

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.5.39>  
JIIBC 2019-5-6

## 비면허 수신기를 위한 선택 릴레이를 갖는 오버레이 상황인지 NOMA 시스템의 성능

### Performance of Overlay Cognitive Radio NOMA Systems with Selected Relay for Non-licensed Receiver

김남수\*

Nam-Soo Kim\*

**요 약** 최근 제한된 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위하여 상황인지 통신이 주목받고 있다. 특히 오버레이 상황인지 시스템은 면허 및 비면허 시스템이 스펙트럼을 동시에 사용하기 때문에 주파수 효율이 매우 높다. 그러나 지금까지의 오버레이 상황인지 시스템에 관한 연구는 주로 면허 수신기의 성능 향상에 중점을 두었다. 그러나 이 경우 비 면허 수신기의 성능은 상대적으로 열화된다. 따라서 본 논문에서는 비 면허 수신기를 위한 선택 릴레이를 사용하고 면허 수신기는 전력할당 비를 조정하여 두 수신기의 성능을 향상시키는 오버레이 상황인지 NOMA 시스템을 제안하였다. 그리고 제안한 시스템의 오수신율을 해석적으로 유도하고 시뮬레이션을 통하여 유도한 결과를 입증하였다. 분석결과 선택된 릴레이를 사용하면 비 면허수신기는 SNR 이득을 얻고, 결국 시스템의 성능을 개선할 수 있었다. 그리고 제안한 시스템의 성능은 전력할당 비 뿐만 아니라 릴레이의 수로 조절할 수 있음을 보였다. 그리고 선택된 릴레이를 사용하면 제한된 송신전력으로 원하는 시스템의 오수신율을 만족시킬 수 있다는 것을 나타내었다.

**Abstract** Recently, Cognitive radio (CR) has been focused for the effective utilization of the limited spectrum. Since an overlay CR system shares the given spectrum with the unlicensed system simultaneously, its spectral efficiency is high. However, most of the studies on an overlay CR system have been focused on the performance enhancement of the licensed receiver (LR). Correspondingly, the performance of the unlicensed receiver (UR) is degraded. Therefore, we propose an overlay CR NOMA system to improve the performance both of the LR and UR, which has a selected relay for the UR and adjusts the power allocation for the LR. The analytical performance of the proposed system is derived and verified the results through simulation. It is noticed that the UR can be obtained signal-to-noise ratio (SNR) gains by the selected relay, consequently, the system performance can be improved. Also, we show that the performance of the proposed system can be controlled by the number of the relays as well as the power allocation ratio. The results reveal that the required performance of the system can be satisfied with the use of the selected relay under the limited transmit power.

**Key Words** : Cognitive radio, NOMA, Overlay CR, Relay

\*정회원, 청주대학교 전자공학과  
접수일자 2019년 8월 30일, 수정완료 2019년 9월 30일  
게재확정일자 2019년 10월 4일

Received: 30 August, 2019 / Revised: 30 September, 2019 /  
Accepted: 4 October, 2019

\*Corresponding Author: nskim@cju.ac.kr  
Dept. of Electronic Engineering, Cheongju University, Korea

## I. 서 론

최근 상용화된 5세대 (5G) 이동통신 시스템은 4G보다 빠른 데이터 전송속도, 초 저지연, 그리고 초 연결 등의 특징을 가지고 있다[1]-[2]. 특히 기존의 통신 방식에 비하여 중요한 특성은 스펙트럼 효율이 매우 향상되었다는 점이다. 그러나 스펙트럼 효율을 더욱 향상시키기 위하여 그 동안 사용해온 직교다중화(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 대신에 비 직교다중화(Non-orthogonal Multiple Access, NOMA)를 고려하고 있으며, 나아가 상황인지 시스템의 도입과 같은 많은 연구가 진행되고 있다 [3]-[4].

상황인지 시스템에서는 비 면허시스템이 허가된 주파수를 공유하는 방법으로 대표적인 3가지 방식은 기회전송, 언더레이, 그리고 오버레이 상황인지 방식이다[5]-[6]. 기회전송 상황인지 방식은 허가된 스펙트럼 대역에서 면허시스템이 일시적 또는 계속적으로 전파를 송신하지 않는 스펙트럼 홀 (spectrum hole)을 이용하여 비 면허시스템이 전파를 송신하는 방식이다[7]. 다음으로 언더레이 상황인지 방식은 면허시스템의 수신기에 허가된 간섭레벨 이하에서만 비 면허시스템이 송신출력을 조절하여 송신하는 방식인데, 기회전송방식과 다르게 면허시스템과 비 면허시스템이 동시에 전파를 송신하기 때문에 스펙트럼 효율을 더욱 향상시킬 수 있다[8]. 그리고 오버레이 상황인지 방식은 면허시스템의 수신기가 빠른 페이딩, 그리고 전파음영 지역에 위치하는 등의 이유로 올바른 수신이 불가능할 때 비 면허시스템을 이용하여 협동 수신하는 방식이다[9].

그런데 지금까지 여러 연구되어온 오버레이 비직교 다중화 방식은 면허수신기의 수신성능을 향상시키는 훌륭한 방식이지만, 비 면허수신기의 입장에서는 2가지 면에서 면허수신기보다 수신성능이 불리하게 된다. 첫째로 면허수신기의 성능 향상을 위해서 릴레이의 송신전력 중 더 많은 전력을 할당하였다. 그러므로 비 면허수신기에는 릴레이의 제한된 송신전력 중 상대적으로 적은 전력이 할당되어 수신성능이 불리해진다. 둘째로 면허수신기의 성능향상을 위해 사용된 릴레이는 면허수신기의 채널이득이 가장 큰 릴레이를 선택하여 공간 다이버시티 이득을 얻었다. 그러나 비 면허수신기 관점에서는 릴레이는 단순한 송신기에 지나지 않으므로 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 없고, 결국 수신성능은 면허수신기에 비해서 상대적으로 저하된다.

상기와 같은 사실에 착안하여, 만일 면허수신기의 성

능을 향상시키기 위하여 사용되어오던 릴레이를 면허수신기의 채널이득이 가장 큰 릴레이로 선택하지 않고, 비 면허수신기의 채널이득이 가장 큰 릴레이로 선택한다면 비 면허수신기의 성능이 개선될 수 있을 것이다. 그리고 면허수신기는 릴레이에서 비직교 다중화 시에 더 많은 전력을 할당하면 역시 면허수신기의 성능도 개선될 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 비 면허수신 성능을 향상시키기 위한 릴레이를 채택한 오버레이 상황인지 NOMA 시스템을 제안하고, 수신 성능을 해석적으로 유도하였다. 그리고 유도한 결과는 시뮬레이션을 통하여 유도한 결과를 검증하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서 제안한 시스템의 모델을 설명하였고, 릴레이 선택 방법 및 정보 전송 단계를 설명하였다. 제3장에서 면허수신기의 성능과 비 면허수신기의 성능을 각각 유도하였다. 제4장에서 수치적인 예를 들어서 유도한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하고 그 결과를 검토하였다. 제5장에서 본 논문의 결과를 서술하였고 연구결과의 적용방안에 관하여 서술하였다.

## II. 시스템 모델 및 전송

그림1은 제안한 시스템모형을 나타내고 있는데, 비면허 시스템으로 비 직교 다중화 시스템이 사용되는 모델이다. 제안한 시스템은 한 쌍의 면허송신기( $P$ ), 면허수신기( $Q$ ), 그리고 비 면허시스템을 구성하고 있는  $N$  개의 비 면허송신기( $R_i, i = 1, 2, \dots, N$ )와 비 면허수신기( $D$ )로 구성되어있다. 여기서 비 면허송신기는 면허시스템 관점에

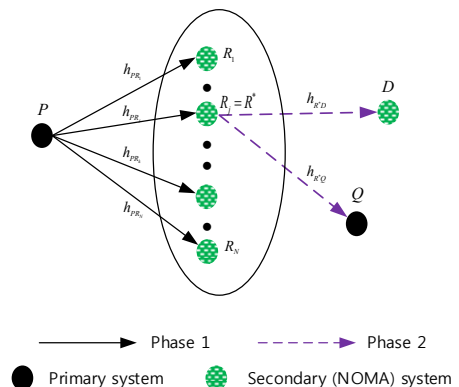


그림1. 제안한 시스템 모델  
Fig. 1. Proposed system model

서는 릴레이가 되므로 비 면허 송신기를 릴레이라고 지칭하자.  $N$  개의 비 면허송신기는 서로 클러스터를 이루고 있어서 면허송신기와 릴레이 사이의 거리는 모두 동일하다고 가정하자. 또한 릴레이와 면허수신기, 그리고 릴레이와 비 면허수신기 사이의 거리도 각각 동일하다고 가정한다. 즉,  $d_{PR_i} = d_{PR}$ ,  $d_{R,D} = d_{RD}$ , 그리고  $d_{R,Q} = d_{RQ}$  로 쓸 수 있는데, 여기서  $d_{AB}$ 는 노드  $A$ 와 노드  $B$  사이의 거리이다.

면허 송신기에서 송신한 신호는 선택된 릴레이에서 복조된 후  $D$  및  $Q$ 로 보낼 정보를 NOMA 다중화하여 송신한다. 이 때 릴레이  $R^*$ 는 NOMA 수신기인  $D$ 의 성능 향상을 위해서 선택된 릴레이인데 선택 법칙은 곧 이어서 설명하기로 한다.  $h_{AB}$ 는 노드  $A$ 와 노드  $B$  사이의 채널계수인데, 평균이 0 이고 분산이 1인 복소 가우시안 분포를 하며,  $h_{AB} \sim CM(0,1)$ 이다. 이 논문에서는 채널은 독립이고 레일레이 페이딩 분포를 갖는다고 가정한다. 그림1에서 실선과 점선표시는 각각 정보전송의 두 단계를 나타내는데, 실선은 정보전송 1단계 (Phase 1)를 나타내고 점선은 정보전송 2단계 (Phase 2)를 나타낸다.

정보전송 1단계에서는  $P$ 가 송신하고  $R_i$ 가 수신한다. 이 때 송신되는 신호는  $\sqrt{P_P}x_P$ 로 쓸 수 있는데  $P_P$ 는  $P$ 의 송신전력이고,  $x_P$ 는  $Q$ 로 전송되는 메시지이며, 평균 전력  $E[|x_P|^2]=1$ 이다.  $R_i$ 에서 수신한 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_{R_i} = \sqrt{P_R}h_{PR_i}x_P + n_{R_i} \quad (1)$$

여기서  $P_{R_i}$ 은  $R_i$ 에서 수신한 전력인데,  $P_{R_i} = P_P d_{PR_i}^{-n}$ 로 쓸 수 있고,  $d_{PR_i}$ 는  $P-R$  경로의 거리이며,  $n$ 는 전파 감쇄상수이다.  $h_{PR_i}$ 는  $P-R_i$  경로의 채널계수이다. 그리고 모든 릴레이의 잡음전력은 동일하다고 가정하자.  $n_{R_i}$ 는 릴레이의 잡음이며, 평균이 0이고 분산이  $N_0$ 인 복소 가우시안 분포를 가지며  $n_{R_i} \sim CM(0, N_0)$ 이다.

그리고  $N$ 개의 릴레이 중 수신된 SNR이 임계값보다 큰 릴레이만  $x_P$ 의 복조에 성공하는데, 디코딩에 성공한 릴레이는 후보릴레이가 되고, 이 릴레이의 세트를 복조세트 ( $S$ ) 라고 하자. 여기서  $S$ 의 크기는  $|S|=l$ ,  $0 \leq l \leq N$  이다. 후보 릴레이 세트 중에서 릴레이를 선택하는데, 이 때 비 면허수신기인  $D$ 의 수신 성능 향상을 위해 릴레이-비 면허수신기 경로의 채널 이득이 최대가 되는 릴레이를 선택하며, 선택된 릴레이의 인덱스는 다음과 같이 쓸

수 있다.

$$j = \operatorname{argmax}(|h_{R_m,D}|^2), m = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

이 때 선택된 릴레이는  $R_j$ 인데, 이 논문에서 식별을 용이하도록 그림1에 나타난 바 와 같이  $R^*$  라고 표시하자.

정보전송 2단계에서는 선택된 릴레이  $R^*$ 이 복조된 면허 송신기의 정보와 비 면허 송신정보를 비 직교 다중화하여  $\sqrt{P_R}(\sqrt{\alpha_P}x_P + \sqrt{\alpha_R}x_R)$ 를 송신한다. 여기서  $\alpha_P$ 와  $\alpha_R$ 는 비 직교 다중화를 위한 전력할당 계수 인데 각각  $Q$ 와  $D$ 에 할당되는 전력계수를 나타낸다. 오버레이 상황 인지 시스템에서는  $Q$ 의 수신성능을 향상시키도록  $\alpha_P > \alpha_R$ 이며,  $\alpha_P + \alpha_R = 1$ 이다. 그리고  $x_R$ 는  $D$ 를 위한 메시지이며, 평균 전력  $E[|x_R|^2]=1$ 이다.

먼저 면허수신기  $Q$ 에서 수신한 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_Q = \sqrt{P_Q}(\sqrt{\alpha_P}h_{R^*Q}x_P + \sqrt{\alpha_R}h_{R^*Q}x_R) + n_Q \quad (3)$$

여기서  $P_Q$ 는  $Q$ 에서 수신한 전력인데,  $P_Q = P_R d_{R^*Q}^{-n}$ 로 쓸 수 있고,  $d_{R^*Q}$ 는  $R^*-Q$  경로의 거리이다.  $h_{R^*Q}$ 는  $R^*-Q$  경로의 채널 계수이다. 그리고  $n_Q$ 는  $n_Q \sim CM(0, N_0)$ 이다. 여기서 송신 SNR을  $P_R/N_0$ 라고 하자.

마찬가지로 비 면허수신기 (비 직교다중화 수신기)인  $D$ 에서 수신한 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y_D = \sqrt{P_D}(\sqrt{\alpha_P}h_{R^*D}x_P + \sqrt{\alpha_R}h_{R^*D}x_R) + n_D \quad (4)$$

여기서  $P_D$ 는  $D$ 에서 수신한 전력인데,  $P_D = P_R d_{R^*D}^{-n}$ 로 쓸 수 있는데,  $d_{R^*D}$ 는  $R^*-D$  경로의 거리이다.  $h_{R^*D}$ 는  $R^*-D$  경로의 채널계수이다. 그리고  $n_D \sim CM(0, N_0)$ 이다.

### III. 오수신을 해석

비 면허 수신기와 면허 수신기는 서로 독립이므로 이 장에서는 각각의 오수신율을 구하자.

## 1. 비 면허수신기의 오수신율

비 면허 수신기의 성능을 향상시키기 위하여 선택된 릴레이는 후보 릴레이 중에서 선택하고, 선택된 릴레이로부터 비 면허 수신기가 수신한 SNR이 임계 값보다 적을 때 오수신이 발생되므로, 비 면허 수신기의 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{0,D} = \sum_{l=0}^N P_{0,R^*D|S} \Pr(|S|=l) \quad (5)$$

여기서  $P_{0,R^*D|S}$ 는 S가 주어졌을 때  $R^*-D$  경로의 오수신율이다. 그런데, D가 비직교 다중화 수신기 이므로  $R^*-D$  경로의 오수신은 2가지 경우에 발생된다. 먼저 D에서  $x_P$ 를 복조하기 위한 SINR이 임계값보다 작은 경우 오수신이 발생된다. 다음으로 D에서  $x_P$ 를 복조하기 위한 SINR이 임계값보다 크더라도 D에서  $x_R$ 를 복조하기 위한 SINR이 작은 경우에 오수신이 발생된다. 그러므로  $R^*-D$  경로의 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다[10].

$$P_{0,R^*D|S} = \Pr(\gamma_D^{x_P} < \Gamma_Q | |S|=l) + \Pr(\gamma_D^{x_P} \geq \Gamma_Q, \gamma_D^{x_S} < \Gamma_D | |S|=l) \quad (6)$$

여기서  $\Gamma_Q$ 는 면허수신기의 임계값인데  $\Gamma_Q = 2^{2R_Q} - 1$ 이고,  $R_Q$ 는 요구되는 스펙트럼 효율 [bps/Hz]이다. 그리고  $\Gamma_D$ 는 비 면허수신기의 임계값  $\Gamma_D = 2^{2R_D} - 1$ 이고,  $R_D$ 는 요구되는 스펙트럼 효율이다. 그리고  $\gamma_D^{x_P}$ 는 D에서  $x_P$ 를 복조하기 위한 SINR이며 (4)로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\gamma_D^{x_P} = \frac{\alpha_P |h_{R^*D}|^2}{\alpha_R |h_{R^*D}|^2 + 1/\rho_D} \quad (7)$$

여기서  $\rho_D$ 는 D에서 수신한 SNR인데,  $\rho_D = P_D/N_0$ 이다. 그리고  $\gamma_D^{x_S}$ 는 D에서 수신한 신호가 비 직교 다중화 수신기의 연속 간섭신호 제거기 (Successive interference canceller)를 지난 후,  $x_R$ 를 복조하기 위한 SINR인데, (4)에서 간섭신호를 제거한 후 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\gamma_D^{x_S} = \alpha_S |h_{R^*D}|^2 \rho_D \quad (8)$$

(7) 및 (8)을 (6)에 대입한 후 정리하면,

$$P_{0,R^*D|S} = \Pr\left\{|h_{R^*D}|^2 < \max\left(\frac{\Gamma_Q}{\rho_D(\alpha_P - \Gamma_Q\alpha_R)}, \frac{\Gamma_D}{\alpha_R\rho_D}\right) \mid |S|=l\right\}, \quad \Gamma_Q < \frac{\alpha_P}{\alpha_R} \quad (9)$$

이 된다. 이 논문에서 각 채널은 독립이고 레일레이 페이딩을 가정하였으므로,  $R^*-D$  경로의 오수신율은 각 채널의 오수신율을 서로 곱하여

$$P_{0,R^*D|S} = \left[1 - \exp\left\{-\max\left(\frac{\Gamma_Q}{\rho_D(\alpha_P - \Gamma_Q\alpha_R)}, \frac{\Gamma_D}{\alpha_S\rho_D}\right)\right\}\right]^l, \quad \Gamma_Q < \frac{\alpha_P}{\alpha_R} \quad (10)$$

이 된다.

다음으로 (5)의 두 번째 확률  $\Pr(|S|=l)$ 은 면허 송신기에서 전송한 정보를 성공적으로 복조할 릴레이의 수가 l개일 확률인데,

$$\Pr(|S|=l) = \binom{N}{l} \left\{\Pr(\gamma_R^{x_P} \geq \Gamma_Q)\right\}^l \left\{1 - \Pr(\gamma_R^{x_P} \geq \Gamma_Q)\right\}^{N-l} \quad (11)$$

으로 쓸 수 있다. 여기서  $\gamma_R^{x_P}$ 는  $R^*$ 에서 수신한  $x_P$ 에 대한 SNR인데, 다음과 같다.

$$\gamma_R^{x_P} = |h_{PR^*}|^2 \rho_R \quad (12)$$

여기서  $\rho_R = P_R/N_0$ 이다. 그러므로 (11)의 첫번째 확률은

$$\Pr(\gamma_R^{x_P} \geq \Gamma_Q) = \Pr\left(|h_{PR^*}|^2 \geq \frac{\Gamma_Q}{\rho_R}\right) = e^{-\frac{\Gamma_Q}{\rho_R}} \quad (13)$$

이 되므로, 결국 (11)은

$$\Pr(|S|=l) = \binom{N}{l} e^{-\frac{\Gamma_Q l}{\rho_R}} \left(1 - e^{-\frac{\Gamma_Q}{\rho_R}}\right)^{N-l} \quad (14)$$

이 된다. 따라서 비 면허 수신기의 오수신율은 (5)에 (10)과 (14)를 대입하면 구할 수 있다.

## 2. 면허수신기의 오수신율

면허 송신기로부터 직접파를 수신할 수 없는 면허 수신기는 비 면허 송신기인 릴레이를 통하여 면허 송신기의 정보를 수신한다. 그리고 이때 사용된 릴레이는 (2)에서 언급한 바와 같이 릴레이-비면허 수신기 채널의 이득이 최대인 릴레이를 선택하기 때문에 면허 수신기 입장에서는 후보 릴레이 중에서 하나의 릴레이가 송신한 결과가 된다. 그러므로 면허 수신기의 오수신율은 역시 두 가지 경우에 발생되는데, 모든 릴레이가 면허 송신기의 정보를 복조하지 못하거나 또는 하나 이상의 릴레이가 면허 송신기의 정보를 성공적으로 복조 하였어도 면허 수신기가 릴레이로부터 전송된 정보를 복조하지 못하는 경우이다. 그러므로 면허 수신기의 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{0,Q} = 1 - (1 - P_{0,PR^*})(1 - P_{0,R^*Q}) \quad (15)$$

여기서  $P_{0,PR^*}$ 은 면허송신기-릴레이 경로의 오수신율인데, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{0,PR^*} = \Pr(\gamma_{R^*P}^{x_P} < \Gamma_Q) = 1 - e^{-\frac{\Gamma_Q}{\rho_R}} \quad (16)$$

여기서  $\gamma_{R^*P}^{x_P}$ 는 (12)에 주어졌으며, (16)의 두 번째 등호는 릴레이 페이딩을 가정한 것이다. 그리고  $P_{0,R^*Q}$ 는 릴레이-면허수신기 경로의 오수신율인데,

$$P_{0,R^*Q} = \Pr(\gamma_{R^*Q}^{x_P} < \Gamma_Q) \quad (17)$$

여기서  $\gamma_{R^*Q}^{x_P}$ 는  $Q$ 에서  $x_P$ 를 복조하기 위한 SINR이며 (3)으로 부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma_{R^*Q}^{x_P} = \frac{\alpha_P |h_{R^*Q}|^2}{\alpha_R |h_{R^*Q}|^2 + 1/\rho_Q} \quad (18)$$

여기서  $\rho_Q$ 는  $Q$ 에서 수신한 SNR인데,  $\rho_Q = P_Q/N_0$ 이다. (17)에 (18)을 대입하고 정리하면,

$$P_{0,R^*Q} = \Pr\left\{ |h_{R^*Q}|^2 < \frac{\Gamma_Q}{\rho_Q(\alpha_P - \Gamma_Q\alpha_R)} \right\} \quad (19)$$

$$= 1 - e^{-\frac{\Gamma_Q}{\rho_Q(\alpha_P - \Gamma_Q\alpha_R)}}, \Gamma_Q < \frac{\alpha_P}{\alpha_R}$$

이 된다. 그러므로 (15)에 (16) 및 (19)를 대입하면 면허 수신기의 오수신율을 구할 수 있다.

## IV. 수치적인 예

이 장에서 수치적인 예를 위해서 사용한 각 노드 사이의 거리는 면허 송신기와 면허 수신기 사이의 거리로 정규화하였으며, 면허송신기와 릴레이의 송신전력은 동일하다고 가정하였다.

그림2는 면허 및 비 면허수신기의 오수신율을 나타낸 것인데, 점선은 면허수신기의 오수신율이고 실선은 비 면허수신기의 오수신율이다. 여기서 “\*”는 시뮬레이션 결과인데, 해석적인 결과와 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 시뮬레이션은  $1 \times 10^7$ 회 반복해서 평균을 구하였다.

비 면허 수신기의 오수신율을 살펴보면, 만일 후보릴레이 중에서 릴레이-비 면허수신기 경로의 채널이득이 가장 큰 릴레이를 선택하지 않았다면  $N=1$ 인 경우가 되고, 오수신율  $1 \times 10^{-3}$ 을 유지하기 위한 송신 SNR은 약 37.6 dB가 필요하다. 그러나 본 논문에서 제안 한 바와 같이 비 면허 수신기에 대한 최적 릴레이를 선택하면 릴레이의 수가 2, 3, 4, 5로 증가함에 따라서 SNR 이득이 각각 15, 20.2, 22.9, 24.6 dB가 된다. 그러므로 비 면허수신기에 최적화된 릴레이를 사용하지 않는 경우보다 사용하는 경우가 비 면허수신기의 성능을 매우 향상시킬 수 있다.

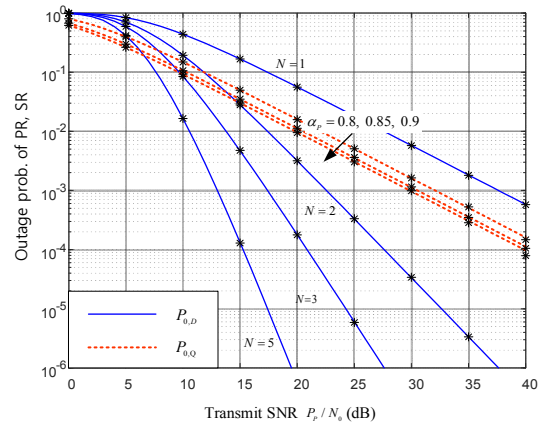


그림 2. 면허 및 비 면허수신기의 오수신율

( $R_Q = R_D = 1$ ,  $n = 3$ ,  $\alpha_P = 0.8$ ,  $\alpha_R = 0.2$ ,  
 $d_{PR} = 0.6$ ,  $d_{RD} = 0.7$ )

Fig. 2. Outage probability of the licensed (PR) and unlicensed receiver (SR)

( $R_Q = R_D = 1$ ,  $n = 3$ ,  $\alpha_P = 0.8$ ,  $\alpha_R = 0.2$ ,  
 $d_{PR} = 0.6$ ,  $d_{RD} = 0.7$ )

면허 수신기의 오수신율은 점선으로 나타내었는데, 이 그림에서 보듯이 면허수신기로 할당된 전력이 클수록 오

수신율은 감소하는 것을 보여주고 있다. 그러나 전력할당 증가에 따른 성능개선은 크지 않은 것을 알 수 있다.

그림3은 제안한 시스템의 성공확률을 나타낸 것인데, 비 면허수신기 및 면허 수신기가 모두 성공적으로 수신할 확률을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 선택 릴레이를 사용하지 않은 경우( $N=1$ )에 비하여 본 논문에서 제안한 방식의 릴레이를 사용하면 시스템의 수신 성공확률이 높아지는 것을 보여주고 있다.

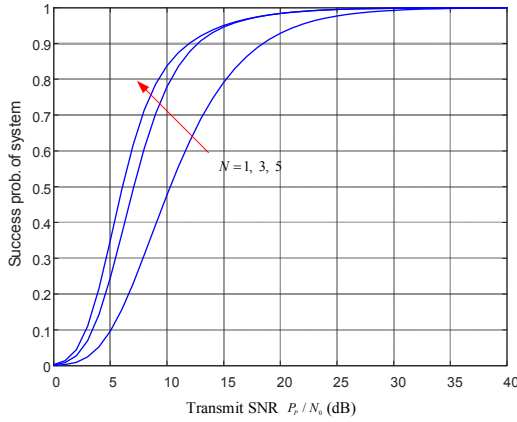


그림 3. 제안한 시스템의 성공확률

$$(R_Q = R_D = 1, n = 3, \alpha_P = 0.8, \alpha_R = 0.2, d_{PR} = 0.6, d_{RQ} = 0.4, d_{RD} = 0.7)$$

Fig. 3. Success probability of the proposed system

$$(R_Q = R_D = 1, n = 3, \alpha_P = 0.8, \alpha_R = 0.2, d_{PR} = 0.6, d_{RQ} = 0.4, d_{RD} = 0.7)$$

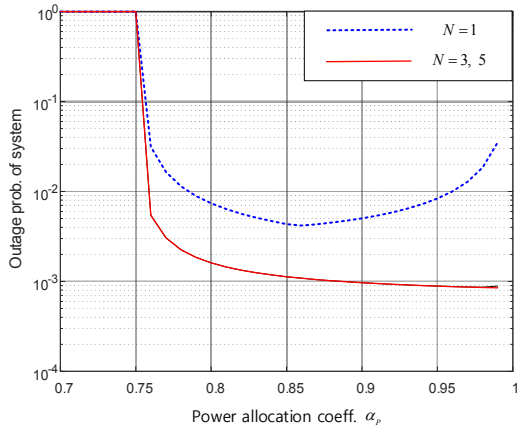


그림 4. 전력할당에 따른 시스템의 오수신율

$$(R_Q = R_D = 1, n = 3, d_{PR} = 0.6, d_{RQ} = 0.4, d_{RD} = 0.7, \text{Transmit SNR} = 30 \text{ dB})$$

Fig. 4. Outage probability of the proposed system vs. power allocation ( $R_Q = R_D = 1, n = 3, d_{PR} = 0.6, d_{RQ} = 0.4, d_{RD} = 0.7, \text{Transmit SNR} = 30 \text{ dB}$ )

그림4는 전력할당에 따른 시스템의 오수신율을 나타낸 것인데  $N=1$ 인 경우에는  $\alpha_P = 0.86$ 에서 최소 오수신율  $4.2 \times 10^{-3}$ 을 가지므로 아무리 전력할당을 많이 하더라도 오수신율  $1 \times 10^{-3}$ 에 도달할 수 없다.

그러나 릴레이의 수가 3과 5인 경우에는  $\alpha_P = 0.88$ 인 경우 오수신율  $1 \times 10^{-3}$ 을 만족시킬 수 있다. 그러므로 선택된 릴레이를 사용하면 제한된 송신전력으로 원하는 시스템의 오수신율을 만족시킬 수 있게 된다.

## V. 결론

본 논문에서는 오버레이 상황인지 NOMA 시스템에서 비 면허 수신기의 성능을 최대화하는 릴레이를 선택하여 송신하는 방법을 제안하고 그 성능을 분석하였고, 시뮬레이션을 통하여 분석의 정확성을 입증하였다. 분석결과 주어진 조건하에서 최적릴레이를 사용하면 사용하지 않은 경우보다 SNR 이득을 얻을 수 있고, 결국 비 면허 수신기의 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 한편 면허 수신기는 릴레이에서 전력할당 비를 조절하여 원하는 오수신율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 오버레이 상황인지 시스템을 도입할 경우, 시스템 성능예측에 활용이 가능할 것으로 예상된다.

## References

- [1] Mamta Agiwal, Abhishek Roy, and Navrati Saxena, "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey," IEEE Communications Survey & Tutorial, vol.18, no.3, pp. 1617-1665, Feb. 2016.
- [2] "A survey of 5G network: architecture and emerging technologies," IEEE Access, vol. 3, pp. 1206-1232, July 2015.
- [3] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. -L. I, and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, and future research trends," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 74081, Sep. 2015.
- [4] Z. Ding, Y. Liu, J. Choi, Q. Sun, M. Elkashlan, C. -L. I, H. V. Poor, "Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks," IEEE Communications Magazine, vol.55, no. 2, pp. 185-191, Feb. 2017.
- [5] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric, and S. Srinivasa, "Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: an information theoretic perspective," Proceedings of the

IEEE, Vol.97, No.5, pp.894-914, 2009.

- [6] Lu Lv, J. Chen, Q. Ni, Z. Ding, and H. Jiang, "Cognitive non-orthogonal multiple access with cooperative relaying: a new wireless frontier for 5G spectrum sharing," IEEE Communications Magazine, vol.56, no.4, pp.188-195, April 2018.
- [7] Nam-Soo Kim, "Opportunistic transmit cognitive radio relay systems with CSI delay," Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol.10, no.5, pp.39-44, Oct. 2010.
- [8] Y. Liu and Z. Ding, "Nonorthogonal multiple access in largescale cognitive radio networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.65, no.12, pp.10152-10157, Dec. 2016.
- [9] L. Lv, J. Chen, and Q. Ni, "Cooperative non-orthogonal multiple access in cognitive radio," IEEE Communications Letters, vol.20, no.10, pp.2059-2062, Oct. 2016.
- [10] Y. Liu, Z. Ding, M. ElKashlan, and H. V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems with SWIPT," Proceedings of European Signal Processing Conference, pp.1999-2003, Sep. 2015.

#### 저 자 소 개

김 남 수(정회원)



- 1986년 ~ 1994년 : ETRI(전자통신 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
- 주관심분야 : 이동통신 시스템 무선링크 해석, NOMA 시스템 성능분석, 기회전송 릴레이 시스템, 상황인지 시스템

※ 이 논문은 2019~2021 학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음