

Performance Analysis of Non-Orthogonal Multiple Access with Sub-Constellation Alignment

Jeong Seon Yeom (CNU) and Bang Chul Jung (CNU)

요약

본 논문은 셀룰라 하향링크 환경에서 비직교 다중 접속 (non-orthogonal multiple access, NOMA) 기법 중 전력 도메인에서의 다중 접속 기술인 다중 사용자 중첩 전송 (multiuser superposition transmission, MUST)을 다룬다. 본 논문은 기지국에서 하나의 단말(enhanced-UE)을 둘 이상의 단말(based-UE)들과 동시에 썬을 이루어 중첩신호들을 생성하여 통신을 하는 변조신호 정렬기반 비직교 다중접속 시스템에서 각 단말의 비트오류확률 (BER)을 수학적으로 분석한다. 시뮬레이션 결과를 통하여 본 논문에서 제안한 수학적 분석이 정확함을 보인다.

I. 서론

비직교 다중 접속 (NOMA)은 한정된 주파수 자원을 둘 이상의 단말들이 동시에 사용함으로써 인해 주파수 효율성을 높이는 다중 접속 기술로 5G이동통신의 주요 기술로서 많은 연구가 진행되고 있다 [1]. 최근 비직교 다중접속기술을 이용하여 한 개의 단말이 서로 다른 두 개의 단말과 동시에 중첩 신호를 생성하여 통신하는 변조신호 정렬기반 비직교 다중접속기술이 제안되었고 그 성능이 시뮬레이션을 통하여 분석되었다 [2]. 본 논문에서는 [2]에서 제안된 기술을 임의의 단말수 (N)로 일반화하고 각 사용자의 bit-error rate (BER) 성능을 수학적으로 분석한다.

II. 변조신호 정렬기반 비직교 다중접속 시스템의 성능분석

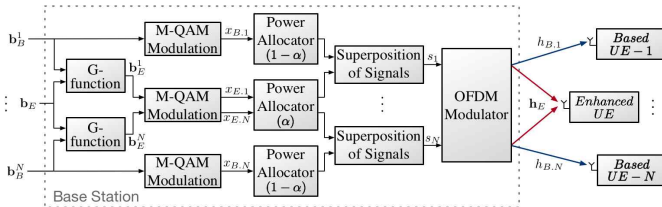


그림 1. 변조신호 정렬기반 비직교 다중접속시스템

본 논문에서는 한 개의 기지국이 N 개의 based-UE와 1개의 enhanced-UE에게 N 개의 부반송파를 이용하여 하향링크 통신을 하는 환경을 고려한다. 기지국과 각 UE는 단일 안테나를 가진다고 가정한다. 전체 시스템 모델을 나타내는 그림 1에서 b_B^i ($i \in \{1, 2, \dots, N\}$)와 b_E 는 각각 i 번째 based-UE의 비트스트림과 enhanced-UE의 비트스트림이다. G -함수는 기지국에서 전송하는 중첩신호가 gray-매핑을 이루도록 하는 비트단위(bitwise) 함수이다. $x_{B,i}$ 와 $x_{E,i}$ 는 각각 중첩신호를 생성할 based-UE와 enhanced-UE 심벌을 나타내며 본 논문에서는 4-QAM신호로 가정한다. 심벌들은 전력 할당 파라미터 α ($0 \leq \alpha \leq 0.5$)에 의해 전력이 할당된 후 중첩되어 다음과 같이 중첩 신호 s_i 를 생성한다.

$$s_i = \sqrt{1-\alpha} x_{B,i} + \sqrt{\alpha} x_{E,i}, \quad i \in \{1, 2, \dots, N\}.$$

N 개의 중첩 신호들은 서로 다른 부반송파로 전송되므로 각 UE는 자신의 신호를 구분할 수 있다. s_i 는 i 번째 부반송파로 전송된다고 가정한다.

$$y_{B,i} = h_{B,i} \sqrt{E} s_i + n_{B,i}, \quad y_E = h_E \sqrt{E} s_i + n_E.$$

$y_{B,i}$ 는 i 번째 based-UE가 받은 신호, $y_E \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 는 enhanced-UE가 받은 신호 벡터, $h_{B,i}$ 는 기지국에서 i 번째 based-UE로의 무선 채널이고 $h_E \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 는 기지국에서 enhanced-UE로의 무선 채널 벡터이며 위의 모든 채널은 $\mathcal{CN}(0,1)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 본 논문에서는 모든 UE들은 자신의 신호가 겪는 무선 채널을 파일럿 신호에 의해 완벽하게 알고 있다고 가정한다. $n_{B,i}$ 는 i 번째 based-UE의 가우시안 잡음이고 n_E 는 enhanced-UE의 가우시안 잡음 벡터이며 위의 모든 가우시안 잡음은 $\mathcal{CN}(0, N_0)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. based-UE에서는 수신한 신호에서 enhanced-UE의 신호를 잡음으로 취급하여 자신의 신호를 복호한다. 본

논문에서 계산한 based-UE의 BER 수식은 다음과 같다.

$$P_{b,B} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(2 - \sqrt{\frac{1}{1+2/(\rho(\sqrt{1-\alpha}-\sqrt{\alpha}))^2}} - \sqrt{\frac{1}{1+2/(\rho(\sqrt{1-\alpha}+\sqrt{\alpha}))^2}} \right). \quad (1)$$

여기서 $\rho = E/N_0$ 이다.

enhanced-UE에서의 신호처리 과정은 [2]에서와 동일한 과정을 거친다. 하지만 신호처리 과정에서 신호 정렬에 대한 오류를 고려하여 정확한 BER 수식 분석이 어렵다. 그러므로, 본 논문에서는 신호 정렬은 오류없이 수행된다고 가정하여 이에 대한 enhanced-UE의 BER 상한식을 다음과 같이 유도한다.

$$P_{b,E}^U = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+1/(\alpha\rho)}}\right)^N \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \binom{N-1+i}{i} \left(\frac{1}{2}\right)^{i+1} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{1+1/(\alpha\rho)}}\right)^k \quad (2)$$

III. 시뮬레이션 및 결론

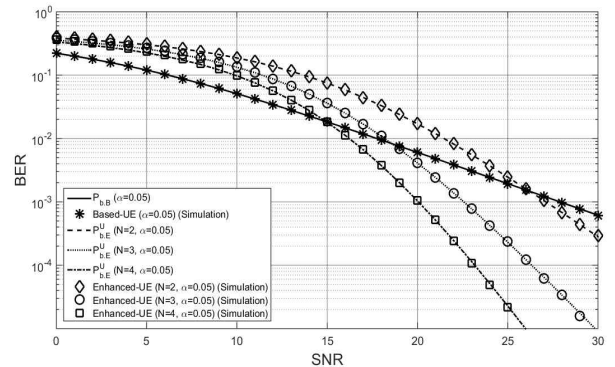


그림 2. based-UE의 수에 따른 각 UE의 BER 성능

그림 2는 각 UE의 BER분석과 시뮬레이션 결과를 SNR에 대하여 보여준다. 전력 분배 파라미터 $\alpha = 0.05$ 로 설정하여 $N = 2, 3, 4$ 일 때의 성능을 비교하였다. $P_{b,B}$ 는 시뮬레이션 결과와 정확히 일치하는 것을 볼 수 있다. $P_{b,E}$ 의 결과들은 전체 SNR에 대하여 실제 BER성능을 잘 근사화 하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 N 이 증가할수록 enhanced-UE의 주파수 다이버시티 이득의 증가로 인해 BER성능이 개선됨을 볼 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the IITP grant funded by the Korea government (MSIT) (No. B0126-16-1064, Research on Near-Zero Latency Network for 5G Immersive Service).

참고 문헌

- [1] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. -L. I and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 4-81, Sep. 2015.
- [2] S. P. Herath and A. Haghghat, "Non-orthogonal multiple access with sub-constellation alignment," in *Proc. of Asilomar Conf on Signals*,

