

협력 NOMA 시스템에서 새로운 변조 방식에 관한 연구

^{1,3}박상욱, ²유지희, ^{1,3}송형규*

¹세종대학교 정보통신공학과, ²세종대학교 전자정보통신공학과, ³세종대학교 지능형드론융합전공
share1211@naver.com, wlgml5974@naver.com, *songhk@sejong.ac.kr

A Study on the Novel Modulation Concept in Cooperative NOMA Systems

^{1,2}Sang-Wook Park, ²Ji-Hee Yu, ^{1,3}Hyoung-Kyu Song*

¹Department of Information and Communication Engineering,

²Electronic Information and Communication Engineering,

and ³Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro 05006, Korea

요약

본 논문은 협력 non-orthogonal multiple access (NOMA) 시스템에서 데이터들의 비트 상관도를 높이는 변조/복조 방식을 제안한다. 기존의 NOMA는 두 데이터의 전체를 SC기법으로 합쳤다면, 제안하는 방식은 두 데이터의 XOR 비트 연산값을 code bit로 설정하여 code bit를 SC 기법으로 압축하여 보낸다. 또한 다중 relay가 존재하는 시스템에서 max-min relay 선택 기법을 사용하여 간단하게 좋은 성능을 낼 수 있다. 이를 통해 신호가 강한 유저의 data rate는 줄어들지만, 약한 유저의 data rate는 크게 증가해, 두 유저의 sum rate는 증가하며, BER 성능과 Otagé 성능을 향상시킬 수 있다.

I. 서론

Non-orthogonal multiple access (NOMA)은 5G 통신 시스템의 스펙트럼 효율을 증가시키는 전망있는 기술이다[1]. 하나의 리소스 블록에 하나의 데이터만 송신하던 기존의 직교 다중 접속과 달리 비직교 다중 접속은 하나의 리소스 블록에 여러 데이터를 한번에 송신할 수 있다[2]. 그 중 협력 NOMA 시스템은 relay를 통해 BS에서 유저들까지 보내는 신호의 전송을 도와줄 수 있다[3]. NOMA 시스템의 개념은 superposition coding (SC)과 successive interference cancellation (SIC) 기술을 사용하는데, SC 기술은 두가지 이상의 데이터를 전력 할당을 통해 합치는 기술이고, SIC 기술은 세기가 강한 신호를 먼저 디코딩하고 디코딩한 신호를 결합된 신호에서 제거하여 약한 신호를 디코딩하는 기술이다. 하지만 SC는 전력 할당을 통해 여러 신호를 합치다 보니 잡음에 취약한 단점이 있다. 따라서 본 논문은 합치는 신호의 비트 상관도를 높여 원래의 데이터는 orthogonal multiple access (OMA)와 비슷하게 오류 확률 성능을 향상시키는 변/복조 방식을 제안한다.

II. 시스템 모델 및 제안하는 기법

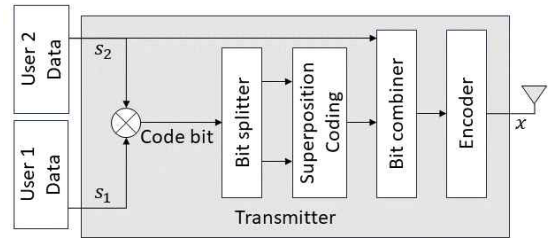
본 논문에서는 하나의 BS와 N 개의 relay, 두 명의 유저를 가지는 하향 링크 시나리오를 고려한다. 각각의 노드에는 하나의 안테나를 가지고 있다. BS와 유저들 사이에는 직접적인 링크가 없으며, BS-relay와 relay-유저 간 채널은 독립적인 레일리 페이딩을 겪는다. 유저 1은 유저 2보다 채널 상태가 좋다고 가정한다. 즉, 유저 1은 셀 중앙의 유저, 유저 2는 셀 가장자리의 유저이다.

NOMA의 특징으로는 높은 전송률이 있지만, SC 기법으로 여러 데이터를 결합하기 때문에 잡음에 취약한 단점이 있다. 이를 해결하기 위해, 변조와 복조에서 추가적인 code 비트를 추가해서 SC 기법을 통해 결합하는 데이터의 상관도를 증가시키는 방식을 제안한다.

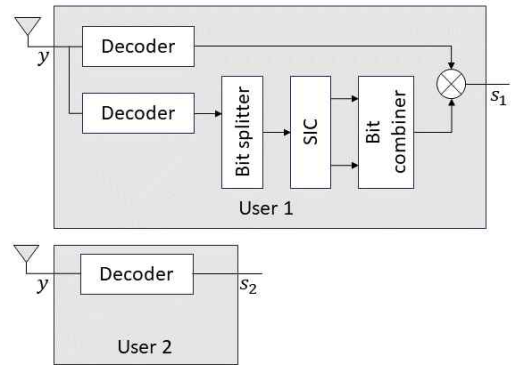
[그림 1]의 변조 방식을 살펴보면, s_1 과 s_2 를 XOR 논리 비트 연산값을 code bit라고 두고 code bit를 두 부분으로 나누어 SC 기법을 통해 결합한다. code bit의 한 부분을 c_1 , 다른 부분을 c_2 라고 하면 code bit $c = \alpha_1 c_1 + \alpha_2 c_2$ 로 정의하고 송신기는 s_2 와 c 를 연속해서 송신한다.

[그림 2]의 복조 방식을 살펴보면, 유저 2는 y 를 그대로 디코딩하면 s_2

를 얻을 수 있고, 유저 1은 code bit 부분만 SIC를 하여 온전한 code



[그림 1] 제안하는 변조 방식



[그림 2] 제안하는 복조 방식

bit를 얻은 후에 복조된 s_2 와 code bit를 XOR 하여 s_1 을 얻을 수 있다.

첫 번째 타임 슬롯 동안에는, BS에서 제안하는 변조 방식을 통해 relay로 s_2 와 c 를 전송한다. relay에서 수신받은 신호는 다음과 같다.

$$y_n^r = h_n x + w_n^r \quad (1)$$

h_n 은 BS와 relay n ($1 \leq n \leq N$) 사이의 채널이고, w_n^r 은 AWGN 잡음이다. x 는 s_2 와 c 의 연속적인 송신 신호이다.

Relay에서는 먼저 s_2 와 c_2 를 복조하고, SIC를 통해 c_1 을 얻는다. 이 때 relay에서 신호를 복조할 수 있는 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\frac{1}{3} \log_2(1 + \rho |h_n|^2) &\geq R_{s_2}, \\
\frac{1}{6} \log_2(1 + \rho |h_n|^2 \alpha_1^2) &\geq R_{c_1}, \\
\frac{1}{6} \log_2 \left(1 + \frac{|h_n|^2 \alpha_2^2}{|h_n|^2 \alpha_1^2 + \frac{1}{\rho}} \right) &\geq R_{c_2}
\end{aligned} \quad (2)$$

ρ 는 송신 signal-to-noise ratio (SNR)이고, R_i 는 신호 i 를 정확하게 복조할 수 있는 목표 데이터 전송률이다. 릴레이는 복조한 신호를 제안하는 변조 방식을 통해 재변조한다.

두 번째 타임 슬롯 동안에는, relay n 은 유저들에게 신호를 보내는데, 그 신호는 다음과 같다.

$$y_{n,i}^d = g_{n,i} \hat{x} + w_{n,i}^d, \quad i \in \{1, 2\} \quad (3)$$

$g_{n,i}$ 은 relay n 과 유저 i 사이의 채널이고, $w_{n,i}^d$ 은 AWGN 잡음이다. \hat{x} 는 relay n 에서 재변조한 신호이다. 유저 1에서 신호를 복조할 수 있는 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\frac{1}{3} \log_2(1 + \rho |g_{n,1}|^2) &\geq R_{s_2}, \\
\frac{1}{6} \log_2(1 + \rho |g_{n,1}|^2 \alpha_1^2) &\geq R_{c_1}, \\
\frac{1}{6} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{n,1}|^2 \alpha_2^2}{|g_{n,1}|^2 \alpha_1^2 + \frac{1}{\rho}} \right) &\geq R_{c_2}
\end{aligned} \quad (4)$$

유저 2에서 신호를 복조할 수 있는 조건은 다음과 같다.

$$\frac{1}{3} \log_2(1 + \rho |g_{n,2}|^2) \geq R_{s_2}, \quad (5)$$

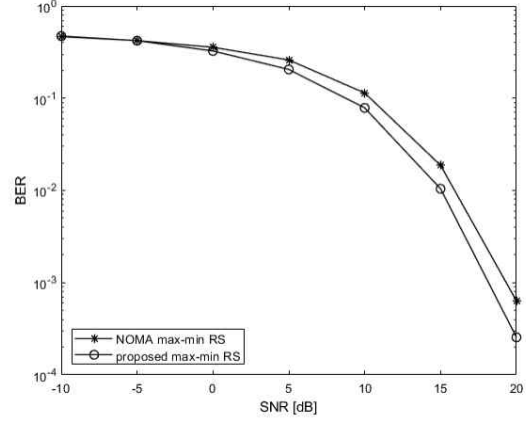
추가로 relay 선택 기법은 max-min 기법을 사용한다[4].

III. 시뮬레이션 결과

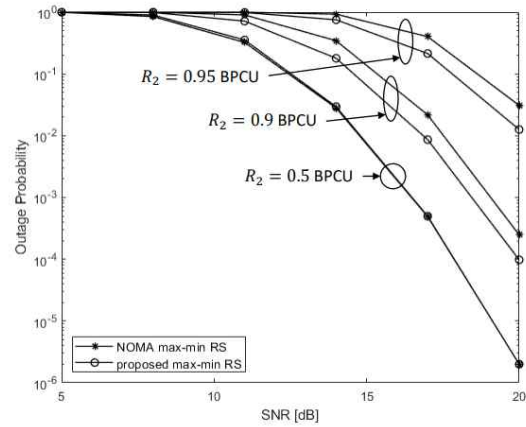
이번 절에서는 기존의 NOMA 방식과 제안하는 방식의 성능 비교를 보여준다. $N=10$, $\alpha_1=0.25$, QPSK 변조 기법을 사용한다. [그림 3]은 기존의 NOMA 방식과 제안하는 방식의 BER 성능 비교이고 [그림 4]는 식 (2)와 (3)을 사용하여 계산한 Outage probability 성능 비교이다. [그림 3]을 살펴보면, 제안하는 방식의 BER 성능이 기존의 기법보다 향상하는 것을 볼 수 있다. 이는 SC로 결합한 두 데이터의 비트 상관도를 높여서 생긴 결과로 기존의 NOMA와 비교하였을 때 *code bit* 부분만 잡음의 영향을 비교적 많이 받기 때문에 *code bit*만 제대로 복조된다면 BER 성능은 향상한다. [그림 4]를 살펴보면, $R_{s_1}=1$ 과 R_{c_1} 은 고정하고 R_{s_2} , R_{c_2} 의 수치를 바꾸었을 때 outage 성능 지표이다. R_{c_1} 과 R_{c_2} 는 각각 $R_{s_1}/3$, $R_{s_2}/3$ 으로 설정하였으며, s_2 에 대한 목표 data rate인 R_{s_2} 가 커질수록, 제안하는 방식의 outage probability 성능이 향상하는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

이 논문에서는 NOMA 시스템에서 두 데이터의 비트 상관도의 영향을 연구했다. 제안하는 변조/복조 방식은 전송하는 데이터의 비트상관도를 올릴 수 있고, 추가적인 코드 비트를 통해 복조할 수 있다. 이를 통해 두 유저의 sum rate와 BER 성능이 증가하며 특정 조건의 outage 성능도 향상한다.



[그림 3] SNR에 따른 BER 성능 비교



[그림 4] SNR에 따른 Outage probability 성능 비교

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540). This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. NRF-2021R1A2C2005777). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송혁신인재양성(메타버스융합대학원)사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2023-RS-2023-00254529)

참고 문헌

- [1] Saito, Y.; Kishiyama, Y.; Benjebbour, A.; Nakamura, T.; Li, A.; Higuchi, K. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access. In Proceedings of the 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013, pp. 1 - 5.
- [2] Zeng, M.; Hao, W.; Dobre, O.A.; Ding, Z. Cooperative NOMA: State of the Art, Key Techniques, and Open Challenges. IEEE Network 2020, 34, 205 - 211.
- [3] Zeng, M.; Hao, W.; Dobre, O.A.; Ding, Z. Cooperative NOMA: State of the Art, Key Techniques, and Open Challenges. IEEE Network 2020, 34, 205 - 211.
- [4] Ding, Z.; Dai, H.; Poor, H.V. Relay Selection for Cooperative NOMA. IEEE Wireless Communications Letters 2016, 5, 416 - 419.