

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.3.65>

IIBC 2016-3-9

랜덤한 릴레이를 갖는 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템의 릴레이 선택법에 따른 성능비교

Performance Comparison of Relay Selection Methods for Incremental Cooperative Relaying Systems with Spatially Random Relay

김남수*

Nam-Soo Kim *

요약 무선 페이딩 채널에서 시스템의 성능 저하를 효과적으로 개선하기 위하여 협동 릴레이 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그동안의 연구는 고정된 릴레이를 가정하였는데, 최근에는 실제 이동통신 환경을 고려하여 공간적으로 랜덤하게 분포된 릴레이를 갖는 협동 릴레이 시스템의 연구가 시작되고 있다. 특히 통신 자원의 효율이 높은 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템에서는 릴레이를 선택하는 방법에 따라서 시스템의 성능이 변화하는데, 이에 대한 비교 연구는 발표되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 최대 SNR 선택법과 최대-최소 SNR 선택법을 대상으로 최대비 결합을 사용한 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템의 성능을 유도하였고, 송신전력이 소스와 릴레이로 배분되었을 때의 오수신율을 비교하였다. 본 논문의 해석적 결과는 이동통신 시스템에 기회전송 증가 릴레이 시스템을 도입하였을 경우 릴레이를 선택하고 송신 전력을 배분하는데 이론적 근거로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract Cooperative relaying systems have been studied actively to improve the system performance effectively in wireless fading channels. Most of the cooperative relay studies are assumed fixed relay, recently the performance analysis of the cooperative relaying systems with spatially random relays considering the practical mobile environment are introduced. However the comparative studies for relay selection methods of incremental cooperative relay systems, the performance of which is influenced by the selection methods, have not been studied. Therefore we derive the performance of the system which has MRC(Maximal-ratio combining) with Max SNR(signal-to-noise ratio) selection or Max-min SNR selection, respectively. And the outage performances of the system with Max or Max-min selection method are compared for different transmit power allocation to the source and to the relays. The analytical results serve as useful tools for relay selection and power allocation to transmit nodes for opportunistic incremental relaying systems.

Key Words : Opportunistic relaying, Relay selection, Incremental relaying, Fading channel.

1. 서 론

무선 채널에서 발생하는 페이딩 현상은 수신 신호세

기를 빠르고 급격하게 변화시키고, 이 때문에 통신 시스템의 송수신 성능을 나쁘게 만든다. 최근에는 이를 극복하기 위하여 MIMO (multiple-input multiple-output)나

*정회원, 청주대학교 전자공학과
접수일자 : 2016년 3월 22일, 수정완료 : 2016년 5월 2일
게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 22 March, 2016 / Revised: 2 May, 2016 /
Accepted: 10 June, 2016

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

릴레이 등을 도입하여 공간 다이버시티를 적극 활용하고 있다. 특히 송수신기의 공간제약이 있는 경우에는 송수신기 자체에 여러 개의 안테나를 장착하는 것이 어렵기 때문에 릴레이를 이용한 협동 릴레이 시스템이 더욱 주목 받고 있다[1].

초기의 협동 릴레이 시스템은 소스의 정보를 목적지로 전달하기 위하여 여러 개의 릴레이가 모두 정보전송에 참여하였다. 그러나 참여 릴레이 개수만큼의 통신 자원 (예를 들어 시간, 주파수, 코드 등)이 필요하므로 효율적이지 못하다. 따라서 릴레이를 하나만 사용하면서도 충분한 공간 다이버시티 이득을 발생시킬 수 있는 기회전송 협동릴레이 시스템이 개발되었다[2],[3].

최근에는 추가 기회전송 협동릴레이 시스템이 발표되었는데, 기회전송 방식이 릴레이를 항상 사용하는데 반하여 추가 기회전송 방식은 직접 경로가 실패할 경우에만 릴레이 경로를 추가하여 사용하기 때문에 통신 자원을 더욱 효율적으로 사용하는 장점을 갖는다. 기회전송 방식이나 추가 기회전송 방식은 모두 하나의 릴레이를 선택하여 사용하기 때문에, 릴레이를 선택하는 방법에 따라서 시스템의 성능에 영향을 준다. 대표적인 릴레이 선택법으로는 최대 SNR(Signal-to-noise ratio) 선택법, 최대-최소 SNR 선택법이 있다[4].

한편 지금까지 협동 릴레이 시스템의 성능을 분석할 때에는 릴레이의 위치가 고정되었다고 가정하였는데, 실제 이동통신 시스템에서는 릴레이로 사용되는 사용자 터미널이 고정되어있지 않다. 따라서 최근에는 릴레이의 위치가 랜덤하다고 가정하여 협동 릴레이 시스템의 성능을 유도하는 연구들이 진행되고 있다[5], [6], [7].

랜덤 릴레이를 가정한 [5]와 [6]은 복조 후 전송 (DF, decode-and-forward) 릴레이를 대상으로 하여 선택 결합을 하였을 때 협동 릴레이 시스템의 성능을 비교하였는데, [5]는 목적지에서 직접 경로와 간접 경로로부터 수신되는 신호를 선택 결합하여 성능을 분석하였고, [6]은 직접 경로는 없다고 가정하고 간접 경로에서 릴레이-목적지 경로의 SNR이 최대가 되는 신호를 선택하였을 때 시스템의 성능을 각각 분석하였다. 그리고 Behnad 등은 증폭 후 전송 (AF, amplify-and-forward) 릴레이 시스템에서 간접경로(소스-릴레이-목적지)의 SNR이 최대가 되는 릴레이를 선택하였을 때의 성능을 해석하였다[7]. 그러나 저자가 파악하기에는 최대비 결합 (MRC, Maximal ratio combining) 방식을 사용하는 추가 기회전

송 협동 릴레이 시스템에서 릴레이 선택법에 따른 시스템의 성능 변화를 비교한 연구는 아직까지 발표되지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 사용자 터미널이 공간적으로 랜덤하게 분포된 모바일 환경을 포아송 포인트 프로세스 (PPP, Poisson Point Process)로 모델링 하였다. 그리고 랜덤하게 분포된 릴레이를 최대 SNR 선택법과 최대-최소 SNR 선택법을 이용하여 선택하였을 때 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템의 성능을 유도하였다. 그리고 소스 및 릴레이에 전체 송신전력을 분배하였을 때 선택법에 따른 오수신율의 변화를 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 본 논문에서 사용할 랜덤하게 분포된 릴레이 모델과 2가지 릴레이 선택법을 서술한다. 그리고 제 3장에서 각각의 릴레이 선택법에 따른 오수신율을 유도한다. 유도한 오수신율에 대한 수치적인 예로 얻어진 결과를 제 4장에서 설명하며 결과에 대한 분석을 서술하였다. 그리고 제 5장에서 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 고려하고자 하는 시스템 모델을 나타내고 있는데, 작은 원은 소스와 목적지 사이의 거리 L 을 반경으로 하는 공간 상에 랜덤하게 위치한 사용자 터미널을 나타낸다. 여기서 S 는 소스, D 는 목적지, 그리고 $R_i, i = 1, 2, \dots, M$ 는 릴레이를 나타낸다. 여기서 M 은 전체 릴레이의 수를 나타낸다. 그리고 점선은 소스가 송신하는 영역을 나타내고 있다. 그리고 검정색 작은 원은 통화 영역 A 내에 있는 릴레이를 나타낸다.

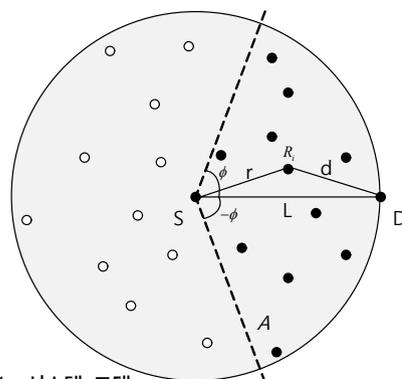


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

릴레이를 사용하여 소스에서 목적지까지 정보를 전송하기 위해서 첫째, 방송 단계와 둘째, 릴레이 단계들을 갖는다. 첫째, 방송단계에서는 소스가 정보를 송신하고 목적지 및 릴레이가 수신한다. 이 논문에서는 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템을 고려하므로, 만일 목적지에서 수신한 SNR이 임계값보다 크면 정보전송을 종료하고, 반대로 임계값보다 작으면 정보전송에 실패하였다는 피드백 비트를 소스 및 릴레이로 송신한다.

둘째, 릴레이 단계에서는 목적지로부터 피드백 신호가 있을 때 릴레이 선택 법칙에 의해서 선택된 릴레이가 소스로부터 수신한 정보를 목적지로 재전송한다. 목적지에서는 직접경로(S-D 경로)와 간접경로(S-R-D 경로)에서 수신한 신호를 최대비 결합하여 수신한다.

1. 릴레이 선택법

(1) 최대 SNR 선택법

소스로부터 수신된 SNR이 임계값을 넘는 릴레이 중에서 릴레이-목적지 경로의 SNR이 가장 큰 릴레이를 선택한다. 그러므로 선택된 릴레이의 인덱스는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$k = \arg \max_{i=1,2,\dots,M} \{ \gamma_{R_i,D} \}, \quad \gamma_{SR_i} \geq \gamma_{th} \quad (1)$$

이 최대 SNR 선택법은 채널이 가역적이라고 가정하면, 직접 경로가 실패하였을 때 목적지에서 feedback 신호를 송신하므로 이를 수신하여 릴레이-목적지 경로의 SNR을 알 수 있다. 그러므로 수신된 SNR의 역수에 비례하는 시간에 소스로부터 받은 정보를 전송하면 가장 큰 SNR을 수신한 릴레이가 가장 먼저 송신하게 되며 다른 릴레이는 송신을 중지하면 중앙 컨트롤러가 별도로 필요하지 않는 장점을 갖는다.

(2) 최대-최소 SNR 선택법

먼저 i 번째 간접경로(소스- R_i -목적지 경로)에서 소스-릴레이(S- R_i)경로나 릴레이-목적지(R_i -D)경로 중 SNR이 작은 경로를 선정하고, 다른 간접경로($j=1,2,\dots,M, j \neq i$)에서 선정된 SNR이 작은 경로와 서로 비교하여 작은 SNR을 갖는 경로 중 가장 큰 SNR을 갖는 간접경로의 릴레이를 최적의 릴레이로 선택하는 방법으로, 이 때 선택된 최적 릴레이의 인덱스는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$k = \arg \max_{i=1,2,\dots,M} \{ \gamma_{SR_i}, \gamma_{R_i,D} \} \quad (2)$$

이 선택 방법은 시스템 내에 존재하는 모든 경로의 채널 정보를 파악하여 릴레이를 선택하고, 선택된 릴레이를 알려주어야 하는 중앙 컨트롤러가 필요한 단점이 있다. 그러나 노드의 위치가 고정된 시스템에서는 최대-최소 릴레이 선택법은 소스-릴레이 경로 또는 릴레이-목적지 경로 중 최대 SNR을 갖는 하나의 경로만을 선택하는 Max 선택법 보다 성능이 우수하다[4].

2. 경로 손실 및 페이딩을 고려한 수신신호

무선 채널을 통하여 전송된 신호는 전파 환경, 사용 주파수, 안테나의 길이, 수신 지역의 고도, 기후 등의 영향을 받는다. 이 논문에서는 거리에 따른 전파손실과 무선 채널의 다중 경로에 의한 페이딩의 영향만을 고려하여 수신된 SNR을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma_{xy} = \frac{P_x}{N} \|x-y\|^{-\alpha} |h_{xy}|^2 \quad (3)$$

여기서 P_x 는 노드 x 의 송신전력이고, N 은 수신노드 y 의 잡음 전력이다. 그리고 송수신 노드 사이의 거리를 $\|x-y\|$ 로 나타내었다. α 는 전파환경에 따른 전파감쇄 상수인데, 보통 이동통신 환경에서 3-6 사이의 값을 갖는다[8]. 그리고 $|h_{xy}|^2$ 는 분산이 1인 채널 전력이득을 말하며 Rayleigh 페이딩 채널에서는 확률밀도함수가 지수분포를 갖는다.

III. 오수신율 유도

추가 기회전송 협동 릴레이 시스템은 직접경로와 간접경로에서 수신한 SNR이 모두 임계값보다 작으면 오수신이 발생되므로, 오수신율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{out} = \Pr(\gamma_{SD} \leq \Gamma_1, \gamma_{eq} \leq \Gamma_2) \quad (4)$$

여기서 Γ_1 과 Γ_2 는 각각 직접경로 및 간접경로의 임계값을 나타내는데, 목적지에서 요구하는 스펙트럼 효율을 $R[\text{bits/sec/Hz}]$ 라고 하면 $\Gamma_1 = 2^R - 1$ 이 되고, 간접경로는 소스-릴레이-목적지 경로에서 2 타임슬롯을 사

용하기 때문에 $\Gamma_1 = 2^{2R} - 1$ 이 된다. 그리고 γ_{SD} 는 직접 경로에서 수신한 SNR인데, 확률밀도함수는 지수분포를 하며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_\gamma = \frac{1}{\bar{\gamma}} e^{-\gamma/\bar{\gamma}} \quad (5)$$

여기서 Γ 와 $\bar{\gamma}$ 는 각각 임계값 및 평균 SNR 이다. 그리고 γ_{eq} 는 간접경로에서 수신한 SNR과 직접경로에서 수신한 SNR을 MRC에 의하여 합성된 SNR이다. 이는 릴레이 선택법에 따라서 달라진다.

1. 최대 SNR 선택법

목적지에서 릴레이-목적지 경로와 소스-목적지 경로의 신호를 MRC 하므로, 수신된 SNR은

$$\gamma_{eq} = \gamma_{SD} + \max_{x_{R_i} \in \Phi_R} \{ \gamma_{R_i,D} \} \quad (6)$$

여기서,

$$\Phi_R = \left\{ x_{R_i} \left(x_{R_i} \in \Phi \{ x_{R_i} \} \cap x_{R_i} \in A \right), \gamma_{SR_i} \geq \Gamma_2, i = 1, 2, \dots, M \right\} \quad (7)$$

인데, x_{R_i} 는 i 번째 릴레이의 위치, $\Phi(x)$ 는 랜덤변수 x 가 균일하게 분포된 포아송 포인트 프로세스를 나타낸다. 그리고 통화영역 A 는 그림1에서 보는 바와 같이 소스의 송신각도($-\varnothing \sim \varnothing$)내의 영역을 나타낸다. (6)을 (4)에 대입하면, γ_{SD} 와 γ_{eq} 가 독립이 아니므로

$$P_{out} = \int_0^{\Gamma_1} f_{SD}(u) \Pr(\gamma_{eq} \leq \Gamma_2 | \gamma_{SD} = u) du \quad (8)$$

로 쓸 수 있다. 그리고 두 번째 확률은

$$\begin{aligned} \Pr(\gamma_{eq} \leq \Gamma_2 | \gamma_{SD} = u) &= \Pr(\max \{ \gamma_{R_i,D} \} \leq \Gamma_2 - u) \\ &= E_{\Phi_R} \left\{ \prod_{x_{R_i} \in \Phi_R} \Pr(\gamma_{R_i,D} \leq \Gamma_2 - u) \right\} \\ &= E_{\Phi_R} \left\{ \prod_{x_{R_i} \in \Phi_R} \left(1 - e^{-(\Gamma_2 - u)/\bar{\gamma}_{R_i,D}} \right) \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

그러므로 (9)를 (8)에 대입하면

$$P_{out} = \frac{1}{\bar{\gamma}_{SD}} \int_0^{\Gamma_1} E_{\Phi_R} \left\{ \prod_{x_{R_i} \in \Phi_R} \left(1 - e^{-(\Gamma_2 - u)/\bar{\gamma}_{R_i,D}} \right) \right\} e^{-u/\bar{\gamma}_{SD}} du \quad (10)$$

이 된다. 여기서 $\rho_R = P_R/N$ 은 릴레이의 송신 SNR이며, P_R 은 릴레이의 송신전력이다. 그리고 d 는 그림 1에 나타난 릴레이와 목적지 사이의 거리인데, $d = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos \theta}$ 이다. 그리고 포아송 분포의 마킹 정리[10,P.55]에 의하여 $\lambda_A = \lambda \exp(-\Gamma_2 r^\alpha / \rho_S)$ 이다. 여기서 $\rho_S = P_S/N$ 는 소스의 송신 SNR(Tx SNR)이고, P_S 는 소스의 송신전력이다. 그리고 λ 는 포아송 포인트 프로세스의 밀도이다.

한편 $\Phi(x)$ 가 밀도를 λ 갖는 포아송 포인트 프로세스 이면, $0 \leq v(x) < 1$ 이고 $\int |1 - v(x)| dx < \infty$ 일 때, 생성함수 $E\left[\prod_{x \in \Phi} v(x)\right]$ 는 다음과 같다[9, P.31], [10, P.116].

$$E\left[\prod_{x \in \Phi} v(x)\right] = \exp\left[-\lambda \int \{1 - v(x)\} dx\right] \quad (11)$$

따라서 (10)을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P_{out} = \frac{L^\alpha}{\rho_S} \int_0^{\Gamma_1} \exp\left[-\lambda_A \int_0^\varnothing \int_{-\varnothing}^\varnothing \exp\left\{-\frac{(\Gamma_2 - u)d^\alpha}{\rho_R}\right\} r dr d\theta\right] \exp\left(-\frac{L^\alpha u}{\rho_S}\right) du \quad (12)$$

여기서 (12)는 삼중적분을 해야 하므로, 오수신율을 얻으려면 시간이 너무 오래 걸린다. 따라서 $\alpha=2$ 이고, $\varnothing = \pi$ 인 특별한 경우를 가정하면 다음과 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \frac{L^2}{\rho_S} \int_0^{\Gamma_1} \exp\left[-2\lambda_A \int_0^\pi \exp\left\{-\frac{(\Gamma_2 - u)(r^2 + L^2)}{\rho_R}\right\} \right. \\ &\quad \left. \times \int_0^\pi \exp\left\{-\frac{2rL(\Gamma_2 - u) \cos \theta d\theta}{\rho_R}\right\} r dr\right] \exp\left(-\frac{L^2 u}{\rho_S}\right) du \end{aligned} \quad (13)$$

그런데 0차 변형 베셀함수[11,식8.431.3]

$$I_0(z) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{\pm z \cos \theta} d\theta$$

이므로, 오수신율은

$$P_{out} = \frac{L^2}{\rho_S} \int_0^{\Gamma_1} \exp[-2\pi\lambda_A \int_0^L \exp\left\{-\frac{(\Gamma_2 - u)(r^2 + L^2)}{\rho_R}\right\} \\ \times I_0\left\{(\Gamma_2 - u) \frac{2rL}{\rho_R}\right\} r dr] \exp\left(-\frac{L^2 u}{\rho_S}\right) du \quad (14)$$

이 된다.

2. 최대-최소 SNR 선택법

이 선택법에 의하여 간접 경로로부터 수신하는 SNR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma_{eq} = \max_{x_R \in \Phi} \min(\gamma_{SR}, \gamma_{RD} + \gamma_{SD}) \quad (15)$$

여기서 두 번째 항은 직접경로와 간접경로로부터 수신한 SNR을 MRC 한 것이다. (12) 식을 유도한 방법과 마찬가지로 릴레이가 랜덤하게 위치할 때의 생성함수 (11)을 적용하여 유도하면 된다. 유도 과정과 결과는 [12]에 자세히 되어있으므로, 이 논문에서는 두 가지 선택법에 따른 시스템 성능 비교를 위하여 기 유도된 오수신율은 인용하면,

$$P_{out} = \frac{L^\alpha}{\rho_S} \int_0^{\Gamma_1} \exp\left[-\lambda \int_0^L \int_{-\phi}^{\phi} e^{-\Gamma_2 \left(\frac{r^2}{\rho_S} + \frac{d^2}{\rho_R}\right) + \frac{d^2 u}{\rho_R}} r dr d\theta\right] \exp\left(-\frac{L^\alpha u}{\rho_S}\right) du \quad (16)$$

이 되고, 마찬가지로 $\alpha=2$ 이고 $\phi = \pi$ 인 특별한 경우의 유도된 오수신율도 다음과 같이 쓸 수 있다[12].

$$P_{out} = \frac{L^2}{\rho_S} \int_0^{\Gamma_1} \exp\left[-2\pi\lambda \int_0^L e^{-\Gamma_2 \left(\frac{r^2}{\rho_S} + \frac{r^2 + L^2}{\rho_R}\right) + \frac{L^2 + L^2 u}{\rho_R}} I_0\left\{(\Gamma_2 - u) \frac{2rL}{\rho_R}\right\} r dr\right] \\ \times \exp\left(-\frac{L^2 u}{\rho_S}\right) du \quad (17)$$

IV. 수치적인 예 및 결과고찰

그림 2는 $\alpha=2$, $\phi = \pi$ 이고 소스 및 선택된 릴레이가 동일한 전력으로 송신한 경우, 릴레이 밀도에 따른 추가 기회전송 협동 릴레이 시스템의 오수신율을 나타내고 있다. 그림에서 Max는 최대 SNR 선택법, 그리고 Maxmin

은 최대-최소 SNR 선택법을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 최대 SNR 선택법보다 최대-최소 SNR 선택법의 성능이 오수신율 1×10^{-3} 에서 약 2.5 dB 우수한 것을 알 수 있다. 이는 최대 선택법은 릴레이-목적지 경로의 SNR만을 고려한 것에 비하여 최대-최소 선택법은 모든 소스-릴레이-목적지 경로 중에서 성능이 가장 우수한 경로를 선택하였기 때문이다. 그러나 릴레이 밀도가 변화할 때 선택법에 따른 성능 차이는 매우 미미하였다.

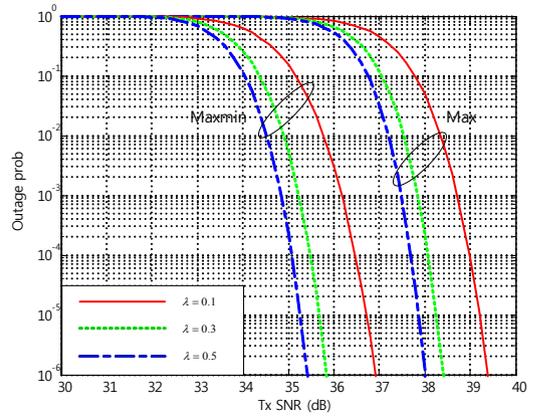


그림 2. 릴레이 선택법에 따른 시스템의 오수신율($\alpha=2$, $\phi = \pi$, $R=1$, $L=100$)

Fig. 2. Outage probability for different relay selection methods ($\alpha=2$, $\phi = \pi$, $R=1$, $L=100$)

그림 3은 최대 SNR 선택법으로 릴레이를 선택하고, 송신 노드인 소스와 릴레이에 전체 전력을 할당하였을 때 시스템에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. 여기서 $\beta = P_S/P_t$ 인데, P_S 와 P_t 는 각각 소스 송신 전력 및 전체 송신 전력이다. 따라서 소스에는 βP_t 가 그리고 선택된 릴레이는 $(1-\beta)P_t$ 가 할당된다. 이 그림에서 보는 바와 같이 소스-목적지 사이의 거리가 짧을수록 최소 오수신율을 갖는 β 는 0.5에 접근한다. 즉 소스 및 릴레이에 동일한 전력을 분배할 때 시스템의 성능이 가장 좋아진다. 그러나 L 값이 증가할수록 릴레이에서 수신하는 SNR은 작아지고, 이 경우 소스에 전력을 많이 분배할수록 시스템의 성능이 우수함을 알 수 있다. 이 이유는 소스의 송신전력이 커질수록 선택 릴레이의 후보 수 Φ_R 이 증가하고, 후보 릴레이가 많을수록 공간 다이버시티 효과가 증가하기 때문으로 분석된다.

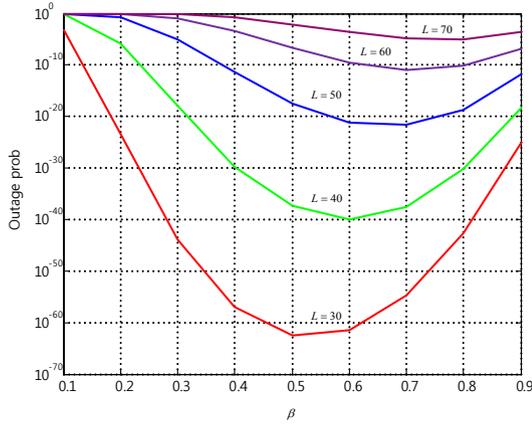


그림 3. 전력 할당에 따른 최대 SNR 선택법의 오수신율($\alpha=2, \varnothing=\pi, R=1, \lambda=0.3, P_t/N=38dB$)

Fig. 3. Outage probability versus power allocation for Max SNR selection($\alpha=2, \varnothing=\pi, R=1, \lambda=0.3, P_t/N=38dB$)

그림 4는 최대-최소 SNR 선택법에 따른 오수신율의 변화를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 L 이 감소함에 따라서 소스보다는 릴레이에 송신전력을 더 할당하는 것이 오수신율을 감소시킬 수 있다. 그러나 그림3의 최대 SNR 선택법을 사용하였을 때보다 최소 오수신율을 나타내는 β 의 변화폭이 적다. 이는 릴레이를 선택할 때 소스-릴레이 경로와 릴레이-목적지 경로의 채널 정보를 모두 이용하여 두 경로를 균형있게 고려하였기 때문으로 해석된다.

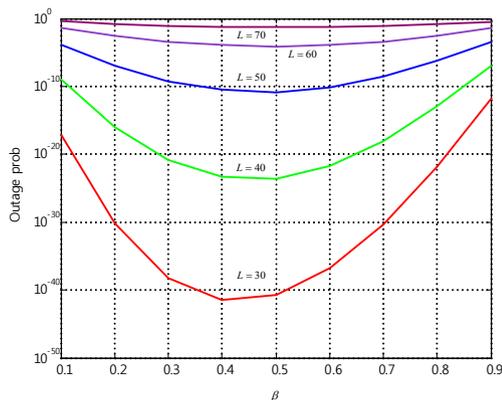


그림 4. 전력 할당에 따른 최대-최소 SNR 선택법의 오수신율($\alpha=2, \varnothing=\pi, R=1, \lambda=0.3, P_t/N=35dB$)

Fig. 4. Outage probability versus power allocation for Maxmin SNR selection($\alpha=2, \varnothing=\pi, R=1, \lambda=0.3, P_t/N=35dB$)

V. 결론

본 논문에서는 위치가 고정되어있지 않고 이동하는 릴레이를 대상으로 하여 추가 기회전송 협동릴레이 시스템의 오수신율을 유도하였다. 특히 대표적인 릴레이 선택법인 최대 SNR 선택법과 최대-최소 SNR 선택법을 사용하였을 때 시스템의 성능을 비교하였다. 성능 비교결과 최대-최소 SNR 선택법이 최대 SNR 선택법보다 주어진 조건에서 시스템의 성능이 약 2.5 dB 우수하였지만, 릴레이 밀도가 변화할 때 선택법에 따른 성능 차이는 매우 미미하였다.

그리고 전체 송신 전력이 제한된 경우 소스 및 송신 릴레이에 전력을 할당하여 시스템의 오수신율을 최소화할 수 있는데, 최대 SNR 선택법은 최대-최소 SNR 선택법 보다 전력할당에 따른 성능 변화가 더욱 민감하였다. 특히 최대 SNR 선택법은 소스와 목적지 사이의 거리가 가까운 경우보다 먼 경우 릴레이에 더 많은 송신전력을 할당하였을 때 시스템의 성능이 개선되었다. 그러나 최대-최소 SNR 선택법은 소스와 목적지의 거리가 증가하여도 소스와 릴레이에 전력을 균등하게 분배하였을 때 성능이 우수하였다. 본 논문의 결과는 성능은 우수하지만 시스템의 복잡한 최대-최소 SNR 선택법과 성능이 다소 저하되어도 구조가 간단한 최대 SNR 선택법을 시스템에 적용하는데 이론적인 근거로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

References

- [1] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. in Information Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062- 3080, Dec. 2004.
- [2] K. Tourki, H-C. Yang, and M-S. Alouini, "Accurate outage analysis if incremental decode-and-forward opportunistic relaying," IEEE Trans. on Wiress Communi., vol. 10, no. 4, pp. 1021-1025, April 2011.
- [3] S. S. Ikki and M. H. Ahmed, "Performance analysis of incremental-relaying cooperative-

diversity networks over Rayleigh fading channels,” IET Communi., vol. 5, no. 3, pp. 337-349, Feb. 2011.

- [4] A. Bletsas, H. Shin, M. Z. Win, “Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying,” IEEE Trans. on Wireless Communi., vol. 6, no. 9, pp. 3450-3460, Sep. 2007.
- [5] H. Wang, S. Ma, T.-S. Ng, and H. V. Poor, “A general analytical approach for opportunistic cooperative systems with spatially random relays,” IEEE Trans. on Wireless Communi., vol. 10, no. 12, pp. 4122-4129, Dec. 2011.
- [6] A. Tukmanov, S. Boussakta, Z. Ding, and A. Jamalipour, “Outage performance of imperfect-CSI-based selection cooperation in random networks,” IEEE Trans. on Communi., vol. 62, no. 8, pp. 2747-2756, Aug. 2014.
- [7] A. Behnad, A. M. Rabiei, N. C. Beaulieu, “Performance analysis of opportunistic relaying in a Poisson field of amplify-and-forward relay,” IEEE Trans. on Communi., vol. 6, no. 1, pp. 97-107, Jan. 2013.
- [8] G. L. Stuber, Principles of mobile communication, 2nd Ed., Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [9] J. Kingman, Poisson Process, ch.5, Oxford University Press, 1993.
- [10] D. Stoyan, W. Kendall, and J. Mecke, Stochastic geometry and its applications, John Wiley and Sons Ltd, 1995.
- [11] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Table of integrals, series, and products, 6thEd., Academic Press, 2000.
- [12] Nam-Soo Kim, “Performance of opportunistic incremental relaying systems with random relays in Rayleigh fading channels,” Journal of IIBC, vol. 16, no. 1, pp. 61-67, Feb. 2016.

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, 협력통신, 최적 전력할당>