

디코딩 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능 분석

이상준 · 이인호*

Outage Performance Analysis of Partial Relay Selection Based Opportunistic Cooperation in Decode-and-Forward Relaying Systems

Sangjun Lee · In-Ho Lee*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

요 약

본 논문에서는 듀얼 홉 중계 시스템에서의 협력 전송 방식과 비협력 전송 방식간의 효율적인 선택을 통하여 아웃티지 성능을 향상시키는 기회적 협력 방식에 대해 연구한다. 특히, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법을 이용한 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능을 분석한다. 여기서, 독립적이고 균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널을 가정하여 정확한 아웃티지 확률 표현식과 점근적인 아웃티지 확률 표현식을 유도한다. 수치적 결과에서, 유도된 표현식들을 검증하고, 데이터율의 목표치와 중계 노드 수에 대한 아웃티지 성능을 분석한다. 또한, 기존의 협력 방식과 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능을 비교한다.

ABSTRACT

In this paper, we study the opportunistic cooperation scheme that improves the outage performance through the efficient selection between a cooperative mode and a non-cooperative mode. Especially, in decode-and-forward relaying systems, we analyze the outage performance for the opportunistic cooperation using partial relay selection, where closed-form expressions of exact and asymptotic outage probabilities are derived assuming independent and identically distributed Rayleigh fading channels. In the numerical results, we verify the derived expressions, and investigate the outage performances for various target data rates and different numbers of relays. Also, we compare the outage performances of the conventional cooperation scheme and the opportunistic cooperation scheme.

키워드 : 기회적 협력 방식, 디코딩 후 전달 중계 시스템, 부분 중계 노드 선택 기법, 레일레이 페이딩 채널, 아웃티지 확률

Key word : Opportunistic cooperation scheme, Decode-and-forward relaying system, Partial relay selection, Rayleigh fading channel, Outage probability

접수일자 : 2013. 04. 15 심사완료일자 : 2013. 05. 14 게재확정일자 : 2013. 06. 03

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

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.8.1804>

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

협력 다이버시티(cooperative diversity)는 무선 통신 시스템에서 높은 데이터율을 얻을 수 있는 유망한 기술로써, 신호 전송 시 각 채널 간의 간섭을 제거하기 위해 직교성이 요구되는 특징을 갖고 있다. 이와 같은 특성 때문에, 중계 노드의 수가 증가함에 따라 스펙트럼 효율(spectral efficiency)이 저하된다[1,2]. 협력 다이버시티에서, 가장 좋은 중간간 성능을 제공하는 하나의 중계 노드를 선택하여 신호를 전송하는 최상의 중계 노드 선택 기법(best relay selection, BRS)은 스펙트럼 효율의 적은 손실을 가져오지만, 여전히 하나의 중계 노드에 대한 채널의 직교성 유지를 위한 스펙트럼 효율의 손실은 존재한다[3,4]. 이와 같은 단점을 개선하기 위하여, 기회적 협력 방식(opportunistic cooperation)이 제안되었다[5,6]. 이 방식은 신호를 소스 노드에서 중계 노드를 통해 목적지 노드까지 전송하는 협력 방식(cooperative mode, CM)과, 오직 소스 노드와 목적지 노드 간의 직접적인 경로만을 통해 신호를 전송하는 비협력 방식(non-cooperative mode, NM)을 매 전송 시점마다 선택하는 기법을 이용한다. 여기서, CM과 NM의 선택은 각각의 순시 용량을 비교하여 결정된다.

[7]에서는, 레일레이(Rayleigh) 페이딩 채널을 가정하여 BRS 기법을 이용한 증폭 후 전달 중계 시스템에서 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능을 분석하였다. 여기서, BRS 기법은 중계 노드 선택을 위하여 소스에서 모든 채널 정보를 알고 있어야 하기 때문에 높은 복잡성을 필요로 한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 다수의 중계 노드들을 이용하는 듀얼 홉 중계 시스템에서 첫 번째 홉(hop)에 대한 채널 정보만을 가지고 중계 노드를 선택하는 방식인 부분 중계 노드 선택 기법(partial relay selection, PRS)이 제안되었다[8]. PRS 기법은 소스 노드에서 중계 노드까지의 한 홉에 대한 채널 정보만을 필요로 하기 때문에 피드백 오버헤드(feedback overhead) 측면에서 BRS 기법 보다 적은 주파수와 전력 자원을 요구한다[8]. 이와 같은 장점으로 인하여 PRS 기법은 무선 센서 네트워크와 같은 자원이 제한적인 네트워크에서 이용될 수 있다.

본 논문에서는 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 PRS 기법 기반의 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 성능을 레일레이 페이딩 채널 하에서 분석한다. 또한, 점근적

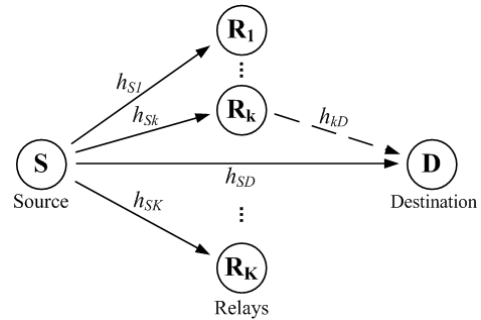


그림 1. 부분 중계 노드 선택 기법을 이용하는 기회적 협력 디코딩 후 전달 중계 시스템

Fig. 1 Opportunistic cooperative decode-and-forward relaying system using partial relay selection

아웃티지 분석을 통하여 다이버시티 이득을 파악하고, 수치적 결과를 통해 PRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식과 기존의 협력 방식, BRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식과 기존의 협력 방식에 대한 아웃티지 성능을 비교한다.

II. 시스템 모델

그림 1에서와 같이 하나의 소스 노드와 목적지 노드, 그리고 K 개의 중계 노드를 가지는 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템을 고려한다. 이 때, 모든 노드들은 하나의 안테나를 갖고, 중계 노드들은 반이중 모드로서 동작한다고 가정한다. PRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식에서, 매 전송 시점마다 CM과 NM 중 하나가 선택된다. CM이 선택 될 경우, 소스 노드는 첫 번째 시간 슬롯동안 PRS 기법에 의해 선택된 하나의 중계 노드와 목적지 노드에 신호를 전송한다. 이 때, 선택된 하나의 중계 노드가 수신 신호의 디코딩을 성공할 경우, 그 수신 신호를 다시 인코딩하여 두 번째 시간 슬롯동안 목적지 노드로 전송한다. 여기서, 만약 선택된 중계 노드가 디코딩을 실패한다면, 두 번째 시간 슬롯동안 중계 노드는 어떤 신호도 전송하지 않는다. 반면에, NM이 선택 될 경우, 소스 노드는 중계 노드의 도움 없이 하나의 시간 슬롯동안 신호를 목적지 노드로 전송한다. CM의 경우, 목적지 노드에서는 총 두 시간 슬롯동안 목적지 노드에 수신된 신호들을 최대 비율 결합(maximal ratio combining, MRC)을 이용하여 결합한다. CM과 NM의 선택은, 각

방식이 달성 가능한 순시 용량 값을 비교하여 결정된다. 본 논문에서는 PRS 기법 적용을 위하여 소스 노드가 첫 번째 홉에 대한 모든 채널 정보를 완벽히 알고 있다고 가정한다.

소스 노드와 k 번째 중계 노드 간의 복소 채널 계수는 h_{sk} 이고, k 번째 중계 노드와 목적지 노드 간의 복소 채널 계수는 h_{kD} 이라 하자. 그리고, 소스 노드와 목적지 노드간의 직접적인 경로에서의 채널 계수는 h_{SD} 이라 하자. 여기서, $k=1, \dots, K$ 이고, 모든 채널은 독립적인 플랫(flat) 레일레이 페이딩 채널이라고 가정한다. 또한, w_{SR} , w_{RD} 그리고 w_{SD} 는 각각의 채널 전력인 $|h_{sk}|^2$, $|h_{kD}|^2$ 그리고 $|h_{SD}|^2$ 의 평균을 의미하고, 모든 k 에 대해 첫 번째 홉에 대한 평균 채널 전력은 w_{SR} 으로 동일하고, 두 번째 홉에 대한 평균 채널 전력은 w_{RD} 으로 동일하다고 가정한다. 본 논문에서, 모든 노드들의 송신 전력은 P 로 동일하고, 모든 수신 노드들의 잡음 전력 또한 동일하게 σ^2 로 가정한다. 이에 따라, 모든 노드들에 대한 평균 송신 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)는 $\rho = P/\sigma^2$ 로서 표현된다. 첫 번째 홉, 두 번째 홉 그리고 송신 노드와 목적지 노드간의 직접적인 경로에 대한 각각의 수신 SNR은 $\gamma_{sk} = \rho|h_{sk}|^2$, $\gamma_{kD} = \rho|h_{kD}|^2$ 그리고 $\gamma_{SD} = \rho|h_{SD}|^2$ 로 표현된다. 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 PRS 기법은 다음과 같이 첫 번째 홉(즉, 소스 노드와 중계 노드들간 링크들)에서 가장 큰 SNR을 제공하는 중계 노드를 선택한다.

$$k^* = \arg \max_{k=1, \dots, K} \{\gamma_{sk}\}. \quad (1)$$

따라서, CM에서 목적지 노드가 수신한 신호들의 MRC 결합된 신호의 SNR은 다음과 같이 표현된다.

$$\gamma_{CM} = \begin{cases} \gamma_{SD} + \gamma_{k^*D} & \text{디코딩 성공} \\ \gamma_{SD} & \text{디코딩 실패} \end{cases}. \quad (2)$$

반면에, NM에서 목적지 노드가 수신한 신호의 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{NM} = \gamma_{SD} = \rho|h_{SD}|^2. \quad (3)$$

랜덤 변수 γ 에 대한 확률밀도함수(probability density function)는 $f_\gamma(\cdot)$ 에 의해 표현되며, 이 때 γ_{sk} , γ_{kD} , γ_{SD} 에 대한 PDF는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$f_{\gamma_{sk}}(x) = \frac{1}{\rho w_{SR}} e^{-\frac{x}{\rho w_{SR}}}, \quad k=1, \dots, K, \quad (4)$$

$$f_{\gamma_{kD}}(x) = \frac{1}{\rho w_{RD}} e^{-\frac{x}{\rho w_{RD}}}, \quad k=1, \dots, K, \quad (5)$$

$$f_{\gamma_{SD}}(x) = \frac{1}{\rho w_{SD}} e^{-\frac{x}{\rho w_{SD}}}. \quad (6)$$

III. 아웃티지 확률 분석

식(2)과 식(3)으로부터, CM에 대한 용량은 $C_{CM} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{CM})$ 으로 얻어지고, NM에 대한 용량은 $C_{NM} = \log_2(1 + \gamma_{NM})$ 으로 얻어진다. 여기서, CM의 용량 식에서 1/2은 신호 정보를 목적지 노드까지 전송하기 위하여 총 두 시간 슬롯이 요구된다는 것을 의미한다. 본 논문에서 아웃티지 확률은 용량 값이 데이터율의 목표치 보다 작을 확률로 정의된다. 따라서, PRS 기법을 이용한 CM의 아웃티지 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} O_{CM}(R) &= \Pr\{C_{CM} < R\} \\ &= \Pr\{\gamma_{k^*D} + \gamma_{SD} < 2^{2R} - 1\}. \end{aligned} \quad (7)$$

또한, NM의 아웃티지 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$O_{NM}(R) = \Pr\{C_{NM} < R\} = \Pr\{\gamma_{SD} < 2^R - 1\}. \quad (8)$$

기회적 협력 방식에서, 매 전송 시점마다 CM과 NM 중 하나의 방식을 선택하게 된다.

만일 $\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{CM}) > \log_2(1 + \gamma_{NM})$ 을 만족하면 CM이 선택되고, 그렇지 않으면 NM이 선택된다. CM이 선택되었다는 가정 하에, 위의 선택기준 식은 $\gamma_{k^*D} > \gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2$ 로 다시 표현될 수 있다. 따라서, 디코

딩 후 전달 중계 시스템에서 PRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식의 아웃티지 확률은 다음과 같다. 식(9)의 두 번째 확률 부분은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 O_{OC}(R) &= \Pr\left\{\frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{k^*D}+\gamma_{SD}) < R, \right. \\
 &\quad \left. \gamma_{k^*D} > \gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2, \frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{S^*}) > R\right\} \\
 &+ \Pr\left\{\log_2(1+\gamma_{SD}) < R, \gamma_{k^*D} < \gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2, \right. \\
 &\quad \left. \frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{S^*}) > R\right\} \\
 &+ \Pr\left\{\log_2(1+\gamma_{SD}) < R, 0 < \gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2, \right. \\
 &\quad \left. \frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{S^*}) < R\right\} \\
 &= \Pr\left\{\gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2 < \gamma_{k^*D} < 2^{2R} - \gamma_{SD} - 1, \right. \\
 &\quad \left. \gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \Pr\left\{\gamma_{S^*} > 2^{2R} - 1\right\} \\
 &+ \Pr\left\{\gamma_{SD} < 2^R - 1, \gamma_{k^*D} < \gamma_{SD} + \gamma_{SD}^2\right\} \\
 &\quad \times \Pr\left\{\gamma_{S^*} > 2^{2R} - 1\right\} \\
 &+ \Pr\left\{\gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \Pr\left\{\gamma_{S^*} < 2^{2R} - 1\right\} \\
 &= \Pr\left\{\gamma_{k^*D} < 2^{2R} - \gamma_{SD} - 1, \gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \\
 &\quad \times \Pr\left\{\gamma_{S^*} > 2^{2R} - 1\right\} \\
 &+ \Pr\left\{\gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \Pr\left\{\gamma_{S^*} < 2^{2R} - 1\right\}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

식(9)의 첫 번째 확률 부분은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 &\Pr\left\{\gamma_{k^*D} < 2^{2R} - \gamma_{SD} - 1, \gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \\
 &\quad \times \Pr\left\{\gamma_{S^*} > 2^{2R} - 1\right\} \\
 &= \int_0^{2^R-1} \Pr\left\{\gamma_{k^*D} < 2^{2R} - t - 1 \mid \gamma_{SD} = t\right\} \\
 &\quad \times \Pr\left\{\gamma_{SD} = t\right\} dt \left[1 - \prod_{k=1}^K \Pr\left\{\gamma_{S_k} < 2^{2R} - 1\right\}\right] \\
 &= \int_0^{2^R-1} \int_0^{2^R-t-1} \frac{1}{\rho w_{RD}} e^{-\frac{x}{\rho w_{RD}}} \frac{1}{\rho w_{SD}} e^{-\frac{t}{\rho w_{SD}}} \\
 &\quad \times dx dt \left[1 - \left(\int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} e^{-\frac{x}{\rho w_{SR}}} dx\right)^K\right] \\
 &= \left[1 - \left(1 - e^{-\frac{1-2^R}{\rho w_{SR}}}\right)^K\right] \left[\frac{\rho w_{RD}}{\rho w_{SD} - \rho w_{RD}} e^{\frac{1-2^R}{\rho w_{RD}}}\right. \\
 &\quad \left. \times \left\{1 - e^{-\frac{(2^R-1)\left(\frac{1}{\rho w_{SD}} - \frac{1}{\rho w_{RD}}\right)}{1-2^R}}\right\} + 1 - e^{-\frac{1-2^R}{\rho w_{SD}}}\right]. \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\Pr\left\{\gamma_{SD} < 2^R - 1\right\} \Pr\left\{\gamma_{S^*} < 2^{2R} - 1\right\} \\
 &= \int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SD}} e^{-\frac{x}{\rho w_{SD}}} dx \\
 &\quad \times \left(\int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} e^{-\frac{x}{\rho w_{SR}}} dx\right)^K \\
 &= \left(1 - e^{-\frac{1-2^R}{\rho w_{SD}}}\right) \left(1 - e^{-\frac{1-2^R}{\rho w_{SR}}}\right)^K. \quad (11)
 \end{aligned}$$

결과적으로, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 PRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식의 정확한 아웃티지 확률은 식(10)과 식(11)의 합으로써 얻어진다.

IV. 점근적 아웃티지 성능 분석

높은 SNR에 대한 근사적인 $e^{-1/\rho} \approx 1 - 1/\rho$ 을 이용하여, 식 (10)은 다음과 같이 근사화 된다.

$$\begin{aligned}
 &\int_0^{2^R-1} \int_0^{2^R-t-1} \frac{1}{\rho w_{RD}} \left(1 - \frac{x}{\rho w_{RD}}\right) \\
 &\quad \times \frac{1}{\rho w_{SD}} \left(1 - \frac{t}{\rho w_{SD}}\right) dx dt \\
 &\quad \times \left[1 - \left(\int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} \left(1 - \frac{x}{\rho w_{SR}}\right) dx\right)^K\right] \\
 &\approx \rho \rightarrow \infty \int_0^{2^R-1} \int_0^{2^R-t-1} \frac{1}{\rho w_{RD} \rho w_{SD}} dx dt \\
 &\quad \times \left[1 - \left(\int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} dx\right)^K\right] \\
 &= \int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho^2 w_{RD} w_{SD}} (2^{2R} - t - 1) dt \\
 &\quad \times \left[1 - \left(\frac{2^{2R} - 1}{\rho w_{SR}}\right)^K\right] \\
 &\approx \rho \rightarrow \infty \frac{(2^R - 1)^2}{2\rho^2 w_{RD} w_{SD}} (2^{R+1} + 1). \quad (12)
 \end{aligned}$$

그리고, 식(11)은 다음과 같이 근사화 된다.

$$\begin{aligned}
 & \int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SD}} \left(1 - \frac{x}{\rho w_{SD}}\right) dx \left[\int_0^{2^{2R}-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} \right. \\
 & \quad \left. \times \left(1 - \frac{x}{\rho w_{SR}}\right) dx \right]^K \\
 & \approx \rho \rightarrow \infty \int_0^{2^R-1} \frac{1}{\rho w_{SD}} dx \left(\int_0^{2^{2R}-1} \frac{1}{\rho w_{SR}} dx \right)^K \\
 & = \frac{2^R-1}{\rho w_{SD}} \left(\frac{2^{2R}-1}{\rho w_{SR}} \right)^K. \tag{13}
 \end{aligned}$$

결과적으로, 식(12)과 식(13)을 더함으로써 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 PRS 기법을 이용한 기회적 협력 방식의 점근적 아웃티지 확률은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 O_{OC}^A(R) & \approx \rho \rightarrow \infty \frac{(2^R-1)^2}{2\rho^2 w_{RD} w_{SD}} (2^{R+1}+1) + \frac{2^R-1}{\rho w_{SD}} \\
 & \quad \times \left(\frac{2^{2R}-1}{\rho w_{SR}} \right)^K \\
 & \approx \rho \rightarrow \infty \frac{(2^R-1)^2}{2\rho^2 w_{RD} w_{SD}} (2^{R+1}+1). \tag{14}
 \end{aligned}$$

식(14)으로부터, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서의 PRS 기법 기반의 기회적 협력 방식의 다이버시티 이득이 2임을 알 수 있다.

V. 수치적 결과

수치적 결과에서, 표 1과 같은 상이한 세 가지 경우를 고려한다. 그림 2-4에서는 식(9)-식(11)과 식(14)로부터 얻은 결과와 시뮬레이션 결과가 일치함을 보여준다. 그림 2에서는 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 확률과 PRS 기법 기반 CM의 아웃티지 확률, BRS 기법 기반 CM의 아웃티지 확률을 비교한다. R=1 bps/Hz 일 때, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능이 BRS 기법 기반 CM의 아웃티지 성능보다 저조함을 보여준다.

그러나, R=5 bps/Hz일 때, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능이 BRS 기법 기반 CM의 아웃티지 성능보다 우수함을 보여준다.

표 1. 시뮬레이션 시나리오
Table. 1 Simulation scenarios

구 분	중계 노드 수	평균 채널 전력
Case 1	K=2	$w_{SR}=2,$ $w_{RD}=2,$ $w_{SD}=1$
Case 2	K=2, 4	$w_{SR}=2,$ $w_{RD}=2,$ $w_{SD}=1$
Case 3	K=2	$w_{SR}=1,$ $w_{RD}=1,$ $w_{SD}=1$ $w_{SR}=1,$ $w_{RD}=10,$ $w_{SD}=1$

이것은 R이 증가할수록 NM이 CM보다 큰 용량을 제공하는 빈도가 증가하기 때문이다. 이와 같은 이유로, R이 클수록 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식이 PRS 기법 기반 CM보다 우수한 성능을 보인다. 그림 2에서 점근적 아웃티지 성능 결과를 통하여 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식에 대한 다이버시티 이득이 2임을 확인할 수 있다.

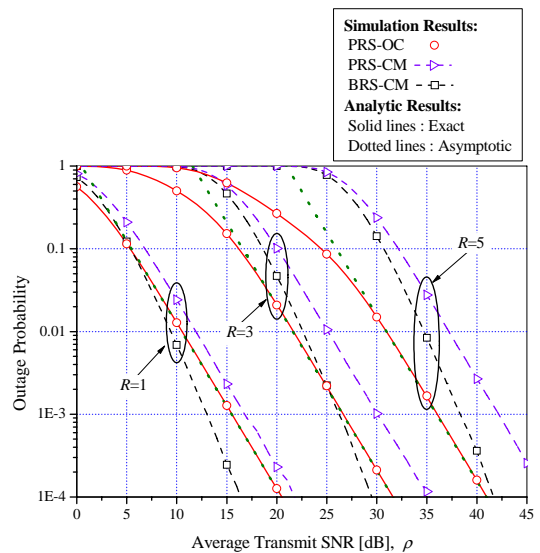


그림 2. Case 1에 대한 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 확률
Fig. 2 Outage probability of PRS based opportunistic cooperation for Case 1

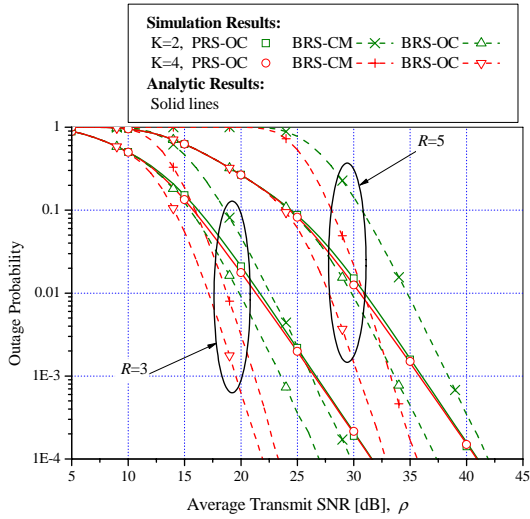


그림 3. Case 2에 대한 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 확률
Fig. 3 Outage probability of PRS based opportunistic cooperation for Case 2

그림 3과 4에서는 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식과 BRS 기법 기반 CM, 그리고 BRS 기법 기반 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 성능을 다양한 환경에서 비교한다.

그림 3에서는 중계 노드 수를 각각 다르게 가정하여 아웃티지 성능을 비교한다. 이때, K 가 증가함에 따라 BRS 기법 기반 CM과 BRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능은 향상되지만, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능은 거의 변하지 않는다. 이것은 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식이 K 의 증가에 따른 다이버시티 이득을 얻지 못하기 때문이다. 그러나, R 이 크고 K 가 작을 때, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식과 BRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능 차이가 감소함을 확인할 수 있다.

그림 4에서는 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력비를 상이하게 가정하여 아웃티지 성능을 비교한다. 첫 번째 홉의 평균 채널 전력이 두 번째 홉의 평균 채널 전력과 같을 경우($\omega_{RD}=1$)보다 첫 번째 홉의 평균 채널 전력이 두 번째 홉의 평균 채널 전력보다 작을 경우($\omega_{RD}=10$)에, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능이 BRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 아웃티지 성능에 근접한다.

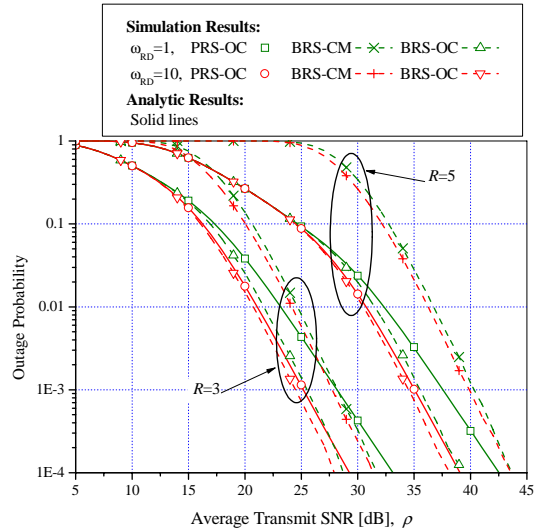


그림 4. Case 3에 대한 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 확률
Fig. 4 Outage probability of PRS based opportunistic cooperation for Case 3

그 이유는, 첫 번째 홉의 평균 채널 전력이 두 번째 홉의 것보다 작을 경우에 종단간 링크 성능이 첫 번째 홉의 링크 성능에 지배적이기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 PRS 기법을 이용하는 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 기회적 협력 방식에 대한 아웃티지 확률을 독립적이고 균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널 하에서 분석하였다. 특히, 정확한 아웃티지 확률 표현식과 점근적 아웃티지 확률 표현식을 유도하였다. 다양한 환경에서, PRS 기법 기반 CM과 BRS 기법 기반 CM, 그리고 PRS 기법 기반 CM의 아웃티지 성능 비교를 통해, PRS 기법 기반 기회적 협력 방식이 데이터율의 목표치가 클 때 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 수치적 결과를 통해, 중계 노드 수가 작고, 첫 번째 홉의 평균 채널 전력이 두 번째 홉보다 상대적으로 작을 때 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식이 BRS 기법 기반 기회적 협력 방식의 성능에 근접함을 확인하였다.

따라서, 낮은 복잡성을 요구하는 PRS 기법 기반 기회적 협력 방식은 데이터율의 목표치가 크고 중계 노드

수가 작고 첫 번째 홉의 평균 채널 전력이 두 번째 홉의 것보다 작을 때 실제적인 무선 통신 시스템에서 이용될 수 있다.

REFERENCES

- [1] J. N. Laneman and D. N. C. Tse, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [2] N. C. Beaulieu and J. Hu, "A closed-form expression for the outage probability of decode-and-forward relaying in dissimilar Rayleigh fading channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 10, no. 12, pp. 813-815, Dec. 2006.
- [3] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [4] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 9, pp. 3450 - 3460, Sep. 2007.
- [5] T. A. Tsiftsis, G. K. Karagiannidis, P. T. Mathiopoulos, and S. A. Kotsopoulos, "Nonregenerative dual-hop cooperative links with selection diversity," *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2006, no. 2, pp. 1-8, Apr. 2006.
- [6] D. Gunduz and E. Erkip, "Opportunistic cooperation by dynamic resource allocation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1446-1454, Apr. 2007.
- [7] I.-H. Lee and D. Kim, "Outage performance of opportunistic cooperation in amplify-and-forward relaying systems with relay selection," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 2, pp. 224-227, Feb. 2012.
- [8] I. Krikidis, J. Thompson, S. McLaughlin, and N. Goertz, "Amplify-and-forward with partial relay selection," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 235-237, Apr. 2008.



이상준(Sangjun Lee)

2013년 2월 : 국립한경대학교 전자공학과 학사
2013년 3월 ~ 현재 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 석사과정
※관심분야 : 이동통신, 무선 협력 통신 시스템, MIMO 전송 기술



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 전기전자제어공학과 조교수
※관심분야 : 무선 협력 통신 시스템, MIMO 전송 기술, 무선자원관리 기술