

NOMA 사용자들의 유사 채널 이득 문제 해결을 위한 NOMA-SSK 연구

김 재 오*, 핸드라닝랏 데니 쿠스마*, 신 수 용°

A Study of NOMA-SSK for Solving Similar Channel Gain Problem of NOMA Users

Jae Oh Kim*, Denny Kusuma Hendraningrat*, Soo Young Shin°

요 약

비-직교 다중접속 (NOMA: Non-orthogonal Multiple Access)은 채널 이득에 따른 서로 다른 전력 할당을 통해 다수 사용자에게 신호를 동시에 전송 가능한 다중 접속 기술이다. NOMA는 5G 네트워크에서 주파수 효율을 높일 수 있는 기술로 각광받고 있다. 사용자의 거리에 따라 채널이득이 변할 때, NOMA 사용자들의 거리가 비슷해지면 채널 이득이 같거나 비슷해지는 유사 채널이 발생하게 된다. 이때, 유사 채널은 NOMA 원리에 어긋나 NOMA를 사용하지 못하게 되는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유사 채널 이득을 가지는 사용자를 공간영역으로 다중화 하는 NOMA-SSK (NOMA-Space Shift Keying)를 제안한다. 제안하는 기법은 NOMA의 유사 채널 이득 문제를 해결함과 동시에 공간자원을 활용하므로 높은 주파수 효율성을 달성할 수 있다. 본 논문에서는 NOMA-SSK의 주파수 효율에 대하여 이론적인 분석과 모의실험을 진행하고 기존의 NOMA-OMA (NOMA-Orthogonal Multiple Access), VP-NOMA (Virtual user Pairing-NOMA), TS-NOMA (Time Sharing-NOMA)방식과 비교한다. 이를 통하여 NOMA-SSK의 성능 우수성을 입증한다.

Key Words : Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), Similar Channel Gain, Spatial Modulation (SM), Space Shift Keying (SSK), Spectral efficiency

ABSTRACT

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is a multiple access technology that allows simultaneous transmission of multiple-user signals through different power allocations based on channel gains. It is a promising technology that can improve spectral efficiency in 5G networks. Considering the channel gain varies influenced by the distance of users, the similar channel gains occur when the NOMA users have a similar distance. The similar channel gain of the users violates the NOMA principle, so NOMA cannot be used. To solve this issue, we propose a NOMA-SSK (NOMA-Space Shift Keying) that multiplexes users with similar channel gains into a spatial domain. The proposed scheme solves the problem of similar channel gain of NOMA by using the spatial domain and achieves higher spectral efficiency. In this paper, theoretical analysis and simulation of the spectral

* 이 논문은 2019년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1089542).

♦ First Author : Kumoh National Institute of Technology, kumoh_jeoh@kumoh.ac.kr, 학생회원

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

* Kumoh National Institute of Technology, dennykusumah@gmail.com, 학생회원

논문번호 : KICS201910-233-A-RE, Received October 14, 2019; Revised December 11, 2019; Accepted December 16, 2019

efficiency of NOMA-SSK are conducted that compares with existing NOMA-OMA (NOMA-Orthogonal Multiple Access), VP-NOMA (Virtual user Pairing-NOMA), and TS-NOMA (Time Sharing-NOMA). It demonstrates the performance gain of NOMA-SSK.

I. 서론

최근 모바일 사용자의 증가와 IoT 사용량의 증가로 인해 데이터 트래픽이 급격히 증가하고 있다. 한정된 주파수 자원에서 주파수 효율을 높이기 위한 연구들 중 하나로 비-직교 다중접속 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) 기술이 활발히 연구되고 있다. 이러한 NOMA 기술은 최근 3GPP release-16 표준 (5G)에 의해 채택되었다¹⁻²⁾.

NOMA는 송신단에서 채널 이득에 따른 서로 다른 전력 할당을 통해 다수 사용자에게 신호를 동시에 전송하는 중첩 코딩을 사용한다. 수신단에서는 순차적 간섭 제거 (SIC: Successive Interference Cancellation)를 사용하여 복호한다. 이러한 원리를 기반으로 NOMA는 동일한 주파수 조건에서 기존의 직교 다중접속 (OMA: Orthogonal Multiple Access)보다 높은 스펙트럼 효율을 가진다³⁾.

NOMA는 인접한 사용자간의 유사 채널 이득이 발생하게 되는 경우에 대하여 NOMA 원리 위반에 따라 사용하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위한 기존의 연구로는 NOMA-OMA, VP-NOMA (Virtual user Pairing-NOMA), TS-NOMA (Time Sharing -NOMA)가 있다.

제안하는 NOMA-SSK (NOMA-Space Shift Keying)기법과 기존의 기법들의 차이를 설명하기 위해 채널 이득이 유사한 두 사용자 대해 가정한다. NOMA-OMA는 사용자 한 명은 NOMA를 사용하고, 다른 한 명은 OMA를 사용하여 전송하는 기법이다. 이때, 기지국 (BS: Base Station)에서 NOMA와 OMA 신호를 나눠 전송하게 되는데 OMA 신호의 경우 NOMA 신호와 달리 중첩코딩 없이 데이터를 전송하므로 높은 주파수 효율을 기대할 수 없다. VP-NOMA의 경우 두 사용자간의 주파수를 나누어 사용한다. VP-NOMA는 NOMA- OMA와 다르게 데이터를 중첩하여 사용하므로 OMA의 비해 높은 주파수 효율을 기대할 수 있지만, 기존 자원인 주파수를 나누어 사용한다는 단점을 가지고 있어 주파수 효율이 떨어진다⁴⁾. 마지막으로 TS-NOMA의 경우 시간 영역을 나누어 전송하므로 같은 시간 동안 2번의 전송이 있어야 하며 기존의 시간 영역을 나누어 전송하는 방식이기

때문에 효율성이 떨어지게 된다⁵⁾. 본 논문에서는 이러한 한계를 해결하기 위해 공간 변조 (SM: Spatial Modulation)기법을 사용하고자 한다. 송신 안테나의 인덱스 정보를 활용하는 공간 변조는 송신안테나 개수에 따라 주파수 효율이 변한다. 공간 변조 기법 중 하나로 하나의 활성화 안테나를 사용하는 공간천이변조 (SSK: Space Shift Keying)가 있다⁶⁻⁷⁾. SSK는 Single-input-single-output (SISO) 또는 Single-input-multiple-output (SIMO)로 사용되며 공간 다중화를 사용하므로 높은 주파수 효율을 기대할 수 있다⁸⁾. NOMA-SSK의 경우 사용자 한 명은 NOMA를 사용하고 나머지 사용자 한 명은 SSK 기법을 활용한다.

본 논문에서 제안하는 NOMA-SSK는 유사 채널 이득이 발생하는 NOMA의 문제를 해결하기 위해 제안되었다. 또한, NOMA-SSK는 공간영역을 자원으로 사용하므로 주파수 효율을 높일 수 있을 것이라 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안하는 시스템 모델을 소개한다. 3장과 4장에서는 각각 용량 분석과 복잡도 분석을 기술한다. 그리고 5장에서는 모의실험을 통해 제안된 기법과 기존의 기법들의 성능을 비교하고 마지막으로 6장에서 결론을 기술한다.

II. 시스템 모델

제안하는 시스템은 단일 셀 하향링크 모델로 BS에서 인접한 사용자 두 명과 셀 외각 사용자 한 명에게 데이터를 보내는 시나리오를 가정한다. N_t 는 송신 안테나 수로 이 중 하나의 활성화 안테나 N_a 를 사용하여 데이터를 전송한다. 각 사용자는 U_n 으로 표현되며 여기서 $n \in 1, 2, 3$ 으로 각 사용자들의 노드를 나타낸다. 그림 1은 제한하는 시스템 모델이며 BS으로부터의 사용자들의 거리표현은 $d_1 = d_3 < d_2$ 으로 d_n 은 n 번째 사용자의 노드에 따른 거리를 나타낸다. U_2 는 셀 외각 사용자, U_1, U_3 는 BS.으로부터 거리가 같은 인접한 사용자 이며 유사 채널 이득 문제가 발생한다. 본 논문에서는 하나의 사용자는 NOMA를 사용하고 다른 나머지 사용자는 SSK를 사용하고자 한다. 그림

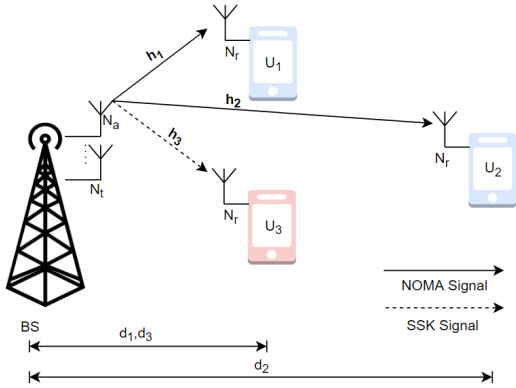


그림 1. 제안하는 시스템 모델
Fig. 1. Proposed System model

1에서 U_1 과 U_2 는 NOMA 사용자, U_3 는 SSK 사용자로 가정한다. 또한, 기지국에서 쓰이는 전체 전력과 주파수는 각각 $P=1$, $B=1$ 로 가정한다. NOMA 사용자 U_1 , U_2 는 각각 ψ_1 , ψ_2 의 전력할당계수를 가지며 $P=\psi_1P+\psi_2P$ ($\psi_1 < \psi_2$)로 채널 이득에 따른 전력할당계수를 가진다. NOMA-SSK는 그림 2와 같이 자원 할당이 이루어지며 U_1 은 $1/5P$, U_2 는 $4/5P$ 의 전력을 가정한다. 송신 안테나에서 s_1 신호를 보내고 BS에서 먼 사용자는 s_2 신호를 중첩하여 보내게 된다.

$$x_N = \sqrt{\psi_1} s_1 + \sqrt{\psi_2} s_2 \quad (1)$$

여기서 x_N 은 s_1 신호와 s_2 신호를 중첩코딩을 적용한 송신 신호이며 N_t 중 하나의 활성화 안테나를 사용할 때 다음과 같이 송신신호를 나타낼 수 있다.

$$x_S = \underbrace{[00 \cdots x_N \cdots 00]}_{N_t}^T \quad (2)$$

수신 신호는 다음과 같다.

$$y_n = h_n x_S + w_n \quad (3)$$

여기서 h_n , $n \in 1, 2, 3$ 은 각 채널을 나타내며 h_1 과 h_2 는 각각 BS에 인접한 NOMA 사용자와 셀 외곽 NOMA 사용자의 채널을 나타낸다. h_3 는 SSK 사용자의 채널을 나타낸다. 가정한 채널은 레일레이페이딩에 가우시안 노이즈 (AWGN: Adaptive White Gaussian Noise)가 더해진 복소채널계수로서

$h_n \sim CN(0, \lambda_n = d_n^{-\alpha})$ 로 나타낸다. 평균이 0 분산이 λ 로, α 는 경로손실계수를 나타낸다. w_n 은 AWGN을 나타낸다. 여기서 각각의 w_1 , w_2 , w_3 를 전력 스펙트럼 밀도로 나타내면 N_1 , N_2 , N_3 로 표현된다.

그림 2와 같이 BS에서 인접한 사용자는 우선 수신된 신호에서 신호가 큰 다른 사용자의 신호를 SIC를 통해 제거한 후 자기 신호를 복호 한다. 이때 SIC는 완벽한 SIC로 가정하며 신호가 큰 사용자의 신호를 모두 제거할 수 있다.

그림 3을 바탕으로 NOMA-OMA, VP-NOMA, TS-NOMA에서 가정한 주파수와 전력 할당에 관하여 알아보자.

NOMA-OMA는 U_1 , U_2 가 NOMA로 U_3 는 OMA로 사용된다. 그림 3(1)에 주파수축에서 살펴보면 NOMA 사용자와 OMA 사용자의 주파수 사용은 각각 $B/2$ 로 할당하며 서로 주파수에서 간섭이 없다고 가정하였다. BS에서 가까운 두 사용자 U_1 , U_3 는 전

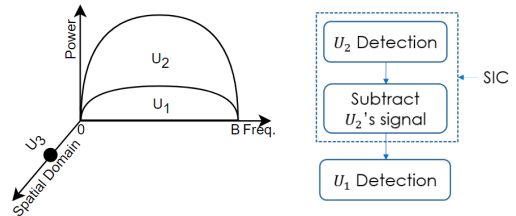


그림 2. 사용자가 3명일 때 NOMA-SSK 자원 할당 및 NOMA 사용자의 복호 과정
Fig. 2. NOMA-SSK Resource allocation for 3 Users and Decryption process for NOMA users

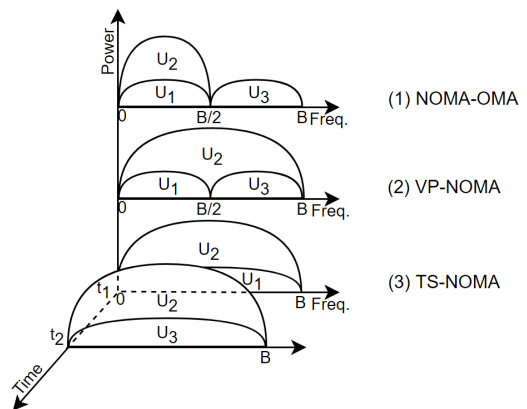


그림 3. NOMA-OMA, VP-NOMA, TS-NOMA 자원 할당 비교
Fig. 3. Resource allocation comparison of NOMA-OMA and VP-NOMA and TS-NOMA

력을 $1/5P$ 로 셀 외각 사용자 U_2 는 $3/5P$ 로 가정한다.

VP-NOMA는 U_1, U_3 가 서로 다른 주파수를 사용하며 U_2 는 B 의 주파수를 사용하여 표현된다. 그림 3(2)와 같이 U_1 와 U_3 의 NOMA 쌍과 U_2, U_3 의 NOMA 쌍을 이루며 주파수 사용은 U_1, U_3 가 각각 $B/2$ 로 할당받고 U_2 는 B 를 할당받는다. 전력 할당의 경우 NOMA-OMA와 같이 U_1, U_3 는 전력을 $1/5P$ 로 셀 외각 사용자 U_2 는 $3/5P$ 로 가정한다.

TS-NOMA는 VP-NOMA와는 달리 시간을 기준으로 NOMA 쌍을 구성하며 전체 시간을 $T=1$ 로 가정하였을 때, t_1 ($0 < t_1 < 1$), t_2 ($t_2 = 1 - t_1$)시간으로 나눠 데이터를 전송한다. t_1 시간에 U_1, U_2 가 NOMA 쌍을 이루고 t_2 시간에 U_1, U_3 가 NOMA 쌍을 이룬다. 그림 3(3)에 주파수축을 살펴보면 전체 주파수 B 를 할당받으며 전력의 경우 U_1, U_3 는 $1/5P$ 를 셀 외각 사용자 U_2 는 $4/5P$ 로 가정한다.

III. 용량 분석

제안하는 시스템과의 용량분석을 위해 2명의 NOMA 사용자의 용량과 SSK 용량을 구한 후 최종적으로 NOMA-SSK 용량을 분석해본다.

3.1 NOMA 용량

NOMA의 용량은 BS에서 인접한 사용자와 BS에서 먼 사용자의 용량을 분석한다^{3,5}. BS에서 인접한 사용자의 용량을 수식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \log_2(1 + \rho|h_1|^2\psi_1) \quad (4)$$

여기서 ρ 는 전송 시 발생하는 신호대잡음비 (SNR: signal-to-noise ratio)로 P/N_1 이며 $\rho|h_1|^2\psi_1$ 은 BS에 인접한 사용자의 수신 SNR이다.

$$F_A(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\lambda_1\rho\psi_1}} \quad (5)$$

$$\int_0^\infty \log_2(1+x)f_A(x)dx = \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \frac{1-F_A(x)}{1+x} dx \quad (6)$$

$A = \rho|h_1|^2\psi_1$ 이라고 할 때, A 에 대한 누적분포함

수를 수식으로 표현하면 식 (5)와 같다. 이론적인 에르고딕 용량을 구하기 위하여 식 (6)의 수식을 참고하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_1^{erg} &= \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \left(\frac{1}{1+x} \right) e^{-\frac{x}{\lambda_1\rho\psi_1}} dx \\ &= \frac{1}{\ln 2} \left\{ -Ei \left(\frac{-1}{\lambda_1\rho\psi_1} \right) e^{\frac{1}{\lambda_1\rho\psi_1}} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $Ei(\cdot)$ 는 지수적분 (Exponential Integral) 함수이고 R_1^{erg} 은 BS에서 가까운 사용자의 에르고딕 용량을 나타낸다.

다음으로 BS에서 먼 사용자의 용량을 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타낸다.

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{\rho|h_2|^2\psi_2}{\rho|h_2|^2\psi_1 + 1} \right) \quad (8)$$

여기서 송신 SNR은 $\rho = P/N_2$ 이며 $\frac{\rho|h_2|^2\psi_2}{\rho|h_2|^2\psi_1 + 1}$ 은 BS에서 먼 사용자의 수신 SNR이다.

$$\begin{aligned} F_B(y) &= 1 - \left(1 + \frac{\lambda_2\rho\psi_1 y}{\lambda_2\rho\psi_2} \right)^{-1} e^{-\frac{y}{\lambda_2\rho\psi_2}} \\ &= 1 - \left(\frac{\lambda_2\rho\psi_2}{\lambda_2\rho\psi_2 + \lambda_2\rho\psi_1 y} \right) e^{-\frac{y}{\lambda_2\rho\psi_2}} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\int_0^\infty \log_2(1+y)f_B(y)dy = \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \frac{1-F_B(y)}{1+y} dy \quad (10)$$

$B = \frac{\rho|h_2|^2\psi_2}{\rho|h_2|^2\psi_1 + 1}$ 이라고 할 때, B 에 대한 누적분포 함수를 수식으로 표현하면 식 (9)와 같다.

이론적인 에르고딕 용량을 구하기 위하여 식 (10)의 수식을 참고하여 나타내면 다음과 같다.

표 1. 기지국에서 안테나 선택에 따른 입력 데이터 비트 ($N_i = 4$)

Antenna number	1	2	3	4
Data bits	00	01	10	11

$$\begin{aligned}
 R_2^{erg} &= \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \frac{1}{1+y} \left(\frac{\lambda_2 \rho \Psi_2}{\lambda_2 \rho \Psi_2 + \lambda_2 \rho \Psi_1 y} \right) e^{-\frac{y}{\lambda_2 \rho \Psi_2}} dy \\
 &= \frac{\lambda_2 \rho \Psi_2}{\ln 2 (\lambda_2 \rho \Psi_2 - \lambda_2 \rho \Psi_1)} \\
 &\quad \times \left\{ -Ei \left(-\frac{1}{\lambda_2 \rho \Psi_2} \right) e^{\frac{1}{\lambda_2 \rho \Psi_2}} + Ei \left(-\frac{1}{\lambda_2 \rho \Psi_1} \right) e^{\frac{1}{\lambda_2 \rho \Psi_1}} \right\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

여기서 R_2^{erg} 는 BS에서 먼 사용자의 에르고딕 용량을 나타낸다. 따라서 전체 용량을 나타내면 식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{NOMA} = R_1^{erg} + R_2^{erg} \tag{12}$$

3.2 SSK 용량

공간 변조 기법은 송신안테나의 인덱스를 활용하여 채널 간 간섭 (ICI: Inter Channel Interference) 없이 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있으며 맵핑 테이블에 따라 복호 한다. 표 1은 N_t 가 4인 SSK의 안테나 인덱스에 따른 데이터 맵핑 테이블 예제이다. 수신안테나는 활성화 안테나의 인덱스 정보를 확인하여 데이터를 복호 할 수 있다. SSK는 송신안테나 중 하나의 안테나만을 사용하여 데이터를 전송하는 기법이며 수신 안테나에서 송신된 정보의 검출이 완벽히 이루어진다는 가정 하에 BS에서의 거리와 관계없이 일정한 주파수 효율을 가지게 된다. 주파수 효율을 식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다⁹⁻¹⁰⁾.

$$R_{SSK} = \lfloor \log_2(N_t) \rfloor \tag{13}$$

3.3 NOMA-SSK 용량

NOMA-SSK의 신호를 보낼 때 BS에서 NOMA 신호를 만든 뒤 송신안테나 중 하나의 안테나를 선택하게 된다. 이 때 SSK 사용자의 송신단에서는 SIC를 통해 NOMA 신호를 완전히 제거 한 뒤 안테나 인덱스 정보를 송신 받게 된다. NOMA-SSK의 용량은 식 (12)와 식 (13)을 합하여 다음과 같이 표현된다.

$$R_{NOMA-SSK} = R_{NOMA} + R_{SSK} \tag{14}$$

본 논문에서 B 에 대한 용량으로 주파수 효율을 나타낸다. NOMA-SSK의 이론적인 주파수 효율은 다음의 수식으로 표현된다.

$$\eta_{NOMA-SSK} = R_{NOMA-SSK} / B \tag{15}$$

IV. NOMA-SSK 복잡도 분석

이번 장에서는 시스템 복잡도 분석을 위하여 NOMA와 SSK의 수신단 복잡도 분석을 각각 수행하고 NOMA-SSK의 복잡도를 분석해본다.¹⁰⁾

제안하는 시스템은 NOMA-SSK로 NOMA와 SSK의 두 시스템으로 나뉘어져 있다. NOMA는 SIC과정이 필요하므로 이 과정에서 발생하는 복잡도를 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_{NOMA_{SIC}} = 4N_r M + 2N_r \tag{16}$$

여기서 N_r 은 수신안테나 수이며 M 은 M 진 변조를 나타낸다. SSK의 경우 최대 우도 (ML: Maximum Likelihood) 검파 기법을 사용한다는 가정 하에 ML 검파방식의 복잡도를 계산하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_{SSK_{ML}} = 2N_r N_t + N_t \prod_{n=1}^2 M_n + \prod_{n=1}^2 M_n \tag{17}$$

여기서 M_n 은 각 NOMA 사용자 노드에 따른 M 진 변조를 나타낸다. 전체 NOMA-SSK의 복잡도를 수식으로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_{NOMA-SSK} = \delta_{NOMA_{SIC}} + \delta_{SSK_{ML}} \tag{18}$$

표 2는 위의 복잡도 분석을 바탕으로 NOMA-SSK와 기존 기법들의 복잡도를 비교하였다. NOMA의 변조레벨은 모두 동일하게 가정하였으며 ($M_n = M$), $N_r = 1$ 로 제안하는 시스템 모델을 바탕으로 비교하였다. NOMA-SSK의 경우 SSK 사용자는 ML이 한 번 사용되어지고 NOMA 사용자들은 SIC가 한 번 적용된다. TS-NOMA와 VP-NOMA는 두 번의 SIC가 적용되고 NOMA-OMA는 한 번의 SIC가 적용된다. 표 2에 의하면 변조레벨과 N_t 에 의한 복잡도 변화가 NOMA-SSK의 경우에 다른 기법들 보다 높은 복잡도를 보인다. 이는 SSK에 의해 사용되는 ML의 복잡도가 NOMA의 SIC보다 변조레벨과 N_t 에 의한 영향을 더 받음을 나타낸다. 또한, 식 17에서 NOMA의 변조레벨은 사용자마다 곱해지므로 ML에서 높은 복잡도를 보이며 변조레벨이 높은 상태에서의 송신안테나

표 2. NOMA-SSK와 기존 기법들의 복잡도 비교
Table 2. Comparing the Complexity of NOMA-SSK and Conventional schemes

M	N _t	Complexity			
		NOMA-SSK	TS-NOMA	VP-NOMA	NOMA-OMA
2	2	26	20	20	10
2	4	38	20	20	10
4	2	70	36	36	18
4	4	106	36	36	18

수가 늘어나는 것보다 변조레벨이 낮은 상태에서 송신안테나 수가 많을 경우에 복잡도에 영향을 덜 받는다는 것을 알 수 있다.

이는 NOMA-SSK에서 ML을 사용할 때 변조레벨이 낮은 상태에서 송신 안테나 수를 늘리는 것이 계산 복잡도를 낮추는 방안으로 보인다.

V. 모의실험 및 결과

이번 장에서는 모의실험을 통해 제안된 모델들의 성능을 평가한다. 모의실험은 몬테카를로 시뮬레이션 반복 수행을 통해 시행하였다. 기존의 U₁, U₂는 NOMA를 사용하고 U₃는 NOMA-OMA의 경우 OMA를 VP-NOMA, TS-NOMA의 경우 NOMA를 사용하였다. 제안하는 시스템 모델인 NOMA-SSK의 U₃는 SSK를 사용하여 데이터를 받으며 N_t = 4, v = 4로 고정하였다. 그리고 TS-NOMA의 t₁, t₂는 각각 1/2로 가정하였다. 수신안테나에서 데이터를 받을 시 송신안테나의 채널 상태 정보 (CSI: Channel

State Information)와 안테나 인덱스 정보를 알고 있다고 가정하였다.

그림 4는 제안하는 NOMA-SSK와 기존 기법들의 SNR의 따른 주파수 효율 차이를 보여준다. 모의실험의 주파수와 전력할당은 2장에서 가정된 시스템 매개변수를 따른다. BS를 기준으로 셀 가장자리까지의 거리를 1로 가정하였을 때 d₁, d₃는 0.2로 d₂는 0.8로 두었다. 이때 전체 사용자들의 성능 차이 비교를 위해 SNR에 따른 전체 사용자의 주파수 효율을 비교하였다. NOMA-SSK는 20dB의 고정 SNR로 비교하였으며 NOMA-OMA와 비교하였을 때 평균 23.8% 높은 주파수 효율을 보였다. VP-NOMA, TS-NOMA와 비교하였을 때는 각각 평균 20.8%, 13.4% 높은 주파수 효율을 보였다. 그리고 NOMA-SSK의 이론적인 결과와 모의실험 결과가 유사한 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 NOMA-SSK가 공간자원 활용에 따라 NOMA 사용자의 주파수 할당을 줄 수 있으므로 높은 이득을 얻을 수 있어 주파수 효율이 뛰어난 것을 보여준다. TS-NOMA의 경우 VP-NOMA의 비해 높은 주파수 효율을 보여주는데 시간 자원 활용에 따른 주파수 효율이 기존의 주파수를 나눠 보내는 것보다 주파수 효율이 더 좋음을 알 수 있다. VP-NOMA는 NOMA-OMA의 비해 주파수 활용에 따라 더 높은 주파수 효율을 보여준다.

그림 5는 기존 기법들과 NOMA-SSK 기법의 U₁, U₃의 전력할당계수에 따른 주파수 효율을 보여준다. SNR을 10dB로 고정하였을 때 BS에서 사용자 전력 할당을 달리하여 전송하였을 때의 주파수 효율의 변화를 확인하였다. U₁, U₃의 전력할당계수를 0.01부터 0.2까지 증가시켰고 U₂는 반비례하게 감소시켜 실험하였다. U₁, U₃의 전력할당계수는 작을수록 U₂의 전력할당계수는 커지는데 U₁, U₃의 전력할당계수가 높아질수록 주파수 효율이 개선된다. 따라서 주파수 효율에서 전력할당계수의 영향이 BS에서 먼 사용자보다 가까운 사용자에서 더 큰 영향을 주는 것을 확인하

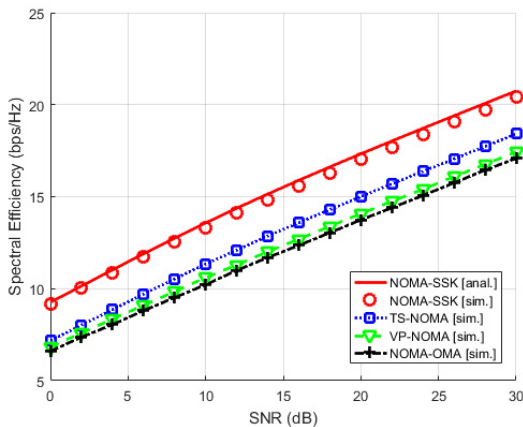


그림 4. 기존의 기법들과 NOMA-SSK의 SNR에 따른 주파수 효율 비교 그래프
Fig. 4. SNR versus Spectral Efficiency comparison of NOMA-SSK and conventional schemes

였다.

그림 6은 기존 기법들과 NOMA-SSK 기법의 BS 으로부터 U_1, U_3 에 거리에 따른 주파수 효율을 보여 준다. BS에서 U_1, U_3 의 거리에 따른 주파수 효율 변화 비교를 위하여 d_1, d_3 를 0.1부터 0.5까지 증가시키며 실험하였다. 이때, U_2 는 고정된 위치로 가정하고 SNR은 10dB로 고정하였다. 모의실험 결과로 d_1, d_3 가 작을수록 높은 주파수 효율을 가짐을 확인하였다. BS에서 가까울수록 잡음에 대한 영향이 낮고 채널 이득이 높아지므로 높은 주파수 효율을 가진다.

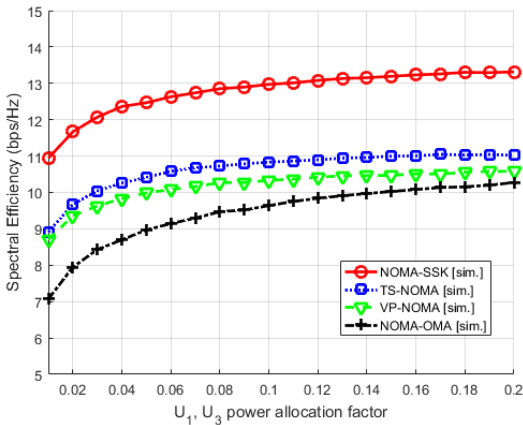


그림 5. 기존의 기법들과 NOMA-SSK의 U_1, U_3 의 전력할 당계수에 따른 주파수 효율 비교
Fig. 5. Power allocation factor of U_1, U_3 versus Spectral Efficiency comparison of NOMA-SSK and conventional schemes

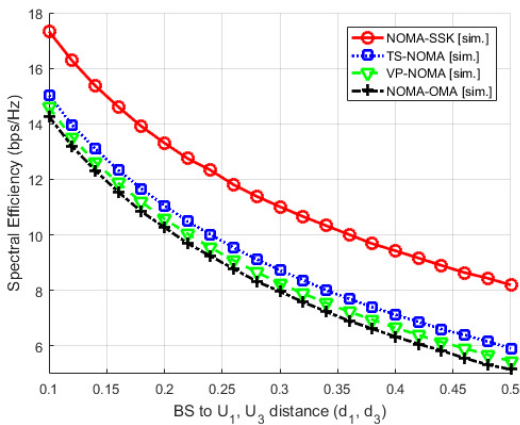


그림 6. 기존의 기법들과 NOMA-SSK의 BS으로부터 U_1, U_3 에 거리에 따른 주파수 효율 비교
Fig. 6. BS to U_1, U_3 distance versus Spectral Efficiency comparison of NOMA-SSK and conventional schemes

VI. 결 론

본 논문은 NOMA 사용자의 유사 채널 이득 문제로 인한 NOMA 사용의 제한을 해결하기 위해 NOMA-SSK를 제안하였다. NOMA-SSK는 SSK 사용자가 전력을 할당받지 않으므로 나머지 NOMA 사용자들이 전력을 분배하여 사용할 수 있다. 또한, 송신안테나 개수를 이용하여 더 높은 주파수 효율을 보였다. 모의실험을 통해 NOMA-SSK의 이론적 분석과 기존 NOMA-OMA, VP-NOMA, TS-NOMA와 주파수 효율을 비교했을 때 NOMA-SSK 기법이 각각 평균 23.8%, 20.8%, 13.4% 높은 주파수 효율 달성함을 확인하였다. 본 논문은 공간 변조 기법 중 하나인 SSK만을 고려하여 성능을 비교하였으므로, 후속 연구로 다른 SM 기법들을 적용한 확장 연구를 기대한다.

References

- [1] Q. C. Li, H. Niu, A. T. Papatthanasious and G. Wu, "5G Network Capacity: Key Elements and Technologies," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 9, no. 1, pp. 71-78, Mar. 2014.
- [2] Y. Al-Eryani and E. Hossain, "Delta-OMA (D-OMA): A new method for massive multiple access in 6G," *arXiv preprint arXiv:1901.07100*, 2019.
- [3] S. M. Islam, J. M. Kim, and K. S. Kwak, "On non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2549-2558, 2015.
- [4] M. B. Shahab and S. Y. Shin, "On the performance of a virtual user pairing scheme to efficiently utilize the spectrum of unpaired users in NOMA," *Physical Commun.*, vol. 25, pp. 492-501, 2017.
- [5] M. B. Shahab and S. Y. Shin, "A time sharing based approach to accommodate similar gain users in NOMA for 5G networks," *2017 IEEE 42nd Conf. Local Comput. Netw. Workshops (LCN Workshops)*, pp. 142-147, Singapore, 2017.
- [6] B. Shim and B. Lee, "Evolution of MIMO technology," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 712-723, 2013.
- [7] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W.

Ahn, and S. Yun, "Spatial Modulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, Jul. 2008.

- [8] J. Jeganathan, A. Ghayeb, L. Szczecinski, and A. Ceron, "Space shift keying modulation for MIMO channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 7, pp. 3692-3703, Jul. 2009.
- [9] M. Irfan, J. W. Kim, and S. Y. Shin, "Spectral and energy efficient spatially modulated non-orthogonal multiple access (NOMA) for 5G," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1507-1514, 2015.
- [10] F. Kara and H. Kaya, "Performance Analysis of SSK-NOMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 7, pp. 6231-6242, Jul. 2019.

김 재 오 (Jae Oh Kim)



2018년 2월 : 국립금오공과대학교 전자 공학부 졸업
 2018년 3월-현재 : 국립금오공과대학교 IT융복합공학부 석사과정
 <관심분야> 무선통신, NOMA, MIMO

[ORCID:0000-0002-7725-9489]

헨드라닝랏 데니 쿠스마 (Denny Kusuma Hendraningrat)



2011년 6월 : Telkom대학교 통신공학부 졸업
 2018년 3월-현재 : 국립금오공과대학교 IT융복합공학부 석사과정
 <관심분야> 무선통신, NOMA, MIMO

[ORCID:0000-0002-5111-6105]

신 수 용 (Soo Young Shin)



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

<관심분야> 5G/B5G 무선 접속 기술, 드론 응용, 혼합 현실, 블록체인, 머신러닝 및 딥 러닝
 [ORCID:0000-0002-2526-2395]