

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.4.37>
JIIBC 2021-4-6

CDF 스케줄링을 적용한 상향링크 NOMA 시스템의 오수신 성능

Outage Performance of Uplink NOMA Systems with CDF Scheduling

김남수*

Nam-Soo Kim*

요약 NOMA (Non-orthogonal multiple Access) 시스템은 스펙트럼의 효율이 높아서 차세대 이동통신 방식으로 주목을 받고 있지만, 여러 사용자가 동시에 채널을 액세스 하는 다중 사용자 시스템이므로 사용자 스케줄링이 필요하다. 대표적인 스케줄링 방식으로 PF (Proportional fairness) 스케줄링 방식과 CDF (Cumulative distribution function) 스케줄링 방식이 있는데, PF 스케줄링 방식은 셀 가장자리에 위치한 사용자는 전송기회를 갖기가 매우 어렵다. 그러므로 최근에는 사용자들의 위치와 무관하게 동일한 전송기회를 갖는 CDF 스케줄링이 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 상향 NOMA 시스템에 CDF 스케줄링을 적용하였을 때 사용자의 채널 획득확률, 사용자 수에 따른 오수신율, 그리고 송신 가중치에 따른 시스템의 오수신율을 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 시뮬레이션 결과 각각의 사용자들의 채널 획득 확률이 동일함을 확인하였고, 사용자의 수가 증가할수록 오수신율은 감소하였다. 그리고 셀 가장 자리에 있는 사용자의 송신 가중치를 증가하여도 시스템의 오수신율에 미치는 영향은 미미함을 알 수 있었다.

Abstract NOMA (Non-orthogonal multiple Access) system has been focused on the next generation cellular system for higher spectral efficiency. However, this requires user scheduling as the NOMA system is a multi-user system which accesses simultaneously. There are two representative scheduling schemes, proportionate scheduling (FP) and cumulative distribution function (CFD) scheduling. The PF scheduling is applied, the cell edge user is hard to obtain a transmit opportunity. Recently, CDF scheduling is obviously noted that it offers the same possibility of transmission for a user regardless of the location in a cell. We consider an uplink NOMA system with CDF scheduling, and obtain the channel access probabilities, the outage probabilities of the system with different number of users and different kinds of weights through simulation. The results indicate that the likelihood of each user accessing the channel is the same and the probability of failure decreases as the number of users increases. We found that the effect of the probability of failure is negligible as the weight of the cell edge user increases.

Key Words : CDF Scheduling, NOMA performance, Rayleigh fading, Selection probability

*정회원, 청주대학교 전자공학과
접수일자 2021년 6월 30일, 수정완료 2021년 7월 26일
게재확정일자 2021년 8월 6일

Received: 30 June, 2021 / Revised: 26 July, 2021 /

Accepted: 6 August, 2021

*Corresponding Author: nskim@cju.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Cheongju University, Korea

I. 서론

다중통신에서는 제한된 통신자원을 효율적으로 활용하여 여러 사용자가 동시에 통신하는 것을 말한다. 그런데 긴급 통신이나 중요통신 같은 경우는 통신의 우선권을 주어서 통화가 가능하도록 해야 한다. 이와 같이 사용자의 통신 스케줄을 시스템 차원에서 제어하는 기능을 스케줄링이라고 한다. 지금까지 사용하던 스케줄링 방식은 대표적으로 2가지 방식이 사용되어왔는데, 시스템의 용량을 최대로 하기 위한 PF (Proportional fairness) 스케줄링[1],[2],[3]과 최근에는 통계적으로 각 사용자들의 통신 기회를 동일하게 하기 위한 CDF (Cumulative distribution function) 스케줄링[4],[5] 등이 있다.

그 동안 스케줄링에 관한 연구는 직교다중화 (Orthogonal Multiple Access) 시스템에서 활발히 진행되어 왔다. 그러나 최근에는 동일한 주파수에 여러 사용자를 서로 다른 전력으로 다중화하는 NOMA (Non-orthogonal Multiple Access) 시스템이 등장하게 되었다[6],[7]. 자연적으로 NOMA 시스템에 스케줄링을 적용한 연구로 확장되고 있는데, 최근에 시스템 용량, 채널획득 확률, 피드백 오버헤드, 그리고 오수신 확률에 관한 연구가 발표되었다[8],[9],[10],[11]. 그러나 이 논문들은 모두 하향 링크를 분석하였고, 상대적으로 상향 링크는 각각의 사용자로부터 수신되는 채널이 모두 독립이므로 수식적인 해석이 매우 난이하다.

2018년 Jin 등은 상향링크의 전송용량을 시뮬레이션으로 해석하였다[12]. 그리고 2020년 Lu 등은 최근 NOMA 시스템에서 상향링크의 오수신율을 해석하였는데, 내부 디스크 내에 위치한 사용자와 외부 링에 위치한 사용자를 통신 쌍으로 가정하고 NOMA 시스템의 오수신율을 해석적으로 유도하였다[13]. 그러나 실제 NOMA 상향링크 시스템에서 통신 영역을 내부 디스크 영역과 외부 링으로 구별하기가 어려울 뿐 만 아니라, CDF 기반 스케줄링은 셀 내의 임의의 사용자로부터 수신된 CDF가 가장 큰 2개의 사용자를 선정하여 통신하도록 하는 것이므로 Lu의 방법은 모든 사용자가 공평한 통신기회를 갖는 CDF 스케줄링의 장점을 이용하기 어렵다.

그러므로 본 논문에서는 상향링크 NOMA 시스템에 CDF 스케줄링을 적용하였을 경우, 각 사용자의 송신확률과 시스템의 오수신율을 시뮬레이션을 통하여 해석하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 상향링크 시스템 모델을 설명한 후 CDF 스케줄링을 적용한 경우 송신 사용자의 선택 규칙, 그리고 선택된 사용자로부터 수신한 SINR

(Signal-to-interference plus noise) 을 서술하였다. 제3장에서는 오수신율의 수식적 전개와 시뮬레이션 알고리즘을 설명하였으며, 제 4장에서는 수치적인 시뮬레이션 결과와 얻어진 결과를 고찰 하였다. 그리고 마지막으로 제5장에서는 본 논문의 결론을 서술하였다.

II. 시스템 모델 및 CDF 스케줄링

이 논문에서는 1개의 기지국, 개의 사용자로 구성된 NOMA 시스템의 상향 링크를 고려한다. 그림1은 고려하는 시스템 모델을 나타낸 것인데, 실제로 NOMA 시스템에서 여러 사용자를 다중화하면 간섭신호를 제거하기 위한 신호처리에 시간이 많이 소요되므로, 개의 사용자중 CDF 가 큰 2개의 사용자가 쌍을 이루어서 동일한 시간에 동일한 주파수로 NOMA 프로토콜로 송신한다고 가정하자[12].

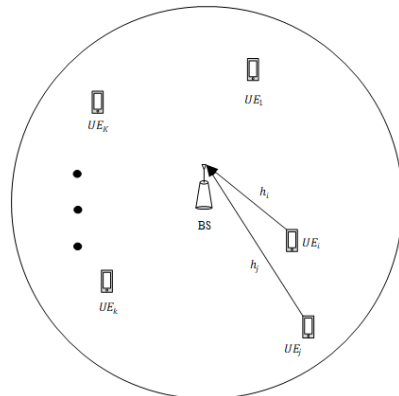


그림 1. 상향링크 NOMA 시스템 모델
Fig. 1. Uplink NOMA system model

그림1에서 $h_k (k=1,2,\dots,K)$ 는 번째 사용자와 기지국 사이의 채널 계수인데 각 채널은 서로 독립이며 복소 가우시안 분포를 하며 $h_k \sim CN(0, \Omega_k)$ 이다. 여기서 Ω_k 는 분산이다. 먼저, $UE_k (k=1,2,\dots,K)$ 로 부터 기지국이 수신한 신호의 순간 CDF는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_k(\beta_k) = 1 - e^{-\beta_k / \bar{\beta}_k} \quad (1)$$

여기서 β_k 와 $\bar{\beta}_k$ 는 각각 채널이득과 평균 채널이득이다.

CDF 스케줄링에서는 수신된 CDF가 가장 큰 것을 선택한다. 그림1에서 나타낸 NOMA 시스템에서는 CDF가

가장 큰 사용자와 두 번째 큰 사용자가 송신 쌍으로 선택된다. CDF가 가장 큰 사용자 와 두 번째 큰 사용자의 인덱스는 다음과 같이 쓸 수 있다[12].

$$i = \underset{k=1,2,\dots,K}{\operatorname{argmax}} F_k(\beta_k)^{\frac{1}{w_k}}, \quad j = \underset{k=1,2,\dots,K, k \neq i}{\operatorname{argmax}} F_k(\beta_k)^{\frac{1}{w_k}} \quad (2)$$

여기서 w_k 는 번째 사용자의 송신 가중치로써, k 번째 사용자의 채널획득 비 CAR (Channel access ratio) α_k 와는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\alpha_k = \frac{w_k}{\sum_{i=1}^K w_i} \quad (3)$$

한편 기지국이 UE_i 와 UE_j 로 부터 수신한 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y = \sqrt{P_i} h_i x_i + \sqrt{P_j} h_j x_j + n \quad (4)$$

여기서 P_i 및 P_j 는 각각 UE_i 및 UE_j 의 송신전력이고, x_i 및 x_j 는 각각 UE_i 및 UE_j 의 의 정보이다. 그리고 n 은 복소 가우시안 잡음인데 평균이 영이고 분산이 N_0 인 $n \sim CM(0, N_0)$ 이다.

NOMA 시스템에서는 수신된 신호 전력이 큰 신호를 먼저 복조하고, SIC (successive interference cancellation)를 이용하여 간섭 성분을 제거한 후 수신된 신호전력이 작은 신호를 복조한다. 그러므로 기지국이 UE_i 로부터 수신한 SINR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma_i = \begin{cases} \frac{\rho_i \beta_i}{\rho_j \beta_j + 1}, & P_i \beta_i \geq P_j \beta_j \\ \rho_i \beta_i, & P_i \beta_i < P_j \beta_j \end{cases} \quad (5)$$

여기서 ρ_i 와 ρ_j 는 각각 UE_i 와 UE_j 의 송신 SNR (Signal-to-noise ration) 이고, 각각의 분산은 $\rho_i = P_i/N_0$ 및 $\rho_j = P_j/N_0$ 이다.

마찬가지로 기지국이 로부터 수신한 SINR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma_j = \begin{cases} \frac{\rho_j \beta_j}{\rho_i \beta_i + 1}, & P_i \beta_i < P_j \beta_j \\ \rho_j \beta_j, & P_i \beta_i \geq P_j \beta_j \end{cases} \quad (6)$$

III. 오수신율 해석

이 장에서는 NOMA 시스템에서 CDF 스케줄링으로 선택된 사용자가 송신하는 경우 상향 링크에서의 오수신율을 고려하자.

지금까지의 CDF 스케줄링을 적용한 NOMA 시스템의 하향 링크해석은 있었으나, 상향 링크해석은 거의 하지 않았다. 그리고 대부분의 해석은 선택된 사용자의 송신 가중치가 동일한 경우를 가정하였다. 그러나 이 장에서는 서로 다른 가중치를 갖는 2개의 사용자를 CDF 스케줄링에 의하여 선택하는 경우, 선택된 사용자의 오수신율도 고려한다.

선택된 사용자, $EU_k (k \in 1, 2, \dots, K)$ 가 송신하는 경우, 선택된 사용자의 CDF가 가장 큰 경우와 두 번째로 큰 경우로 고려할 수 있다. 그러므로 EU_k 의 오수신율은 다음과 같이 CDF가 가장 큰 경우와 두 번째로 큰 경우 오수신율의 평균으로 쓸 수 있다.

$$P_o = \frac{1}{2}(P_{o1} + P_{o2}) \quad (7)$$

여기서 P_{o1} 은 CDF가 가장 큰 경우의 오수신율이고, P_{o2} 는 CDF가 두 번째로 큰 경우의 오수신율이다. 즉, P_{o1} 및 P_{o2} 는 각각 UE_i 와 UE_j 의 오수신율이다.

먼저 CDF가 가장 큰 경우의 오수신율을 고려하자. NOMA 시스템에서는 수신 전력이 큰 신호를 먼저 복조하고, SIC 후 수신된 전력이 낮은 신호를 나중에 복조한다[7]. (2)에서 CDF가 가장 큰 사용자를 UE_i 라고 하였으므로, UE_i 의 오수신율을 구하기 위하여 (5)에 나타낸 바와 같이 $P_i \beta_i \geq P_j \beta_j$ 인 경우와 $P_i \beta_i < P_j \beta_j$ 의 경우를 고려하자. 먼저 $P_i \beta_i \geq P_j \beta_j$ 인 경우에는 UE_i 로부터 수신된 SINR이 임계값보다 작은 경우에 오수신이 발생한다. 다음으로 $P_i \beta_i < P_j \beta_j$ 인 경우에는 UE_j 를 복조하는데 실패하거나 UE_j 를 복조하는데 성공하더라도 UE_i 를 복조하는데 실패하는 경우이다. 따라서 UE_i 의 오수신율은 (8)과 같이 쓸 수 있다.

(8)에서 Γ 는 임계 값이며, 스펙트럼 효율 $R[\text{bps/Hz}]$ 과는 $\Gamma = 2^R - 1$ 이다. (8)의 첫 번째 등호는 UE_i 의 수신 전력이 큰 경우이고, 두 번째 등호는 UE_j 의 수신전력이 큰 경우이다. 그러므로 (8)는 (5) 및 (6)을 대입하여 (9)와 같이 쓸 수 있다.

(9)식을 시뮬레이션으로 구하기 위한 알고리즘은 다음

그림 2와 같다. 먼저 스텝 3 과 스텝 4 는 레일레이 페이딩 채널을 통하여 수신되는 CDF를 모니터링하고 CDF가 가장 큰 사용자와 두 번째로 큰 사용자를 선택한다. 스텝 5-8은 (9)의 첫 번째 등호인 확률이고, 스텝 9-15는 (9)의 두 번째 및 세 번째 확률이다. 그리고 스텝 2에서는 반복횟수이며, 스텝 17은 평균 오수신율을 구한 것이다.

1. Initial condition: $P_{o,j} = 0$
2. for $k = 1 : r_no$
3. $i = \operatorname{argmax}_{k=1,2,\dots,K} F_k(\beta_k)^{\frac{1}{w_k}}$
4. $j = \operatorname{argmax}_{k=1,2,\dots,K, k \neq i} F_k(\beta_k)^{\frac{1}{w_k}}$
5. if $P_i\beta_i \geq P_j\beta_j$
6. If $\frac{\rho_i\beta_i}{\rho_j\beta_j + 1} < \Gamma$
7. $P_{o,i} = P_{o,i} + 1$
8. end
9. elseif
10. If $\frac{\rho_j\beta_j}{\rho_i\beta_i + 1} < \Gamma$
11. $P_{o,i} = P_{o,i} + 1$
12. elseif $\frac{\rho_j\beta_j}{\rho_i\beta_i + 1} \geq \Gamma$ and $\rho_i\beta_i < \Gamma$
13. $P_{o,i} = P_{o,i} + 1$
14. end
15. end
16. end for
17. $P_{o1} = P_{o,i/r_no}$

그림 2. UE_i 의 오수신률

Fig. 2. Outage probability of UE_i

다음으로 CDF 가 두 번째로 큰 사용자인 UE_j 의 오수신이 발생할 경우는 UE_i 의 오수신율을 유도한 경우와 마찬가지로 유도할 수 있다. 그러므로 UE_j 의 오수신율 P_{o2} 는 (9)에서 인덱스 i 와 j 를 서로 교체하여 다음(10)과 같이 쓸 수 있다. (10)을 시뮬레이션으로 구하기 위한 알고리즘은 알고리즘 1과 유사하게 작성할 수 있다.

따라서 (9)과 (10)을 (7)에 대입하면 시스템의 오수신율을 구할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

이 장에서는 시스템의 평균 오수신율을 시뮬레이션을 통하여 분석하고자 한다. 채널의 분산은 $\Omega_k(dB) = K - n + 1$ ($n = 1, 2, \dots, K$)을 가정하였다.

그림3은 PF 스케줄링과 CDF 스케줄링의 선택확률을 비교한 그림인데, 예측 할 수 있듯이 PF 스케줄링은 기지국에 근접한 사용자 일수록 수신되는 SINR이 크므로 선택될 확률이 높고, 기지국에서 멀어질수록 송신 사용자로 선택될 확률이 낮다. 그러므로 셀 경계에 에 위치한 사용자는 송신할 기회가 매우 적어진다. 한편 본 논문에서 고려하고 있는 CDF 스케줄링은 사용자의 위치와 무관하게 동일한 선택 확률을 나타내고 있다.

$$P_{o1} = \Pr(\gamma_i < \Gamma, P_i\beta_i \geq P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}) \quad (8)$$

$$+ \Pr(\gamma_j < \Gamma, P_i\beta_i < P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max})$$

$$+ \Pr(\gamma_j \geq \Gamma, \gamma_i < \Gamma, P_i\beta_i < P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max})$$

$$P_{o1} = \Pr\left(\frac{\rho_i\beta_i}{\rho_j\beta_j + 1} < \Gamma, P_i\beta_i \geq P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right) \quad (9)$$

$$+ \Pr\left(\frac{\rho_j\beta_j}{\rho_i\beta_i + 1} < \Gamma, P_i\beta_i < P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right)$$

$$+ \Pr\left(\frac{\rho_j\beta_j}{\rho_i\beta_i + 1} \geq \Gamma, \rho_i\beta_i < \Gamma, P_i\beta_i < P_j\beta_j | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right)$$

$$P_{o2} = \Pr\left(\frac{\rho_j\beta_j}{\rho_i\beta_i + 1} < \Gamma, P_j\beta_j > P_i\beta_i | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right) \quad (10)$$

$$+ \Pr\left(\frac{\rho_i\beta_i}{\rho_j\beta_j + 1} < \Gamma, P_j\beta_j < P_i\beta_i | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right)$$

$$+ \Pr\left(\frac{\rho_i\beta_i}{\rho_j\beta_j + 1} \geq \Gamma, \rho_j\beta_j < \Gamma, P_j\beta_j < P_i\beta_i | \text{CDF of } UE_i \text{ 1st and } UE_j \text{ 2nd Max}\right)$$

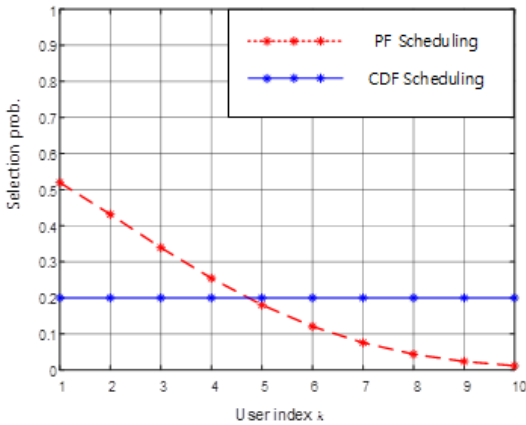


그림 3. PF 스케줄링과 CDF 스케줄링의 사용자 선택확률($K=10$, $\rho_i = \rho_j = 20\text{dB}$)
 Fig. 3. Selection probabilities of PF and CDF scheduling for UE ($K=10$, $\rho_i = \rho_j = 20\text{dB}$)

그림4는 선택된 사용자의 오수신율을 나타내고 있는데, 1×10^7 반복한 결과이다. 여기서 $R=1$, 그리고 $w_k = 1$ 을 가정하였다. 이 그림에서 보는바와 같이 요구하는 사용자의 수가 감소할수록 오수신율이 증가하는 것을 보여주고 있다. 이는 사용자 수가 많을수록 공간 다이버시티 효과의 영향으로 해석할 수 있다.

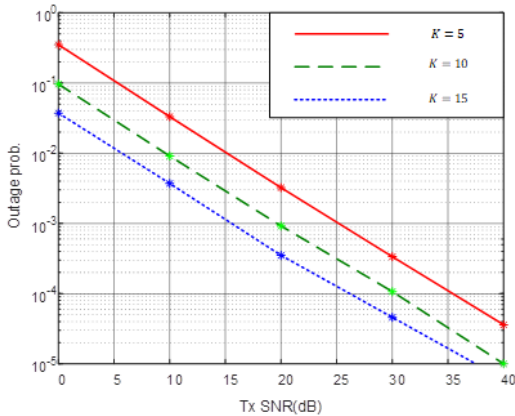


그림 4. 사용자 수에 따른 선택된 사용자의 오수신율($R=1$, $w_k = 1$)
 Fig. 4. Outage probability of a selected user with different number of users ($R=1$, $w_k = 1$)

그림5는 송신 가중치를 변경하였을 때의 오수신율을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보듯이 셀의 가장자리에 있는 User의 가중치를 증가한 경우 SINR이 낮은 영역에서는 가중치가 동일한 경우에 비하여 성능에 큰 변화가 없

으나, SINR 이 증가할수록 성능이 개선되는 것을 알 수 있다. 그러나 셀 가장자리에 있는 2개 사용자의 송신 가중치를 증가하였을 경우에는 SINR 전 영역에서 약 2 dB 이상의 성능 저하를 나타내고 있다.

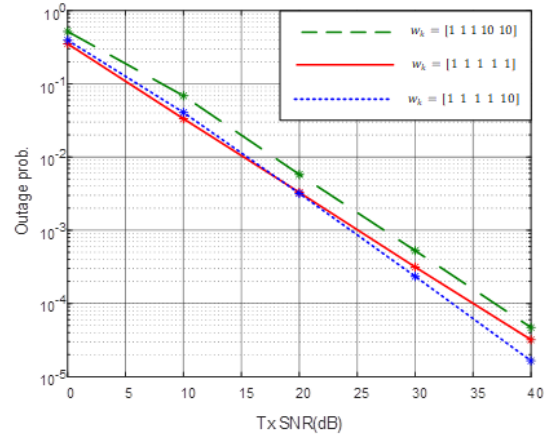


그림 5. 송신 가중치에 따른 선택된 사용자의 오수신율($K=5$, $R=1$)
 Fig. 5. Outage probability of a selected user with different weights ($K=5$, $R=1$)

V. 결 론

NOMA 시스템은 동일한 주파수를 사용하여 여러 사용자를 동시에 전송하므로 스펙트럼의 효율이 높아 차세대 이동통신 방식으로 최근에 많은 주목을 받고 있다. 그런데 기존의 PF 스케줄링 방식은 셀 가장 자리에 위치한 사용자는 통신 기회가 현격히 줄어들게 되므로 CDF 스케줄링 방식이 사용되게 되었다.

그런데 CDF 스케줄링 방식은 상향 링크에서 수직적으로 오수신율을 유도하는 것이 매우 어려워서 많은 연구가 진행되지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 NOMA 시스템의 상향링크에 CDF 스케줄링을 적용한 경우 시스템의 오수신율을 시뮬레이션을 통해서 분석하였다. 분석 결과 CDF 스케줄링은 사용자의 위치에 무관하게 선택확률이 동일함을 보여주었다. 그리고 CDF 스케줄링은 CDF가 가장 큰 2개의 사용자만 선택하므로, 사용자 수의 증가에 따라서 공간 다이버시티의 영향으로 오수신율이 감소함을 알 수 있었다.

그리고 기지국에서 가장 먼 2개 사용자의 송신 가중치를 증가할 경우 오수신율은 증가하였으나, 기지국에서

가장 먼 1개 사용자의 가중치를 증가할 경우에는 시스템의 오수신율에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

본 연구의 결과는 상향 링크 NOMA 시스템의 성능 예측이 가능하므로, 다중 사용자 NOMA 시스템의 설계 파라메타 설정에 직접 활용이 가능할 것이다.

References

[1] D. Avidor, S. Mukherjee, J. Ling, and C. Papadias, "On some properties of the proportional fair scheduling policy," Proceedings of International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Vol.2, pp. 853-858, Sept. 2004.
DOI: [10.1109/PIMRC.2004.1373820](https://doi.org/10.1109/PIMRC.2004.1373820)

[2] E. Liu, K. K. Leung, "Expected throughput of the proportional fair scheduling over Rayleigh fading channels," IEEE Communications Letters, Vol.14, No. 6, pp. 515-517, June 2010.

[3] E. Okamoto, "An improved proportional fair scheduling in downlink non-orthogonal multiple access," Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall), Sept. 2015.
DOI: [10.1109/VTCFall.2015.7390839](https://doi.org/10.1109/VTCFall.2015.7390839)

[4] U. B-. Porat, A. B-Barr, and H. Levy, "On the exploitation of CDF based wireless scheduling," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 2821-2825, April 2009.
DOI: [10.1109/INFCOM.2009.5062239](https://doi.org/10.1109/INFCOM.2009.5062239)

[5] X. Ge, H. Jin, V. C. Leung, "CDF-based scheduling algorithm for proportional throughput scheduling," IEEE Communications Letters, Vol. 20, No. 5, pp. 1034-1037, May 2016.

[6] N. -S. Kim, "Performance of overlay cognitive radio NOMA systems with selected relay for non-licensed receiver," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBS), Vol. 19, No. 5, pp. 39-45, Oct. 2019.

[7] N. -S. Kim, "Comparison study of performance analysis methods of uplink NOMA systems," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBS), Vol. 20, No. 5, pp. 25-30, Oct. 2020.

[8] B. Lim, S. S. Nam, M.-S. Alouini, and Y.-C. Ko, "The performance of a CDF-based multiuser scheduling scheme for non-orthogonal multiple access (NOMA)," Proceedings of International Conference of Communications (ICC),
DOI: [10.1109/ICC.2019.8761944](https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8761944), May 2019.

[9] B. Lim, S. K. Nam, Y.-C. Ko, M.-S Alouini, "CDF based multiuser scheduling for downlink non-orthogonal multiple access (NOMA)," IEEE Access, vol.8, 140533-140545, 2020.

[10] B. Lim, S. S. Nam, Y.-C. Ko, and M.-S. Alouini, "Outage analysis for downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) with CDF-based scheduling," IEEE Wireless Communications Letters, Vol.9, No. 6, pp. 822-825, June 2020.

[11] H. Jin, B. C. Jung, V. C. M. Leung, "Fundamental limits of CDF-based scheduling: Throughput, fairness, and feedback overhead," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 23, No. 3, pp. 894-907, June 2015.

[12] G. Zhanyang, W. T. Toor, and H. Jin, "CDF-based scheduling for uplink non-orthogonal multiple access," Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC Spring), June 2018.
DOI: [10.1109/VTCSpring.2018.8417678](https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2018.8417678)

[13] H. Lu, X. Xie, Z. Shi, M. Kadoch, M. Cheriet, and J. Cai, "Outage probability of CDF-based scheduling for uplink NOMA with practical SIC consideration," Proceedings of International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), pp. 1031- 1036, June 2020.

저 자 소개

김 남 수(정회원)



- 1986년 ~ 1994년 : ETRI(전자 통신 연구원) 이동통신 연구단 무선기술 실장 역임
- 1991년 : 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1991년 ~ 1991년 : BNR (Bell Northern Research) 방문연구원
- 2002년 ~ 2003년 : NJIT (New Jersey Institute of Technology) 교환교수
- 1994년 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수
- 2006년 ~ 2007년 : 청주대학교 학술정보처장
- 2010년 ~ 2010년 : 청주대학교 입학처장
- 2021년 ~ 현재 : 청주대학교 공과대학장
- 주관심분야 : 이동통신 시스템 무선링크 해석, NOMA 시스템 성능분석, 기회전송 릴레이 시스템, 상황인지 시스템