



중첩 전송 기반 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 중계 노드 선택 기법에 대한 성능 분석

Performance Analysis of Best Relay Selection in Cooperative Multicast Systems Based on Superposition Transmission

저자 (Authors)	이인호 In-Ho Lee
출처 (Source)	한국정보통신학회논문지 22(3) , 2018.3, 520-526 (7 pages) Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 22(3) , 2018.3, 520-526 (7 pages)
발행처 (Publisher)	한국정보통신학회 The Korea Institute of Information and Communication Engineering
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07408024
APA Style	이인호 (2018). 중첩 전송 기반 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 중계 노드 선택 기법에 대한 성능 분석 . 한국정보통신학회논문지, 22(3), 520-526.
이용정보 (Accessed)	홍익대학교 203.249.80.*** 2019/04/20 20:26 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

중첩 전송 기반 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 중계 노드 선택 기법에 대한 성능 분석

이인호*

Performance Analysis of Best Relay Selection in Cooperative Multicast Systems Based on Superposition Transmission

In-Ho Lee*

*Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University, Anseong
17579, Korea

요 약

본 논문에서는 다수의 중계 노드들과 목적지 노드들을 갖는 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 통신 시스템을 고려하여, 멀티캐스트 통신의 데이터 전송률을 향상시키기 위한 중계 노드 선택 기법을 제안한다. 또한, 제안하는 중계 노드 선택 기법의 데이터 전송률을 극대화하기 위하여 중첩 전송시 최적의 전력 할당 계수를 이용한다. 중계 노드 선택 기법을 제안하기 위하여 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 통신 시스템의 데이터 전송률의 근사식을 유도하고, 그 근사식을 토대로 부분적인 채널 상태 정보만을 이용하는 중계 노드 선택 기법을 제안한다. 또한, 제안하는 중계 노드 선택 기법에 대한 근사적인 평균 데이터 전송률을 유도한다. 수치적 결과에서, 제안하는 중계 노드 선택 기법과 전체 채널 상태 정보를 이용하는 최적의 중계 노드 선택 기법에 대한 평균 데이터 전송률을 비교하여, 높은 신호 대 잡음 전력비의 영역에서 제안하는 중계 노드 선택 기법이 최적의 중계 노드 선택 기법과 매우 유사한 성능을 제공함을 확인한다.

ABSTRACT

In this paper, considering the superposition transmission-based wireless cooperative multicast communication system (ST-CMS) with multiple relays and destinations, we propose a relay selection scheme to improve the data rate of multicast communication. In addition, we adopt the optimal power allocation coefficient for the superposition transmission to maximize the data rate of the proposed relay selection scheme. To propose the relay selection scheme, we derive an approximate expression for the data rate of the ST-CMS, and present the relay selection scheme using only partial channel state information based on the approximate expression. Moreover, we derive an approximate average data rate of the proposed relay selection scheme. Through numerical investigation, comparing the average data rates of the proposed relay selection scheme and the optimal relay selection scheme using full channel state information, we show that the proposed scheme provides extremely similar performance to the optimal scheme in the high signal-to-noise power ratio region.

키워드 : 무선 협력 멀티캐스트 시스템, 중첩 전송, 중계 노드 선택, 평균 데이터 전송률

Key word : Average data rate, Relay selection, Superposition transmission, Wireless cooperative multicast system

Received 16 November 2017, Revised 22 November 2017, Accepted 7 December 2017

* 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 17579, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.3.520>

pISSN:2234-4772

© 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. 서 론

최근 데이터 전송률을 효과적으로 개선하기 위하여 중첩 전송 기반의 무선 협력 통신 기술이 활발히 연구되고 있다[1-5]. 중첩 전송 기법은 동일한 시간과 주파수 자원에서 상이한 송신 전력을 갖는 다수의 독립적인 데이터 심벌들을 더하여 전송한다. 따라서 이 기법은 다수의 데이터 심벌들의 동시 전송을 가능케 하여 데이터 전송률을 증가시킬 수 있다. 이와 같은 장점으로, 중첩 전송 기반의 무선 협력 통신 시스템은 기존의 직교 전송 기반의 무선 협력 통신 시스템 보다 우수한 데이터 전송률 성능을 제공한다[1]. 최근 연구에서, 중첩 전송 기반의 무선 협력 통신 시스템의 성능을 더욱 향상시키기 위하여 다수의 중계 노드들을 고려하고 있다. 특히, 다수의 중계 노드들에 대한 채널의 다이버시티(diversity)를 활용하여 최대 데이터 전송률을 제공하는 중계 노드를 선택하는 기법이 연구되었다[2,3].

중첩 전송 기반의 무선 협력 통신은 유니캐스트(unicast) 통신[1-3] 뿐만 아니라 멀티캐스트(multicast) 통신[4]에서도 연구되어 왔다. 최근 고속의 멀티미디어 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위하여 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 통신 시스템이 연구되었다[4]. 그러나 [4]에서는 하나의 중계 노드만을 고려하고 있어 극히 제한적인 채널의 다이버시티를 이용한다. 따라서 본 논문에서는 [4]의 중첩 전송 기반 무선 협력 멀티캐스트 통신 시스템에 다수의 중계 노드들을 고려하여 채널의 다이버시티를 활용한 중계 노드 선택 기법을 연구한다. 본 논문에서는 부분적인 채널 상태 정보를 이용한 중계 노드 선택 기법을 제안하고, 제안하는 중계 노드 선택 기법의 평균 데이터 전송률의 근사식을 유도한다.

II. 시스템 모델과 데이터 전송률

본 논문에서는 그림 1과 같이 하나의 소스 노드(S), N 개의 중계 노드들(R_1, \dots, R_N), 그리고 K 개의 목적지 노드들(D_1, \dots, D_K)로 구성된 무선 협력 멀티캐스트 시스템을 고려한다. 모든 노드는 하나의 송수신 안테나를 가정한다. 소스 노드와 k 번째 목적지 노드 간 복소 채널 계수, 소스 노드와 n 번째 중계 노드 간 복소 채널 계수,

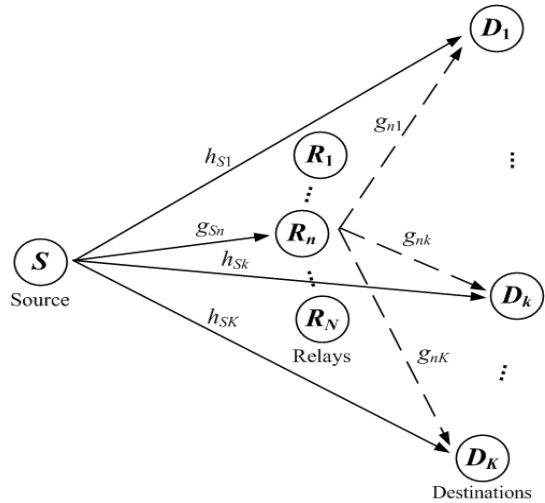


Fig. 1 Wireless cooperative multicast system using the single-relay selection, where the solid and dashed arrows denote data transmissions during the first and second time slots, respectively.

그리고 n 번째 중계 노드와 k 번째 목적지 노드 간 복소 채널 계수는 각각 h_{Sn} , g_{Sn} , g_{nk} 로 표기하고, 이 복소 채널 계수들은 각각 평균 0이고 분산 β_{SD} , β_{SR} , β_{RD} 인 복소 가우시안(Gaussian) 랜덤 변수(random variable)들이라 가정한다. 여기서 분산 β_{SD} , β_{SR} , β_{RD} 은 복소 채널 계수들의 평균 전력을 의미하고, 소스 노드와 모든 목적지 노드들 간 채널들의 평균 전력은 $E[|h_{Sk}|^2] = \beta_{SD}$ 로 동일하고, 소스 노드와 모든 중계 노드들 간 채널들의 평균 전력은 $E[|g_{Sn}|^2] = \beta_{SR}$ 로 동일하고, 모든 중계 노드들과 모든 목적지 노드들 간 채널들의 평균 전력은 $E[|g_{nk}|^2] = \beta_{RD}$ 로 동일하다고 가정한다. 또한, 모든 채널들은 독립적이라고 가정한다.

그림 1과 같이, 중첩 전송[1]을 사용하는 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 소스 노드는 첫 번째 시간슬롯 동안 $\sqrt{a_{1,n^*}P_t}s_1 + \sqrt{a_{2,n^*}P_t}s_2$ 을 선택된 중계 노드들과 모든 목적지 노드들에게 전송한다. 여기서 n^* 은 선택된 중계 노드를 의미하고, P_t 는 총 송신전력을 의미하고, s_1 과 s_2 는 첫 번째와 두 번째 데이터 심벌을 의미하고, a_{1,n^*} 과 a_{2,n^*} 은 선택된 중계 노드에 대한 첫 번째와 두 번째 데이터 심벌의 전력 할당 계수를 의미한다. 본 논문에서는 $E[|s_1|^2] = E[|s_2|^2] = 1$ 이고, $a_{1,n^*} + a_{2,n^*} = 1$

이며, $a_{1,n^*} > a_{2,n^*}$ 라고 가정한다. 따라서 첫 번째 시간 슬롯 동안 선택된 중계 노드와 k 번째 목적지 노드에서 수신하는 신호는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$r_{S_i^*} = g_{S_i^*}(\sqrt{a_{1,n^*}P_t} s_1 + \sqrt{a_{2,n^*}P_t} s_2) + n_{S_i^*}, \quad (1)$$

$$r_{S_k}^D = h_{S_k}(\sqrt{a_{1,n^*}P_t} s_1 + \sqrt{a_{2,n^*}P_t} s_2) + n_{S_k}^D. \quad (2)$$

여기서 $n_{S_n^*}$ 과 $n_{S_k}^D$ 는 각각 선택된 중계 노드와 k 번째 목적지 노드에서의 백색 가우시안 잡음을 의미하고, 동일하게 σ^2 의 분산을 갖는다. 선택된 하나의 중계 노드는 큰 전력으로 송신된 데이터 심벌 s_1 을 먼저 디코딩한 후 연속 간섭 제거 기법을 이용하여 데이터 심벌 s_1 을 제거하고 데이터 심벌 s_2 를 디코딩하여 얻는다. 여기서 데이터 심벌 s_1 이 완벽하게 제거되어 데이터 심벌 s_2 를 성공적으로 디코딩한다고 가정한다. 한편, 모든 목적지 노드들은 작은 전력으로 송신된 데이터 심벌 s_2 를 잡음으로 간주하여 데이터 심벌 s_1 을 디코딩하여 얻는다. 그 다음, 두 번째 시간슬롯 동안 선택된 중계 노드는 P_t 의 전력으로 데이터 심벌 s_2 를 모든 목적지 노드에 전송한다. 이 때, 선택된 중계 노드를 제외한 모든 중계 노드들 및 소스 노드는 송신을 하지 않는다. 따라서 두 번째 시간슬롯 동안 k 번째 목적지 노드에서 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$r_{n^*k} = g_{n^*k}\sqrt{P_t} s_2 + n_{Rk}. \quad (3)$$

여기서 n_{Rk} 는 k 번째 목적지 노드에서의 분산 σ^2 인 백색 가우시안 잡음을 의미한다. 결과적으로, 모든 목적지 노드들은 첫 번째와 두 번째 시간슬롯 동안 수신한 신호들로부터 데이터 심벌 s_1 과 s_2 를 각각 얻는다.

본 논문에서는 수식 표현의 간소화를 위하여, $\rho = P_t/\sigma^2$, $v_{S_k} = |h_{S_k}|^2$, $w_{S_i^*} = |g_{S_i^*}|^2$, $w_{n^*k} = |g_{n^*k}|^2$ 라고 가정한다. 따라서 [1]에서와 같이, 식 (1)으로부터 연속 간섭 제거를 위한 데이터 심벌 s_1 의 수신 신호 대 잡음 전력 비(signal-to-noise power ratio, SNR)는 $\gamma_{S_i^*}^{s_1} = \frac{\rho a_{1,n^*} w_{S_i^*}}{\rho a_{2,n^*} w_{S_i^*} + 1}$ 이고, 연속 간섭 제거 후의 데이

터 심벌 s_2 의 수신 SNR은 $\gamma_{S_i^*}^{s_2} = \rho a_{2,n^*} w_{S_i^*}$ 이다. 또한, 식 (2)와 (3)으로부터 데이터 심벌 s_1 과 s_2 의 수신 SNR

은 각각 $\gamma_{S_k}^{D,s_1} = \frac{\rho a_{1,n^*} v_{S_k}}{\rho a_{2,n^*} v_{S_k} + 1}$, $\gamma_{n^*k}^{s_2} = \rho w_{n^*k}$ 이다. 그러므로 [4]의 식 (8)과 같이, 데이터 심벌 s_1 의 최종적인 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$C_{n^*}^{s_1} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \min \{ \gamma_{S_i^*}^{s_1}, \gamma_{S_1}^{D,s_1}, \dots, \gamma_{S_K}^{D,s_1} \} \right). \quad (4)$$

식 (4)는 데이터 심벌 s_1 의 완벽한 제거를 위한 성공적인 디코딩의 가정과 멀티캐스트 전송의 데이터 전송률은 링크들 중 채널이 가장 나쁜 링크의 데이터 전송률에 의해 결정됨[6]을 이용하여 얻어진다. 또한, [4]의 식 (9)와 같이, 데이터 심벌 s_2 의 최종적인 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$C_{n^*}^{s_2} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \min \{ \gamma_{S_i^*}^{s_2}, \gamma_{n^*1}^{s_2}, \dots, \gamma_{n^*K}^{s_2} \} \right). \quad (5)$$

식 (5)는 멀티캐스트 전송의 데이터 전송률은 링크들 중 가장 채널이 나쁜 링크의 데이터 전송률에 의해 결정됨[6]과 디코딩 후 전달 중계 방식의 데이터 전송률은 중계 링크들 중 채널이 가장 나쁜 링크의 데이터 전송률에 의해 결정됨[7]을 이용하여 얻어진다. 따라서 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 중계 노드 선택 기법에 대한 총 데이터 전송률은 식 (4)와 (5)를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$C_{n^*} = C_{n^*}^{s_1} + C_{n^*}^{s_2}. \quad (6)$$

식 (6)에 식 (4)와 (5)를 대입하고 $a_{1,n^*} = 1 - a_{2,n^*}$ 을 이용하여, 식 (6)을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{n^*} = & \frac{1}{2} \log_2 (1 + \rho \min \{ w_{S_i^*}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K} \}) \\ & - \frac{1}{2} \log_2 (1 + \rho a_{2,n^*} \min \{ w_{S_i^*}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K} \}) \\ & + \frac{1}{2} \log_2 (1 + \rho \min \{ w_{S_i^*} a_{2,n^*}, w_{n^*1}, \dots, w_{n^*K} \}). \end{aligned} \quad (7)$$

III. 최적의 중계 노드 선택 기법

본 논문에서는 총 데이터 전송률을 극대화하기 위하여 [4]에서 제안된 최적의 전력 할당 계수를 이용한다. [4]의 식 (15)와 같이, n 번째 중계 노드에 대한 최적의 전력 할당 계수는 다음과 같다.

$$a_{2,n} = \frac{\min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}}{w_{S_n}}. \quad (8)$$

여기서 $\min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}/w_{S_n} > 0.5$ 일 경우, $a_{2,n} = 0.5$ 이고, $a_{1,n} = 1 - a_{2,n}$ 이다. 따라서 식 (8)을 식 (7)에 대입하여, 최적의 전력 할당 계수를 적용한 n 번째 중계 노드의 총 데이터 전송률을 다음과 같이 얻는다.

$\min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}/w_{S_n} \leq 0.5$ 일 경우,

$$\begin{aligned} C_n^P &= \frac{1}{2} \log_2(1 + \rho \min\{w_{S_n}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K}\}) \\ &\quad - \frac{1}{2} \log_2\left(1 + \frac{\rho}{w_{S_n}} \min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}\right) \\ &\quad \times \min\{w_{S_n}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K}\} \\ &\quad + \frac{1}{2} \log_2(1 + \rho \min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}). \end{aligned} \quad (9)$$

$\min\{w_{n1}, \dots, w_{nK}\}/w_{S_n} > 0.5$ 일 경우,

$$\begin{aligned} C_n^P &= \frac{1}{2} \log_2(1 + \rho \min\{w_{S_n}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K}\}) \\ &\quad - \frac{1}{2} \log_2\left(1 + \frac{\rho}{2} \min\{w_{S_n}, v_{S_1}, \dots, v_{S_K}\}\right) \\ &\quad + \frac{1}{2} \log_2\left(1 + \frac{\rho w_{S_n}}{2}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

따라서 식 (9)와 (10)을 이용하여, 총 데이터 전송률을 최대화하는 최적의 중계 노드를 다음과 같이 선택한다.

$$n^* = \arg \max_{n=1, \dots, N} \{C_n^P\}. \quad (11)$$

그러나 식 (11)의 최적의 중계 노드를 선택하기 위해 식 (9)와 (10)에서 보여주는 바와 같이 모든 링크

들의 채널 상태 정보를 알아야 한다. 만약, 소스 노드에서 중계 노드를 선택한다면, 총 $(N+1)K+N$ 개의 링크들에 대한 채널 상태 정보의 피드백이 수행되어야 한다. 이것은 중계 노드와 목적지 노드의 개수가 증가함에 따라 과도한 시스템 오버헤드(overhead)의 증가를 유발시켜 제한된 무선 자원을 사용하는 통신 시스템에 적용을 어렵게 한다. 따라서 본 논문에서는 C_n^P 의 근사식을 이용하여 부분적인 채널 상태 정보를 이용한 중계 노드 선택 기법을 제안한다. 식 (9)와 (10)에 높은 SNR 영역(즉, $\rho \rightarrow \infty$)에서의 근사 방법인 $\log_2(1 + \rho) \approx \log_2(\rho)$ 을 적용하여 C_n^P 의 근사식을 다음과 같이 얻는다.

$$C_n^P \approx \frac{1}{2} \log_2(\rho w_{S_n}). \quad (12)$$

식 (12)로부터, 총 데이터 전송률의 근사식은 ρ 와 w_{S_n} 의 함수임을 알 수 있고, 중계 노드의 영향을 받는 요소는 w_{S_n} 만 존재함을 알 수 있다. 따라서 식 (12)를 이용하여 근사적 데이터 전송률을 최대화하는 중계 노드 선택 기법을 다음과 같이 제안한다.

$$n_A^* = \arg \max_{n=1, \dots, N} \{w_{S_n}\}. \quad (13)$$

식 (13)으로부터, 제안하는 중계 노드 선택 기법은 N 개의 링크들(즉, 소스 노드와 모든 중계 노드들간 링크들)에 대한 채널 상태 정보와 선택된 중계 노드에 대한 최적의 전력 할당 계수의 계산을 위하여 요구되는 K 개의 링크들(즉, 선택된 중계 노드와 모든 목적지 노드들간 링크들)에 대한 채널 상태 정보를 요구함을 알 수 있다. 즉, 제안 기법은 총 $N+K$ 개의 링크들에 대한 채널 상태 정보만을 요구하므로, 최적의 중계 노드 선택 기법에서 요구되는 채널 상태 정보량을 획기적으로 감소시킬 수 있다. 그러나 제안 기법은 높은 SNR 영역에 대한 근사식을 이용하기 때문에 낮은 SNR 영역에서 데이터 전송률의 손실이 발생할 수 있다.

제안하는 중계 노드 선택 기법은 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 다음과 같이 적용될 수 있다. 소스 노드는 모든 중계 노드들에게 파일럿 신호를 전송하고 중계 노드들은 파일럿 신호를 통해 채널을 추정하여 채널 상태 정보를 소스 노드로 보고한다. 소스 노드는 보고 받

은 채널 상태 정보를 이용하여 식 (13)과 같이 하나의 중계 노드를 선택한다. 그 다음, 소스 노드는 선택된 중계 노드에게 파일럿 신호 전송을 요청한다. 모든 목적지 노드들은 선택된 중계 노드로부터 파일럿 신호를 수신하여 채널을 추정하고 그 추정된 채널 상태 정보를 소스 노드로 보고한다. 소스 노드는 보고된 채널 상태 정보를 이용하여 최적의 전력 할당 계수를 계산하고, 이를 적용하여 데이터 심벌들을 전송한다.

IV. 근사적 평균 데이터 전송률 분석

최적의 전력 할당 계수를 이용하는 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 시스템에서 제안하는 중계 노드 선택 기법에 대한 평균 데이터 전송률은 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{C}^{pro} = E[C_{n_A}^P]. \quad (14)$$

식 (14)의 $C_{n_A}^P$ 는 식 (9)와 (10)에서 보여주는 바와 같이 로그 함수내 복잡한 형태의 랜덤 변수들을 포함하기 때문에 수식 유도가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 식 (12)의 근사식을 이용하여 근사적 평균 데이터 전송률을 유도한다. 식 (12)를 이용하여 식 (14)를 근사적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\bar{C}_A^{pro} = E\left[\frac{1}{2}\log_2(\rho \max_{n=1,\dots,N}\{w_{s_n}\})\right]. \quad (15)$$

w_{s_n} 의 누적 분포 함수인 $F_{w_{s_n}}(x) = \Pr\{w_{s_n} < x\} = 1 - e^{-x/\beta_{SR}}$ 을 이용하여 $W_{SR} = \max_{n=1,\dots,N}\{w_{s_n}\}$ 의 누적 분포 함수는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} F_{W_{SR}}(x) &= \Pr\{W_{SR} < x\} = \prod_{n=1}^N \Pr\{w_{s_n} < x\} \\ &= (1 - e^{-x/\beta_{SR}})^N. \end{aligned} \quad (16)$$

식 (16)을 미분하여, W_{SR} 의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} f_{W_{SR}}(x) &= \frac{dF_{W_{SR}}(x)}{dx} = \frac{N}{\beta_{SR}} e^{-x/\beta_{SR}} (1 - e^{-x/\beta_{SR}})^{N-1} \\ &= \frac{N}{\beta_{SR}} \sum_{i=0}^{N-1} \binom{N-1}{i} (-1)^i e^{-(i+1)x/\beta_{SR}}. \end{aligned} \quad (17)$$

식 (15)에 식 (17)을 대입하고, [8]의 식 (4.331.1)을 이용하여 근사적 평균 데이터 전송률을 다음과 같이 얻는다.

$$\begin{aligned} \bar{C}_A^{pro} &= \frac{1}{2}\log_2(\rho) + \int_0^\infty \frac{1}{2}\log_2(x) f_{W_{SR}}(x) dx \\ &= \frac{1}{2}\log_2(\rho) - \frac{\log_2 e}{2} \left[N \sum_{i=0}^{N-1} \binom{N-1}{i} \frac{(-1)^i}{i+1} \right. \\ &\quad \left. \times \left\{ E_C + \ln\left(\frac{i+1}{\beta_{SR}}\right) \right\} \right]. \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 E_C 는 오일러 상수(Euler constant)를 의미한다.

V. 수치적 결과

그림 2-4은 식 (11)의 최적의 중계 노드 선택 기법(optimal relay selection)과 식 (13)의 제안하는 중계 노드 선택 기법(proposed relay selection)에 대한 평균 데이터 전송률 결과를 보여준다. 여기서 최적의 중계 노드 선택 기법에 대한 평균 데이터 전송률 결과는 $E[\max_{n=1,\dots,N}\{C_n^P\}]$ 의 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 통해 얻어지고, 제안하는 중계 노드 선택 기법의 정확한 평균 데이터 전송률 결과는 식 (14)의 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 얻어진다. 그림 2-4에서의 근사적 평균 데이터 전송률 결과는 식 (18)로부터 얻어진다. 그림 2-4로부터, 높은 SNR 영역에서 제안하는 중계 노드 선택 기법의 평균 데이터 전송률 결과가 최적의 중계 노드 선택 기법에 대한 결과와 동일함을 확인할 수 있다. 또한, 식 (18)로부터 얻은 근사적 결과가 높은 SNR 영역에서 식 (14)의 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

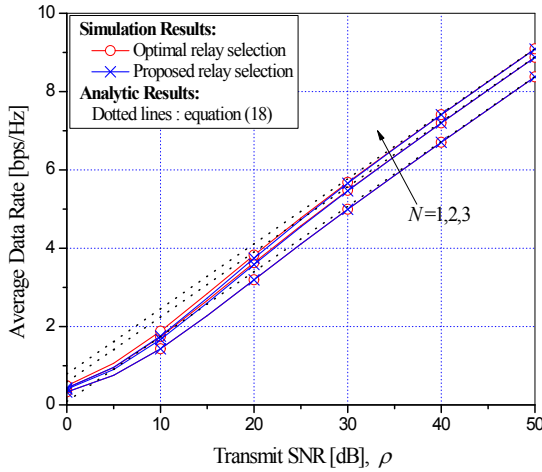


Fig. 2 Average data rates for optimal relay selection and proposed relay selection when $\beta_{SD}=1$, $\beta_{SR}=\beta_{RD}=2$, and $K=3$.

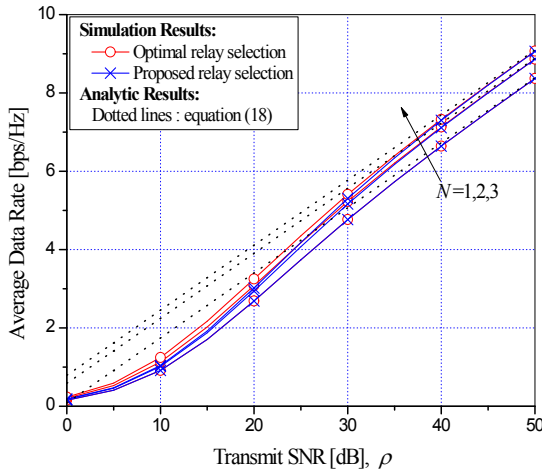


Fig. 3 Average data rates for optimal relay selection and proposed relay selection when $\beta_{SD}=1$, $\beta_{SR}=\beta_{RD}=2$, and $K=10$.

그림 2와 3은 $\beta_{SD}=1$, $\beta_{SR}=\beta_{RD}=2$ 일 때, $K=3, 10$ 에 대한 평균 데이터 전송률 결과를 각각 보여주며, 제안하는 중계 노드 선택 기법에 대한 성능이 N 의 증가에 따라 개선됨을 보여준다. 또한, 낮은 SNR 영역에서 제안하는 중계 노드 선택 기법이 최적의 중계 노드 선택 기법 보다 작은 평균 데이터 전송률을 제공함을 알 수 있다. 그러나 제안하는 중계 노드 선택 기법에서 요구하는 채널 상태 정보량을 고려할 때, 낮은 SNR 영역에서의

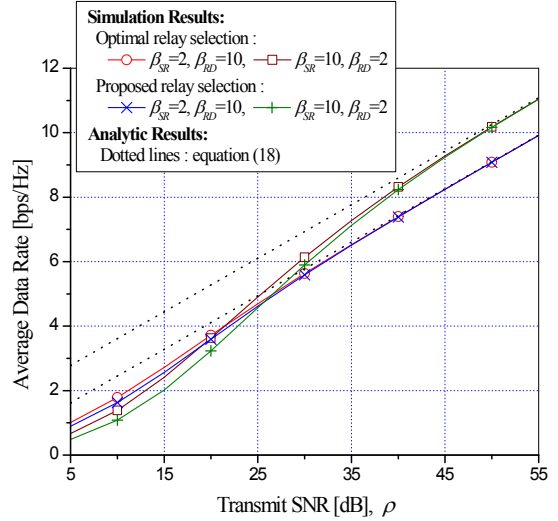


Fig. 4 Average data rates for optimal relay selection and proposed relay selection when $\beta_{SD}=1$, $N=3$, and $K=10$.

평균 데이터 전송률의 손실은 미미할 수 있다. 그림 2와 3을 비교하면, 높은 SNR 영역에서 $K=3, 10$ 에 대한 제안하는 중계 노드 선택 기법의 성능이 매우 유사함을 알 수 있다. 이것은 식 (18)에서와 같이 높은 SNR 영역에서 평균 데이터 전송률은 K 의 영향을 받지 않기 때문이다. 그러나 낮은 SNR 영역에서는 K 가 증가함에 따라 평균 데이터 전송률이 감소함을 알 수 있다.

그림 4는 $\beta_{SD}=1$, $N=3$, $K=10$ 일 때 상이한 β_{SR} 와 β_{RD} 에 대한 평균 데이터 전송률 결과를 보여준다. 그림 4로부터, 높은 SNR 영역에서는 $\beta_{SR}=10$, $\beta_{RD}=2$ 일 때의 평균 데이터 전송률이 $\beta_{SR}=2$, $\beta_{RD}=10$ 일 때 보다 크지만, 낮은 SNR 영역에서는 $\beta_{SR}=2$, $\beta_{RD}=10$ 일 때의 평균 데이터 전송률이 $\beta_{SR}=10$, $\beta_{RD}=2$ 일 때 보다 큼을 알 수 있다. 이 결과로부터, 평균 데이터 전송률이 낮은 SNR 영역에서는 β_{RD} 에 의존하지만, 높은 SNR 영역에서는 β_{SR} 에 의존함을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 중첩 전송 기반의 무선 협력 멀티캐스트 시스템을 위하여 부분적인 채널 상태 정보를 이용하

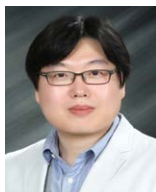
는 중계 노드 선택 기법을 제안한다. 제안하는 중계 노드 선택 기법은 중계 노드 선택시 요구되는 채널 상태 정보량을 획기적으로 줄일 수 있으며, 높은 SNR 영역에서는 최적의 중계 노드 선택 기법과 매우 유사한 평균 데이터 전송률을 제공한다. 실제의 무선 통신 시스템에서는 제한적인 주파수 자원을 사용하기 때문에, 전체 링크들의 채널 상태 정보를 이용하는 최적의 중계 노드 선택 기법 보다는 본 논문에서 제안하는 $(N+K)$ 개의 특정 링크들에 대한 채널 상태 정보만을 이용하는 중계 노드 선택 기법이 실제 무선 통신 시스템에 이용될 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a research grant from Hankyong National University for a academic exchange program in 2016.

REFERENCES

- [1] J. Kim and I. Lee, "Capacity analysis of cooperative relaying systems using non-orthogonal multiple access," *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 11, pp. 1949-1952, Nov. 2015.
- [2] Z. Ding, H. Dai, and H. V. Poor, "Relay selection for cooperative NOMA," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 416-419, Aug. 2016.
- [3] Z. Yang, Z. Ding, Y. Wu, and P. Fan, "Novel relay selection strategies for cooperative NOMA," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 11, pp. 10114-10123, Nov. 2017.
- [4] I. Lee and H. Jung, "Optimal power allocation and performance analysis of cooperative multicast systems using non-orthogonal multiple access," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, no. 14, pp. 4491-4497, Jul. 2017.
- [5] G. Xiang, J. Lee, and H. Park, "Cooperative node selection for the cognitive radio networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 287-293, Feb. 2013.
- [6] C. Liu and J. Andrews, "Multicast outage probability and transmission capacity of multihop wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 57, no. 7, pp. 4344 - 4358, Jul. 2011.
- [7] M. R. Bhatnagar, "On the capacity of decode-and-forward relaying over Rician fading channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1100-1103, Jun. 2013.
- [8] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series, and Products*, 7th ed. New York, Academic Press, 2007.



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