

송신 안테나 선택을 이용하는 하향링크 비직교 다중 접속 시스템에서 아웃티지 개선을 위한 자원 할당 기법

이인호*

Resource Allocation Scheme for Outage Enhancement in Downlink Non-Orthogonal Multiple Access Systems Using Transmit Antenna Selection

In-Ho Lee*

*Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Hankyong National University, Anseong, 17579 Korea

요 약

본 논문에서는 다중 송신 안테나를 이용하는 하향링크 비직교 다중 접속 시스템을 고려한다. 여기서, 시스템 복잡도를 줄이기 위하여 송신 안테나 선택 기법을 이용한다. 따라서, 본 논문에서는 송신 안테나 선택을 이용하는 하향링크 비직교 다중 접속 시스템의 아웃티지 확률 성능을 개선하기 위한 무선 자원 할당 및 수신기 선택 기법을 제안한다. 특히, 수신기 선택 기법은 아웃티지 성능 개선을 위한 수신기들의 그룹핑 방법을 의미하고, 무선 자원 할당 기법은 아웃티지 성능 개선을 위한 각각의 그룹에 대한 자원 할당 방법을 의미한다. 또한, 레일레이 페이딩 채널을 가정한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안 기법이 총 데이터 전송률의 손실로부터 아웃티지 확률 성능을 개선할 수 있음을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, we consider a downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) using multiple transmit antennas, where the transmit antenna selection scheme is used to reduce the system complexity. Thus, in this paper, we propose radio resource allocation and receiver selection schemes in order to improve the outage probability performance of the downlink NOMA system using the transmit antenna selection scheme. In particular, the receiver selection scheme is a method of grouping the receivers to improve the outage probability performance, and the radio resource allocation scheme is a method of allocating radio resources to each group in order to enhance the outage probability performance. In addition, through the computer simulation under the assumption of independent Rayleigh fading channels, we show that the proposed radio resource allocation and receiver selection schemes can improve the outage probability performance at the expense of the sum rate performance.

키워드 : 비직교 다중 접속, 송신 안테나 선택, 자원 할당, 아웃티지 확률, 총 데이터 전송률

Keywords : Non-orthogonal multiple access, Outage probability, Resource allocation, Sum data rate, Transmit antenna selection

Received 6 July 2022, Revised 15 July 2022, Accepted 29 July 2022

* Corresponding Author In-Ho Lee (E-mail: ihlee@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5197)

Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Hankyong National University, Anseong, 17579 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.9.1340>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

비직교 다중 접속 (Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA) 기술은 6세대 대규모 사물인터넷 (Internet of Things, IoT) 서비스를 지원하기 위한 후보 기술로 스펙트럼 효율과 에너지 효율 등의 시스템 성능을 개선할 수 있다[1,2]. NOMA 기술은 송신기가 다수의 수신기에 대한 데이터 신호를 단순히 더하여 전송하기 때문에 동일한 주파수와 시간 자원에서 다수의 데이터 신호의 전송을 가능케 한다. 또한, 각 수신기는 순차적 간섭 제거 (Successive Interference Cancellation, SIC) 기법을 이용하여 수신된 신호에서 수신 전력이 높은 다른 수신기에 해당하는 데이터 신호를 제거한 후 자신의 데이터에 대한 디코딩을 수행한다.

최근까지 NOMA 시스템에서 총 데이터 전송률, 아웃티지(outage) 확률, 에너지 효율, 보안 성능을 더욱 향상시키기 위하여 다중 안테나 기법을 함께 이용하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. [3]에서는 NOMA 시스템의 총 데이터 전송률과 아웃티지 성능을 개선하기 위한 송신 안테나 선택 기법을 제안하였고, [4]와 [5]에서는 NOMA 시스템의 총 데이터 전송률 및 에너지 효율을 최대화하기 위한 빔포밍(beamforming) 기법을 각각 제안하였다. [3]-[5]에서는 레일레이(Rayleigh) 페이딩(fading) 채널 환경에서 각각의 성능을 분석하였다. [6]에서는 NOMA 시스템의 아웃티지 성능 개선을 위하여 송신 안테나 선택과 최대 비율 결합을 이용한 기법과 송수신 안테나 선택 기법을 제안하였고, 나카가미(Nakagemi) 페이딩 채널에서 채널 추정 오차와 피드백(feedback) 오차를 고려하여 아웃티지 확률 성능을 분석하였다. [7]에서는 릴레이(relay)를 이용한 NOMA 시스템의 아웃티지 성능 개선을 위하여 [6]과 유사하게 송신 안테나 선택과 최대 비율 결합을 이용한 기법과 송수신 안테나 선택 기법을 제안하였고, 소프트웨어 정의 무선 Software-Defined Radio, SDR) 실시간 실험을 통해 성능을 평가하였다. [8]에서는 NOMA 시스템의 보안 아웃티지 성능 개선을 위하여 송신 안테나 선택 기법을 제안하였고, 레일레이 페이딩 채널 환경을 가정하여 보안 아웃티지 확률 성능을 분석하였다.

[9]와 [10]에서는 하나의 안테나를 이용하는 NOMA 시스템에서 총 데이터 전송률의 성능을 향상시키기 위한 무선 자원 할당 기법, 수신기 선택 기법, 전력 할당 기

법을 제안하였고, 레일레이 페이딩 채널 환경에서 총 데이터 전송률 성능을 분석하였다. 특히, [9]에서는 하나의 셀을 가정한 NOMA 시스템에서 주파수 무선 자원 할당 기법, 수신기 선택 기법, 전력 할당 기법을 제안하였고, [10]에서는 이기종 NOMA 네트워크에서 수신기 선택 기법과 전력 할당 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 총 데이터 전송률과 아웃티지 확률 성능을 향상시키기 위하여 다중 송신 안테나를 이용하는 NOMA 시스템을 고려한다. 여기서, 채널 상태 정보의 피드백 오버헤드(overhead)와 시스템 복잡도를 줄이기 위하여 [3]에서 제안한 송신 안테나 선택 기법을 이용한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 송신 안테나 선택 기법을 이용하는 NOMA 시스템에서 아웃티지 확률 성능을 더욱 개선시키기 위하여 무선 자원 할당 기법과 수신기 선택 기법을 제안한다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 레일레이 페이딩 채널 환경에서 제안 기법의 총 데이터 전송률과 아웃티지 확률 성능을 평가하고, 제안 기법이 총 데이터 전송률의 손실을 통해 아웃티지 확률 성능을 개선시킬 수 있음을 보여준다.

II. 시스템 모델

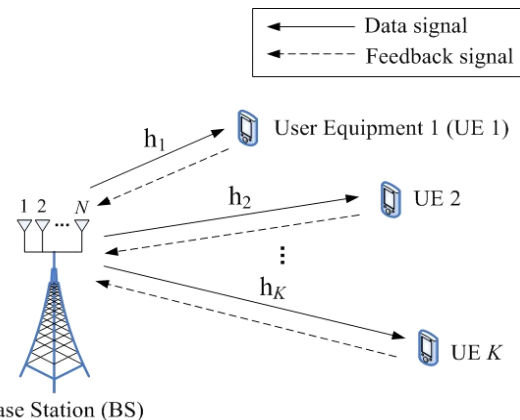


Fig. 1 Downlink NOMA system with multiple transmit antennas

본 논문에서는 그림 1과 같이 하나의 송신기인 기지국 (Base Station, BS)과 K 개의 수신기인 단말들 (User Equipments, UEs)에 대한 하향링크 NOMA 시스템을 고려한다. 그리고, 기지국은 N 개의 송신 안테나를 이용하고, 단말들은 하나의 수신 안테나를 이용한다고 가정

한다. N 개의 송신 안테나를 갖는 기지국과 하나의 수신 안테나를 갖는 k 번째 단말간 복소 채널 벡터는 다음과 같다.

$$\mathbf{h}_k = [g_{1,k}^2 \quad g_{2,k}^2 \quad \cdots \quad g_{N,k}^2]^T. \quad (1)$$

여기서, $g_{n,k}$ 는 기지국의 n 번째 송신 안테나와 k 번째 단말간 복소 채널 계수를 의미하고, 이것은 평균이 0이고 분산이 β_k 인 복소 가우시안(Gaussian) 랜덤 변수이다. 즉, $|g_{n,k}|$ 는 레일리 분포를 따르는 랜덤 변수이고, 채널 전력인 $|g_{n,k}|^2$ 의 평균은 β_k 이다. 그리고, $[\cdot]^T$ 은 전치 연산을 의미한다. 본 논문에서는 용이한 수식 표현을 위하여 $\max\{\mathbf{h}_1\} \geq \max\{\mathbf{h}_2\} \geq \cdots \geq \max\{\mathbf{h}_K\}$ 으로 정렬된다고 가정한다. 또한, 기지국은 모든 단말들의 채널 상태 정보를 완벽하게 알고 있다고 가정한다.

하향링크 NOMA 시스템에서 아웃티지 성능 개선을 위하여 [3]에서 제안하는 송신 안테나 선택 기법을 이용하면, 기지국에서 NOMA 전송을 위하여 선택되는 하나의 송신 안테나는 다음과 같다.

$$n^* = \arg \max_{n=1,2,\dots,N} \{ |g_{n,K}|^2 \}. \quad (2)$$

따라서, 기지국에서 식 (2)를 통해 선택된 하나의 송신 안테나를 이용하여 송신된 NOMA 신호는 k 번째 단말에서 다음과 같이 수신된다.

$$y_k = g_{n^*,k} \left(\sum_{k=1}^K \sqrt{P a_k} s_k \right) + z_k. \quad (3)$$

여기서, y_k 는 k 번째 단말의 수신 신호이고, P 는 기지국의 송신 전력이고, s_k 는 k 번째 단말의 데이터 신호이고, 이것의 평균 전력은 1이다. 또한, z_k 는 k 번째 단말의 잡음을 의미하고, 잡음 전력은 σ^2 이다. a_k 는 k 번째 단말의 데이터 신호에 할당된 전력 할당 계수이고, $\sum_{k=1}^K a_k = 1$ 과 $a_1 \leq a_2 \leq \cdots \leq a_K$ 을 만족해야 한다[11].

k 번째 단말은 식 (3)과 같이 수신된 신호에 SIC 기법을 이용하여 일부 신호를 제거한 후 자신의 데이터를 얻기 위해 디코딩을 수행한다. 여기서, SIC 기법을 이용하여 신호를 완벽하게 제거한다고 가정한다. 따라서, k 번째 단말의 수신 신호 대 잡음비는 다음과 같이 얻어진다.

$$\Gamma_k = \begin{cases} \frac{|g_{n^*,k}|^2 P a_k}{\sigma^2}, & k = 1 \\ \frac{|g_{n^*,k}|^2 P a_k}{|g_{n^*,k}|^2 P \sum_{j=1}^{k-1} a_j + \sigma^2}, & k = 2, 3, \dots, K \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)를 이용하여 k 번째 단말이 달성할 수 있는 데이터 전송률은 다음과 같이 얻어진다.

$$R_k = \log_2(1 + \Gamma_k). \quad (5)$$

III. 송신 안테나 선택 기반 NOMA를 위한 자원 할당 및 단말 선택 기법

본 논문에서는 송신 안테나 선택 기법을 이용하는 NOMA 시스템에서 아웃티지 성능을 더욱 개선시키기 위하여 단말들을 두 그룹으로 선택하는 기법과 선택된 두 그룹의 단말들을 위한 자원 할당 기법을 제안한다. 정렬된 $\max\{\mathbf{h}_1\} \geq \max\{\mathbf{h}_2\} \geq \cdots \geq \max\{\mathbf{h}_K\}$ 으로부터, K 가 짝수일 때 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹으로 선택되는 단말들의 인덱스(index)는 각각 $\{1, 3, \dots, K-1\}$ 과 $\{2, 4, \dots, K\}$ 이고, K 가 홀수일 때 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹으로 선택되는 단말들의 인덱스는 각각 $\{1, 3, \dots, K\}$ 과 $\{2, 4, \dots, K-1\}$ 이다. 여기서, 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 속하는 단말들의 수를 각각 M_1 과 M_2 라고 하자.

K 가 짝수일 때 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에서 각각 선택되는 하나의 송신 안테나는 다음과 같다.

$$n_1^* = \arg \max_{n=1,2,\dots,N} \{ |g_{n,K-1}|^2 \}, \quad (6)$$

$$n_2^* = \arg \max_{n=1,2,\dots,N} \{ |g_{n,K}|^2 \}. \quad (7)$$

여기서, K 가 홀수일 때는 $K-1$ 과 K 가 바뀐다. 본 논문에서는 두 그룹에 대한 독립적인 자원 할당을 제안하기 때문에 식 (6) 및 식 (7)과 같이 두 그룹에 대하여 상이한 송신 안테나의 선택이 가능하다. 식 (4)의 수신 신호 대 잡음비를 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 대하여 다음과 같이 각각 표현할 수 있다.

K 가 짝수일 때,

$$\Gamma_k^{(1)} = \begin{cases} \frac{|g_{n_1,k}^*|^2 P a_k}{\sigma^2}, & k = 1 \\ \frac{|g_{n_1,k}^*|^2 P a_k}{|g_{n_1,k}^*|^2 P \sum_{j=1}^{(k-1)/2} a_{2j-1} + \sigma^2}, & k = 3, 5, \dots, K-1, \end{cases} \quad (8)$$

$$\Gamma_k^{(2)} = \begin{cases} \frac{|g_{n_2,k}^*|^2 P a_k}{\sigma^2}, & k = 2 \\ \frac{|g_{n_2,k}^*|^2 P a_k}{|g_{n_2,k}^*|^2 P \sum_{j=1}^{(k-2)/2} a_{2j} + \sigma^2}, & k = 4, 6, \dots, K. \end{cases} \quad (9)$$

여기서, K 가 홀수일 때는 $K-1$ 과 K 가 바뀐다. 본 논문에서는 두 그룹에 대하여 주파수 또는 시간 자원의 유연한 할당을 제안하고 이러한 자원 할당을 반영하여 첫 번째와 두 번째 그룹의 데이터 전송률을 다음과 같이 각각 얻을 수 있다.

$$R_k^{(1)} = r \log_2(1 + \Gamma_k^{(1)}), \quad (10)$$

$$R_k^{(2)} = (1-r) \log_2(1 + \Gamma_k^{(2)}). \quad (11)$$

여기서, r 은 주어진 주파수 또는 시간 자원에서 첫 번째 그룹에게 할당되는 자원의 비율 의미하고, $(1-r)$ 은 두 번째 그룹에게 할당되는 자원의 비율 의미한다. 본 논문에서는 자원 할당 및 단말 선택 기법에 집중하기 위하여 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹의 전력 할당 계수를 $1/M_1$ 와 $1/M_2$ 로 각각 동일하게 설정한다.

그림 2에서는 송신 안테나 선택 기법 기반의 NOMA 시스템을 위하여 제안한 단말 선택 및 자원 할당 기법에 대한 상세한 절차를 보여준다.

식 (10)과 식 (11)을 이용하여 제안하는 기법에 대한 평균 총 데이터 전송률은 다음과 같이 표현된다.

K 가 짝수일 때,

$$\bar{R}_t = E \left[\sum_{k=1}^{K/2} (R_{2k-1}^{(1)} + R_{2k}^{(2)}) \right]. \quad (12)$$

K 가 홀수일 때,

$$\bar{R}_t = E \left[\sum_{k=1}^{(K+1)/2} R_{2k-1}^{(1)} + \sum_{k=1}^{(K-1)/2} R_{2k}^{(2)} \right]. \quad (13)$$

여기서, $E[\cdot]$ 는 레일리 페이딩 채널의 랜덤 변수

에 대한 평균을 의미한다.

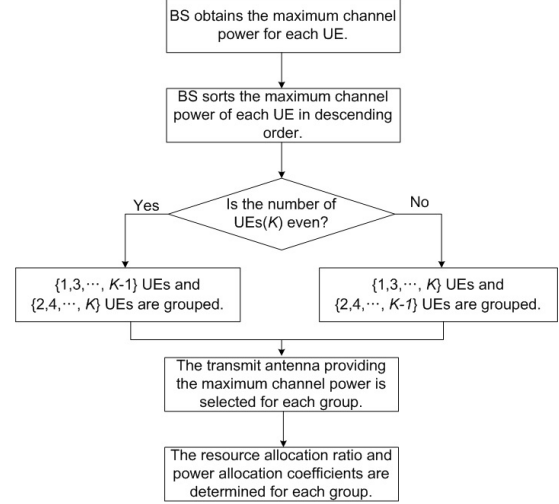


Fig. 2 Procedure for the resource allocation and user selection scheme for NOMA systems using transmit antenna selection

본 논문에서는 적어도 하나의 단말이 데이터 전송률의 목표값을 충족하지 못할 경우 아웃티지가 발생한다고 가정하고, 식 (10)과 식 (11)을 이용하여 제안 기법에 대한 아웃티지 확률을 다음과 같이 얻는다.

K 가 짝수일 때,

$$O_p = 1 - \Pr \{ R_1^{(1)} \geq R_{thr}, R_3^{(1)} \geq R_{thr}, \dots, R_{K-1}^{(1)} \geq R_{thr}, R_2^{(2)} \geq R_{thr}, R_4^{(2)} \geq R_{thr}, \dots, R_K^{(2)} \geq R_{thr} \}. \quad (14)$$

여기서, R_{thr} 은 데이터 전송률의 목표값을 의미하고, K 가 홀수이면 식 (14)에서 $K-1$ 과 K 가 바뀐다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 III장에서 제안하는 자원 할당 및 단말 선택 기법에 대한 평균 총 데이터 전송률과 아웃티지 확률 성능을 평가한다. 시뮬레이션을 위하여 $K=4$ 와 $N=4$ 를 가정한다. 따라서, 단말 선택 기법으로부터 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 속하는 단말들의 인덱스는 각각 $\{1, 3\}$ 과 $\{2, 4\}$ 이다. 또한, 다음과 같이 Case 1과 Case 2에 해당하는 두 가지의 채널 조건을

각각 가정한다.

- Case 1: $\beta_1 = 2, \beta_2 = 4, \beta_3 = 6, \beta_4 = 8$
- Case 2: $\beta_1 = 5, \beta_2 = 10, \beta_3 = 15, \beta_4 = 20$

여기서, Case 1과 Case 2는 단말들의 평균 채널 전력의 차이가 상대적으로 작은 경우와 큰 경우를 각각 의미한다. 그리고 시뮬레이션 결과에서 $\rho = P/\sigma^2$ 를 의미한다.

그림 3은 $\rho = 5, 10, 15$ dB일 때, Case 1과 Case 2에 대하여 자원 할당 비에 따른 평균 총 데이터 전송률의 변화를 보여준다. 그림 4와 그림 5는 $\rho = 5, 10, 15$ dB이고 $R_{thr} = 0.1, 0.2$ bps/Hz일 때, 자원 할당 비에 따른 아웃티지 확률의 변화를 Case 1과 Case 2에 대하여 각각 보여준다. 그림 3에서는 ρ 가 증가할수록 총 데이터 전송률이 증가하고, Case 1 보다 채널 조건이 우수한 Case 2에 대한 총 데이터 전송률이 더 높음을 보여준다.

그림 4와 그림 5에서는 ρ 가 증가할수록 아웃티지 확률이 감소하고, Case 1 보다 채널 조건이 우수한 Case 2에 대한 아웃티지 확률이 더 낮아짐을 보여준다. 또한, 그림 3으로부터 자원 할당 비가 증가할수록 평균 총 데이터 전송률이 증가함을 알 수 있다. 반면에 그림 4와 그림 5로부터 자원 할당 비가 증가함에 따라 아웃티지 확률이 감소 후 증가함을 알 수 있다. 즉, 그림 4와 그림 5의 결과로부터 최소의 아웃티지 확률을 얻을 수 있는 자원 할당 비가 존재함을 알 수 있고, 해당 시뮬레이션 조건에서는 최소의 아웃티지 확률을 제공하는 최적의 자원 할당 비가 0.45 또는 0.5임을 알 수 있다. 본 논문에서는 총 데이터 전송률의 개선 보다는 아웃티지 확률 개선에 초점을 두어 자원 할당 및 단말 선택 기법을 제안하였기 때문에 그림 6과 그림 7에서의 평균 총 데이터 전송률과 아웃티지 확률은 자원 할당 비를 0.45 또는 0.5로 설정하여 얻어진 결과이다. 여기서, 시뮬레이션 조건에 따라 최적의 자원 할당 비인 0.45 또는 0.5가 선택적으로 이용된다.

그림 6과 그림 7은 Case 1과 Case 2에 대한 평균 총 데이터 전송률과 아웃티지 확률의 성능 결과를 각각 보여준다. 여기서, Prop는 최적의 자원 할당 비를 이용한 제안 기법을 의미하고, Conv는 기존의 송신 안테나 선택 기반 NOMA를 의미한다. 따라서, Conv.의 결과는 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 얻어진다. 그림 6과 그림 7의 결과로부터, 제안 기법의 총 데이터 전송률은 기존 기법의 총 데이터 전송률 보다 낮지만, 제안 기법이 기존 기법

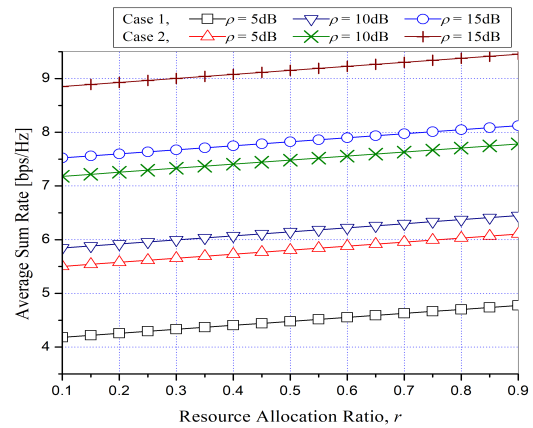


Fig. 3 Sum rate versus the resource allocation ratio for Case 1 and Case 2 when $K=4$ and $N=4$.

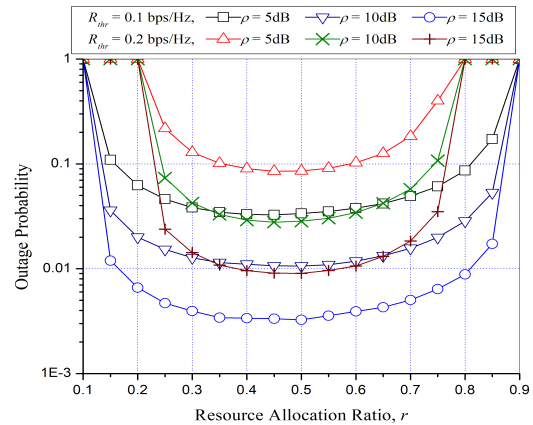


Fig. 4 Outage probability versus the resource allocation ratio for Case 1 when $K=4$ and $N=4$.

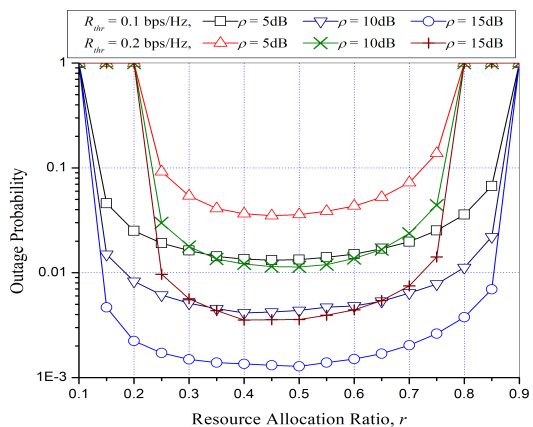


Fig. 5 Outage probability versus the resource allocation ratio for Case 2 when $K=4$ and $N=4$.

보다 우수한 아웃티지 확률 성능을 제공함을 알 수 있다. 즉, 제안 기법은 총 데이터 전송률 성능의 손실을 통해 아웃티지 확률 성능을 개선시킬 수 있다. 특히, $\rho = 20$ dB일 때, Case 1과 Case 2에 대하여 제안 기법은 기존 기법 대비 4.3%와 3.9%의 총 데이터 전송률의 손실을 각각 보이지만, 49.2%와 54.1%의 아웃티지 확률의 개선을 각각 보여준다. 여기서, 아웃티지 확률은 $R_{thr} = 0.1$ bps/Hz에 대한 결과이다.

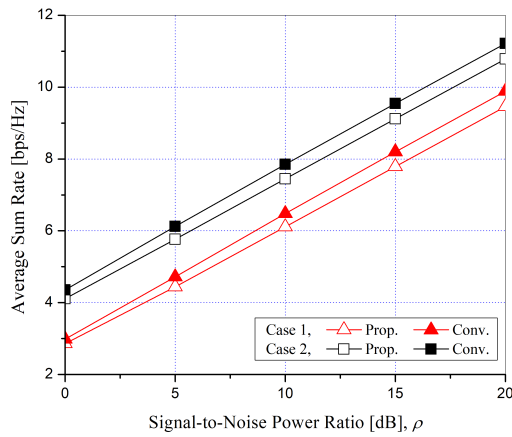


Fig. 6 Sum rate versus the signal-to-noise power ratio for Case 1 and Case 2 when $K=4$, $N=4$, and $r=0.45$, 0.5.

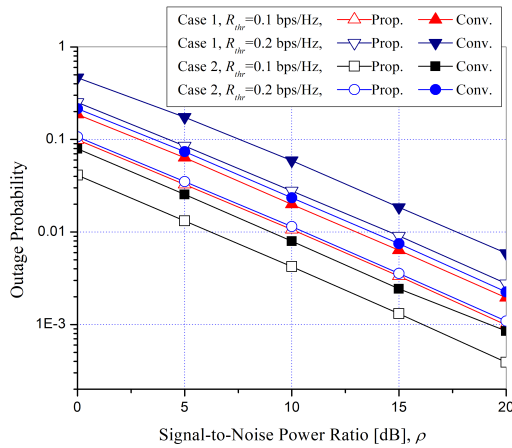


Fig. 7 Outage probability versus the signal-to-noise power ratio for Case 1 and Case 2 when $K=4$, $N=4$, and $r=0.45$, 0.5.

V. 결론

본 논문에서는 송신 안테나 선택 기법을 이용하는 하향링크 NOMA 시스템에서 아웃티지 확률 성능을 향상시키기 위한 무선 자원 할당 및 단말 선택 기법을 제안하였다. 여기서, 단말 선택 기법은 아웃티지 성능 개선을 위한 단말들의 그룹핑 방법을 의미하고, 무선 자원 할당 기법은 해당 그룹에 대한 자원 할당 방법을 의미한다. 또한, 레일레이 페이딩 채널을 고려한 시뮬레이션을 통하여 제안 기법이 총 데이터 전송률의 손실로부터 아웃티지 확률 성능을 개선할 수 있음을 보여주었다. 따라서, 제안 기법은 총 데이터 전송률 보다 아웃티지 성능에 대한 요구사항이 더욱 중요한 6세대 대규모 사물인터넷에서 활용될 수 있다.

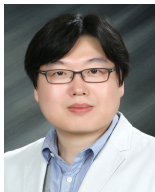
ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (Grant number: NRF-2022R1A2C1003388).

References

- [1] Y. Yuan, S. Wang, Y. Wu, H. V. Poor, Z. Ding, X. You, and L. Hanzo, "NOMA for Next-Generation Massive IoT: Performance Potential and Technology Directions," *IEEE Communication Magazine*, vol. 59, no. 7, pp. 115-121, Jul. 2021.
- [2] K. Yang, N. Yang, N. Ye, M. Jia, Z. Gao, and R. Fan, "Non-orthogonal multiple access: Achieving sustainable future radio access," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 2, pp. 116-121, Feb. 2019.
- [3] D. T. Do, T. L. Nguyen, and B. M. Lee, "Transmit Antenna Selection Schemes for NOMA with Randomly Moving Interferers in Interference-Limited Environment," *Electronics*, vol. 9, no. 1, pp. 1-15, Jan. 2020.
- [4] F. Zhu, Z. Lu, J. Zhu, J. Wang, and Y. Huang, "Beamforming Design for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access Systems," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 10956-10965, Jan. 2018.
- [5] H. M. Al-Obiedollah, K. Cumanan, J. Thiyagalingam, A. G. Burr, Z. Ding, and O. A. Dobre, "Energy Efficient Beamforming

- Design for MISO Non-Orthogonal Multiple Access Systems,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 6, pp. 4117-4131, Jun. 2019.
- [6] M. Aldababsa and O. Kucur, “Majority based antenna selection schemes in downlink NOMA network with channel estimation errors and feedback delay,” *IET Communications*, vol. 14, no. 17, pp. 2931-2943, Oct. 2020.
- [7] M. Aldababsa, E. Güven, M. A. Durmaz, C. Göztepe, G. K. Kurt, and O. Kucur, “Unified Performance Analysis of Antenna Selection Schemes for Cooperative MIMO-NOMA With Practical Impairments,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 21, no. 6, pp. 4364-4378, Jun. 2022.
- [8] H. Lei, J. Zhang, K.-H. Park, P. Xu, I. S. Ansari, G. Pan, B. Alomair, and M.-S. Alouini, “On secure NOMA systems with transmit antenna selection schemes,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 17450-17464, Aug. 2017.
- [9] N. Yang, H. Zhang, K. Long, H. Hsieh, and J. Liu, “Deep Neural Network for Resource Management in NOMA Networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 1, pp. 876-886, Jan. 2020.
- [10] D. Kim and I. -H. Lee, “User Association and Power Allocation Scheme Using Deep Learning Algorithm Non-Orthogonal Multiple Access Based Heterogeneous Networks,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 26, no. 3, pp. 430-435, Mar. 2022.
- [11] L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen, and L. Hanzo, “A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2294 - 2323, May. 2018.



이인호(In-Ho Lee)

2003년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사
2005년 2월 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 공학석사
2008년 8월 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 공학박사
2008년 9월 ~ 2010년 4월 : 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
2010년 4월 ~ 2011년 3월 : 한양대학교 ERICA 부설연구소 공학기술연구소 박사후과정
2011년 3월 ~ 현재 : 국립한경대학교 전자전기공학부 교수
※관심분야 : 무선 협력 통신 시스템, MIMO 전송 기술, 무선자원관리 기술, 비직교 다중 접속 기술, 딥러닝