

## THz 통신에서의 부반송파를 이용한 도래각(AoA) 추정

이준영, 고영채

고려대학교

{jylee25, koyc}@korea.a.kr

## AoA Estimation by Using Subcarrier for THz Communications

Joon-Young Lee, Young-Chai Ko

Korea Univ.

## 요약

본 논문은 THz 통신에서 OFDM을 사용할 때 부반송파를 이용하여 기지국으로부터 사용자 방향으로의 도래각을 추정하는 방법을 소개한다. THz 대역에서는 넓은 대역폭의 사용으로 매우 높은 전송률의 이득을 볼 수 있으므로 미래의 6G 무선통신의 핵심기술 중 하나로 여겨지고 있다. 하지만 넓은 대역폭 사용으로 인하여 중심 주파수와 멀어질수록 빔편이 현상이 발생하게 되어 도래각을 예상하기 어렵다. 이에 우리는 각 부반송파에서 오는 신호의 세기를 분석하여 도래각을 추정하였다.

## I. 서론

6G 이동통신 시스템에서는 모바일 홀로그램, 가상현실 등과 같은 새로운 초고속 애플리케이션을 지원하기 위해 Tbps의 데이터 전송률을 실현할 것으로 예상된다.[1] THz대역(0.1-10 THz)을 사용하게 되면 기존의 mmWave대역(30-100 GHz)에서의 통신보다 넓은 대역폭을 가지므로 Tbps의 데이터 전송률을 가능하게 한다. 따라서 THz 대역에서의 통신은 6G 이동통신에서 주요 기술로 여겨지고 있다.

기존의 빔포밍 모델에서의 위상 천이에서는 중심 주파수에 대하여 위상 천이를 형성한다. 이는 낮은 대역폭에서의 통신의 경우 부 반송파와 중심 주파수의 비율이 1에 가깝기 때문에 문제가 되지 않았다. 하지만 THz 대역에서의 통신에서는 대역폭이 크기 때문에 부반송파와 중심주파수의 비율이 1이라고 할 수 없게 되어 이때의 빔은 기존의 위상천이기를 이용하면 중심 주파수가 아닌 다른 주파수에서는 아래의 그림 1과 같이 다른 방향을 가리키게 되는데 이를 빔 편이 현상이라고 한다.

유저입장에서는 이러한 빔 편이 현상 때문에 정확한 방향 각도를 알 수 없게 된다. 이에 [2]에서는 True-Time-Delay를 이용하여 빔 편이 현상을 제거하는 현상을 소개하였다. 본 논문에서는 대략적인 도래각과 실제 각도가 존재하는 범위를 알고 있다고 가정된 상태에서 각 부반송파를 통해 받은 신호의 세기를 분석하여 정확한 도래각을 추정하는 기법을 제안한다.

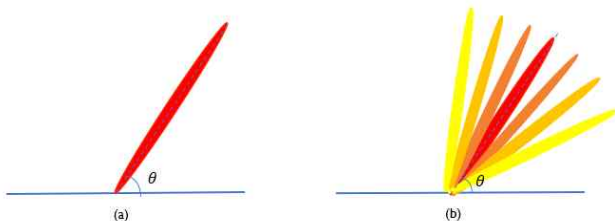


그림. 1. (a) 낮은 대역에서의 빔 형성, (b) 높은 대역에서의 빔 편이 현상

## II. 본론

## 2. 1. 시스템 모델

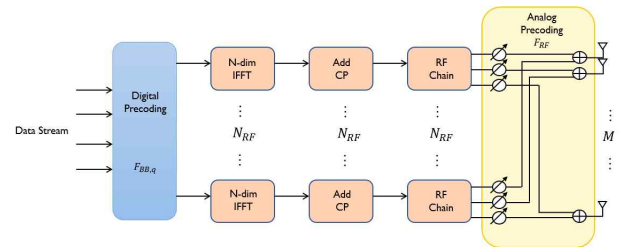


그림. 2. OFDM을 이용한 시스템 모델

본 논문에서 사용되는 시스템 모델은 그림 2와 같다. 기지국에서는 M개의 안테나가 일정한 거리(ULA)로 존재하고, 각 안테나 사이의 거리는  $d$ 이다. 전송 대역폭은  $W$ , 캐리어 주파수는  $f_c$ , 도래각은  $\theta$ , 정규화된 각도를  $\psi$ 라 하고  $\psi$ 와  $\theta$ 사이에는  $\psi = \frac{d \sin \theta}{\lambda_c}$  관계가 성립한다. 부반송파의 개수는 N개를 사용하였다. RF 체인과 베이스밴드 프리코더를 각각  $F_{RF}$ ,  $F_{BB}$ 라 하고, 채널을  $H$ , 입력되는 신호를  $s$ , 수신된 신호를  $y$ , 잡음을  $n$ 이라 하면  $y$ 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$y = HF_{RF}F_{BB}s + n \quad (1)$$

이 때 수신신호  $y$ 는 중심주파수  $f_c$ 와 부반송파  $f_n$ 의 비율  $\zeta_n = f_n/f_c$ 에 의하여 빔편이현상이 발생하게 된다.  $\zeta_n$ 에 의하여 편이 된 각도,  $\psi_n$ 은  $\psi_n = \zeta_n \psi_0$ 가 된다. 이때 이 비율이 1과 차이가 클수록 빔 편이 현상이 크게 발생하게 된다.[3]

우리는 이  $\psi_n$ 을 이용하여 채널  $H$ 를 식(2)와 같이 세웠다.

$$H = [1, e^{-j2\pi\psi_n}, \dots, e^{-j2\pi(M-1)\psi_n}] \quad (2)$$

## 2. 2. 시뮬레이션 결과

우리는  $\psi$ 의 대략적인 값을 알고 있다고 가정하고 그 각도를  $\psi_0$ 라고 하였다. 본 시뮬레이션에 사용되는 파라미터는 표(1)과 같다.

M	256개
W	15GHz
$f_c$	300GHz
N	128개
SNR	10dB

표(1) 시뮬레이션 파라미터

$d = \frac{\lambda_c}{2}$ 라 하였고,  $\psi$  값은 -1에서 1사이 임의의 값으로 설정을 하였다.

그리고 식(1)을 통해 얻은 신호의 세기를 계산하였다. 이때 가장 큰 세기 일 때의 신호가 몇 번째 부반송파를 통해 얻은 신호인지 확인하였다. 그 신호가  $l$ 번째 부반송파를 통한 신호였다면 식(3)과 같이  $\psi_0$ 에  $f_c/f_l (= 1/\zeta_l)$ 을 곱하여  $\psi$  값을 추정하였고 그 값을  $\psi_p$ 라고 하였다.

$$\psi_p = (f_c/f_l)\psi_0 = \psi_0/\zeta_l \quad (3)$$

위의 과정을 100번 반복하여 각 경우에서 기준에 알고 있다고 가정한 대략적인 각도  $\psi_0$ 에 비해 새롭게 추정한 각도  $\psi_p$ 가  $\psi$ 에 얼마나 더 가까워졌는지를 비교하여보았다. 그림 3은 100번의 시뮬레이션 동안  $\psi_0$ 와  $\psi_p$ 가 실제 각도인  $\psi$ 와 비교하여 얼마만큼의 오류율을 갖는지 계산하고 나타낸 그래프이다.

그림 3에서는 파란색 실선이 나타내는  $\psi_p$ 가 빨간색 실선이 나타내는  $\psi_0$ 에 비해  $\psi$ 에 가까워졌다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 진행한 100번 동안  $\psi_0$ 의 평균 오류율은 0.4854이지만  $\psi_p$ 의 평균 오류율은 0.1366으로 이 또한 성공적으로  $\psi$ 에 보다 가까운 값을 추정하였다고 볼 수 있다.

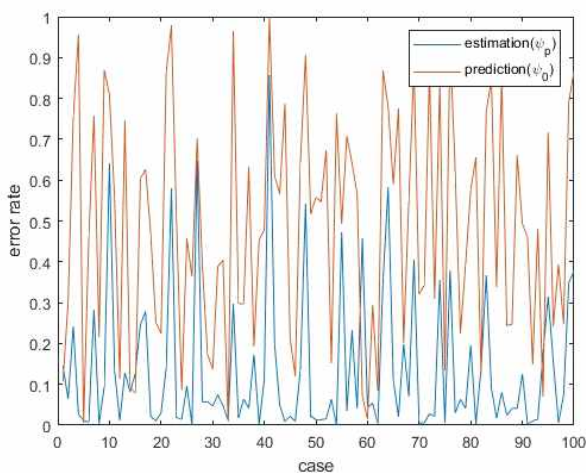


그림. 3. 각각의 경우의 대략적인 값과 예측값과 추정값의 오류율 비교

## III. 결론

6G 이동통신에서는 Tbps대의 높은 전송률 실현을 위하여 THz대역에서의 통신이 대두되고 있다. 하지만 넓은 대역폭으로 인한 빔 편이 현상이 발생하게 되고, 도래각의 추정이 어렵게 된다. 본 논문에서는 수신된 신호의 세기를 통해 부반송파에 의해 편이 된만큼 역으로 그 정도를 곱하여 도래각을 추정하는 방법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 도래각에 가까운 값을 얻음을 확인할 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00161, 초연결 초대역 MIMO 송수신 기술 연구)

## 참 고 문 헌

- [1] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward 6G networks: Use cases and technologies," IEEE Commun. Mag., vol. 58, no. 3, pp. 55 - 61, May 2020.
- [2] F. Gao, B. Wang, C. Xing, J. An, and G. Y. Li, "Wideband Beamforming for Hybrid Massive MIMO Terahertz Communications," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 39, no. 6, pp. 1725 - 1740, Jun. 2021.
- [3] J. Tan and L. Dai, "Delay-phase precoding for THz massive MIMO with beam split," in Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM), Waikoloa, HI, USA, Dec. 2019, pp. 1 - 6.