

데이터 교환 노드의 동시 전송 릴레이 이용을 위한 평균 데이터 전송률 분석

권태훈*

Average Data Rate Analysis for Data Exchanging Nodes via Relay by Concurrent Transmission

Taehoon Kwon*

요약 최근 5G에 기술에서는 신호 감쇄와 신호 도달 거리 확장을 위해 사용될 수 있는 릴레이(Relay)를 통한 통신 기술이 주목 받고 있다. 릴레이는 소형 기지국으로 사용이 가능하며, 셀룰러 망으로 지원하기 어려운 환경하에서 통신 기기가 협력하여 통신하는 자율 네트워크 기법에 사용이 가능하기 때문에, 저전력화와 무선 용량 증대에 활용이 가능할 것으로 기대되고 있다. 한정된 릴레이 자원을 활용하여 최적의 성능을 달성하기 위해서는 효과적인 릴레이 선택 기법이 필요하다. 특히, 두 개의 노드가 릴레이를 통해 메시지를 교환하는 경우, 릴레이 선택 방법에 따라서, 릴레이의 공간적 위치를 활용하여 간섭을 줄이고, 시스템 전송률을 최대화 할 수 있다. 이를 위해서는 릴레이 선택에 따른 평균 데이터 전송률에 대한 분석이 선행되어야 한다. 본 논문은 두 노드가 릴레이를 이용하여 동시 전송을 통해 메시지를 교환할 경우, 평균 데이터 전송률을 분석한다. 이를 위해 Nakagami-m 페이딩 채널 환경하에서 복호 후 전송(Decode and Forward) 방식으로 동작하는 이중홉(dual-hop) 릴레이의 동시 전송으로 인한 간섭을 고려하여 전체 데이터 전송률을 유도한다. 분석식은 $m=1$ 인 Rayleigh 페이딩 채널을 포함하여 다양한 Nakagami-m 페이딩 채널에 대한 전체 데이터 전송률을 보여준다. 유도된 분석은 몬테카를로 모의실험을 통해 정확성을 입증하였으며, 요구되는 데이터 전송률이 높을수록, 자원 효율적인 동시 전송 방식이 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract Relay systems have recently gained attentions because of its capability of cell coverage extension and the power gain as the one of key technologies for 5G. Relays can be exploited for small-cell base stations and the autonomous network, where communication devices communicate with each other cooperatively. Therefore, the relay technology is expected to enable the low power and large capacity communication. In order to maximize the benefits of using a limited number of relays, the efficient relay selection method is required. Especially, when two nodes exchange their data with each other via relay, the relay selection can maximize the average data rate by the spatial location of the relay. For this purpose, the average data rate is analyzed first according to the relay selection. In this paper, we analyzed the average data rate when two nodes exchange their data via dual-hop decode and forward relaying considering the interference by the concurrent transmission under Nakagami-m fading channel. The correctness of the analysis is verified by the Monte Carlo simulation. The results show that the concurrent transmission is superior to the non-concurrent transmission in the high required data rate region rather than in the low required data rate region.

Key Words : Data exchanging, Decode and forward, Nakagami-m fading, Relay, Resource efficiency

This paper was supported by Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) in 2018.

*Data Analysis Platform Center, Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) (kth78@kisti.re.kr)

Received November 07, 2018

Revised November 14, 2018

Accepted November 16, 2018

1. 서론

최근 5G 차세대 무선 통신의 부상과 함께, 이를 위한 핵심기술들에 대한 관심도 증가하고 있다. 릴레이 기술은 이런 핵심 기술 중 하나로, 기지국과 멀리 떨어진 단말사이에 설치하여 신호를 중계함으로써, 데이터 전송률 향상과 음영 지역 해소 효과를 얻을 수 있다 [1, 2]. 예로 기지국과 직접 통신이 어려운 음영지역에 릴레이를 설치함으로써, 음영지역의 단말이 릴레이를 통해 서비스를 받을 수 있게 할 수 있으며, 셀 가장자리에 릴레이를 설치함으로써, 신호 품질이 낮은 단말의 신호 품질 향상에 기여할 수 있다 [2].

릴레이 기술은 릴레이의 송수신을 위한 추가적인 통신자원이 필요하기 때문에 자원효율성이 낮아지는 단점이 존재하기 때문에, 이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

예로, 릴레이의 송수신을 동시에 진행하는 전이중 반송(full duplex) 방식에 대한 연구가 진행되었다. 하지만, 전이중 방식의 경우 자원효율성은 향상되지만, 릴레이에서 동시에 송수신을 진행하기 때문에 자기간섭(self interference)이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해, 릴레이의 송수신 안테나에 지향성 안테나를 사용하거나, 분산형태(distributed type)로 아예 안테나 설치위치를 다르게 하거나, 간섭제거기법(interference cancellation)을 적용하는 방법들이 제안되고 있다 [3].

전이중 반송 방식의 릴레이의 경우는 단일 릴레이가 사용될 경우에도 근본적으로 자원 효율성을 향상시키려는 방법이다. 하지만, 실제 환경에서는 릴레이가 하나만 사용되는 경우는 드물고, 다중의 릴레이와 송·수신단이 존재하는 환경이 대부분이다. 따라서, 실제환경에서는 다수의 릴레이 중 최적의 릴레이를 잘 선택하여 이용할 경우, 전이중 반송 방식에서 요구되는 특별한 자기간섭 해결 기법 없이도 자원효율성 감소 없이 릴레이를 활용가능하다 [4].

릴레이 선택기법은 크게 하나의 송신단을 위해 다수의 릴레이를 선택하여 동시에 전송에 참여시킴으로써, 릴레이 선택 다중성(selection diversity)과 함께, 다수의 릴레이의 협조 다중성 효과(cooperative diversity)

를 동시에 추가하는 방식과, 하나의 송신단을 위해 단일 릴레이만 선택하여 선택 다중성만 추구하는 방식이 존재한다. 전자의 경우 성능면에서 좀 더 이득이 있을 수 있으나, 구현의 용이성과 구현 복잡도면에서는 단일 릴레이 선택이 유리하다 [5].

두 개의 노드가 각각 단일 릴레이를 통해 데이터를 교환하는 경우, 네트워크 코딩을 사용하면 자원을 효율적으로 사용할 수 있다 [6, 7, 8].

네트워크 코딩을 사용하지 않더라도, 공간적으로 서로 다른 위치에 존재하는 릴레이를 잘 선택하여 동시 전송에 참여시키면, 간섭의 영향을 줄이면서도 릴레이를 효율적으로 이용할 수 있다.

동시전송시 릴레이를 효율적으로 선택하기 위해서는 릴레이 선택의 기준에 대한 정의가 잘 이루어져야 한다. 일반적인 릴레이 상황에서는 오수신 확률(outage probability), 시스템 용량(system capacity) 등을 기준으로 활용하는 여러 가지 기법에 대해서 연구가 진행되어 왔지만, 두 개의 노드가 데이터를 교환하는 특수한 경우에 대해서는 기존과 다른 시스템 구조와 동시전송에 대한 간섭을 고려한 선택의 기준에 대한 연구가 필요하다.

Nakagami-m 페이딩 채널 모델은 무선통신 페이딩 채널을 나타내는 일반적인 확률 분포 모델로, Rayleigh 페이딩 모델을 포함하여 다양한 채널 환경을 모델링할 수 있을 정도로 자유도가 높은 모델이다 [9, 10, 11].

본 논문에서는 Nakagami-m 페이딩 채널 모델하에서 두 개의 노드가 릴레이를 이용하여 메시지를 교환하는 경우의 전체 평균 데이터 전송률을 분석한다. 이를 위해 복호후 전송 (Decode and Forward, DF) 방식으로 동작하는 이중홉 릴레이 (dual-hop relay)의 동시 전송으로 인한 간섭을 고려하여 전체 평균 데이터 전송률을 유도한다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 고려하는 릴레이를 이용한 데이터 교환 노드 시스템은 그림 1과 같다.

N 개의 노드중 i 번째 노드를 N_i 로 표시한다. 데이터

를 교환하려는 노드를 각각 N_1, N_N 로 표현한다. 이때 1, N을 제외한 나머지 N-2 노드들은 릴레이 후보군으로 작동하게 된다 ($N_i, i = 2, \dots, N-1$). 각 노드들이 사용하는 송신파워는 P 로 정의한다. 노드 i 와 노드 j 와의 채널은 $h_{i,j}$ 로 표시하며, Nakagami-m 페이딩 채널을 가정한다.

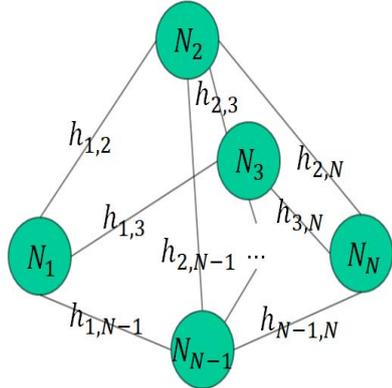


그림 1. 릴레이를 이용하여 데이터를 교환하는 두 개의 노드 시스템
Fig. 1. The system model of data exchanging two nodes via relays

3. 동시 전송 릴레이 기법

3.1 데이터 교환 동시 전송 기법

본 논문은 다수의 노드 중에서 두 개의 노드가 데이터를 교환할 경우 각각의 송신 노드가 다른 노드들 중 하나를 릴레이로 선택하여 전송하는 경우를 가정한다. 일반적인 경우는 간섭문제로 인해 한 노드의 전송이 완료된 경우 다른 노드가 전송을 하게 된다. 본 논문에서는 자원효율성을 높이기 위해 그림 2과 같이 두 노드가 동시 전송을 하는 것을 가정한다.

기존의 방식이 1번째 단계에서 N_1 이 릴레이로 동작하는 N_i 에게 데이터를 전송하고, 2번째 단계에서는 N_i 는 N_N 에게 데이터를 전송한 이후 반대로 3번째 단계에서는 N_N 이 릴레이로 동작하는 N_j 에게 데이터를 전송하고, 4번째 단계에서 N_j 가 N_1 로 데이터를

전송해서 데이터를 교환했다면, 가정하는 방식은 1번째 단계에서 N_1 이 릴레이로 동작하는 N_i 에게 데이터를 전송하고, 동시에 N_N 이 릴레이로 동작하는 N_j 로 데이터를 전송한다. 이후, 2번째 단계에서는 N_i 이 N_N 에게 데이터를 전송하고, 동시에 N_j 이 N_1 로 데이터를 전송하여 데이터 교환을 완료한다. 위 설명으로 알 수 있듯이 기존의 방식의 경우 데이터 교환에 4단계가 필요한 반면, 가정된 방법은 2단계만 필요하다. 따라서, 기존의 방식에서 2단계에 해당되는 시간 자원을 효율적으로 활용할 수 있다. 반면, 전이중 반송 방식과 유사하게 간섭으로 인한 성능 열화가 발생하기 때문에, 효율적인 릴레이 활용을 위해서는 자원 효율적인 측면과 간섭으로 인한 성능 열화 측면이 동시에 고려되어야 한다.

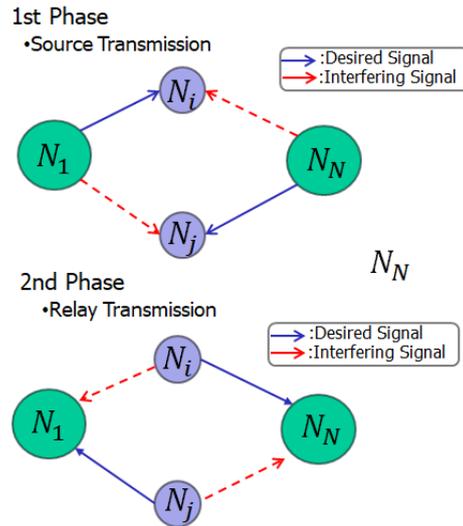


그림 2. 릴레이를 이용하는 두 개의 노드의 데이터 교환시 동시 전송 방법

Fig. 2. The concurrent transmission method for data exchanging two nodes via relays

제안된 방법을 사용할 경우 노드 N_i 와 N_j 의 신호 대 간섭 잡음비(signal to interference and noise ratio, SINR)는 다음과 같이 표기된다.

$$\Theta_i = \frac{|h_{1,i}|^2 P}{|h_{N,i}|^2 P + \sigma^2} = \frac{\theta_{1,i}}{\theta_{N,i} + 1} \quad (1)$$

$$\Theta_j = \frac{|h_{N,j}|^2 P}{|h_{1,j}|^2 P + \sigma^2} = \frac{\theta_{N,j}}{\theta_{1,j} + 1}. \quad (2)$$

여기서 σ^2 은 잡음의 파워를 나타내며, $\theta_{i,j}$ 는 노드 i에서 노드 j사이의 신호대 간섭 잡음비(signal to noise ratio, SNR)을 의미한다.

마찬가지로, 노드 N_1 와 N_N 의 SINR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Theta_1 = \frac{|h_{j,1}|^2 P}{|h_{i,1}|^2 P + \sigma^2} = \frac{\theta_{j,1}}{\theta_{i,1} + 1}. \quad (3)$$

$$\Theta_N = \frac{|h_{i,N}|^2 P}{|h_{j,N}|^2 P + \sigma^2} = \frac{\theta_{i,N}}{\theta_{j,N} + 1}. \quad (4)$$

이 때, Nakagami-m 페이딩 채널을 가정하였으므로, SNR $\gamma_{i,j}$ 역시 각각 다음과 같은 Nakagami-m 페이딩의 확률밀도함수(probability density function, PDF)를 가지게 된다 [9].

$$P_{\theta_{i,j}}(x) = \frac{m^m x^{m-1}}{(\theta_{i,j})^m \Gamma(m)} e^{-\frac{mx}{\theta_{i,j}}}. \quad (5)$$

여기서 $\Gamma(m)$ 은 감마 함수를 의미한다.

3.2 제안된 릴레이 선택 기법

제안된 동시 전송 방식을 사용할 경우 자원 효율 측면에서는 이득이 되지만, 기존에는 없던 동시 전송으로 인한 간섭이 발생하게 된다. 따라서, 효율적인 릴레이 전송 기법을 위해서는 간섭을 영향을 고려한 전체 시스템 성능 분석이 선행되어야 한다. 이를 위해서, 본 논문에서는 데이터가 성공적으로 전달될 확률을 고려하여, 실제 평균 데이터 전송률을 구하고, 이를 최대화하기 위한 릴레이 선택기법을 가정한다.

먼저, 데이터 전송률 R을 만족시키기 위해서 요구되는 신호 대 간섭 잡음비 값은 다음과 같이 정의가 가능하다 [3, 12].

$$\Theta_T = 2^R - 1. \quad (7)$$

따라서, 노드 i에서 데이터 전송 성공률은 채널을 겪은 수신 신호 대 간섭 잡음비 값이 요구 신호 대 간섭 잡음비 값 이상을 만족시키면 되며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pr(\Theta_i \geq \Theta_T) = \int_0^\infty \Pr(\theta_{1,i} \geq \Theta_T(\theta_{N,i} + 1) | \theta_{N,i}) P_{\theta_{N,i}}(\theta_{N,i}) d\theta_{N,i} \quad (8)$$

위 함수는 닫힌 형태(closed form)로 정리하기가 어렵다. 하지만, Nakagami-m 페이딩 채널의 m이 정수일 경우에는 다음과 같이 닫힌 형태로 유도가 가능하다. m이 정수일 경우 [10]의 식(4)을 이용하면 다음이 쉽게 유도된다.

$$\Pr(\theta_{1,i} \geq \Theta_T(\theta_{N,i} + 1) | \theta_{N,i}) = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{m\Theta_T(\theta_{N,i} + 1)}{\theta_{1,i}} \right)^k e^{-\frac{m\Theta_T(\theta_{N,i} + 1)}{\theta_{1,i}}} \quad (9)$$

(9)를 (8)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(\Theta_i \geq \Theta_T) &= \int_0^\infty \frac{m^m (\theta_{N,i})^{m-1}}{(\theta_{N,i})^m \Gamma(m)} e^{-\frac{m\theta_{N,i}}{\theta_{N,i}}} \\ &\cdot \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{m\Theta_T(\theta_{N,i} + 1)}{\theta_{1,i}} \right)^k e^{-\frac{m\Theta_T(\theta_{N,i} + 1)}{\theta_{1,i}}} d\theta_{N,i} \\ &= \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}} \right)^k \frac{m^m}{\Gamma(m)(\theta_{N,i})^m} A_m d\theta_{N,i}, \\ A_m &= \int_0^\infty (\theta_{N,i} + 1)^k (\theta_{N,i})^{m-1} \\ &\cdot e^{-\frac{m\Theta_T(\theta_{N,i} + 1)}{\theta_{1,i}} - \frac{m\theta_{N,i}}{\theta_{N,i}}} d\theta_{N,i}. \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, 이항정리 $(\theta_{N,i} + 1)^k = \sum_{t=0}^k \binom{k}{t} (\theta_{N,i})^t$ 을 이용하면 A_m 은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$A_m = e^{-\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}}} \int_0^\infty \sum_{t=0}^k \binom{k}{t} (\theta_{N,i})^{t+m-1} \cdot e^{-m\left(\frac{\Theta_T}{\theta_{1,i}} + \frac{1}{\theta_{N,i}}\right)\theta_{N,i}} d\theta_{N,i}. \quad (11)$$

B_m 을 다음과 같이 정의하면, [13]의 지수함수의 적분 해법을 이용하여 다음과 정리가 가능하다.

$$\begin{aligned} B_m &= \int_0^\infty (\theta_{N,i})^{t+m-1} e^{-m\left(\frac{\Theta_T}{\theta_{1,i}} + \frac{1}{\theta_{N,i}}\right)\theta_{N,i}} d\theta_{N,i} \\ &= \frac{\Gamma(t+m)}{\left(m\left(\frac{\Theta_T}{\theta_{1,i}} + \frac{1}{\theta_{N,i}}\right)\right)^{t+m}}. \end{aligned} \quad (12)$$

따라서, 최종적으로 (10)은 다음과 같이 닫힌형태

로 정리가능하다.

$$\Pr(\Theta_i \geq \Theta_T) = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}} \right)^k \frac{m^m}{\Gamma(m)(\theta_{N,i})^m} \cdot e^{-\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}}} \sum_{t=0}^k \binom{k}{t} \frac{\Gamma(t+m)}{\left(m \left(\frac{\Theta_T}{\theta_{1,i}} + \frac{1}{\theta_{N,i}} \right) \right)^{t+m}}. \quad (13)$$

여기서, 정수 m에 대해서 감마함수는 다음과 같이 정리된다 [9].

$$\Gamma(m) = (m-1)! \quad (14)$$

(14)를 이용하여 (13)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\Pr(\Theta_i \geq \Theta_T) = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}} \right)^k \frac{1}{(m-1)!(\theta_{N,i})^m} \cdot e^{-\frac{m\Theta_T}{\theta_{1,i}}} \sum_{t=0}^k \binom{k}{t} \frac{(t+m-1)!}{m^t \left(\frac{\Theta_T}{\theta_{1,i}} + \frac{1}{\theta_{N,i}} \right)^{t+m}}. \quad (15)$$

m=1인 특수한 경우에 대해서 Nakagami-m 페이딩 채널은 Rayleigh 페이딩 채널과 같아지므로, 이 경우 (15)는 Rayleigh 페이딩 채널에서의 데이터 전송 성공률로 간단하게 표현할 수 있다. 참고로, Rayleigh 페이딩 채널하에서의 데이터 전송 성공률은 [3, 12]의 오수신 확률에서도 쉽게 유도할 수 있다.

노드 i에서 평균 데이터 전송률은 데이터 전송률에 실제 해당 데이터가 성공적으로 전송될 확률을 곱으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{R}_i = R \cdot \Pr(\Theta_i \geq \Theta_T). \quad (16)$$

노드 j, 1, N에서의 평균데이터 전송률도 동일한 방법으로 유도할 수 있다.

복호 후 전송(decode and forward, DF) 릴레이에서는 전송에서는 송신단에서 릴레이, 수신단에서 릴레이의 최소 데이터 전송률로 전체 전송률이 결정되므로 [14], 전체 시스템의 평균 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$\bar{R}_T(i, j) = \text{Min}(\bar{R}_i, \bar{R}_N) + \text{Min}(\bar{R}_j, \bar{R}_1). \quad (17)$$

따라서, 다음을 만족시키는 릴레이 쌍을 찾아내면

전체 시스템의 평균 데이터 전송률을 최대화할 수 있다.

$$(i, j)^* = \text{Max}_{(i, j)} \bar{R}_T(i, j). \quad (18)$$

4. 모의 실험

분석 결과의 정확도를 검증하기 위해 몬테카를로 실험 결과와 분석 결과를 비교하였다. 목표 전송률은 1 bps/Hz를 가정하였다.

그림 3에서는 신호 대 잡음비에 대해서 실험 결과와 분석 결과를 비교하였다. 간섭 신호의 신호 대 잡음비의 크기는 각각 -3 dB, 0 dB, 3 dB로 가정하였으며, Nakagami-m 채널의 m값은 2를 가정하였다.

결과에서 볼 수 있듯이, 몬테카를로 실험으로 임의로 생성한 Nakagami-m 채널과 간섭 신호에 대한 평균 데이터 전송률 분석 결과가 정확히 일치함을 확인할 수 있다. 간섭 신호의 세기가 증가할수록 평균 데이터 전송률은 감소함을 확인할 수 있다. 반면, 신호 대 잡음비가 증가할수록 평균 데이터 전송률이 목표 데이터 전송률과 일치됨을 확인할 수 있다.

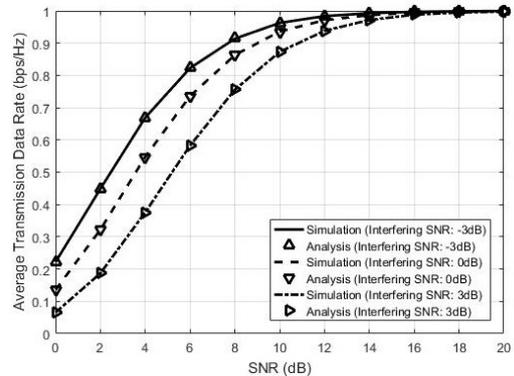


그림 3. 간섭 신호 존재 시 신호 대 잡음비에 따른 평균 데이터 전송률

Fig. 3. The average transmission data rate considering the interfering signal with respect to SNR

그림 4에서는 Nakagami-m채널의 m값에 따른 실험 결과와 분석 결과를 비교하였다. 그림 3과 마찬가지로 간섭 신호 대 잡음비는 각각 -3 db, 0 dB, 3 dB로 가정하였으며, 신호 대 잡음비는 10 dB를 가정하였다.

그림 3과 마찬가지로, 몬테카를로 실험결과와 분석 결과가 정확히 일치함을 확인할 수 있다. m 값이 증가할수록 평균 데이터 전송률이 목표 데이터 전송률과 일치됨을 확인할 수 있다. 이는 m 값이 페이딩의 정도와 연관되어 있기 때문이다. m 값이 작을수록 해당 채널은 페이딩이 심한 채널을 의미하고, m 값이 클수록 페이딩이 약한 채널을 의미한다 [11]. 따라서, 채널의 페이딩이 작아짐에 따라 데이터 전송률은 증가하게 된다.

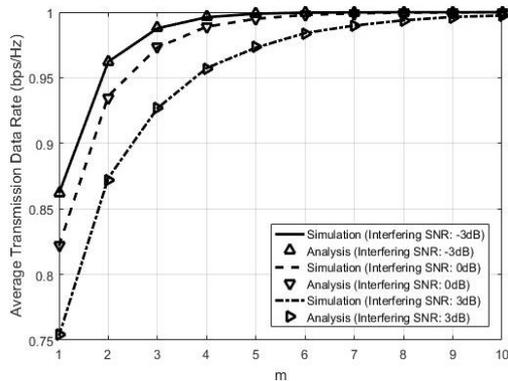


그림 4. 간섭 신호 존재 시 Nakagami- m 채널의 m 에 따른 평균 데이터 전송률

Fig. 4. The average transmission data rate considering the interfering signal with respect to m of Nakagami- m channel

그림 5은 목표 전송률에 따른 데이터 교환 노드가 동시 전송 릴레이를 사용시 (concurrent relay tx.), 릴레이를 사용하되 동시전송을 사용하지 않을시 (conventional relay tx.), 릴레이를 사용하지 않을 시(no relay)의 각각의 평균 데이터 전송률을 비교하였다. 릴레이 선택은 해당 시나리오의 평균 데이터 전송률을 최대화시키도록 수행하였다. 동시 전송을 사용하지 않을 시 및 릴레이를 사용하지 않을 시의 평균 데이터 전송률은 [10]의 식(4)를 활용하였다. Nakagami- m 채널의 m 값은 2로 가정하였다.

결과에서 확인할 수 있듯이, 목표 전송률이 증가할수록 특정 구간에서는 평균 데이터 전송률이 증가하다가, 특정 구간에서는 감소한다. 평균 데이터 전송률은 목표 데이터 전송률과 해당 목표 데이터 전송률을 채널이 실제로 만족시킬 수 있는 확률의 곱으로 표현된

다. 따라서, 증가하는 목표 데이터 전송률의 영향이 해당 목표 데이터 전송률을 만족시키기 위한 확률의 감소 영향보다 클 경우는 전체 평균 데이터 전송률이 증가하고, 반대로, 증가하는 목표 데이터 전송률의 영향이 해당 데이터 전송률을 만족시키기 위한 확률의 감소 영향보다 작을 경우는 평균 데이터 전송률이 감소하기 때문이다.

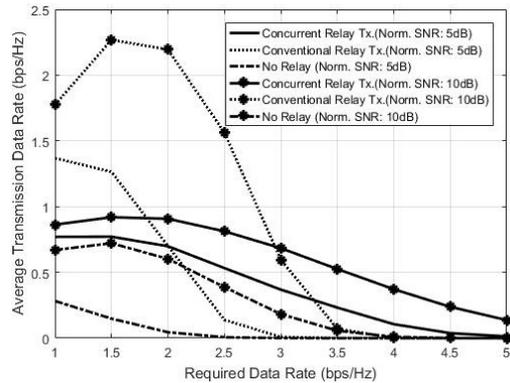


그림 5. 목표 전송률에 따른 평균 데이터 전송률

Fig. 5. The average transmission data rate with respect to the required data rate

또한, 목표 데이터 전송률이 작을 경우는 동시 전송을 하지 않는 경우가 유리하고, 목표 데이터 전송률이 높을 경우는 동시 전송을 하는 것이 유리함을 확인할 수 있다. 이는 목표 데이터 전송률이 증가함에 따라, 시간 자원을 절약할 수 있는 동시 전송 쪽이 더 높은 전송률을 만족시키는데 유리하기 때문이다.

따라서, 본 논문의 분석식을 이용하면, 모의실험없이 환경에 따라, 릴레이 선택 및 동시 전송 여부를 분석하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문에서는 두 노드가 릴레이를 이용하여 동시 전송을 통해 메시지를 교환할 경우, 전체 데이터 전송률을 분석하였다. 이를 위해 Nakagami- m 페이딩 채널 환경하에서 간섭이 존재할 경우의 전송 성공 확률을 고려한, 평균 데이터 전송률을 유도하였다. 이를 이용하여, 복호 후 전송 방식으로 동작하는 이중홉 릴레이의 동시 전송시 평균 데이터 전송률을 유도하였다.

유도된 분석은 몬테카를로 모의실험을 통해 정확성을 입증하였다. 실험결과를 통해, 요구되는 데이터 전송률이 높을수록, 자원 효율적인 동시 전송 방식이 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문의 분석을 이용하면, 모의실험없이 릴레이를 이용하여 데이터를 교환하는 노드 환경에서 전체 시스템의 평균 데이터 전송률을 최대화 할 수 있는 릴레이 선택 및 동시 전송 여부를 추정가능하다.

REFERENCES

[1] A. So and B. Liang, "Effect of relaying on capacity improvement in wireless local area networks," Proc. of IEEE WCNC, March, 2005.

[2] J. Lee, K. Son, J. Jeon and S. Chong, "Efficient resource allocation in an uplink two-hop-relay cellular system", Journal of KIISE, Vol. 23, No.3, pp.16-26, 2009.

[3] T. Kwon, S. Lim, S. Choi and D. Hong, "Optimal duplex mode for DF relay in terms of the outage probability", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol.59 ,Issue.7, pp.3628 - 3634, Sept. 2010.

[4] C. H. Lin, R. H. Hwang, J. J. Wu, J. F. Lee and Y. D. Lin, "Integration of spatial reuse and allocation for downlink broadcast in LTE-Advanced and WiMAX relay networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 64, No. 11, pp.5246-5256, 2015.

[5] N. Jan, "Bidirectional relaying networks with relay selection", MSC Dissertation, Hanyang Univ., 2011.

[6] M. Peng, C. Yang, Z. Zhao, W. Wang and H. H. Chen, "Cooperative network coding in relay-based IMT-Advanced systems", IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 4, pp.76-84, 2012.

[7] E. Chu, J. S. Yoo and B. C. Jung, "Spatial-modulated physical-layer network coding in two-way relay networks with convolutional codes", Proc. of ICUFN, July 2017.

[8] R. Khan, I. Altunbas and G. K. Kurt, "Channel coded complex field network coding in two-way relay networks", Proc. of IEEE BlackSeaCom, June 2017.

[9] Y. Choi, J. Roh, S. Cho, "Performance analysis of wireless communication system with FSMC model in Nakagami-m fading channel", Joutnal of KIICE, Vol. 8, No. 8, pp.1010~2019, 2004.

[10] A. M. Cvetkovic, K. Kansanen, G. T. Djordjevic, "Outage analysis for uncoordinated decode-and-forward networks over nakagami-m channels", Proc. of TELFOR, Nov, 2012.

[11] L. Tang and Z. Hongbo, "Analysis and simulation of Nakagami fading channel with MATLAB", Proc. of APCEE, Nov. 2003.

[12] T. Kwon and S. Lim, "Optimal duplex selection for decode and forward relay systems with power allocation", KSII Transactions on Internet and Information Systems, Vol. 10, No. 12, pp. 5910-5923, 2016.

[13] List of integrals of exponential functions, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_integrals_of_exponential_functions, Accessed on Oct. 10, 2018.

[14] T. Kwon, "A new frame length allocation to maximize average data rates for two-way relay system", Proc. of ICCCA, Dec. 2016.

[15] Seok-Hyun Lee, So-Young Lee, Jin-Young Kim, 'Performance of Decorrelator for Multirate Multicarrier DS/CDMA System', The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication VOL. 10 No. 6, 2010

저자약력

권태훈 (Taehoon Kwon)

[정회원]



- 2004년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 2006년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2010년 9월~2013년 7월: 삼성전자 책임연구원
- 2013년 8월~현재: 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야> NOMA, Full Duplex, Two-way Relay