

채널 용량 향상을 위한 비직교 다중 접속 및 QSSK 결합 기법

이혜영, 신수용*

금오공과대학교

a4125a@kumoh.ac.kr, *wdragon@kumoh.ac.kr

Combination of Non Orthogonal Multiple Access and Quadrature Space Shift Keying for Improving Channel Capacity

Hye Yeong Lee, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology

요약

본 논문에서는 5G/B5G의 차세대 무선 통신 시스템에서 채널 용량 향상을 위해 비직교 다중 접속과 QSSK(Quadrature Space Shift Keying)의 결합 기법을 제안한다. 제안하는 시스템은 하향링크 MIMO-NOMA에서 셀 외각 사용자에게 QSSK를 할당하여 기존 NOMA의 사용자 간 간섭 문제를 개선하고, 채널 용량 향상을 목표로 한다. 모의실험을 통해 기존 NOMA-SSK 및 NOMA-OMA 대비 제안하는 시스템의 채널 용량 개선을 확인하였다.

I. 서론

비직교 다중 접속 기법은 5G/B5G의 주요 후보로 기술 중 하나로 다중 사용자의 신호를 중첩 할당을 통해 동시에 전송하여 채널 용량을 향상시키는 기술이다[1]. 하향링크의 전력 영역 비직교 다중 접속 (PD-NOMA)은 송신기에서 각 사용자에게 서로 다른 전력을 할당하여 다중화시켜 신호를 전송한다. 일반적으로 기지국으로부터 거리가 먼 셀 외각 사용자(Cell edge user, CEU)는 낮은 채널 이득을 가지며, 이를 보완하기 위해 높은 전력을 할당한다. 반면, 거리가 가까운 셀 내각 사용자(Cell center user, CCU)는 높은 채널 이득을 가지며, 낮은 전력을 할당 값을 할당한다. 수신단에서 CEU는 높은 전력 할당으로 인해 중첩된 신호에서 다른 사용자의 신호는 잡음이라고 고려하며 원신호를 복호한다. 하지만 그 외의 사용자는 순차적 간섭 제거 기법(Successive interference cancellation, SIC)을 통해 다른 사용자의 신호를 제거해야 한 후 원신호를 복호할 수 있다. 그러나 비직교 다중 접속 기법에서 사용자 수가 증가할 경우 사용자 사이의 전력 할당 값의 차이가 줄어들게 된다. 이때 SIC 과정이 없는 CEU의 경우 사용자 간 간섭 문제 때문에 원신호의 복호가 어려워진다.

이를 해결하기 위해 이전 연구 [2], [3]에서는 비직교 다중 접속과 안테나 인덱스를 활용한 SSK(Space shift keying)과 GSSK(Generalized space shift keying)를 셀 외각 사용자에게 할당하는 방식을 제안하였다. 전력 영역의 비직교 다중 접속 기법과 공간 영역의 SSK와 GSSK를 활용하여 셀 외각 사용자의 간섭 문제를 개선하고, 채널 용량을 향상할 수 있다.

본 논문에서는 채널 용량 개선을 위해 다중 사용자 시나리오에서 NOMA와 QSSK(Quadrature space shift keying)의 결합 기법을 제안한다. QSSK는 SSK의 확장된 기법으로, 심볼의 in-phase 값과 quadrature 값을 나누어서 하나 이상의 안테나를 활성화하는 방식이다 [4]. 따라서 기존 SSK 대비 추가 인덱스 비트의 전송이 가능하다. 사용자 간 간섭 문제에 영향을 많이 받는 셀 외각 사용자에게 QSSK를 할당하고, 나머지 사용자는 NOMA의 사용자 페어링을 통해 채널 용량의 개선을 기대한다. 모의실험을 통해 기존 시스템 대비 채널 용량이 개선됨을 확인하였다.

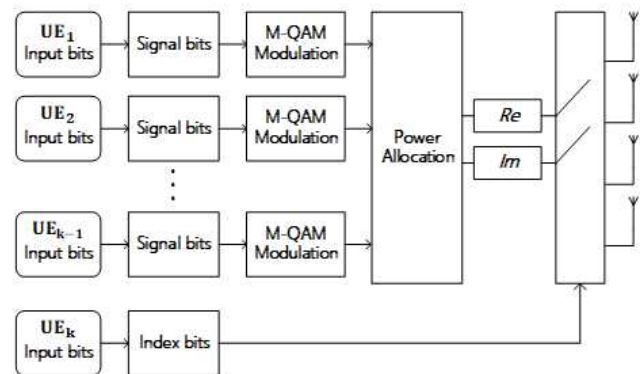


그림 1 제안하는 시스템의 송신기 모델

II. 시스템 모델

본 논문에서는 세 사용자(K=3)가 있는 하향링크 NOMA-QSSK 시나리오를 가정한다. 그림 1은 제안하는 NOMA-QSSK의 송신기 시스템을 나타낸다. 송신기인 하나의 기지국(BS)과 수신기인 세 사용자(UE1, UE2, UE3)로 가정한다. 여기서 UE3는 CEU로 다른 사용자 대비 낮은 채널 이득을 가지게 되므로, 이를 공간 영역을 사용하는 QSSK 사용자로 고려한다. 그리고 UE1과 UE2는 NOMA 사용자 페어링을 통해 중첩 코딩하여 신호를 보낸다. 따라서 NOMA에 의한 중첩 코딩된 신호 \mathbf{X} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{X} = \sqrt{p_1} \mathbf{x}_1 + \sqrt{p_2} \mathbf{x}_2 \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ 는 UE1과 UE2의 송신 신호를 의미하고, p_1, p_2 는 사용자의 전력 할당 상수이며, 전력 할당 상수의 합은 $\sum_{j=1}^{K-1} p_j = 1$ 로 가정한다. 송신 안테나 수를 $N_t = 4$ 로 가정할 때, UE3는 QSSK 사용자로 인덱스 비트가 추가된 송신 신호 \mathbf{X}^T 는 다음과 같다.

참 고 문 헌

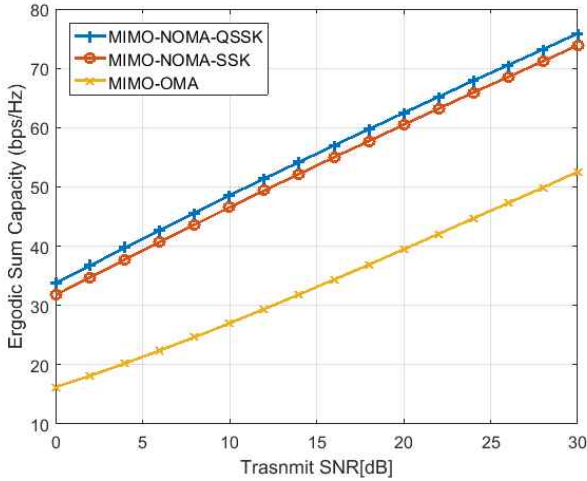


그림 2 에르고딕 합계 용량

$$X^T = [\text{Re}(X) \ 0 \ \text{Im}(X) \ 0]^T \quad (2)$$

중첩 코딩된 신호의 in-phase 값과 quadrature 값으로 나눈 후 활성화된 안테나 수를 통해 전송할 수 있다. QSSK를 사용하여 전송 가능한 사용자 UE3의 비트 수는 다음과 같다.

$$R_3 = 2\log_2 N_t \quad (3)$$

예를 들어 송신 안테나 수가 4개일 경우 전송 가능한 인덱스 비트 수는 4 bits이다.

i 번째 사용자($i \in 1, 2, 3$)의 수신된 신호 y_i 는 다음과 같다.

$$y_i = h_i X + n_i \quad (4)$$

여기서 h_i 는 Rayleigh fading 채널을 의미하고, n_i 는 가우시안 잡음이다.

III. 모의실험 결과

제안하는 시스템을 적용한 모의실험 결과는 그림2와 같다. 본 논문에서는 제안하는 NOMA-QSSK 시스템과 기존 NOMA-SSK, MIMO-OMA 기술을 비교하였다. NOMA 사용자의 변조 기법은 QPSK를 사용하였다. 전체 에르고딕 합계 용량은 MIMO-NOMA[5]의 에르고딕 합계 용량과 SSK과 QSSK [4]의 전송 가능한 비트 수의 합으로 계산하였다. 제안하는 시스템이 기존 기법 대비 채널 합계 용량이 향상됨을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 차세대 무선 통신에서 다중 사용자의 NOMA 시스템에서 채널 용량 향상을 위해 NOMA와 QSSK를 결합한 기법을 제안하였다. 셀 외각 사용자에게 QSSK를 활용하여 기존 전력 영역에서 공간 영역으로 확장하여 채널 용량을 향상시키고, 사용자 간 간섭을 개선할 수 있다. 모의실험 결과를 통해 기존 NOMA-SSK 대비 채널 용량이 개선됨을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신 인재양성(Grand ICT연구센터) 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2020-0-01612)

- [1] Dai, Linglong, et al. "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends." IEEE Communications Magazine 53.9 (2015): 74-81.
- [2] Kara, Ferdi, and Hakan Kaya. "Performance analysis of SSK-NOMA." IEEE Transactions on Vehicular Technology 68.7 (2019): 6231-6242.
- [3] Kim, Jin Woo, Soo Young Shin, and Victor CM Leung. "Performance enhancement of downlink NOMA by combination with GSSK." IEEE Wireless Communications Letters 7.5 (2018): 860-863.
- [4] Mesleh, Raed, Salama S. Ikki, and Hadi M. Aggoune. "Quadrature spatial modulation." IEEE Transactions on Vehicular Technology 64.6 (2014): 2738-2742.
- [5] Sun, Qi, et al. "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems." IEEE Wireless Communications Letters 4.4 (2015): 405-408.