신에 빔포밍 기술을 활용한 여러 사례를 소개하였다. 먼저 한국전자통신연구원에서 진행한 증강현실(AR) 서비스를 빔포밍을 통해 지하철에서 시연한 사례가 있으며, 기존의 철도 통신이 어려운 지하철 환경에서 성공적으로 고속 무선랜 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다. 또한 28GHz 5G를 이용한 차세대 와이파이는 기존의 와이파이보다 매우 빠른 데이터 다운로드 속도를 자랑하며, AP의 수용량도 크게 늘었다는 점에서 훨씬 진일보한 성능을 보여주었으며, 추후 여러 방면에서 활용도가 높을 것이라고 기대되고 있다.

그다음으로, 단일 RF(고주파) 체인을 사용한 ESPAR 안테나를 초고속 철도 통신에 활용하는 사례를 소개하였다. 참고한 논문에서는 ESPAR 안테나 배열 구조를 이용해 이득과 지향성이 높은 빔을 생성하여, 전력 효율이 향상되면서 하드웨어 복잡도 및 비용을 줄이는 방향으로, 신뢰성 있는 초고속 통신을 가능하게 하는 방법을 제시하였다.

마지막으로, 고속 열차에 빔포밍 기술과 HFB를 결합하여 더욱 향상된 통신을 가능하게 하는 연구에 대해서 살펴보았다. HST은 높은 이동 속도와 채널의 빠른 변화로 인해 통신이 어려운 특성이 있는데, 기존의 철도 무선 통신 시스템은 이러한 환경 변화에 맞게 설계되지 않았기 때문에, 통신 성능이 제한되는 경우가 많았지만, 본 논문에서 소개한 방법으로 HST에서의 통신 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

위의 사례들을 통해 빔포밍 기술이 철도 통신에 현재 활용되고 있는 현재의 상황을 분석하고, 빔포밍 기술의 높은 확장성과 가능성에 대해서 알아볼 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] 주상임, "5G 밀리미터파 통신을 위한 딥러닝 기반 안테나 선택 및 하이브리드 빔포밍 시스템", 충북대학교 대학원 전파통신전공 공학박사 학위논문, 2021
- [2] 백승권, 송재수, 정희상, 김일규, "밀리미터파 기반 지하철 무선 백홀 통신 시스템 성능 평가", 한국통신학회 학술대회논문집, 2020
- [3] 최진규, 장국한, 유홍균, "철도 무선통신을 위한 단일 RF 체인을 사용하는 고이득 빔포밍 패치 ESPAR 안테나 설계 및 분석", 한국전자과학회논문지, 26(8), pp. 710-717, 2015.
- [4] Ayotunde O. Laiyemo, Petri Luoto, Pekka Pirinen, and Matti Latva-aho, "Feasibility Studies on the Use of Higher Bands and Beamforming Selection Scheme for High Speed Train Communication," Hindawi Vol. 2017.