

5G를 위한 주파수 및 에너지 효율적인 공간 변조 비-직교 다중 접속 기법

무하마드 이르판*, 김진우*, 신수용°

Spectral and Energy Efficient Spatially Modulated Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) For 5G

Mohammad Irfan*, Jin Woo Kim*, Soo Young Shin°

요약

비-직교 다중접속 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)는 5G 네트워크를 위한 유망한 후보 기술이다. NOMA는 여러 사용자가 동일한 시간과 주파수 자원을 사용하기 때문에 기존의 직교 다중 접속 (OMA: Orthogonal Multiple Access) 기술보다 개선된 주파수 효율을 갖는다. Multiple-Input-multiple-output (MIMO)는 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 또 다른 유망한 기술이다. 본 논문에서 우리는 다중 안테나 기반의 NOMA 기법의 주파수 및 에너지 효율을 다룬다. 제안된 기법에서 셀 외각 사용자는 공간 영역 (Spatial Domain)에서 다중화되고, 이것은 셀 외각 유저가 송신 안테나 인덱스를 이용하여 정보를 전송한다는 것을 의미한다. NOMA에서 셀 외각 사용자의 성능은 다른 사용자의 신호로부터 많은 영향을 받는데, 이때 다른 사용자의 신호는 잡음으로 작용한다. 제안된 기법은 기존의 NOMA에 비해 향상된 주파수 효율을 가진다. 셀 외각 사용자를 공간 영역에서 다중화함으로써 NOMA 신호의 복호 단계를 감소시킬 수 있기 때문이다. 또한, 제안된 기법은 기존의 NOMA 보다 뛰어난 에너지 효율을 갖는다. 주파수 및 에너지 효율, 복호 과정의 간소화는 기지국(Base Station)에서 다중 송신 안테나를 사용함으로써 인해 얻게 된다.

Key Words : Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), Spectral efficiency, Spatial Modulation (SM), MIMO, Energy efficiency, Bit Error Rate (BER)

ABSTRACT

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is a promising candidate for 5G networks. NOMA achieves superior spectral efficiency than conventional orthogonal multiple access (OMA), as in NOMA multiple users uses the same time and frequency resources. Multiple-input-multiple-output (MIMO) is one another promising technique that can enhance system performance. In this paper we present a spectral and energy efficient multiple antenna based NOMA scheme, known as spatially modulated NOMA. In the proposed scheme the cell edge users are multiplexed in spatial domain, which means the information to cell edge users is conveyed using the transmit antenna indices. In NOMA the performance of cell edge users are deeply effected as it treats signals of others as noise. The proposed scheme achieves superior spectral efficiency than the conventional NOMA. The number

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 해외ICT전문인력활용촉진사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-R0618-15-1006)

♦ First Author : Kumoh National Institute of Technology, isapzai@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, wdragon@kumoh.ac.kr, 종신회원

* Kumoh National Institute of Technology, rerua@kumoh.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2015-06-190, Received June 18, 2015; Revised August 11, 2015; Accepted August 11, 2015

of decoding steps involved in decoding NOMA signal reduces by one as cell edge user is multiplexed in spatial domain. The proposed scheme is more energy efficient as compare to conventional NOMA. All of the three gains high spectral, energy efficiency and one step reduction in decoding comes at cost of multiple transmit antennas at base station.

I. 서론

최근 모바일 데이터 트래픽이 급격하게 증가하고 있다. 향후 10년간 현재보다 500배 이상 증가할 것으로 예상된다.^[1] 다음의 논문 [2]에서는 현재의 주파수 자원이 미래의 수요를 만족시키기에는 충분하지 않음을 보여준다. [2]의 저자는 추가로 300 MHz의 대역을 더 할당할 것을 제안했다. 그리고 5G와 그 이후의 높은 용량 수요를 만족시키기 위해서는 시간, 주파수, 그리고 확산 코드 (Spreading code)와 같은 자원을 효과적으로 활용할 필요가 있다. 기존의 통신 시스템은 주파수 대역을 특정 유저에게 할당한다. 시스템 용량을 증가시키기 위해서 [1]에서는 비-직교 주파수 다중 접속 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)을 제안한다.^[1] NOMA에서는 다수의 사용자가 기지국 (Base Station)에서는 중첩 코딩 (Superposition Coding)을, 수신단에서는 순차적 간섭 제거 (SIC: Successive Interference Cancellation)를 이용하여 동일한 주파수 대역을 사용 가능하다.^[1] 그리고 NOMA는 기존의 직교 다중 접속 (OMA: Orthogonal Multiple Access) 기술보다 우수한 주파수 효율을 가진다.

Multiple-input-multiple-output (MIMO)는 주파수 효율을 향상시킬 수 있는 다른 유망한 기술이다.^[3] 공간 변조(SM: Spatial Modulation)는 수신 안테나의 수에 기반하여 single-input-single-output (SISO) 또는 single-input-multiple-output (SIMO)로 동작하는 새로운 종류의 MIMO 변조 기술이다.^[4] SM의 주파수 효율은 기존의 SISO 시스템보다 우수한데 이는 SM이 공간이나 안테나를 추가적인 차원으로 이용하기 때문이다.

본 논문에서는 SM과 NOMA를 기반으로 한 새로운 기술을 제안한다. 단일 주파수 대역의 사용자가 증가하면 셀 외각 사용자의 주파수 효율이 상당히 감소된다. 우리는 셀 외각 사용자의 전송속도 (Data Rate)를 증가시키기 위해 SM을 기반으로한 NOMA 기법을 제안한다. 셀 외각 사용자는 공간 영역에서 다중화 되고 나머지 사용자들은 기존의 NOMA 기법을 이용한다. 공간 영역에서 다중화 된 셀 외각 사용자들은

몇 가지의 이점을 가지는데, 높은 전송률, 에너지 효율, 그리고 수신단의 복호 복잡도 감소가 그것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 소개한다. 3장에서는 공간 변조 NOMA 기법을 제안한다. 그리고 4장에서는 모의실험을 통해 제안된 기법과 기존의 NOMA와의 성능을 비교하고 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

2.1 비-직교 다중 접속 (NOMA)

NOMA는 [5]에서 제시된 다중 접속 기술이다. 기존의 다중 접속 기법은 시간이나 주파수 영역에서 다중화 되지만, NOMA는 전력 영역에서 다중화된다.^[6] 그렇기 때문에 여러 사용자들이 동일한 시간에 주파수 영역을 사용가능하다. NOMA와 OFDM의 차이점은 그림 1.을 통해 확인할 수 있다.

셀 안에 N명의 사용자들이 있고 전체 대역폭이 1Hz라 가정하면, 각 유저의 성상도 포인트 (Constellation Point)는 s_1, \dots, s_N 이라 할 수 있다. 그리고 모든 사용자들의 채널 이득 (Channel Gain)은 $h_1 > \dots > h_N$ 이 된다.^[6] 또한 전력은 P로 둘 수 있다. 이때 NOMA의 전력 할당 기법으로 Fractional transmit power allocation (FTPA)^[5]가 사용된다. FTPA를 이용 하였을 때 전력 할당 계수 (Power Allocation Factor) α 는 각 사용자의 채널 이득에 기초하여 할당된다. 따라서 전력 할당 계수 α 는

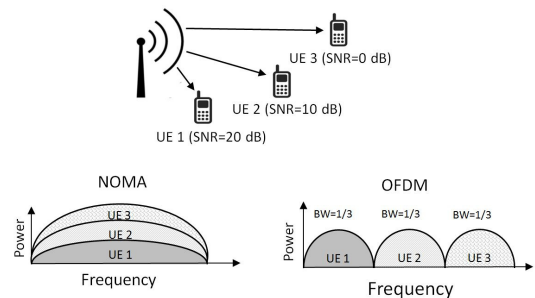


그림 1. NOMA와 OFDM의 주파수 자원 할당 비교
Fig. 1. Frequency resource allocation comparison of NOMA and OFDM

$\alpha_1 < \dots < \alpha_N$ 으로 나타낼 수 있다. 모든 사용자의 전력은 중첩 코딩을 통해 할당된다. N개의 심볼들을 중첩 코딩하면 모든 심볼들의 정보를 가진 하나의 심볼이 된다.^[11] 기지국에서 하나의 심볼을 전송하면 수신단에서는 SIC를 이용하여 해당 심볼을 복호한다. 이때 중첩된 심볼은 다음과 같이 주어진다.^[11]

$$S = \sum_{i=1}^N s_i \quad (1)$$

그리고 수신한 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_j = Sh_j + \omega_j \quad (2)$$

사용자가 3명 일때의 SIC의 적용 예는 다음 그림 2.에서 확인할 수 있다. NOMA에서 사용자가 N명일 때의 주파수 효율은 다음과 같다.^[17]

$$R_N = \sum_{i=1}^N \int_0^\infty \log_2(1 + \chi)(x) dx \quad (3)$$

이때 χ 은 다음과 같다.

$$\chi = \frac{\alpha_i P |h_i|^2}{|h_i|^2 \left(\sum_{k=1}^i \alpha_{k-1} P \right) + \omega_{0,i}}$$

여기서 α_i 는 사용자 i의 전력 할당 계수이고 ω 는 평균이 0, 분산이 σ_n^2 인 부가 백색 가우시안 잡음

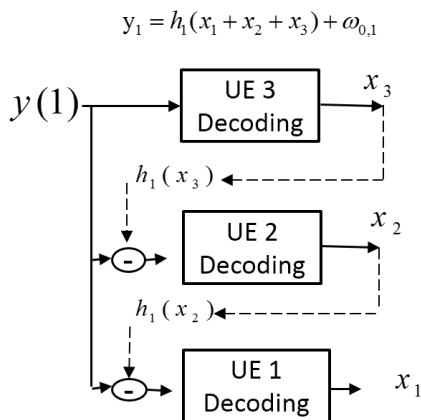


그림 2. 사용자가 3명일 때 UE-1의 송신기에서 SIC 적용 예
Fig. 2. Example of SIC for 3 Users at UE-1 Receiver

(AWGN: Addictive White Gaussian Noise)이다. 식 (3).은 NOMA 기법이 기존의 OMA 기법보다 향상된 주파수 효율을 가짐을 보여준다.^[11]

2.2 공간 변조 (Spatial Modulation)

수신기 또는 송신기에서의 다중 안테나 사용은 무선 통신 시스템의 성능을 향상시키는 방법 중 하나이다.^[8] 이 때문에 MIMO 기술은 연구자들로 부터 상당한 관심을 받고 있다. MIMO는 주파수 효율을 향상시킬 수 있지만 채널 간 간섭 (ICI: Inter Channel Interference) 문제를 가지고 있다. SM은 ICI 문제없이 주파수 효율을 향상시킬 수 있는 다중 안테나 통신 기술 중 하나이다.^[4] SM은 여러 개의 송신 안테나를 이용하지만, 심볼을 전송하는 순간에는 하나의 안테나만을 이용한다. SM의 수신기는 다중 또는 하나의 안테나를 가질 수 있는데, 송신단에서는 하나의 안테나만 활성화되기 때문에 SM은 SIMO 또는 SISO 통신 시스템이 된다. 다음의 그림 3.에서 SM의 시스템 모델을 확인할 수 있다.

SM은 $\lfloor \log_2(M_t) \rfloor$ 만큼 주파수 효율을 증가시킨다.^[4] 여기서 M_t 는 송신 안테나의 수이다. 그리고 전송할 입력 데이터 비트를 고려해야 한다. M-QAM을 사용한다고 가정하면, 먼저 $\log_2(M)$ 은 QAM 변조기에 의해 변조되는 비트의 수이고, $\log_2(M_t)$ 는 송신 안테나 선택을 위해 이용되는 비트이다. 이때 QAM으로 변조된 심볼이 특정 안테나를 이용하여 전송 된다. 그림 3.는 각각 4개의 송신, 수신 안테나를 갖는 SM 모델을 보여준다.

SM 시스템의 전체 주파수 효율은 다음의 식으로 표현 가능하다.

$$SE = \log_2(M) + \log_2(M_t) \quad (4)$$

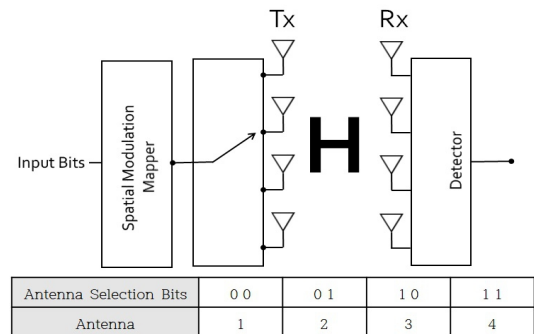


그림 3. SM 시스템 모델의 예
Fig. 3. Example of SM system model

III. Spatially Modulated NOMA

셀에서 균일하게 분포된 N 명의 사용자 및 해당 채널 이득은 $h_1 > \dots > h_K > \dots > h_N$ 으로 가정할 수 있다. 이때 N 은 전체 사용자의 수이고 K 는 NOMA 기법을 사용하는 사용자의 수, $N-K$ 는 공간영역에서 다중화되는 사용자의 수이다. 그리고 이때 할당된 채널 이득을 기반으로 $N-K$ 명의 사용자를 셀 외각 사용자라 간주할 수 있다. NOMA에서는 중첩코딩을 이용하여 다수의 사용자가 하나의 주파수 대역에 존재한다. 하지만 다수의 사용자를 공간영역에서 다중화하기 위해서는 각각의 사용자가 별도의 주파수 대역을 이용해야한다. 그렇지 않으면 전송 안테나의 선택 및 수신 이 불가능하다. 따라서 이는 $N-K$ 개의 주파수대역이 사용되고, 또한 $N-K$ 명의 사용자가 주파수영역에서 다중화 됨을 의미한다. 그리고 이때 각각의 주파수 대역은 $N' = \frac{K}{N-K}$ 로 주어지고 NOMA 사용자와 하나의 공간영역 사용자로 구성된다. 이때 M_i 는 기지국의 전체 안테나 수이며 이때 $M_i = 2^r$ 이다.

그림 5.는 전체 사용자 $N=6$ 인 경우의 주파수 영역을 보여준다. UE-1, ..., UE-4는 NOMA를 이용하고 UE-5, UE-6은 공간영역에서 다중화된다. 이때 $N=6$, $K=4$ 이므로 사용되는 주파수 영역 $N'=2$ 인 것을 확인할 수 있다.

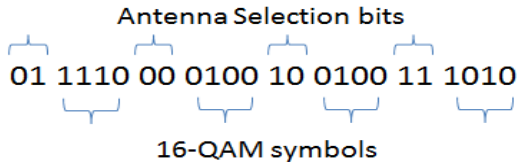


그림 4. 16-QAM과 송신 안테나 4개를 사용하는 SM일 때의 입력 비트 그룹
Fig. 4. Grouping input bits for SM with 16-QAM modulation and 4 transmit antennas M_t

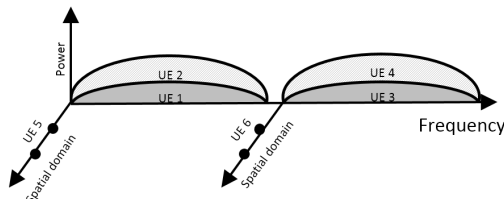


그림 5. 사용자가 6명일 때의 Spatially Modulated NOMA의 주파수 영역
Fig. 5. Frequency Band of Spatially Modulated NOMA for 6 Users

3명의 사용자인 경우의 블록다이어그램은 그림 6.을 통해 확인할 수 있다. 이때 $N=3$, $K=2$ 이다. UE-3은 낮은 채널 이득으로 인해 셀 외각 사용자로 간주되고, 따라서 공간영역에서 다중화된다. 다른 두 사용자 UE-1, UE-2는 기존의 NOMA 기법을 이용한다. UE-1과 UE-2의 NOMA 심볼은 UE-3의 입력 데이터 비트에 의해 결정된 특정 안테나를 통해 전송되는데, 이때 UE-1과 UE-2의 수신기는 수신된 중첩코딩 신호를 복호화하기 위해 SIC를 사용한다.

성상면에서 받은 UE-1, ..., UE-K의 심볼을 s_1, \dots, s_K 라 하면, 사용자의 채널 이득은 $h_1 > \dots > h_K$ 로 정의된다. K 사용자의 전체 전송 파워를 P 라 하면, 전력 전송 상수는 $\alpha_1 < \dots < \alpha_K$ 라 할 수 있다. 그리고 중첩 코딩을 이용하여 각각의 사용자에게 전력이 할당된다. 중첩 코딩 이후의 결과는 다음과 같다.

$$S = \sum_{i=1}^K \sqrt{\alpha_i P} s_i \quad (6)$$

여기서 α_i 는 사용자 i 의 전력 할당 계수이고 FTPA를 사용한다. 이는 [1]에서 확인할 수 있다. 중첩된 심볼은 전체 M_i 안테나 중 특정 안테나를 이용하여 송신된다. 송신 안테나는 사용자 UE-K+1의 입력 비트에 의해 결정된다. 예를 들어 $M_i = 4$ 인 경우는 표 1. 과 같이 표현된다.

임의의 주어진 시간에 공간영역의 사용자 UE-K+1의 입력 비트에 기초한 특정 안테나가 중첩된 신호 S 를 송신하기 위해 사용된다. 이 신호는 전체 사용자의 심볼 정보를 전송한다. 이때 사용자 j 의 수신 심볼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_j = S h_j + \omega_{0,j} \quad (7)$$

위 식에서 h_j 는 해당 채널 이득이고 $\omega_{0,j}$ 는 사용자

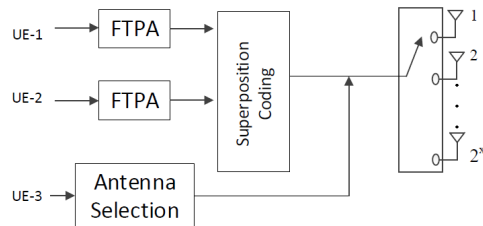


그림 6. 사용자가 3명인 경우의 Spatially Modulated NOMA
Fig. 6. Spatially Modulated NOMA for 3 Users

표 1. 셀 외각 사용자의 입력 데이터 비트 및 기지국에서의 안테나 선택
Table 1. cell edge user input data bits and antenna selection at base station

UE-K+1 (bits)	00	01	10	11
Active Antenna	1	2	3	4
Transmit Symbol	S	S	S	S

j 의 AWGN이며 S 는 식(6)에 의해 주어진다. 그리고 사용자 j 의 송신 심볼 S_j 를 복호하기 위해 SIC를 이용한다. 사용자 j 는 다른 유저들의 심볼의 전력이 j 의 심볼의 전력보다 작으면 잡음으로 인식한다. 반면 사용자 j 보다 할당된 전력이 크다면 성공적으로 다른 유저의 신호를 복호할 수 있다. 그리고 사용자 UE-K+1이 전력 영역에서 다중화되기 때문에 각 유저의 복호 과정이 한 단계씩 감소하게 된다. 사용자가 3명일 때 SIC를 이용한 경우를 그림 7.를 통해 볼 수 있다. 또한 단일 주파수 대역에서 사용자가 3명인 경우 기존의 NOMA 기법의 SIC와 제안된 기법의 비교를 그림 7.에서 확인할 수 있다.

제안된 기법에서 K명의 사용자는 기존의 NOMA 기법을 사용한다. 그렇기 때문에 K명의 사용자들의 수신기에서 수신한 y 신호에서 해당 신호를 복호할 수 있다. 셀 외각 사용자 UE-K+1가 NOMA 기지국에서 사용되는 안테나 인덱스를 추정하기 위해 동일한 Look-Up-Table (LUT)을 이용하여 신호를 복호 할 수 있다.

3.1 셀 외각 유저의 신호 복호와 전송 속도

제안된 기법에서 셀 외각 사용자는 공간 영역에서 다중화된다. NOMA의 중첩 코딩된 심볼 S 는 셀 외각 사용자인 UE-K+1의 데이터 비트에 의해 결정된 안테

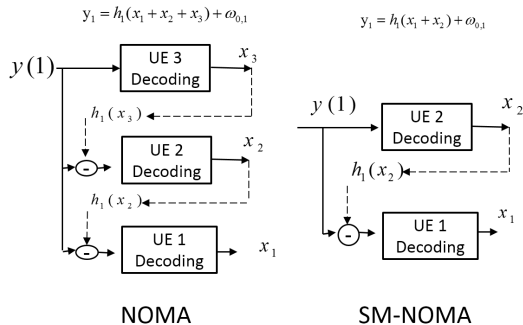


그림 7. 사용자가 3명인 경우 UE-1 관점에서의 SM-NOMA 및 기존의 NOMA와의 SIC와 복호 과정 비교
Fig. 7. SIC and decoding steps comparison of SM-NOMA and conventional-NOMA at UE-1 for 3 user case

나를 이용하여 전송된다. 그리고 셀 외각 사용자는 안테나 평가 기술로 MRRC (Maximal-Ratio Receive Combining)를 이용한다.^[4] 그리고 셀 외각 사용자는 NOMA 심볼을 송신하고, 기지국에서 사용된 송신 안테나 인덱스를 평가한다. 송신한 신호 y 는 채널의 Hermitian Conjugate와 곱해지고, 이때 송신단에서 채널의 정보를 알고 있는 것으로 가정한다. 즉, 다음과 같이 표현된다.

$$g = H^H y \tag{8}$$

여기서 $(\cdot)^H$ 는 Hermitian Conjugate이고 H 는 채널이다. 그리고 평가된 안테나 인덱스는 다음과 같다.

$$l = \underset{\forall}{\operatorname{arg\,max}} (|g_l|) \quad i = 1, \dots, M_t \tag{9}$$

여기서 g_i 는 행렬 g 의 i 번째 열이다. 원래의 데이터 비트를 복호하기 위해 셀 외각 사용자는 NOMA 기지국에서 사용하는 것과 동일한 LUT을 이용하여 해당 비트를 생성한다. MRRC 기반의 안테나 평가의 에러 성능은 다음과 같이 유도 되었다.^[4]

$$P_e = \frac{1}{M_t - 1} \left(\sum_{i=1}^{M_t-1} \int_0^{x_i} f_{X_{(M_t)}}(x|\mu, \sigma^2) dx \right) \tag{10}$$

여기서 M_t 는 전체 송신 안테나 수이다. 기지국과 셀 외각 사용자 사이의 채널 H 는 평균이 μ , 분산이 σ^2 인 가우시안 분포를 따른다. 이때 $f_{X_{(M_t)}}(x|\mu, \sigma^2)$ 는 채널 H 의 확률 밀도 함수 (PDF: Probability Density Function)이다. 심볼 x_i 는 $f_{X_{(i)}}(x|\mu, \sigma^2)$ 와 다른 모든 분포와의 교차 영역을 나타낸다. 따라서 비트의 성공적 전송 확률은 $1 - P_e$ 이고, 총 달성 가능 데이터 전송 속도는 다음과 같다.

$$R_{UE-K+1} = \log_2(M_t) x (1 - P_e) \tag{11}$$

3.2 공간 변조 NOMA의 용량

임의의 다수의 사용자 K에 대한 NOMA의 순간 링크 용량은 다음의 식.(3)에 의해 주어진다. 무작위로 배치된 NOMA 사용자들의 평균 용량은 다음과 같이 유도된다.^[6]

$$R_{NOMA} = \log_2(\rho \log_2(\log_2 K)) \quad (12)$$

위 식에서 ρ 는 전송 신호의 신호 대 잡음 비 (SNR: Signal to Noise Ratio)이다. 제안된 공간 변조 NOMA 기법의 전체 용량은 셀 외곽 사용자와 기존의 NOMA 사용자들 K 의 데이터 속도를 합침으로써 구할 수 있다. 이때 달성 가능한 전송 속도는 다음의 식.(11),(12)에 의해 구할 수 있다.

$$R_{prop} = \log_2(\rho \log_2 \log_2(K-1)) + (1 - P_e) \log_2(M_t) \quad (13)$$

다른 사용자들의 신호가 잡음으로서 작용하기 때문에 사용자 UE-K+1의 데이터 속도가 감소가 감소됨을 식.(3)을 통해 알 수 있다. 셀 외곽 사용자는 공간 영역에서 다중화됨으로써 전송 속도가 증가하게 된다. 이는 전체 시스템의 전송 속도를 증가시키는 것으로 볼 수 있다.

3.3 에너지 효율

셀 외곽 사용자는 공간 영역에서 다중화된다. 그리고 정보는 안테나 인덱스를 이용하여 전송된다. 셀 외곽 사용자는 NOMA 심볼 S 를 수신하고, MRRC를 이용하여 안테나 인덱스를 평가한다. 전력 할당을 사용하지 않기 때문에 제안된 공간 변조 NOMA 기법은 기존의 NOMA 기법에 비해서 향상된 에너지 효율을 가진다.

$$\eta_{ec} = \frac{R}{P_T} \quad (14)$$

위의 식에서 R 은 전체 전송 속도이고 P_T 는 전체 송신 전력이다. 기존의 NOMA 기법의 전력 할당 계수 $\alpha_1 < \dots < \alpha_K$ 와 K 에게 할당된 전체 할당 전력 P 는 다음과 같이 $\sum_i^K \alpha_i P$ 로 표현된다. 반면, 제안된 공간 변조 NOMA 기법의 전체 할당 전력은 다음의 식 $\sum_i^{K-1} \alpha_i P$ 로 주어진다. 각 기법의 에너지 효율은 다음과 같다.

$$\eta_{NOMA} = \frac{R_{NOMA}}{\sum_{i=1}^K \alpha_i P}, \quad \eta_{prop} = \frac{R_{prop}}{\sum_{i=1}^{K-1} \alpha_i P} \quad (15)$$

위의 식은 공간 변조 NOMA 기법이 기존의 NOMA 기법에 비해 향상된 에너지 효율을 가짐을 명백하게 보여준다.

IV. 모의실험 결과

이번 장에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 기법의 성능을 평가한다. 셀 내에 4명의 사용자가 있다고 가정한다. 그리고 모든 사용자를 비교하기 위해 기존의 NOMA 기법을 이용하였을 때와 제안된 기법을 이용하였을 때로 나누어 모의실험을 진행하였다. 제안된 기법에서는 3명의 사용자는 기존의 NOMA 기법을 이용하고 나머지 한명의 사용자는 공간이나 안테나 정보를 이용하여 정보를 전송한다. 셀 외곽 사용자의 데이터 전송 속도는 식.(13)을 이용하여 평가된다. 그리고 이 목적을 위해 셀 외곽 사용자의 Bit Error Rate (BER) 성능을 평가한다.

그림 8.는 $M_t = 16,4$ 일 때 셀 외곽 사용자의 BER을 보여준다. 셀 외곽 사용자는 MRRC를 이용하여 안테나 인덱스를 평가하고, 정보 비트를 복구하기 위해 송신기에서 사용한 LUT를 이용한다. NOMA에서 셀 외곽 사용자는 AWGN과 함께 다른 유저의 신호도 모두 잡음으로 처리한다. 따라서 NOMA의 셀 외곽 사용자는 높은 BER을 갖게 된다. 하지만 제안된 기법은 정보를 전송하기 위해 안테나 인덱스를 이용하기 때문에 기존의 NOMA 기법보다 개선된 성능을 갖는다.

그림 9.는 송신 안테나가 $M_t = 16,4$ 일 때 제안된 기법과 기존의 NOMA 기법의 주파수 효율 차이를 보여준다. 모의실험 결과 제안된 기법이 기존의 NOMA 기법보다 우수한 것을 확인할 수 있다. 셀 외곽 사용

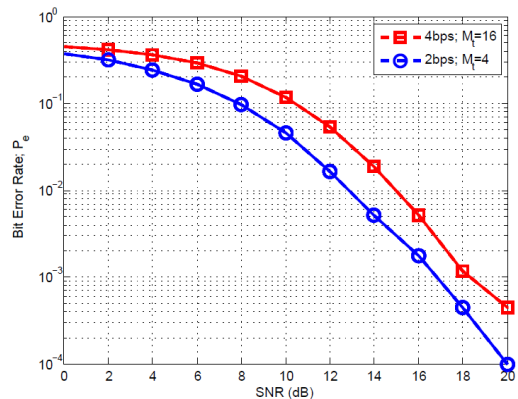


그림 8. 셀 외곽 사용자 UE-K+1의 SNR vs BER 그래프
Fig. 8. SNR vs BER of cell edge user UE-K+1

자의 데이터 전송 속도는 BER 또는 SNR의 함수로서 표현되었다. 셀 외각 사용자의 데이터 전송 속도 증가가 전체 성능에 영향을 끼치고, 제안된 기법은 기존의 NOMA 기법보다 우수한 주파수 효율을 달성한 것을 확인할 수 있다.

그림 10.은 제안된 기법의 에너지 효율을 보여준다. 위의 그래프는 제안된 기법이 기존의 NOMA에 비해 에너지 효율이 뛰어난 것을 보여준다. 제안된 기법의 셀 외각 사용자는 공간 영역에서 다중화 되기 때문에 해당 기법은 보다 개선된 에너지 효율을 가지게 된다. NOMA에서 대부분의 전력은 셀 외각 사용자에게 할당된다. 하지만 제안된 기법의 셀 외각 사용자는 안테나 인덱스를 이용하여 정보를 전송하기 때문에 항상

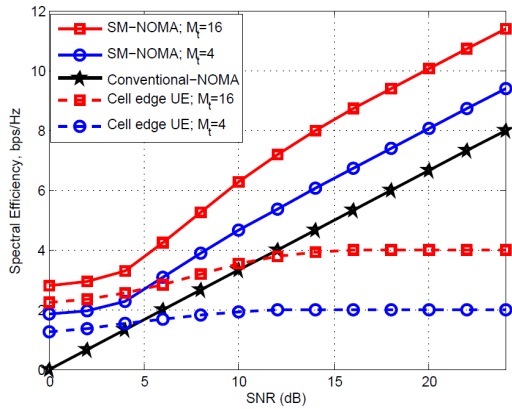


그림 9. $M_t=16,4$ 일때의 spatially modulated NOMA와 기존의 NOMA와의 SNR vs 주파수 효율 비교 그래프
Fig. 9. SNR vs Spectral efficiency comparison of spatially modulated NOMA with $M_t=16$ and 4 and conventional NOMA

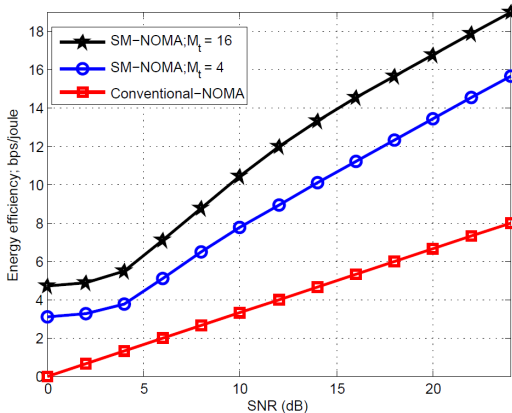


그림 10. spatially modulated NOMA와 기존의 NOMA와의 SNR vs bps/joule 비교 그래프
Fig. 10. SNR vs bits per second per joule comparison of spatially modulated NOMA with conventional NOMA

된 에너지 효율을 가진다. 송신 안테나의 증가로 인해 셀 외각 사용자의 데이터 속도와 에너지 효율이 증가하게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 공간 변조 NOMA라는 다중 송신 안테나 기반의 NOMA 기저국 송신 방식을 제안하였다. 제안된 공간 변조 NOMA 방식은 셀 외각 사용자가 공간영역에서 다중화되고 안테나 인덱스를 이용하여 정보를 전송한다. 이 때문에 제안된 방식에서 셀 외각 사용자는 전력 할당을 받을 필요가 없고, 이로 인해 기존의 NOMA에 비해 높은 에너지 효율을 가지게 된다. NOMA에서는 셀 외각 사용자에게 다른 사용자들의 신호가 잡음으로 작용한다. 제안된 방식에서 셀 외각 사용자는 공간 영역에서 다중화되기 때문에 향상된 데이터 속도와 주파수 효율을 얻을 수 있다. 그리고 기존의 NOMA에서 제안되는 K명의 사용자 대신 K-1명의 사용자가 할당되므로, 복호 과정을 한 단계 줄일 수 있게 된다. 제안된 방식의 모든 이득은 송신기의 다중 안테나에 의해서 얻게 된다.

References

- [1] Y. Saito, et al., "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)*, pp. 1-5, Dresden, Germany, Jun. 2013.
- [2] R. N. Clarke, "Expanding mobile wireless capacity: The challenges presented by technology and economics," *Telecommunications Policy*, vol. 38, no. 8-9, pp. 693-708, Sept. 2014.
- [3] M. Di Renzo, et al., "Spatial modulation for generalized MIMO: Challenges, opportunities, and implementation," in *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 1, pp. 56-103, 2014.
- [4] R. Y. Mesleh, et al., "Spatial modulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, Jul. 2008.
- [5] Y. Saito, et al., "System-level performance evaluation of downlink non-orthogonal multiple access (NOMA)," in *Pers. Indoor and Mob. Radio Commun. (PIMRC)*, pp. 611-615, London, UK, 2013.

- [6] Z. Ding, et al., "On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users," *Signal Process. Lett.*, vol. 21, no. 12, pp. 1501-1505, 2014.
- [7] M. Irfan and S. Y. Shin, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) with space shift keying for 5G," in *Proc. Symp. Korean Inst. of Commun. and Inf. Sci.*, pp. 132-133, 2015.
- [8] A. J. Paulraj, et al., "An overview of MIMO communications-a key to gigabit wireless," in *Proc. IEEE*, vol. 92, no. 2, pp. 198-218, 2004.

무하마드 이르판 (Mohammad Irfan)



2011년 2월 : Islamic University of Technology 전기 전자 공학과 졸업
2013년 9월~현재 : 국립금오공과대학교 IT융복합공학과 석사과정

<관심분야> OFDM, MIMO, NOMA

김진우 (Jin Woo Kim)



2014년 2월 : 국립금오공과대학교 전자 공학부 졸업
2015년 3월~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 무선통신, MIMO, NOMA

신수용 (Soo Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기 공학부 졸업
2001년 2월 : 서울대학교 전기 공학부 석사
2006년 2월 : 서울대학교 전기 컴퓨터공학부 박사
2010년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수

<관심분야> Network/communication protocol, MIMO and OFDM, wireless networks, etc.