

공간 변조를 활용한 Time Sharing 기반 반이중 협력 NOMA

이상훈, 신수용

금오공과대학교

twosanghoon@kumoh.ac.kr, wdragon@kumoh.ac.kr

Spatial Modulation aided Time Sharing-based Half-Duplex Cooperative NOMA

Sang Hoon Lee, Soo Young Shin

Kumoh National Institute of Technology

요약

Cooperative relaying Non-Orthogonal Multiple Access (CRNOMA) 시스템에서 비슷한 채널 환경에 있는 사용자들은 NOMA 적용이 어렵기 때문에 이를 해결하기 위해 Spatial Modulation (SM)을 사용한 SM aided TS-CRNOMA를 제안한다. 제안하는 방식은 셀 외각 사용자의 채널 용량확보를 통해 전체 시스템 용량을 증대시킬 수 있다. 이를 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하고, 제안하는 전송 방식과 기존의 TS-HD-CRNOMA의 전체 시스템 용량을 비교했다.

I. 서론

미래 무선 통신 네트워크에서는 통신 네트워크에 연결된 장치의 수가 크게 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 장치들에서 사용되는 데이터 트래픽이 증가하고, 이로 인해 네트워크 서비스의 수요 또한 크게 증가할 것으로 예측된다. 따라서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용해야 한다. 이를 해결하기 위해 Non-Orthogonal Multiple Access(NOMA)가 제안되었다[1][2].

셀 외각 사용자의 경우 기지국에서 거리가 멀어짐에 따라 통신 용량 확보가 되지 않는 경우가 있다. 이를 해결하기 위해 NOMA with cooperative relaying (CRNOMA)가 연구되었다[3]. 또한, 비슷한 채널 환경에서는 successive interference cancellation (SIC)을 수행하기 어려우므로 NOMA 적용이 어려운 문제가 있고, 다수의 사용자에게 한꺼번에 NOMA를 적용하면 SIC 수행에 높은 계산량이 요구된다. 이를 해결하기 위해 Time sharing (TS)-based half/full-duplex (HD/FD) cooperative NOMA (TS-HD/FD-CRNOMA)가 제안되었다[4].

본 논문에서 NOMA 적용이 어려운 문제를 해결하고, 시스템 용량 증대를 위해 Spatial Modulation(SM)을 적용한 SM aided TS-CRNOMA를 제안한다. SM은 정보 전달에 안테나 인덱스를 추가적으로 사용하는 방식으로, 스펙트럼 효율뿐만 아니라 에너지 효율성 측면에서도 이점이 있기 때문에 차세대 무선통신 기술로서 부각되고 있다[5]. 스펙트럼 효율 향상을 위해 Quadrature Spatial Modulation (QSM)[6] 등의 여러 가지 방식이 연구되었다. 제안하는 방식을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 기존의 방식인 TS-HD-CRNOMA와 제안하는 방식인 SM aided TS-CRNOMA, QSM aided TS-CRNOMA와의 시스템 용량을 비교하고자 한다.

II. 시스템 모델

그림 1의 시스템 모델은 하나의 기지국(BS)과 세 개의 셀룰러 단말(UE_1 , UE_2 , UE_3), 하나의 릴레이(R)로 구성되어 있는 하향링크 단일 셀 환경이다. 셀룰러 단말은 하나의 cell center user (CCU) UE_1 과 두 개의 clustered cell edge user (CEU) UE_2 와 UE_3 로 구성되어 있다. BS와

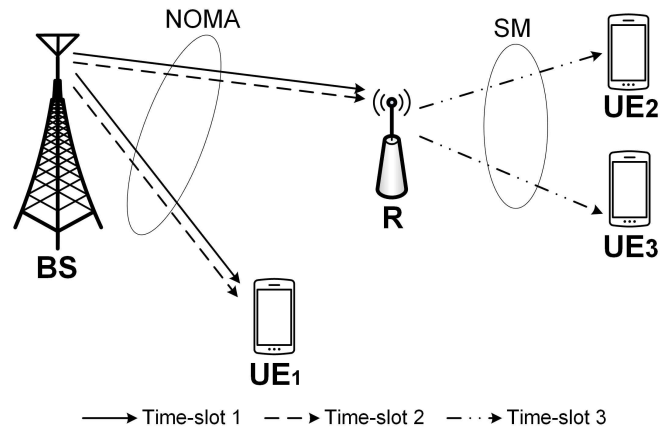


그림 1 SM aided TS-CRNOMA

CEU들 사이의 링크는 끊어져 있다고 가정한다. 그래서 BS은 UE_1 과 직접 통신 가능하지만, UE_2 와 UE_3 과는 릴레이 R을 통해 통신 가능하다. 또한, R과 UE_2 그리고 UE_3 사이의 채널은 비슷해서 NOMA를 사용할 수 없는 환경으로 가정한다. $BS \rightarrow UE_1$, $BS \rightarrow R$, $R \rightarrow UE_2$, $R \rightarrow UE_3$ 의 채널은 각각 $h_{b1} \sim CN(0, \lambda_{b1})$, $h_{br} \sim CN(0, \lambda_{br})$, $h_{r2} \sim CN(0, \lambda_{r2})$, $h_{r3} \sim CN(0, \lambda_{r3})$ 인 Rayleigh flat fading 채널이다.

또한, 그림 1은 SM aided TS-CRNOMA의 송신 프로토콜을 보여준다. 총 3개의 time-slot으로 구성되며 time-slot 1에서는 BS에서 UE_1 과 UE_2 에게 전송할 데이터를, time-slot 2에서는 UE_1 과 UE_3 에게 전송할 데이터를 중첩 신호로 송신한다. UE_1 에서는 수신된 중첩 신호를 SIC를 이용해 복호한다. R에서는 time-slot 1, 2에서 수신한 신호를 time-slot 3을 이용해 공간 변조 방식으로 동시에 UE_2 와 UE_3 에게 송신한다. R에서 UE_2 에게 보낼 데이터는 IQ변조로, UE_3 에게 보낼 데이터는 송신 안테나 인덱스 변조 방식을 사용한다. UE_2 에서는 수신된 신호의 IQ를 복조하고, UE_3 에서는 R의 활성 안테나 인덱스를 판별하여 신호를 복조한다.

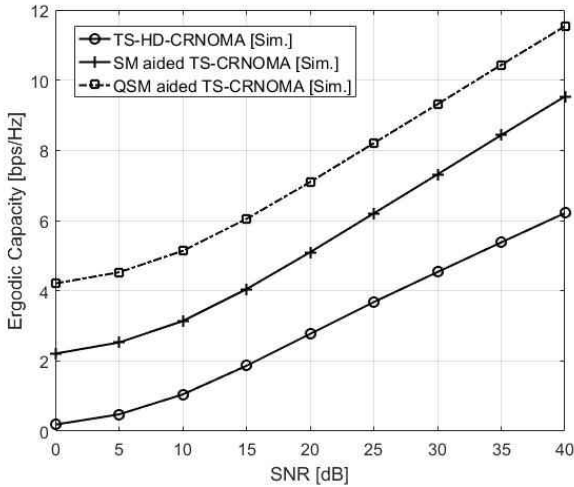


그림 2 제안하는 방식의 Ergodic capacity

1) time-slot 1, 2 : time-slot 1에서는 UE_1 가 수신한 신호에서 UE_2 의 신호를 완벽하게 제거(Perfect SIC)한다고 가정하면 얻을 수 있는 채널 용량은 식 (1)과 같다.

$$C_1^{t_1} = C_1^{t_2} = \frac{1}{3} \log_2(1 + \gamma_{b1}^{t_1}) \quad (1)$$

식 (1)에서 UE_1 에서의 수신 SINR은 $\gamma_{b1}^{t_1} = \gamma_{b1}^{t_2} = \alpha_1 \rho_s |h_{b1}|^2$ 이고 α_1 은 UE_1 의 전력할당계수, $\rho_s = \frac{P_s}{\sigma^2}$ 는 BS에서의 송신 SNR이다.

time-slot 2에서도 time-slot 1과 동일하게 UE_1 가 수신한 신호에서 UE_3 의 신호를 완벽하게 제거(Perfect SIC)한다고 가정하면 얻을 수 있는 채널 용량은 식 (1)과 같다.

2) time-slot 3 : R에서는 time-slot 1, 2 동안 수신한 데이터 중 UE_2 와 UE_3 의 데이터를 복호 한 후, 다시 UE_2 와 UE_3 에게 전송하기 위해 공간 변조를 수행한다. UE_2 에게 보낼 데이터는 IQ변조로, UE_3 에게 보낼 데이터는 안테나 인덱스로 변조한다. UE_2 에서 얻을 수 있는 채널 용량은 식 (2)이다.

$$C_2^{t_3} = \frac{1}{3} \log_2(1 + \min(\gamma_{br}^{t_1}, \gamma_{r2}^{t_3})) \quad (2)$$

식 (2)에서 $\gamma_{br}^{t_1} = \frac{\alpha_2 \rho_s |h_{br}|^2}{\alpha_1 \rho_s |h_{br}|^2 + 1}$ 는 R에서 BS $\rightarrow R$ 신호에 대한 수신 SINR이고, $\gamma_{r2}^{t_3} = \rho_r |h_{r2}|^2$ 는 UE_2 에서 $R \rightarrow UE_2$ 신호에 대한 수신 SINR이다. α_2 은 UE_2 의 전력할당계수, $\rho_r = \frac{P_r}{\sigma^2}$ 는 R에서의 송신 SNR이다.

UE_3 에서 얻을 수 있는 최대 스펙트럼 효율은 식 (3)과 (4)로 인덱스 변조 방식을 SM을 사용하면 식 (3), QSM을 사용하면 식(4)로 얻을 수 있다.

$$C_3^{t_3} = \log_2(1 + N_t) \quad (3)$$

$$C_3^{t_3} = \log_2(1 + N_t^2) \quad (4)$$

N_t 는 R의 송신 안테나 수이다.

III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해서 기존의 TS-HD-CRNOMA와 제안하는 방식의 성능을 비교한다. $\lambda_{b1}=1$, $\lambda_{br}=0.5$, $\lambda_{r2}=\lambda_{r3}=0.3$, $N_t=4$, $\alpha_1=0.8$, $\alpha_2=\alpha_3=0.2$, $\rho_r = \frac{\rho_s}{2}$ 로 둔다. SNR의 증가에 따른 시스템 용량의 변화량은 그림 2와 같다. 그림 2는 SNR을 0dB부터 40dB까지 증가시킬 때 전체 시스템 용량의 변화를 보여준다. 시뮬레이션 결과에 따르면 기존의 TS-HD-CRNOMA보다 제안하는 방식의 전체 시스템 용량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

제안하는 SM/QSM aided TS-CRNOMA는 셀 외각 사용자의 채널 용량 증대에 따른 전체 시스템 용량이 기존 방식보다 증대되었다는 것을 시뮬레이션을 통해 보여주고 있다. 그러나 SM의 경우에는 안테나 개수에 의해 주파수 효율 증대의 제약이 있고, 수신단에서 송신단 안테나 인덱스를 판별하는데 많은 계산량이 요구된다. 또한, 제안하는 방식의 시뮬레이션을 검증할 수학적 분석이 필요하다. 그러므로 이러한 문제들의 해결을 위해 주파수 효율 향상, 안테나 인덱스 판별 등의 향후 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임 (2018R1A6A1A03024003)

참 고 문 헌

- [1] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I. I and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, Sep. 2015.
- [2] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li and K. Higuchi, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access," *2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Dresden, 2013, pp. 1-5.
- [3] Z. Ding, M. Peng and H. V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-1465, Aug. 2015.
- [4] M. B. Shahab and S. Y. Shin, "Time Shared Half/Full-Duplex Cooperative NOMA With Clustered Cell Edge Users," in *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 9, pp. 1794-1797, Sept. 2018
- [5] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn and S. Yun, "Spatial Modulation," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008.
- [6] R. Mesleh, S. S. Ikki and H. M. Aggoune, "Quadrature Spatial Modulation," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 6, pp. 2738-2742, June 2015