

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.1.45>
JIIBC 2023-1-7

MU-MIMO와 STBC를 적용한 NOMA 전송 기법

NOMA Transmission Scheme using MU-MIMO and STBC

서방원*

Bangwon Seo*

요약 본 논문에서는 기지국이 단말들에게 데이터를 전송하는 경우에, 전체 시스템의 수율을 향상시키기 위하여 다중사용자 다중안테나 기법(MU-MIMO), 시공간부호화 기법(STBC), 비직교 다중접속 기법(NOMA)을 동시에 적용하는 방식을 제안한다. 기지국과 가까이 위치한 두 개의 단말에 대해서는 MU-MIMO 기법을 적용하고, 기지국과 멀리 떨어진 단말은 채널 정보를 얻기가 어렵기 때문에 STBC 기법을 적용한다. 또한 기지국에 가까운 단말과 멀리 떨어진 단말의 데이터들을 구분하기 위하여 NOMA 기법을 적용한다. MU-MIMO를 적용하는 단말들 간에는 서로 직교하는 두 개의 프리코딩 벡터들을 사용함으로써 서로 간의 간섭이 존재하지 않도록 설계한다. 또한 기지국에서 멀리 떨어진 단말에 대해서는 두 개의 프리코딩 벡터들을 사용하는 STBC 기법을 적용한다. 성능 분석 및 모의실험을 통하여 제안하는 기법이 기존 기법보다 더 높은 전체 시스템 수율 값을 갖는다는 것을 보인다.

Abstract In order to improve a total system throughput when a base station (BS) transmits data to user equipments (UEs), we propose a scheme to apply multiuser multiple-input multiple-output (MU-MIMO), space-time block coding (STBC), and non-orthogonal multiple access (NOMA) together. An MU-MIMO is applied to two UEs near the BS and STBC is applied to a UE far from the BS because of the difficulty of obtaining the channel information. Also NOMA is applied to differentiate the data from the near UE and the far UE. Two orthogonal precoding vectors are used for the MU-MIMO UEs and it causes no interference between them. The STBC technique with the two precoding vectors are also used for the far UEs. Through performance analysis and simulation, we show that the proposed scheme has higher total system throughput than the conventional ones.

Key Words : NOMA, MU-MIMO, STBC, SIC receiver, throughput

1. 서론

최근에 데이터 전송 기능을 갖는 단말들의 개수가 크게 늘어남에 따라 차세대 무선 통신시스템에서는 현재보

다 훨씬 더 높은 주파수 전송효율을 요구할 것으로 예상된다^[1,2]. 이와 같은 요구조건을 만족시키기 위한 차세대 핵심 기술 중의 하나는 비직교 다중접속 (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA) 기술이다

*종신회원, 공주대학교 전기전자 제어공학부/ IT융합기술연구소
접수일자 2022년 12월 27일, 수정완료 2023년 1월 27일
게재확정일자 2023년 2월 3일

Received: 27 December, 2022 / Revised: 27 January, 2023 /
Accepted: 3 February, 2023

*Corresponding Author: seobw@kongju.ac.kr

Division of Electrical, Electronic, and Control Engineering, the
Institute of IT Convergence Technology (IICT), Kongju National
University, Korea

[3,4,5,6]. 이 기술은 기존 방식들처럼 시간, 주파수, 공간 영역에서 데이터를 구분하지 않고, 전송 전력 영역에서 데이터들을 구분하는 방식이다. 기지국과 거리가 다른 단말들에게 동일한 시간, 주파수, 공간 자원을 할당하고, 대신에 서로 다른 전송 전력을 할당하는 방식이다. 즉 기지국에 가까운 단말에게는 전송 전력을 적게 할당하고, 기지국과 멀리 떨어진 단말에게는 전송 전력을 많이 할당한다^[7,8,9]. 이 방식에서는 수신 전력이 높은 신호는 수신 전력이 낮은 간섭 신호가 존재하더라도 데이터를 오류 없이 충분히 잘 추정할 수 있다는 원리를 이용하는 방식이다.

문헌 [9]에서는 기지국과의 거리와 관계없이 모든 단말들에게 시공간 부호화 기법 (STBC)을 적용하는 방식을 제안하였다. 그리고 각 단말들의 데이터를 구분하기 위하여 NOMA 기법을 적용하는 것을 제안하였다. 기지국이 단말에 대한 채널 정보를 알기 어려운 경우에는 STBC 기법을 적용함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 단말이 기지국과 멀리 떨어져 있거나 고속으로 이동하는 경우에는 기지국이 그 단말에 대한 채널 정보를 얻는 것이 어렵지만, 단말이 기지국과 가까이 위치하거나 지속적으로 움직이는 경우에는 채널 정보를 얻는 것이 쉬울 수 있다. 그래서 기지국이 채널 정보를 알고 있는 경우에는 STBC 기법을 적용하는 것보다는 프리코딩을 적용하는 것이 더 우수한 성능을 보이기 때문에, 문헌 [10]처럼 모든 단말들에게 STBC를 적용하는 것은 주파수 효율 성능을 저하시킬 수 있다.

문헌 [9]와 [10]을 동시에 고려하면 기지국에 가까이 위치한 단말에게는 프리코딩을 적용하고 기지국과 멀리 떨어진 단말에게는 STBC 기법을 적용할 수 있다. 그리고 두 단말들을 구분하기 위하여 NOMA 기법을 적용한다. 기지국이 단말에 대한 채널 정보를 알고 있는 경우에는 프리코딩을 적용하는 것이 더 높은 수율 성능을 갖기 때문에 이 방식이 문헌 [10]보다 더 높은 전체 시스템 수율 값을 갖는다.

한편 본 논문에서는 기존 방식들보다 더 높은 전체 시스템 수율 (Throughput)값을 얻기 위하여 다중사용자 다중입력 다중출력 (MU-MIMO) 기법을 적용한다. 기지국과 가까이 위치하는 두 개의 단말에 대해서는 MU-MIMO 기법을 적용하고, 기지국과 멀리 떨어진 단말은 기지국이 채널 정보를 알기 어렵기 때문에 STBC 기법을 적용하게 된다. 또한 기지국에 가까운 단말들과 멀리 떨어진 단말들에게 동시에 데이터를 전송하기 위하여 전송 전력을 다르게 적용하는 NOMA 기법을 적용한

다. 전체 시스템 수율에 대한 성능 분석 결과와 모의실험을 통해서 제안하는 NOMA 전송 기법이 기존 기법들보다 더 높은 시스템 수율 값을 갖는다는 것을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 시스템 모델을 제시하고, III장은 본 논문에서 제안하는 NOMA 송수신 기법을 설명한다. IV장은 제안 기법의 성능을 분석하고 V장은 모의실험을 통하여 제안하는 NOMA 전송 기법이 기존 기법보다 더 우수한 성능을 갖는다는 것을 보인다. 마지막으로, VI장은 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 보여준다. 기지국 (BS)는 복수의 송신 안테나를 가지고 있고 단말들 (UE)은 한 개의 수신 안테나를 가지고 있다고 가정한다. 이 때 UE 1과 UE 2는 기지국에 가까이 위치한 단말이고, UE 3는 기지국과 멀리 떨어진 단말이라고 가정한다. 제안하는 시스템에서 기지국은 가까이 위치한 UE 1과 UE 2에게는 MU-MIMO 기법을 적용해서 데이터를 전송한다. 또한 동시에 UE 3에게는 전송 전력을 다르게 할당하는 NOMA 기법을 적용해서 데이터를 전송한다.

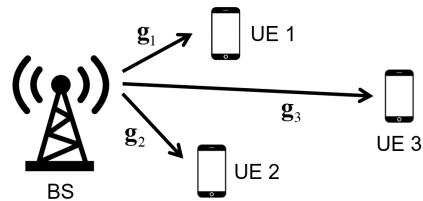


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

기지국의 송신 안테나 개수를 M 이라고 하고, 기지국과 UE k 와의 채널 벡터를 $\mathbf{g}_k = [g_{k,1}, \dots, g_{k,M}]^T$ 라고 가정한다. 기지국이 세 개의 단말에게 동시에 전송하기 위하여 두 개의 프리코딩 벡터로 구성된 행렬 $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{p}_2 \end{bmatrix}$ 를 적용하여 데이터를 전송한다. UE 1과 UE 2에 대해서는 두 개의 서로 다른 프리코딩 벡터인 \mathbf{p}_1 과 \mathbf{p}_2 를 사용하여 MU-MIMO 기법을 적용함으로써 각각의 데이터를 구분한다. 그리고 UE 1과 UE 3은 기지국으로부터의 거리가 크게 다르므로 전송전력을 다르게 적용하는 NOMA 기술을 통해서 각각의 데이터를 구분한다. 또한, UE 3은

셀 경계에 위치하고 있기 때문에 기지국이 UE 3에 대한 채널 정보를 정확하게 알기 어렵다고 가정한다. 이 경우에 UE 3의 성능을 개선시키기 위하여 STBC 기법을 적용한다.

이와 같은 방식으로 기지국에서 프리코딩을 적용하면, 시간 슬롯 1에서 기지국의 송신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} \mathbf{P} \mathbf{d}^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{p}_1 s_1 + \mathbf{p}_2 s_2) \quad (1)$$

여기에서 $\mathbf{d}^{(1)} = [d_1^{(1)}, d_2^{(1)}]^T$ 는 시간 슬롯 1에서 UE 1과 UE 2에게 전송하는 데이터를 나타낸다. 그리고 s_1 과 s_2 는 UE 3에게 전송하는 데이터이고, STBC를 적용하기 때문에 프리코딩 벡터 \mathbf{p}_1 과 \mathbf{p}_2 를 사용하여 두 개의 데이터를 동시에 전송한다. α_1 과 α_2 는 전송전력을 나타내며, UE 1과 UE 2는 기지국에 가까이 위치하고 UE 3는 기지국과 멀리 때문에 $\alpha_2 \gg \alpha_1$ 이 되도록 전송전력을 할당한다.

이제 시간 슬롯 1에서 UE k 의 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_k^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_1) d_1^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_2) d_2^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_1) s_1 + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_2) s_2 + z_k^{(1)} \quad (2)$$

여기에서 $z_k^{(n)}$, $n=1, 2, k=1, 2, 3$,는 시간 슬롯 n 에서 평균이 0이고 분산이 σ_z^2 인 백색 가우시안 부가잡음(AWGN)을 나타낸다.

UE 3에게는 STBC를 적용하기 때문에 시간 슬롯 2에서는 시간 슬롯 1과는 다른 형태로 전송한다. 시간 슬롯 2에서 기지국의 송신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}^{(2)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} \mathbf{P} \mathbf{d}^{(2)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (-\mathbf{p}_1 s_2^* + \mathbf{p}_2 s_1^*) \quad (3)$$

이 경우에 UE k 에서의 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_k^{(2)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_1) d_1^{(2)} + \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_2) d_2^{(2)} - \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_1) s_2^* + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_k^H \mathbf{p}_2) s_1^* + z_k^{(2)} \quad (4)$$

III. 제안하는 NOMA 송수신 기법

UE 1과 UE 2에 대해서는 MU-MIMO를 적용하기 때문에 둘 간의 간섭을 줄이기 위하여 다음 조건들을 만족시키도록 프리코딩 벡터들을 설계한다.

$$\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_1 = 0, \quad \mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_2 = 0 \quad (5)$$

이 경우, 시간 슬롯 1에서 UE 1의 수신 신호는 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$y_1^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1) d_1^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1) s_1 + z_1^{(1)} \quad (6)$$

전송전력에 대해서 $\alpha_2 \gg \alpha_1$ 이므로, UE 1은 다음과 같이 간섭 신호인 s_1 을 먼저 추정한다.

$$\hat{s}_1 = \frac{y_1^{(1)}}{\sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1)} \quad (7)$$

다음으로 s_1 을 정확하게 예측했다는 가정 하에, $y_1^{(1)}$ 에 SIC 기법을 적용함으로써 다음과 같이 $d_1^{(1)}$ 을 추정한다.

$$\hat{d}_1^{(1)} = \frac{y_1^{(1)} - \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1) \hat{s}_1}{\sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1)} \quad (8)$$

시간 슬롯 2에서도 유사한 방법을 적용하여 $d_1^{(2)}$ 를 추정한다.

식 (5)의 조건을 적용하면, 시간 슬롯 1에서 UE 2의 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_2^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_2) d_2^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_2) s_2 + z_2^{(1)} \quad (9)$$

UE 2는 UE 1에서와 유사한 과정을 적용함으로써 $d_2^{(1)}$ 을 추정한다.

다음으로 STBC를 적용하는 UE 3에서의 동작에 대해서 살펴 보자. 시간 슬롯 1과 2에서 UE 3에 대한 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_3^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) d_1^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) d_2^{(1)} + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) s_1 + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) s_2 + z_3^{(1)} \quad (10)$$

$$y_3^{(2)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) d_1^{(2)} + \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) d_2^{(2)} - \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) s_2^* + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) s_1^* + z_3^{(2)} \quad (11)$$

전송전력에 대해서 $\alpha_2 \gg \alpha_1$ 이므로 UE 3에서의 수신 신호들은 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$y_3^{(1)} \cong \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) s_1 + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) s_2 + z_3^{(1)} \quad (12)$$

$$y_3^{(2)} \cong -\sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1) s_2^* + \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2) s_1^* + z_3^{(2)} \quad (13)$$

$y_3^{(1)}$ 과 $y_3^{(2)}$ 에 대한 표현식을 간단히 하기 위하여 $h_1 = \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1)$, $h_2 = \sqrt{\frac{\alpha_2}{2}} (\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2)$ 라고 정의하면, $y_3^{(1)}$ 과 $y_3^{(2)}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_3^{(1)} \cong h_1 s_1 + h_2 s_2 + z_3^{(1)} \quad (14)$$

$$y_3^{(2)} \cong -h_1 s_2^* + h_2 s_1^* + z_3^{(2)} \quad (15)$$

이제 다음과 같이 STBC 수신 기법을 적용하여 s_1 과 s_2 를 추정한다.

$$\hat{s}_1 = h_1^* y_3^{(1)} + h_2 y_3^{(2)*}, \quad \hat{s}_2 = h_2^* y_3^{(1)} - h_1 y_3^{(2)*} \quad (16)$$

IV. 성능 분석

제안하는 NOMA 전송 방식의 성능을 분석하기 위하여 각 UE의 신호대 간섭잡음비 (SINR)과 수율을 계산한다. 먼저 UE 1에서 $\alpha_2 \gg \alpha_1$ 이므로 s_1 을 완벽하게 추정한다고 가정한다. 이 경우 SIC 방식으로 s_1 를 완벽하게 제거하면 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_1^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1) d_1^{(1)} + z_1^{(1)} \quad (17)$$

따라서 UE 1의 SINR은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{SINR}_1 = \frac{\alpha_1 |\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1|^2}{2\sigma_z^2} \quad (18)$$

유사한 방식으로, UE 2에서 s_2 를 완벽하게 추정한다고 가정하고, SIC 방식으로 s_2 를 완벽하게 제거하면 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_2^{(1)} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{2}} (\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_2) d_2^{(1)} + z_2^{(1)} \quad (19)$$

따라서 UE 2의 SINR은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{SINR}_2 = \frac{\alpha_1 |\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_2|^2}{2\sigma_z^2} \quad (20)$$

한편 UE 3에서 STBC 수신 기법을 적용한 후에 수신 신호에 대한 SINR은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{SINR}_3 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \frac{2\sigma_z^2}{|\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1|^2 + |\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2|^2}} \quad (21)$$

이제 앞에서 구한 SINR 식들을 이용하면, 제안하는 NOMA 기법의 전체 시스템에 대한 수율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{pro}} &= \sum_{k=1}^3 \log_2(1 + \text{SINR}_k) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 |\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1|^2}{2\sigma_z^2} \right) \\ &\quad + \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 |\mathbf{g}_2^H \mathbf{p}_2|^2}{2\sigma_z^2} \right) \\ &\quad + \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \frac{2\sigma_z^2}{|\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1|^2 + |\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2|^2}} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

한편 기존의 NOMA 전송 방식 중의 한 가지 (기존 방식 1)는 MU-MIMO를 적용하지 않고 UE 1과 UE 3에게만 데이터를 전송하는 기법이다. MU-MIMO를 적용하지 않기 때문에 UE 2는 존재하지 않는 방식이다. 이 경우에 대한 수율은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{conv1}} &= \sum_{k=1}^3 \log_2(1 + \text{SINR}_k) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 |\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1|^2}{\sigma_z^2} \right) \\ &\quad + \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \frac{2\sigma_z^2}{|\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1|^2 + |\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2|^2}} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

기존의 NOMA 전송 방식 중의 또 다른 방식 (기존 방식 2)은 UE 1과 UE 3 모두에게 STBC를 적용하는 기법이다. 이 경우도 MU-MIMO를 적용하지 않기 때문에 UE 2는 존재하지 않는 방식이다. 이 경우에 대한 수율은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{conv2}} &= \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 (|\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_1|^2 + |\mathbf{g}_1^H \mathbf{p}_2|^2)}{\sigma_z^2} \right) \\ &\quad + \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \frac{2\sigma_z^2}{|\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_1|^2 + |\mathbf{g}_3^H \mathbf{p}_2|^2}} \right) \end{aligned} \quad (24)$$

V. 모의실험

제안하는 NOMA 전송 방식과 기존의 전송 방식 1, 2 간의 성능을 비교하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 기지국의 송신 안테나 개수는 $M=4$ 인 경우를 고려하였고, 각 UE 까지의 채널은 가우시안 랜덤 채널을 사

용하였다. UE 1과 UE 2는 기지국과 가깝고 UE 3은 기지국과 먼 상황을 고려하기 위하여 UE 1과 UE 2의 채널은 $E[|g_{1,m}|^2] = E[|g_{2,m}|^2] = 1, m = 2, \dots, M$,라고 가정하고, UE 3의 채널은 $E[|g_{3,m}|^2] = 0.3$ 이라고 가정하였다.

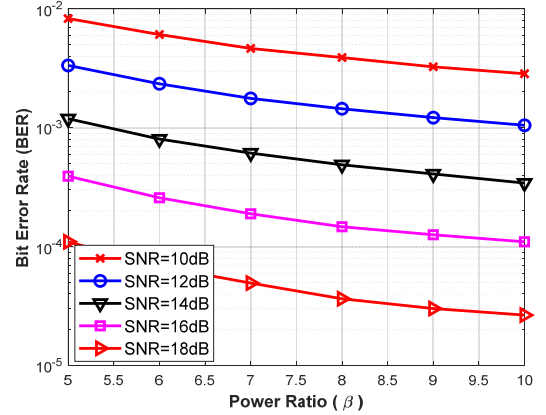


그림 2. 전력비 β 에 따른 UE 1의 BER
Fig. 2. Bit error rate at UE 1 according to the power ratio β

그림 2는 전송 전력비 $\beta = \alpha_2/\alpha_1$ 에 대해서 UE 1에서의 s_1 에 대한 BER 값을 보여준다. 또한 SNR 값이 10dB 부터 18dB까지 변하는 5가지 종류의 SNR에 대해서 BER 값을 보여 준다. UE 1에서는 간섭 신호인 s_1 를 먼저 추정하고 SIC 방식으로 s_1 를 제거하기 때문에 s_1 에 대한 BER 값이 충분히 낮아야 한다. 이 그림으로부터 β 값이 클수록 s_1 에 대한 BER 값이 낮아지고 SNR 값이 클수록 BER 값이 낮아진다는 것을 알 수 있다.

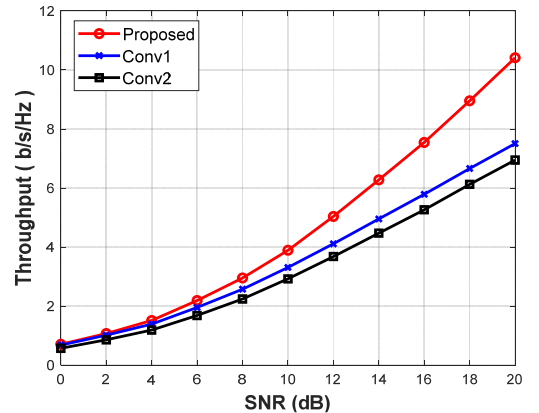


그림 3. 제안하는 기법과 기존 기법들 간의 수율 비교
Fig. 3. Throughput comparison between the proposed scheme and the conventional ones

그림 3은 앞에서 구한 수율 값들을 비교하는 그림이다. UE 1에서의 SIC 성능을 보장하기 위하여 여기에서는 전송전력비를 $\beta = 9$ 로 설정하였다. 그림에서 'Proposed'는 제안하는 방식에 대한 수율 값을 나타내고, 'Conv1'과 'Conv2'는 각각 기존 방식 1과 2에 대한 수율 값을 나타낸다. 이 그림으로부터 제안하는 NOMA 전송 기법이 기존 기법들보다 더 높은 수율 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 또한 SNR이 낮을 때는 성능 차이가 크지 않지만, SNR이 증가할수록 제안 기법과 기존 기법들 간의 성능 차이가 점점 증가한다는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기지국의 하향링크 수율을 증가시키기 위하여 NOMA 기법, MU-MIMO 기법, STBC 기법을 동시에 적용하는 전송기법을 제안하였다. 기지국에 가까이 위치한 두 개의 단말에 대해서는 MU-MIMO 기법을 적용하여 데이터를 전송하고, 기지국과 멀리 떨어진 단말은 채널을 추정하기 어렵기 때문에 STBC 기법을 적용하여 전송한다. 그리고 기지국에 가까운 단말과 멀리 떨어진 단말에 대한 데이터를 동시에 전송하기 위하여 전송전력을 다르게 적용하는 NOMA 기법을 적용한다. 제안하는 NOMA 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 수율 값에 대한 식을 유도하였다. 모의실험을 통해 각 방식들 간의 성능을 비교하였으며, 제안 기법의 수율 값이 기존 방식들보다 훨씬 높다는 것을 보였다.

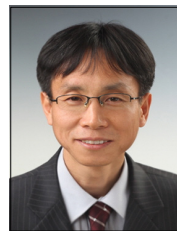
References

- [1] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, "A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems", *IEEE Network*, Vol. 34, No. 3, pp. 134-142, May/June 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900287>
- [2] J.-W. Kim and C.-W. Kim, "A Variable-Gain Low-Noise Amplifier for Sub-GHz 5G Base-Station Receivers", *Journal of KIIT*, Vol. 19, No. 7, pp. 75-81, July 2021.
DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.7.75>
- [3] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access", in *Proc. IEEE Vehic., Technol. Conf., Dresden, Germany*, Jun. 2013, pp. 1-5.
DOI: <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2013.6692652>

- [4] J. Pauls and M. Vaezi, "Secure Precoding in MIMO-NOMA: A Deep Learning Approach", *IEEE Wireless Comm. Lett.*, Vol. 11, No. 1, pp. 77-80, Jan. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LWC.2021.3120594>
- [5] Z. Ding et al., "Application of Non-Orthogonal Multiple Access in LTE and 5G Networks", *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 55, No. 2, pp. 185-191, Feb. 2017
DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1500657CM>
- [6] C. Shin, "Simultaneous Transmission of Multiple Unicast and Multicast Streams Using Non-orthogonal Multiple Access" *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 11-19, February. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.11>
- [7] N.-S. Kim, "Outage Performance of Uplink NOMA Systems with CDF Scheduling" *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 21, No. 4, pp. 37-42, Aug. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.4.37>
- [8] S. M. R. Islam, M. Zeng, O. A. Dobre, and K.-S. Kwak, "Resource Allocation for Downlink NOMA Systems: Key Techniques and Open Issues", *IEEE Wireless Comm.*, Vol. 25, No. 2, pp. 40-47, Apr. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1700099>
- [9] Z. Ding, F. Adachi, and H. V. Poor, "The application of MIMO to Non-Orthogonal Multiple Access", *IEEE Trans. Wireless Comm.*, Vol. 15, No. 1, pp. 537-552, Jan. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2475746>
- [10] M. Toka and O. Kucur, "Non-Orthogonal Multiple Access with Alamouti Space-Time Block Coding", *IEEE Wireless Comm. Lett.*, Vol. 22, No. 9, pp. 1954-1957, Sept. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2018.2849387>

저 자 소 개

서 방 원(중신회원)



- 1997년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 (공학사)
- 1999년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 (공학석사)
- 2010년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학 (공학박사)
- 2004년 11월 ~ 2013년 2월 : 한국전통신연구원 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 교수
- 주 관심분야 : 이동통신, 다중 안테나 기술 (MIMO), NOMA, 인공지능