The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)
Vol. 18, No. 5, pp.69-75, Oct. 31, 2018. pISSN 2289-0238, eISSN 2289-0246

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.69
JIIBC 2018-5-9

상황인지 사용자 릴레이를 채택한 협동 NOMA 시스템의 성능

Performance of Cooperative NOMA Systems with Cognitive User Relay

김남수*

Nam-Soo Kim*

요 약 최근 제한된 스펙트럼 대역을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 비직교 다중화 (Non-orthogonal multiple access)방식이 차세대 이동통신 다중화 방식으로 주목받고 있다. 한편 스펙트럼 효율은 상황인지 무선통신으로도 높일 수 있는데, 상황인지 무선통신 방식은 비허가 사용자가 허가사용자에게 제한된 간섭을 주는 조건으로 동일한 스펙트럼을 이용할 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 NOMA 시스템과 상황인지 방식을 결합하였을 때 상황인지 협동 NOMA 시스템의 성능을 분석하였다. 협동 통신을 위한 릴레이는 근거리 사용자 중에서 선택하였으며, 원거리 사용자는 선택결합을 가정하였다. 릴레이 및 원거리 사용자의 오수신율을 closed-form으로 유도하였으며, 수치적인 결과는 Monte Carlo 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 수치적인 해석결과 릴레이의 오수신율은 전력할당 계수에 따라서 영향을 받았으며, 주어진 조건에서 원거리 사용자의 전력할당계수가 0.86인 경우 오수신율이 가장 낮았다. 원거리 사용자의 오수신율은 주어진 상황 하에서 주파수 획득확률이 1인 경우에 비하여 0.5인 경우 1×10^{-3}의 오수신율을 유지하기 위하여 15 dB 이상의 신호 대 잡음비가 더 필요하였다. 따라서 상황인지 릴레이의 주파수 획득확률에 따라서 원거리 사용자의 성능이 현저히 영향을 받음을 알 수 있었다.

Abstract Recently, Non-orthogonal multiple access (NOMA) has been focused for the next generation multiple access, which has more spectral efficiency under the limited spectrum bandwidth. Moreover, the spectrum efficiency can be improved by cognitive radio in which the unlicensed secondary users can access the spectrum that is used by the licensed primary user under the limited interference. Hence, we consider the combination of NOMA and cognitive radio, and derive the performance of the cognitive cooperative NOMA system. For the cooperation, a relay is selected among near users, and the selection combining is assumed at a far user. The outage probability of the selected relay and the far user is derived in closed-form, respectively. The provided numerical results are matched well with the Monte Carlo simulation. Numerical results showed that the performance of the relay is affected from the power allocation coefficient, the minimum outage probability is observed at 0.86 of the power allocation coefficient for far user under the given conditions. More than 15 dB of signal-to-noise ratio is required to meet the outage probability of 1×10^{-3} for the far user with the frequency acquisition probability of 0.5 compared to that of 1. It shows that the performance of the far user is very sensitive to the acquisition probability of the cognitive relay.

Key Words : Cognitive radio, cooperative NOMA, user relay, selection combining.

*정회원, 청주대학교 전자공학과
접수일자 : 2018년 8월 9일, 수정완료 2018년 9월 13일
게재확정일자 2018년 10월 5일

Received: 9 August, 2018 / Revised: 13 September, 2018 / Accepted: 5 October, 2018
*Corresponding Author: nskim@cju.ac.kr
Dept. of Electronic Engineering, Cheongju University, Korea

Ⅰ. 서 론

최근까지의 이동통신 시스템에서는 여러 명의 사용자를 전송하기 위하여 직교 다중화(Orthogonal multiple access, OMA) 방식을 사용해왔다. 그러나 이동통신이 발전하면서 제한된 주파수 자원을 이용하여 더욱 빠르고 많은 정보를 전송하려는 요구가 증가하였다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 차세대 이동통신 다중화방식으로 비직교 다중화 (Non-orthogonal multiple access, NOMA) 방식이 등장하게 되었다[1]-[3]. NOMA 시스템은 여러 명의 사용자를 동일한 주파수와 시간에 동시에 전송하기 때문에 OMA 시스템에 비하여 스펙트럼 효율이 매우 높은 특징을 갖는다.

더욱 최근에는 NOMA 시스템에서 원거리 사용자의 성능을 더욱 개선하기 위하여 릴레이를 사용하는 협동 NOMA 시스템에 관한 연구가 활성화되고 있다[4]-[7]. NOMA 시스템에서는 독특하게 근거리 사용자가 자신의 정보를 복조하기 전에 수신된 신호로부터 간섭을 제거하는데, 이때 연속간섭제거(Successive interference cancellation, SIC)를 사용한다. 그런데 SIC 처리하는 과정에서 원거리 사용자의 정보를 복조하게 되며, 근거리 사용자가 이 복조된 정보를 원거리 사용자에게 릴레이 할 수 있다. 이 방식을 사용자 릴레이 방식이라고 하는데, Ad-Hoc 네트워크같이 일시적인 네트워크를 구성할 때 매우 간편한 방식이다. 만일 릴레이로 사용할 수 있는 근거리 사용자가 다수 존재한다면 가장 적합한 릴레이를 선택하여 시스템의 성능을 개선할 수 있다[6]-[8].

한편 상황인지 무선통신 시스템은 우선 사용자(primary user)에게 허가된 간섭범위 내에서 제2사용자(secondary user)가 동일한 주파수를 사용할 수 있는 시스템이다[9]-[10]. 그러므로 서로 다른 시스템을 동일한 주파수대에서 운용하여 스펙트럼 효율을 높일 수 있는 장점을 갖는다. 이러한 장점을 갖는 상황인지 무선통신 방식과 스펙트럼 효율이 높은 NOMA 시스템을 결합하면 제한된 스펙트럼을 더욱 효율적으로 활용할 수 있게 된다있다[11]-[13]. [11]~[12]는 상황인지 NOMA 시스템의 성능을 유도하였는데, 협동 NOMA 시스템은 고려하지 않았다. 그리고 [13]는 기지국에서 우선 사용자와 여러 명의 제2사용자를 비직교 다중화하여 전송할 때 우선 사용자 및 제2사용자들의 오수신율을 유도하였다. 그러나 제2사용자들 만 다중화하여 전송할 때를 고려하지 않았다.

따라서 본 논문에서는 협동 NOMA 시스템에 상황인지 릴레이를 적용하였을 때 시스템의 성능 변화를 분석하였다. 상황인지 릴레이는 근거리 사용자 중에서 선택하고, 원거리 사용자는 성능 향상을 위하여 선택 결합을 적용한 NOMA 시스템을 분석 모델로 가정하였다. 그리고 선택된 릴레이와 원거리 사용자의 오수신율을 각각 해석적인 방법으로 유도하였으며, 유도한 결과는 Monte Carlo 시뮬레이션 결과와 비교하여 유도한 결과를 입증하였다.

본 논문은 제2장에서 본 논문에서 고려하고자 하는 상황인지 릴레이 협동 NOMA 시스템 모델을 서술하고, 릴레이 선택법에 관하여 서술하였다. 제3장에서는 선택된 상황인지 릴레이 및 원거리 사용자의 오수신율을 각각 closed-form으로 유도하였다. 제4장에서는 구체적인 예를 들어서 상황인지 릴레이 및 원거리 사용자의 오수신율 각각 비교하였으며, 그 결과를 Monte Carlo 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 마지막으로 제5장에서 본 논문의 결과를 서술하였다.

Ⅱ. 시스템 모델

그림1은 이 논문에서 분석하고자 하는 상황인지 NOMA 시스템의 다운링크 모델을 나타낸 것인데, 우선 사용자와 NOMA 시스템의 상황인지 릴레이가 중첩되어 있다. 그러므로 1개의 기지국(S)과 N 개의 클러스터, 그리고 원거리 사용자(D)로 이루어진 모델을 가정한다. 여기서 클러스터는 우선 사용자, 릴레이, 인접 릴레이로 구성되어 있다고 가정한다. 그림1(a)는 기지국이 NOMA 시스템에 송신하고 모든 클러스터 및 목적지는 수신하는 것을 나타내고 있다. 그리고 그림1(b)는 선택된 클러스터 내의 상황인지 릴레이가 목적지로 재전송하는 과정을 나타내고 있다.

NOMA 시스템은 사용자들을 전력레벨을 달리하여 다중화 하므로, 정보를 다중화하여 전송하기 전에 시스템 모델에 나타낸 바 와 같이 릴레이와 원거리 사용자를 다중화하기 위하여 릴레이를 정보 전송 전에 선택한다.

근거리 사용자 중에서 성공적으로 복조할 수 있는 릴레이 세트의 수($|R(s)|$)가 M 개라고 하면, M 개의 $R_i - D$ 경로 중 채널이득이 가장 큰 경로를 갖는 근거리

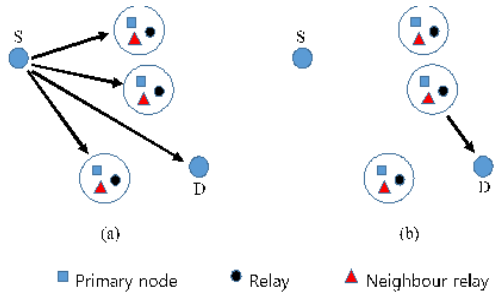

그림 1. 상황인지 릴레이 협동 NOMA 시스템 모델
Fig. 1. System model of cooperative NOMA system with cognitive relays

사용자를 선택된 릴레이로 정한다. 이 때 선택된 릴레이의 지수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$m = \arg\max\left(|h_{R_iD}|^2\right),\ i = 1,2,\ldots,M \tag{1}$$

이 논문에서는 선택된 릴레이 R_m을 쉽게 구별하기 위해서 R^*로 표시하자.

시스템 모델에 나타낸 바 와 같이, 정보 데이터는 2단계로 전송되는데, 먼저 타임슬롯 1에서는 기지국 (S)이 선택된 릴레이(R^*) 및 원거리 사용자(D)에게 다중화된 신호를 전송하는데, 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s = \sqrt{P_S}\left(\sqrt{\alpha_{R^*}}x_{R^*} + \sqrt{\alpha_D}x_D\right) \tag{2}$$

여기서 P_S는 기지국의 송신전력이다. α_{R^*}과 α_D는 각각 R^* 및 D 에 할당된 전력할당 계수인데, 원거리 사용자에게 전력을 더욱 할당하므로 $\alpha_D > \alpha_{R^*}$ 이고 전체 전력이 한정되어 있으므로 $\alpha_D + \alpha_{R^*} = 1$이다[14]. x_{R^*} 및 x_D는 각각 R^* 및 D 로 전송하는 양극성 정보이며, $|x_{R^*}|^2 = |x_D|^2 = 1$ 이다.

선택된 릴레이가 수신한 신호로부터 x_D를 복조하기 위한 신호 대 간섭및잡음비(Signal-to-interference plus noise ratio, SINR)는 다음과 같다.

$$\gamma_{SR^*}^{x_D} = \frac{\alpha_D |h_{SR^*}|^2}{\alpha_{R^*}|h_{SR^*}|^2 + 1/\rho_{SR^*}} \tag{3}$$

여기서 ρ_{SR^*}는 릴레이가 수신한 신호 대 잡음비(Signal-to-noise ratio, SNR)로서 $\rho_{SR^*} = P_{SR^*}/N_0$이며, P_{SR^*}는 릴레이가 소스로부터 수신한 평균전력, N_0은 잡음 전력이다. h_{SR^*}은 소스-릴레이 경로의 채널 계수인데, 복소 가우시안분포를 하며 평균이 영이고 분산이 1 인 $CN(0,1)$이다. 그리고 간섭성분을 SIC 처리한 후, 릴레이가 수신하는 SNR는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma_{SR^*}^{x_{R^*}} = \alpha_{R^*}\rho_{SR^*}|h_{SR^*}|^2 \tag{4}$$

이 논문에서 송신노드가 A이고 수신노드가 B인 경우, 노드 B 가 수신한 평균전력은 P_{AB} 로 나타내며, 두 노드 $A-B$사이의 거리가 d_{AB}일 때, $P_{AB} = P_A d_{AB}^{-\alpha}$로 쓸 수 있다. 여기서 α 전파감쇄계수이다. ρ_{AB}는 노드 B 가 수신한 SNR 이며, $\rho_{AB} = P_{AB}/N_0$이고, N_0는 잡음 전력이다. h_{AB}는 $A-B$ 경로의 채널계수라고 정의한다.

그리고 원거리 사용자가 소스로부터 수신한 SINR은 다음과 같다.

$$\gamma_{SD}^{x_D} = \frac{\alpha_D |h_{SD}|^2}{\alpha_{R^*}|h_{SD}|^2 + 1/\rho_{SD}} \tag{5}$$

다음으로 선택된 릴레이가 원거리 사용자로 전송하는 2단계인 릴레이 전송단계에서 원거리 사용자가 간접경로인 R^*-D 경로를 통하여 수신된 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{R^*D}^{x_D} = \alpha_D \rho_{R^*D}|h_{R^*D}|^2 \tag{6}$$

III. 성능분석

NOMA 시스템에서는 사용자들로 보내는 정보가 각각 다르므로 선택된 상황인지 릴레이와 원거리 사용자의 오수신율을 각각 구한다.

1. 선택된 상황인지 릴레이의 오수신율

선택된 릴레이에서 오수신이 발생되는 경우는 2가지가 있다. 먼저 원거리 사용자 정보 x_D에 대한 SINR이 임계값 이하가 되어서 x_D를 복조하지 못하는 경우이다. 다음으로 x_D를 성공적으로 복조하였어도 SIC 후의 SNR이

임계값 이하가 되어서 x_{R^*}의 복조에 실패하는 경우이다. 그러므로 릴레이에서의 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{o,R^*} = \Pr\left(\gamma_{SR^*}^{x_D} < \Gamma_D\right) + \Pr\left(\gamma_{SR^*}^{x_D} \geq \Gamma_D,\ \gamma_{SR^*}^{x_{R^*}} < \Gamma_{R^*}\right) \quad (7)$$

여기서 $\Gamma_D = 2^{2R_D} - 1$ 및 $\Gamma_{R^*} = 2^{R_{R^*}} - 1$는 수신된 SINR 및 SNR의 임계값이고, R_D 및 R_{R^*}은 각각 D 및 R^*의 스펙트럼 효율이다. 1장에서 서술한 SINR을 이용하여 수식을 정리하면 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다[8].

$$\begin{aligned} P_{o,R^*} &= \begin{cases} \Pr\left(\left|h_{SR^*}\right|^2 < \varsigma\right), & \varsigma \geq \eta \\ \Pr\left(\left|h_{SR^*}\right|^2 < \eta\right), & \varsigma < \eta \end{cases} \\ &= \mathrm{F}_{H_{R^*}}\left\{\max\left(\varsigma, \eta\right)\right\} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $\zeta = \Gamma_D / \left(\alpha_D - \Gamma_D \alpha_{R^*}\right)\rho_{SR^*}$, $\eta = \Gamma_{R^*} / \alpha_{R^*}\rho_{SR^*}$ 이며, $\Gamma_D < \alpha_D / \alpha_{R^*}$이다. 이 식에서 마지막 등호는 표기를 간편하게 나타내기 위해서 $|h_{SR^*}|^2 = H_{R^*}$ 로 사용하였으며, $F_{H_{R^*}}\{\max(\zeta, \eta)\}$는 누적분포함수 (Cumulative distribution function, CDF) 이다. 그런데 레일레이 페이딩을 가정하므로, 결국 선택된 릴레이의 오수신율은 (8)로부터

$$P_{o,R^*} = 1 - e^{-\max(\varsigma, \eta)} \quad (9)$$

가 된다.

2. 원거리 사용자의 오수신율

원거리 사용자는 간접경로 ($R^* - D$ 경로) 및 직접경로 ($S - D$ 경로)로부터 수신한 신호를 선택결합하는데, 두 경로는 서로 독립이므로 원거리 사용자의 오수신율은 두 경로의 오수신율을 곱하여 얻을 수 있다.

$$P_{o,D} = P_{o,R^*D} \times P_{o,SD} \quad (10)$$

여기서 P_{o,R^*D}는 $R^* - D$ 경로의 오수신율이고, $P_{o,SD}$는 $S - D$ 경로의 오수신율이다. 그런데 선택된 릴레이가 상황인지 NOMA 릴레이이므로 간접경로의 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다있다[15].

$$\begin{aligned} P_{o,R^*D} = \sum_{k=0}^{N}\Bigg[\sum_{i=0}^{k} &\Pr\left(\gamma_{R^*D} < \Gamma_D \left\| R(s)\right| = i, K = k\right) \\ &\times \Pr\left(\left|R(s)\right| = i \left| K = k\right.\right)\Bigg] \Pr\left(K = k\right) \end{aligned} \quad (11)$$

이 식에서 마지막 확율부터 설명하자. $\Pr(K=k)$는 전체 후보릴레이 N개 중에서 k 개의 릴레이가 주파수를 획득할 수 있는 확율이며, 다음과 같이 쓸 수 있다[16].

$$\Pr(K = k) = \binom{N}{k} P_d^k (1 - P_d)^{N-k} \quad (12)$$

이다. 여기서 P_d 는 우선 사용자에게 허가된 범위 이내에서 간섭을 줄 때, 제2사용자가 주파수를 획득할 수 있는 확률이다. 상황인지 NOMA 시스템에서는 선택된 릴레이가 제2사용자가 된다. 그리고 $\Pr(|R(s)|=i|K=k)$ 는 주파수를 획득한 k개의 릴레이 중에서 수신에 성공할 릴레이 세트의 개수가 i 개가 될 확율을 나타내는데,

$$\Pr\left(\left|R(s)\right| = i \left| K = k\right.\right) = \binom{k}{i} (1 - P_{o,R^*})^i P_{o,R^*}^{k-i} \quad (13)$$

이 된다. 또한 $\Pr\left(\gamma_{R^*D} < \Gamma_D \| R(s)| = i, K = k\right)$ 는 $|R(s)| = i,\ K = k$ 가 주어진 조건에서 원거리 사용자의 간접경로($R^* - D$경로)에서의 오수신 확율이다. 특히 (1)에 나타낸 바 와 같이 $R_i - D$경로 중에서 채널이득이 가장 큰 릴레이를 사용하므로,

$$\begin{aligned} &\Pr\left(\gamma_{R^*D}^{x_D} < \Gamma_D \left\| R(s)\right| = i, K = k\right) \\ &\quad = \Pr\left(\left|h_{R^*D}\right|^2 < \lambda \left\| R(s)\right| = i, K = k\right) \end{aligned} \quad (14)$$

이 되고, 여기서 $\lambda = \Gamma_D / \rho_{R^*D}\alpha_D$ 이다. 그러므로 간접경로의 오수신율은 (12), (13), 그리고 (14)를 (11)에 대입하면,

$$\begin{aligned} P_{o,R^*D} = \sum_{k=0}^{N}&\left[\sum_{i=0}^{k}\binom{k}{i}\left(1 - e^{-\lambda}\right)^i (1 - P_{o,R^*})^i P_{o,R^*}^{k-i}\right] \\ &\times \binom{N}{k} P_d^k (1 - P_d)^{N-k} \end{aligned} \quad (15)$$

그리고 직접경로($S - D$경로)에서의 오수신율은

$$P_{o,SD} = \Pr\left(\gamma_{SD}^{x_D} < \Gamma_F\right) = \Pr\left(\left|h_{SD}\right|^2 < \chi\right) \quad (16)$$

이 된다. 여기서 $\chi = \Gamma_D / \rho_{SD}(\alpha_D - \alpha_{R^*}\Gamma_D)$ 이다.

따라서 원거리 사용자의 오수신율은 (15) 및 (16)을 (10)에 대입하면 얻을 수 있다.

IV. 수치적인 예

그림2는 선택된 릴레이의 오수신율을 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 전력할당계수에 따라서 오수신율이 달라지는데, 주어진 조건하에서 전력할당계수 α_D 가 0.8, 0.85, 그리고 0.9인 경우 중에서 릴레이의 오수신율이 0.85, 0.9, 그리고 0.8의 순서대로 오수신율이 작다. 여러 NOMA 논문에서 지적하고 있듯이 오수신율을 최소화하기 위한 최적의 전력할당계수가 존재한다.

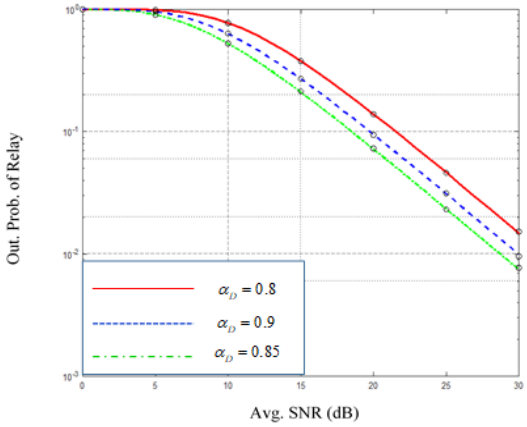

그림 2. 선택된 상황인지 릴레이의 오수신율 ($R_{R^*} = R_D = 1$, $\rho_{SR^*} = \rho_{R^*D}$)

Fig. 2. Outage probability of the selected cognitive relay ($R_{R^*} = R_D = 1$, $\rho_{SR^*} = \rho_{R^*D}$)

이 그림에서 "o"으로 표시된 부분은 1×10^6회 Monte Carlo 시뮬레이션 결과인데, 이론적으로 구한 값과 매우 잘 일치하고 있다. 이 결과로부터 수식적으로 유도한 선택된 릴레이의 오수신율의 정확성을 입증할 수 있다.

그림3은 전력할당 계수의 변화에 따른 릴레이의 오수신율을 나타낸 곡선인데, 그림2에서 언급한 바와 같이 릴레이의 성능이 전력할당계수에 따라 비례하지 않는다. 이는 그림3에서 보는 바와 같이 전력할당계수 α_D의 변화에 따라서 성능의 변화가 일정하게 나빠지거나 향상되지 않는 것으로부터 알 수 있다. 특히 그림3의 예에서는 전력할당계수가 0.86인 경우 릴레이에서 수신하는 SNR에 무관하게 시스템의 성능이 가장 우수함을 나타내고 있다.

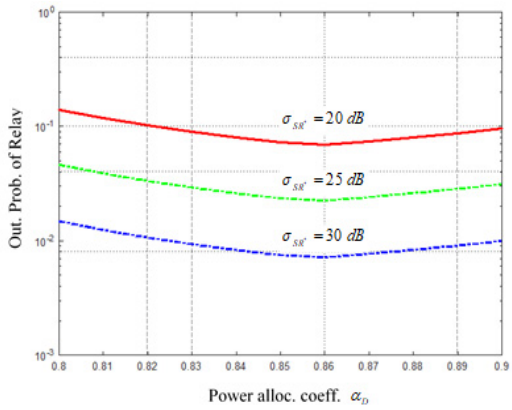

그림 3. 전력할당 계수에 따른 릴레이의 오수신율 ($R_{R^*} = R_D = 1$, $\rho_{SR^*} = \rho_{R^*D}$)

Fig. 3. Outage probability of the selected cognitive relay vs. power allocation coefficients ($R_{R^*} = R_D = 1$, $\rho_{SR^*} = \rho_{R^*D}$)

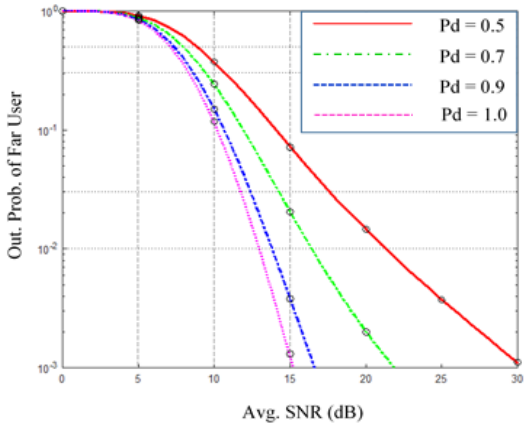

그림 4. 주파수 획득확률에 따른 목적지의 오수신율 변화 ($R_{R^*} = R_D = 1$, $N = 5$, $\alpha_D = 0.86$)

Fig. 4. Outage probability of far user for different frequency acquisition probabilities ($R_{R^*} = R_D = 1$, $N = 5$, $\alpha_D = 0.86$)

그림4는 상황인지 릴레이가 송신 주파수를 획득하는 확률과 원거리 사용자의 오수신율을 나타낸다. 주파수 획득 확률이 높을수록 원거리 사용자의 오수신율은 낮아진다. 이 그림에서 역시 "o"으로 표시된 부분은 Monte

Carlo 시뮬레이션 결과인데 유도한 해석적인 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이 그림에서 주파수 획득확률 1은 상황인지 릴레이가 아닌 경우를 의미하는데, 주파수 획득확률 0.5와 비교할 때 1×10^{-3} 오수신율을 유지하기 위하여 약 15 dB의 SNR이 더 필요하다. 따라서 주파수 획득확률이 높을수록 오수신율이 현저히 개선됨을 알 수 있다.

V. 결론

이동통신 시스템이 발전할수록 제한된 스펙트럼을 이용하여 더욱 많은 데이터를 더욱 빨리 전송하기 위한 기술들이 점차 개발 및 도입되고 있다. 따라서 직교 다중화 방식보다 스펙트럼 효율이 높은 비직교 다중화 방식인 NOMA 시스템이 차세대 이동통신 다중화방식으로 급격히 부상하고 있다.

한편 상황인지 시스템은 주파수 사용허가 시스템의 우선 사용자에게 허가된 간섭 이내에서 제2사용자가 주파수를 공동으로 사용하는 방식으로, 이는 주파수 효율을 높일 수 있는 방법 중의 하나이다.

따라서 본 논문에서는 이 두 가지 요소가 결합된 상황을 가정하여 시스템의 성능을 유도하였다. 즉 상황인지 협동 NOMA 시스템에서 근거리 사용자를 릴레이로 사용하였을 때, 이 릴레이의 오수신율과 릴레이로부터 수신한 원거리 사용자의 오수신율을 각각 closed-form으로 유도하였다. 릴레이의 오수신율은 전력할당 계수에 따라서 영향을 받았으며, 원거리 사용자의 전력할당계수가 0.86인 경우가 수신된 신호 대 잡음비와 무관하게 오수신율이 가장 낮았다.

원거리 사용자의 오수신율은 상황인지 릴레이가 아닌 경우에 비하여 주파수 획득확률이 0.7 및 0.5인 경우 1×10^{-3} 을 오수신율을 유지하기 위하여 각각 6 dB 및 15 dB 이상의 신호 대 잡음비가 더 필요하였다. 따라서 상황인지 릴레이의 주파수 획득확률에 따라서 원거리 사용자의 성능이 현저히 영향을 받음을 알 수 있다. 이 결과는 NOMA 시스템을 상황인지 시스템으로 운용할 경우 시스템 설계 시에 이론적인 근거로 활용할 수 있겠다.

References

[1] Y.Saito, Y. Kishiyama, and A. Benjebbour, “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,” Proc. of Veh. Tech. Conf. (VTC spring), pp. 1-5, June 2013.

[2] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C.-L. I, and Z. Wang, “Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends,” IEEE Communications Magazine, Vol.53, No.9, pp.74-81, Sep. 2015.

[3] Y. Saito, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, “System-level performance evaluation of downlink non-orthogonal multiple access (NOMA),” Proc. of Annual Int. Sym. on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 611-615, Sept. 2013.

[4] P. Xu, Z. Yang, Z. Ding, and Z. Zhang, “Optimal relay selection schemes for cooperative NOMA,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, to be appear in April 2018.

[5] Z. Ding, H. Dai, H. V. Poor, “Relay selection for cooperative NOMA,” IEEE Wireless Communications Letters, Vol.5, No.4, pp.416-419, 2016.

[6] Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems,” IEEE Communications Letters, Vol.19, No.8, pp. 1462-1465, June 2015.

[7] Y. Liu, Z. Ding, M. Elkashlan, and H. V.Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access with simultaneous wireless information and power transfer,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.34, No.4, pp.938-953, March 2016.

[8] N.-S. Kim, “Utilization of max-min user relay in cooperative NOMA systems,” Journal of Telecommunications, Electronic and Computer Engineering, Vol.10, No.1-4, pp.89-94, March 2018.

[9] S. Haykin, “Cognitive radio: brain-empowered wireless communications,” IEEE Journal on

Selected Areas in Communications, Vol.23, No.2, pp.201-220, Feb. 2005.

[10] A. Ghasemi and E. Sousa, "Spectrum sensing in cognitive radio networks: requirements, challenges and design trade-offs," IEEE Communications Magazine, Vol.46, No.5, pp.32-39, April 2008.

[11] Y. Liu, Z. Ding, M. Elkashlan, and J. Yuan, "Non-orthogonal multiple access in large-scale underlay cognitive radio networks," IEEE Tr. On Vehicular Technology, Vol.65, No.12, pp.10152-10157, Dec. 2016.

[12] M. Zeng, G. I. Tsiropoulos, O. A. Dobre, and M. H. Ahmed, "Power allocation for cognitive radio networks employing non-orthogonal multiple access," Proc. of GLOCOM, pp. 1-5, Feb. 2016.

[13] 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.

[14] N.-S Kim, "Optimum power allocation of cooperative NOMA systems based on user relay," Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 5, pp.25-33, Oct. 2017.

[15] H. Saraweera, P. Smith, and N. Surobhi, "Exact outage probability of cooperative diversity with opportunistic spectrum access," Proc. of International Conf. on Commu. Workshops(ICC), pp.79-84, May 2008.

[16] K. Lee and A. Yener, "Outage performance of cognitive wireless relay networks," Proc. of Globecom, pp.1-5, Nov. 2006.

저자 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 ~ 현 재 : 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 2018~2020 학년도에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음