

듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 성능 연구

Outage Performance of Partial Relay Selection in Dual-Hop Decode-and-Forward Relaying Systems

이 인 호*

(In-Ho Lee)

요 약

듀얼 홉 중계 시스템에서 기존의 부분 중계 노드 선택 기법은 첫 번째 홉에 대한 채널 정보만을 이용하여 중계 노드를 선택한다. 반면에, 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법은 종단간 링크 품질과 두 홉 중 평균 채널 전력이 작은 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수가 다른 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수 보다 크음을 이용하여 각각의 중계 노드에 대한 종단간 링크에서 첫 번째 홉과 두 번째 홉 중 평균 채널 전력이 작은 홉에 대한 채널 정보를 이용하여 중계 노드를 선택한다. 본 논문에서는 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 기존의 부분 중계 노드 선택 기법 및 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률을 비균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널 하에서 분석한다. 또한, 수치적 결과를 통해 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법, 기존의 부분 중계 노드 선택 기법, 두 홉에 대한 모든 채널 정보를 이용하는 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 성능을 비교한다.

Abstract

In dual-hop relaying systems, the conventional partial relay selection is based on the channel information only for the first hop. On the other hand, the efficient partial relay selection is based on the channel information for the hop with the minimum of the average channel powers for the first and second hops at each end-to-end link since the correlation coefficient between the end-to-end link quality and the link quality of the hop with the minimum of the average channel powers for the first and second hops is larger than that between the end-to-end link quality and the link quality of the other hop. In this paper, the outage probability of the conventional partial relay selection and the efficient partial relay selection in dual-hop decode-and-forward relaying systems is analyzed for non-identically distributed Rayleigh fading channels. Through numerical investigation, the outage performance of the efficient partial relay selection is compared with the outage performances of the conventional partial relay selection and the best relay selection based on all the channel information for the first and second hops.

Key words : Decode-and-forward relaying, dual-hop relaying system, partial relay selection, outage probability, Rayleigh fading channel

† 본 연구는 환경대학교 2011년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.

* 주저자 및 교신저자 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 및 IT융합기술연구소 전임강사

† 논문접수일 : 2011년 3월 20일

† 논문심사일 : 2012년 6월 19일

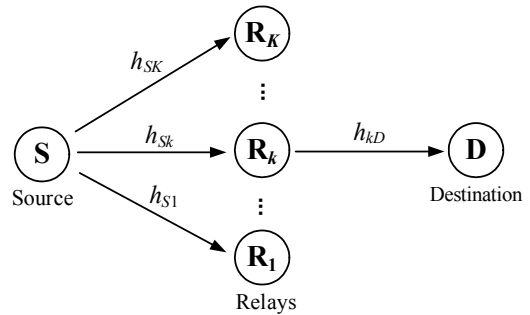
† 게재확정일 : 2012년 6월 20일

1. 서론

대표적인 듀얼 홉(dual hop) 중계 시스템으로 증폭 후 전달 중계 시스템과 디코딩(decoding) 후 전달 중계 시스템이 있다. 증폭 후 전달 중계 시스템에서는 중계 노드(node)가 소스(source) 노드로부터 수신한 신호를 단순히 증폭하여 목적지 노드로 전송한다. 반면에, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서는 중계 노드가 소스 노드로부터 수신한 신호를 디코딩한 후 그 신호를 다시 인코딩(encoding)하여 목적지 노드로 전송한다. 그러므로, 증폭 후 전달 중계 노드는 디코딩 후 전달 중계 노드보다 낮은 복잡성을 요구한다. 그러나, 증폭 후 전달 중계 시스템은 잡음을 증폭하여 전달하기 때문에, 디코딩 후 전달 중계 시스템보다 성능이 저조하다[1].

듀얼 홉 중계 네트워크에서 중계 노드 선택 기법은 다수의 중계 노드들 중 가장 좋은 종단간 링크(link) 품질을 제공하는 하나의 중계 노드를 선택하는 기법으로써 최대 다이버시티 이득을 제공한다[2]. 듀얼 홉 증폭 후 전달 중계 시스템과 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지(outage) 성능이 [3]에서 연구되었다. [2, 3]에서는 첫 번째 홉(hop)과 두 번째 홉에 대한 채널 정보를 모두 안다고 가정하여 가장 좋은 중계 노드를 선택한다. 반면에, [4]에서는 첫 번째 홉에 대한 채널 정보만을 안다고 가정하여 중계 노드를 선택하며, 이를 부분 중계 노드 선택 기법(partial relay selection)이라 한다. 부분 중계 노드 선택 기법은 중계 노드 선택시 부분적인 채널 정보만을 요구하기 때문에, 채널 피드백(feedback)을 위한 주파수 및 전력 자원을 감소시킬 수 있다. 따라서, 부분 중계 노드 선택 기법을 이용하여 지능형 교통 시스템 지원을 위한 차량간 무선 통신 네트워크 및 센서 네트워크에서 에너지 절약의 효과를 얻을 수 있다.

[5]에서는, 각 홉에 대한 채널들이 균일 분포를 갖는 나카가미 페이딩(Nakagami) 채널이라고 가정하여 증폭 후 전달 중계 시스템과 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법에 대한



〈그림 1〉 중계 노드 선택 기법을 이용하는 중계 시스템
(Fig. 1) A relaying system using relay selection

아웃티지 확률을 분석하였다. [6]에서는 각 홉에 대한 채널들이 균일 분포를 갖는 레일레이(Rayleigh) 페이딩 채널을 가정하여 증폭 후 전달 중계 시스템과 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 비트 오차율을 분석하였다. 그러나, 다수 중계 노드를 이용하는 실제적인 중계 시스템에서의 노드간 페이딩 채널의 분포는 균일하지 않을 것이다. 그러므로, [7, 8]에서는 비균일 분포를 갖는 페이딩 채널을 가정하여 증폭 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률과 에르고드(ergodic) 용량을 각각 분석하였다.

이용 가능한 채널 정보가 첫 번째 홉으로 국한된 부분 중계 노드 선택 기법의 성능을 개선하기 위하여 [9]에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법을 제안하였다. 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에서는 종단간 링크 품질과 두 홉 중 평균 채널 전력이 작은 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수가 다른 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수 보다 큼을 이용하여 각각의 중계 노드에 대한 종단간 링크에서 첫 번째 홉과 두 번째 홉 중 평균 채널 전력이 작은 홉에 대한 채널 정보를 이용하여 중계 노드를 선택한다. [9]에서는 비균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널을 가정하여 증폭 후 전달 중계 시스템에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률을 분석하였다.

디코딩 후 전달 중계 시스템에서 종단간 링크 품질은 두 홉 중 작은 채널 전력에 지배적이다[10]. 그

리고, 이것은 종단간 링크 품질과 두 홉 중 평균 채널 전력이 작은 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수가 다른 홉에 대한 링크 품질과의 상관 계수 보다 큼을 의미한다. 따라서, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법은 증폭 후 전달 중계 시스템에서와 동일하게 적용된다.

비균일 분포를 갖는 페이딩 채널을 가정하여 듀얼 홉 증폭 후 전달 중계 시스템에서 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 성능 분석은 활발히 수행되어 왔지만, 비균일 분포를 갖는 페이딩 채널에서 부분 중계 노드 선택 기법을 이용하는 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에 대한 성능 연구는 매우 미비하다. 따라서, 본 논문에서는 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 기존의 부분 중계 노드 선택 기법[4] 및 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법[9]에 대한 아웃티지 확률을 비균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널 하에서 분석한다. 또한, 수치적 결과를 통해 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 기존의 부분 중계 노드 선택 기법과 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 성능을 비교한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 <그림 1>과 같이 하나의 소스 노드, K 개의 중계 노드들, 하나의 목적지 노드로 구성된 중계 시스템을 고려한다. 여기서, K 개의 중계 노드들 중 선택된 오직 하나의 중계 노드만 소스 노드의 신호를 목적지 노드로 전송한다. 각 중계 노드는 반이중 모드로 동작하며, 디코딩 후 전달 중계 방식을 이용한다. 디코딩 후 전달 중계 방식에서, 중계 노드는 첫 번째 시간 슬롯(slot)동안 소스 노드로부터 신호를 수신하고, 그 수신신호의 디코딩이 성공한 경우에만 그 디코딩된 신호를 다시 인코딩하여 두 번째 시간 슬롯동안 목적지노드로 전달한다[11]. 중계 시스템에서 모든 노드들은 하나의 송수신 안테나를 가지며, 소스 노드와 목적지 노드와의 직접 링크는 고려하지 않는다.

소스 노드(S)와 k 번째 중계 노드(R_k)간의 복소채널 계수는 h_{s_k} 이고, k 번째 중계 노드(R_k)와 목적지

노드(D)간의 복소채널 계수는 h_{kD} 이다. 본 논문에서, 모든 채널들은 플랫(flat) 레일레이 페이딩 채널이며, 그 채널들은 독립적이고 비균일적인 분포를 따른다고 가정한다. 따라서, 채널 전력인 $|h_{s_k}|^2$ 와 $|h_{kD}|^2$ 는 독립적인 지수 분포를 따르는 확률 변수들이다. 여기서, $|h_{s_k}|^2$ 와 $|h_{kD}|^2$ 의 평균을 각각 β_{s_k} 와 β_{kD} 라 하자. β_{s_k} 와 β_{kD} 는 k 번째 중계 노드를 이용하는 종단간 링크(즉, 소스 노드, k 번째 중계 노드, 목적지 노드를 잇는 링크)에서 각각 첫 번째 홉(즉, 소스 노드와 k 번째 중계 노드와의 링크)과 두 번째 홉(즉, k 번째 중계 노드와 목적지 노드와의 링크)의 평균 채널 전력을 의미한다. 본 논문에서, 모든 송신 노드들의 송신 전력은 P 로 동일하고, 모든 수신 노드들의 잡음 전력은 σ^2 로 동일하다고 가정한다. 그러므로, 평균 송신 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)인 ρ 는 $\rho = P/\sigma^2$ 으로 표현된다. G_{s_k} 와 G_{kD} 를 첫 번째 홉과 두 번째 홉에 대한 각각의 수신 SNR이라고 정의하고, $G_{s_k} = \rho|h_{s_k}|^2$ 와 $G_{kD} = \rho|h_{kD}|^2$ 으로 표현한다.

기존의 부분 중계 노드 선택 기법[4]에서는 K 개의 중계 노드들에 대한 첫 번째 홉의 수신 SNR들을 비교하여 다음과 같이 가장 큰 수신 SNR을 제공하는 하나의 중계 노드를 선택한다.

$$k_p^* = \arg \max_{k=1,2,\dots,K} \{G_{s_k}\}. \quad (1)$$

반면에, 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법[9]에서는 각각의 종단간 링크에 대하여 두 홉 중 작은 평균 채널 전력을 갖는 홉의 수신 SNR을 모으고, 그 수신 SNR들 중 가장 큰 수신 SNR을 제공하는 하나의 중계 노드를 다음과 같이 선택한다.

$$k_e^* = \arg \max_{k=1,2,\dots,K} \{W_k\}. \quad (2)$$

여기서,

$$W_k = \begin{cases} G_{s_k} & \text{for } \beta_{s_k} < \beta_{kD} \\ G_{kD} & \text{for } \beta_{s_k} > \beta_{kD} \end{cases}. \quad (3)$$

III. 아웃티지 확률 분석

본 논문에서는 종단간 수신 SNR을 γ_δ 라고 정의하고, 아웃티지 확률을 $\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_\delta)$ [3]으로 표현되는 용량값이 데이터율의 목표치 보다 작을 확률로 정의한다. 여기서, $\delta \in \{k_p^*, k_e^*\}$ 이다. 따라서, 기존의 부분 중계 노드 선택 기법과 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 각각의 아웃티지 확률을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{out}(R) = \Pr\left\{\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_\delta) < R\right\} \\ = \Pr\{\gamma_\delta < 2^{2R} - 1\}. \quad (4)$$

여기서, R 은 데이터율의 목표치를 의미한다. 수식 표현의 편의를 위하여, $z = 2^{2R} - 1$ 이라고 정의하자. 본 논문에서는 디코딩 후 전달 중계 방식에서 중계 노드가 수신한 신호의 SNR(즉, 첫 번째 홉의 수신 SNR)이 z 보다 클 경우에 그 중계 노드에서 수신 신호의 디코딩이 성공했다고 한다[11]. 그리고, 그 경우에만 중계 노드는 수신신호를 다시 인코딩하여 목적지 노드로 전송한다. 즉, 디코딩을 실패할 경우에 중계 노드는 아무런 전송을 하지 않는다. 그러므로, 식(1)과 식(2)를 식(4)에 적용하여, 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{out}^{DF}(R) = \sum_{k=1}^K \Pr\{G_{kD} < z, G_{S_k} > z, W_k > W_1, \\ \dots, W_k > W_{k-1}, W_k > W_{k+1}, \dots, W_k > W_K\} \\ + \sum_{k=1}^K \Pr\{G_{S_k} < z, W_k > W_1, \dots, W_k > W_{k-1}, \\ W_k > W_{k+1}, \dots, W_k > W_K\}. \quad (5)$$

여기서, 첫 번째 확률 부분은 k 번째 중계 노드가 선택되었을 때 수신신호의 디코딩이 성공한 경우를 의미하고, 두 번째 확률 부분은 k 번째 중계 노드가

선택되었을 때 수신신호의 디코딩이 실패한 경우를 의미한다. 그리고, 식(5)에서 모든 k 에 대하여 W_k 를 G_{S_k} 으로 대체하면, 기존의 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률의 표현식을 얻을 수 있다.

중복 후 전달 중계 시스템의 경우, 중계 노드는 소스 노드로부터 수신한 신호를 중복 후 목적지 노드로 전송한다. 따라서, 종단간 수신 SNR은 다음과 같이 표현된다[1].

$$\gamma_{AF} = \frac{G_{S_k} G_{kD}}{G_{S_k} + G_{kD} + 1}. \quad (6)$$

식(6)을 식(4)에 대입하여, 중복 후 전달 중계 시스템에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률을 다음과 같이 표현할 수 있다[9].

$$P_{out}^{AF}(R) = \sum_{k=1}^K \Pr\left\{\frac{G_{S_k} G_{kD}}{G_{S_k} + G_{kD} + 1} < z, W_k > W_1, \\ \dots, W_k > W_{k-1}, W_k > W_{k+1}, \dots, W_k > W_K\right\}. \quad (7)$$

식(5)와 식(7)의 비교로부터, 본 논문에서 유도하는 디코딩 후 전달 중계 시스템에 대한 아웃티지 확률이 중복 후 전달 중계 시스템에 대한 아웃티지 확률과 상이함을 확인할 수 있다.

지금부터, 식(5)를 이용하여 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 아웃티지 확률을 유도한다. 레일레이 페이딩 채널에 대하여, G_{S_k} 와 G_{kD} 의 확률 밀도 함수는 각각 다음과 같다.

$$f_{G_{S_k}}(x) = \frac{1}{\rho\beta_{S_k}} e^{-x/(\rho\beta_{S_k})}, \quad (8)$$

$$f_{G_{kD}}(x) = \frac{1}{\rho\beta_{kD}} e^{-x/(\rho\beta_{kD})}. \quad (9)$$

W_k 의 평균을 $\rho\lambda_k$ 라 하자. 여기서, 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대하여, $\beta_{S_k} < \beta_{kD}$ 일 때 $\lambda_k = \beta_{S_k}$ 이고, $\beta_{S_k} > \beta_{kD}$ 일 때 $\lambda_k = \beta_{kD}$ 이다. 반면에, 기존의 부분 중계 노드 선택 기법에 대하여, 항

상 $\lambda_k = \beta_{S_k}$ 이다.

$W_k = G_{S_k}$ 일 때, 식(8)과 식(9)을 이용하여 식(5)의 첫 번째 확률 부분을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr\{G_{kD} < z\} \Pr\{G_{S_k} > z, G_{S_k} > W_1, \dots, G_{S_k} > W_{k-1}, \\ & G_{S_k} > W_{k+1}, \dots, G_{S_k} > W_K\} \\ &= (1 - e^{-z/(\rho\beta_{kD})}) \int_z^\infty \int_0^{x_k} \dots \int_0^{x_k} \frac{1}{\rho\beta_{S_k}} e^{-x_k/(\rho\beta_{S_k})} \\ & \times \prod_{\substack{i=1, \\ i \neq k}}^K \left(\frac{1}{\rho\lambda_i} e^{-x_i/(\rho\lambda_i)} \right) dx_1 \dots dx_{k-1} dx_{k+1} \dots dx_K dx_k \\ &= (1 - e^{-z/(\rho\beta_{kD})}) \left\{ e^{-z/(\rho\beta_{S_k})} + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{\substack{L_i \subseteq M_k, \\ |L_i|=i}} \left(\frac{1}{\rho\beta_{S_k}} \right. \right. \\ & \left. \left. + \sum_{j \in L_i} \frac{1}{\rho\lambda_j} \right)^{-1} \frac{(-1)^i}{\rho\beta_{S_k}} e^{-z(1/(\rho\beta_{S_k}) + \sum_{j \in L_i} 1/(\rho\lambda_j))} \right\}. \quad (10) \end{aligned}$$

여기서, $M_k = \{1, \dots, k-1, k+1, \dots, K\}$ 이고, L_i 는 집합 M_k 의 부분 집합이고, $|L_i|$ 은 집합 L_i 의 크기이다.

$W_k = G_{S_k}$ 일 때, 식(8)과 식(9)을 이용하여 식(5)의 두 번째 확률 부분을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr\{G_{S_k} < z, G_{S_k} > W_1, \dots, G_{S_k} > W_{k-1}, G_{S_k} > W_{k+1}, \\ & \dots, G_{S_k} > W_K\} \\ &= \int_0^z \int_0^{x_k} \dots \int_0^{x_k} \frac{1}{\rho\beta_{S_k}} e^{-x_k/(\rho\beta_{S_k})} \prod_{\substack{i=1, \\ i \neq k}}^K \left(\frac{1}{\rho\lambda_i} e^{-x_i/(\rho\lambda_i)} \right) \\ & \times dx_1 \dots dx_{k-1} dx_{k+1} \dots dx_K dx_k \\ &= 1 - e^{-z/(\rho\beta_{S_k})} + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{\substack{L_i \subseteq M_k, \\ |L_i|=i}} \left(\frac{1}{\rho\beta_{S_k}} + \sum_{j \in L_i} \frac{1}{\rho\lambda_j} \right)^{-1} \\ & \times \frac{(-1)^i}{\rho\beta_{S_k}} \left(1 - e^{-z(1/(\rho\beta_{S_k}) + \sum_{j \in L_i} 1/(\rho\lambda_j))} \right). \quad (11) \end{aligned}$$

$W_k = G_{kD}$ 일 때, 식(8)과 식(9)을 이용하여 식(5)의 첫 번째 확률 부분을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Pr\{G_{S_k} > z\} \Pr\{G_{kD} < z, G_{kD} > W_1, \dots, G_{kD} > W_{k-1}, G_{kD} > W_{k+1}, \dots, G_{kD} > W_K\}$$

$$\begin{aligned} &= (e^{-z/(\rho\beta_{kD})}) \int_0^z \int_0^{x_k} \dots \int_0^{x_k} \frac{1}{\rho\beta_{kD}} e^{-x_k/(\rho\beta_{kD})} \\ & \times \prod_{\substack{i=1, \\ i \neq k}}^K \left(\frac{1}{\rho\lambda_i} e^{-x_i/(\rho\lambda_i)} \right) dx_1 \dots dx_{k-1} dx_{k+1} \dots dx_K dx_k \\ &= (e^{-z/(\rho\beta_{kD})}) \left\{ 1 - e^{-z/(\rho\beta_{kD})} + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{\substack{L_i \subseteq M_k, \\ |L_i|=i}} \left(\frac{1}{\rho\beta_{kD}} \right. \right. \\ & \left. \left. + \sum_{j \in L_i} \frac{1}{\rho\lambda_j} \right)^{-1} \frac{(-1)^i}{\rho\beta_{kD}} \left(1 - e^{-z(1/(\rho\beta_{kD}) + \sum_{j \in L_i} 1/(\rho\lambda_j))} \right) \right\}. \quad (12) \end{aligned}$$

$W_k = G_{kD}$ 일 때, 식(8)과 식(9)을 이용하여 식(5)의 두 번째 확률 부분을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr\{G_{S_k} < z\} \Pr\{G_{kD} > W_1, \dots, G_{kD} > W_{k-1}, \\ & G_{kD} > W_{k+1}, \dots, G_{kD} > W_K\} \\ &= (1 - e^{-z/(\rho\beta_{S_k})}) \int_0^\infty \int_0^{x_k} \dots \int_0^{x_k} \frac{1}{\rho\beta_{kD}} e^{-x_k/(\rho\beta_{kD})} \\ & \times \prod_{\substack{i=1, \\ i \neq k}}^K \left(\frac{1}{\rho\lambda_i} e^{-x_i/(\rho\lambda_i)} \right) dx_1 \dots dx_{k-1} dx_{k+1} \dots dx_K dx_k \\ &= (1 - e^{-z/(\rho\beta_{S_k})}) \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{\substack{L_i \subseteq M_k, \\ |L_i|=i}} \left(\frac{1}{\rho\beta_{kD}} + \sum_{j \in L_i} \frac{1}{\rho\lambda_j} \right)^{-1} \right. \\ & \left. \times \frac{(-1)^i}{\rho\beta_{kD}} \right\}. \quad (13) \end{aligned}$$

끝으로, 각 경우(즉, $W_k = G_{S_k}$ 혹은 $W_k = G_{kD}$)에 따라 식(10)과 식(11) 혹은 식(12)과 식(13)을 식(5)에 대입하여 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 정확한 아웃티지 확률을 얻는다. 기존의 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 정확한 아웃티지 확률은 식(10)과 식(11)을 식(5)에 대입하여 얻는다.

IV. 수치적 결과

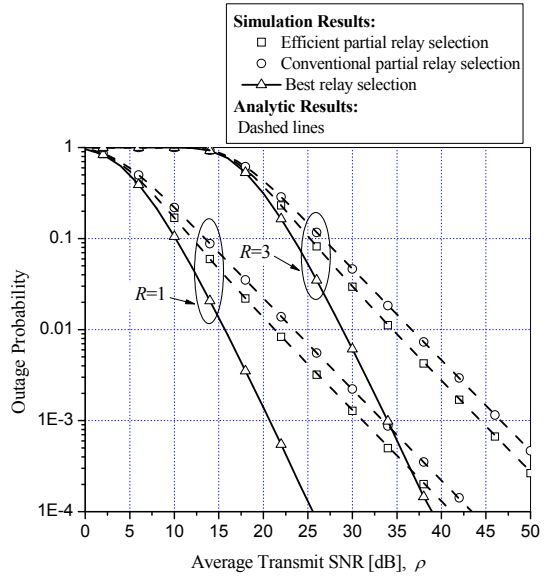
수치적 결과를 얻기 위해 <표 1>과 같이 네 가지 시뮬레이션 경우들을 고려한다. Case 1과 Case 2는 두 개의 중계 노드(즉, $K=2$)를 가정하고, Case 3과 Case 4는 네 개의 중계 노드(즉, $K=4$)를 가정한다.

〈표 1〉 시뮬레이션 사나리오
 (Table 1) Simulation scenarios

구 분	중계 노드 수 (K)	평균 채널 전력 ($\beta_{s_k}, \beta_{k,D}$)
Case 1	2	$\beta_{s1} = 2.2, \beta_{1,D} = 1.1,$ $\beta_{s2} = 1.2, \beta_{2,D} = 2.4$
Case 2	2	$\beta_{s1} = 11, \beta_{1,D} = 1.1,$ $\beta_{s2} = 1.2, \beta_{2,D} = 12$
Case 3	4	$\beta_{s1} = 2.2, \beta_{1,D} = 1.1,$ $\beta_{s2} = 2.4, \beta_{2,D} = 1.2,$ $\beta_{s3} = 1.3, \beta_{3,D} = 2.6,$ $\beta_{s4} = 1.4, \beta_{4,D} = 2.8$
Case 4	4	$\beta_{s1} = 11, \beta_{1,D} = 1.1,$ $\beta_{s2} = 12, \beta_{2,D} = 1.2,$ $\beta_{s3} = 1.3, \beta_{3,D} = 13,$ $\beta_{s4} = 1.4, \beta_{4,D} = 14$

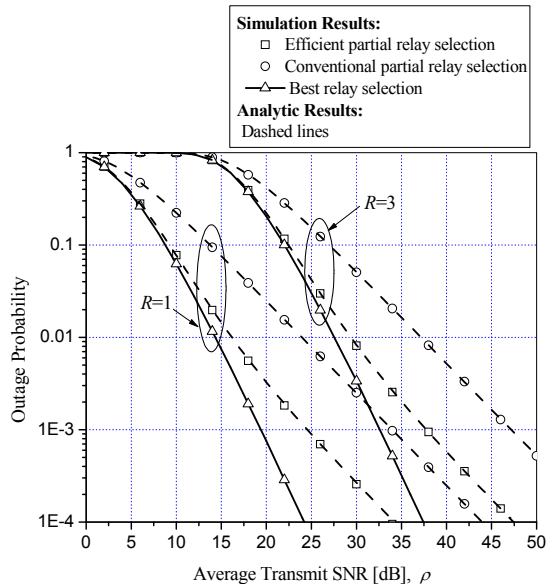
Case 1과 Case 2에서, 첫 번째 중계 노드는 목적지 노드 보다 소스 노드에 더 근접해 있고, 두 번째 중계 노드는 소스 노드 보다 목적지 노드에 더 근접해 있음을 가정하여 평균 채널 전력값을 설정하였다. Case 1에 대한 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비(즉, $|10\log_{10}(\beta_{k,D}/\beta_{s_k})|$)는 3 dB이고, Case 2에 대한 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비는 10 dB이다. Case 3과 Case 4에서는 첫 번째와 두 번째 중계 노드들은 목적지 노드 보다 소스 노드에 더 근접해 있고, 세 번째와 네 번째 중계 노드들은 소스 노드 보다 목적지 노드에 더 근접해 있음을 가정하여 평균 채널 전력값을 설정하였다. Case 1과 Case 2에서 처럼, Case 3에 대한 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비(즉, $|10\log_{10}(\beta_{k,D}/\beta_{s_k})|$)는 3 dB이고, Case 4에 대한 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비는 10 dB이다.

〈그림 2~5〉는 Case1~Case4에 대한 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법과 기존의 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 확률을 각각 보여준다. 그림에서 “Best relay selection”의 시뮬레이션 결과는 첫 번째 홉과 두 번째 홉에 대한 채널 정보를 모두 알고 있다고 가정하여 다음과 같이 중계 노드를 선택하여 얻어진다.



〈그림 2〉 Case 1에 대한 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법과 기존의 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 확률

〈Fig. 2〉 Outage probability of efficient partial relay selection and conventional partial relay selection for Case 1



〈그림 3〉 Case 2에 대한 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법과 기존의 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 확률

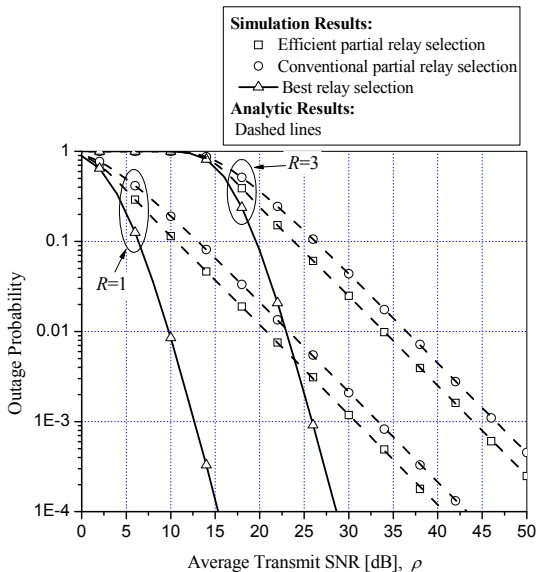
〈Fig. 3〉 Outage probability of efficient partial relay selection and conventional partial relay selection for Case 2

$$k_b^* = \arg \max_{k=1,2,\dots,K} \{U_k\} \quad (12)$$

여기서,

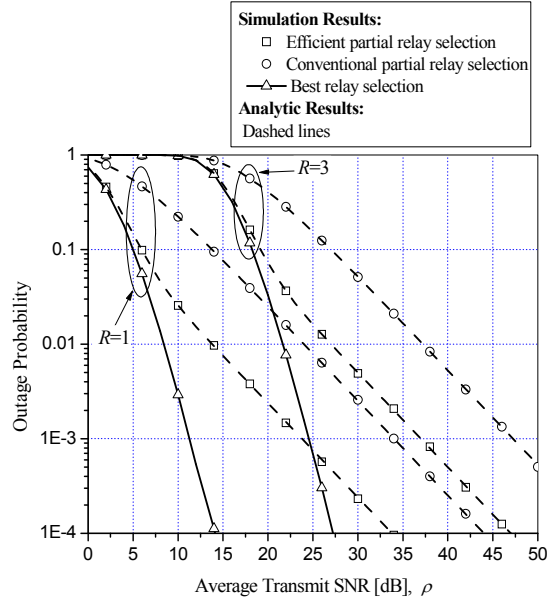
$$U_k = \begin{cases} G_{kD} & \text{for } G_{Sk} > 2^{2R} - 1 \\ 0 & \text{for } G_{Sk} < 2^{2R} - 1 \end{cases} \quad (13)$$

<그림 2~5>에서는 3절에서 유도한 아웃티지 확률식들로부터 얻은 수치적 결과(dashed lines)와 시뮬레이션 결과(□,○)가 완벽하게 일치함을 보여준다. 또한, 효율적인 중계 노드 선택 기법이 기존의 중계 노드 선택 기법 보다 좋은 아웃티지 성능을 제공함을 확인할 수 있다. 특히, 효율적인 중계 노드 선택 기법에 대한 성능 개선 정도는 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비가 클수록 증가하고, 데이터율의 목표치(R)의 영향을 받지 않는다. 여기서, 만약에 모든 중계 노드들이 목적지 노드에 근접해 있다고(즉, $\beta_{Sk} < \beta_{kD}$) 가정하면, 효율적인 중계 노드 선택 기법은 기존의 중계 노드 선택 기법과 동일하게 동작한다.



<그림 4> Case 3에 대한 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법과 기존의 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 확률

<Fig. 4> Outage probability of efficient partial relay selection and conventional partial relay selection for Case 3



<그림 5> Case 4에 대한 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법과 기존의 부분 중계 노드 선택 기법의 아웃티지 확률

<Fig. 5> Outage probability of efficient partial relay selection and conventional partial relay selection for Case 4

효율적인 중계 노드 선택 기법과 best relay selection 기법의 결과를 비교해 보면, 중계 노드 수가 작고 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비가 클 때 두 중계 노드 선택 기법들의 아웃티지 성능이 낮은 SNR 영역에서 뿐만 아니라 중간의 SNR 영역에서도 유사함을 확인할 수 있다. 여기서, 부분적인 채널 정보를 이용하는 효율적인 중계 노드 선택 기법이 전체 채널 정보를 이용하는 best relay selection 기법과 유사한 성능을 제공한다는 점이 주목할 만하다.

V. 결 론

본 논문에서는 듀얼 홉 디코딩 후 전달 중계 시스템에서 기존의 부분 중계 노드 선택 기법과 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법에 대한 각각의 아웃티지 확률을 비균일 분포를 갖는 레일레이 페이딩 채널 하에서 분석하였다. 수치적 결과를 통해,

효율적인 부분 중계 노드 선택 기법이 기존의 부분 중계 노드 선택 기법 보다 우수한 성능을 제공함을 확인하였다. 특히, 중계 노드들이 소스 노드에 근접해 있고 첫 번째 홉과 두 번째 홉의 평균 채널 전력 비가 클 때, 효율적인 부분 중계 노드 선택 기법의 성능 개선이 매우 크다. 또한, 중계 노드 수가 작고 평균 채널 전력 비가 클 때, 효율적인 중계 노드 선택 기법은 모든 채널 정보를 이용하는 중계 노드 선택 기법과 유사한 아웃티지 성능을 중간 SNR 영역에서도 제공한다.

참 고 문 헌

- [1] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 2, no. 6, pp.1126-1131, Nov. 2003.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] C. Zhong, K.-K. Wong, S. Jin, M.-S. Alouini, and T. Ratnarajah, "Asymptotic analysis for Nakagami-m fading channels with relay selection," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC)*, Kyoto, Japan, June 2011.
- [6] L.M.R. Somaweera, "Performance analysis of partial relay selection networks with multiple-antenna destinations," in *Proc. of Int. Conf. on Information and Automation for Sustainability*, pp.103-107, Dec. 2010.
- [7] S.-I. Kim, Y.-C. Ko, and J. Heo, "Outage analysis of amplify-and-forward partial relay selection scheme with multiple interferers," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 12, pp.1281-1283, Dec. 2011.
- [8] H. Chen, J. Liu, Z. Dong, Y. Zhou, and W. Guo, "Exact capacity analysis of partial relay selection under outdated CSI over Rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 60, no. 8, pp.4014-4018, Oct. 2011.
- [9] I.-H. Lee, "Efficient partial relay selection in amplify-and-forward relaying systems," submitted to *IEEE Commun. Lett.*, Feb. 2012.
- [10] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "Outage probability of multihop transmission over Nakagami fading channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 5, pp.216-218, May 2003.
- [11] 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.

저자소개



이 인 호 (Lee, In-Ho)

2011년 3월 ~ 현재 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과 전임강사
 2010년 4월 ~ 2011년 3월 : 한양대학교 ERICA 부설연구소 공학기술연구소 박사후과정
 2008년 9월 ~ 2010년 4월 : 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
 2005년 3월 ~ 2008년 8월 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사 졸업
 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사 졸업
 1996년 3월 ~ 2003년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사 졸업