

단방향 복호 후 전송 중계기 네트워크에서 전력 및 시간 동시 분배 방법

심 영 규[°], 박 현 철^{*}

Joint Power and Time Allocation for One-Way Decode-and-Forward Relay Networks

Yeonggyu Shim[°], Hyuncheol Park^{*}

요 약

본 논문은 신호원, 중계기, 목적지로 구성되어 있고 복호 후 전송을 사용하는 단방향 중계기 네트워크를 고려한다. 전송률은 신호원과 중계기의 전송 전력과 첫 번째와 두 번째 전송 시간에 의해서 결정된다. 본 논문에서는 전송 전력의 합과 전송 시간의 합이 제한되어 있는 경우 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하고 동시에 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 분배함으로써 전송률을 증가시키는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 닫힌 형태의 전송 전력 값과 전송 시간 값을 이용하여 구성된 알고리즘으로 복잡도가 낮다는 특징이 있다. 모의실험을 통해서 제안하는 전력 및 시간 분배 기법은 최적 전력 및 균등 시간 분배 기법, 균등 전력 및 최적 시간 분배 기법, 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법 보다 성능이 우수한 것을 확인하였다.

Key Words : One-way relay, decode-and-forward, power allocation, time allocation, achievable rate

ABSTRACT

This paper considers a one-way decode-and-forward relay network consisting of a source, a relay, and a destination. The achievable rate is determined by the transmit power values from the source and relay, and the first and second transmit time durations. Based on the channel gain, this paper proposes the joint transmit power and time allocation scheme for increasing the achievable rate under the sum transmit power constraint and sum transmit time duration constraint. This work presents closed-form expressions for the transmit power and time duration. Numerical results show that the achievable rate of the proposed power and time allocation scheme is greater than those of the other schemes, such as the equal power and optimal time allocation scheme, optimal power and equal time allocation scheme, and equal power and equal time allocation scheme.

I. 서 론

중계기는 셀 가장자리에 위치하여 셀 영역을 확장하는데 사용 된다. 또한 신호원과 목적지 사이에서 신

호원의 신호 전송을 도와주는 역할을 한다^[1-14]. 중계기 기법은 증폭 후 전송 기법과 복호 후 전송 기법이 있다^[1-5]. 증폭 후 전송과 복호 후 전송을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 전송률의 영역에 대한 연

※ 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1A2B4009853)

° First and Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-3317-028X) School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), ygshim@kaist.ac.kr, 정희원

* School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), hcpark@kaist.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2018-03-070, Received March 26, 2018; Revised May 31, 2018; Accepted June 11, 2018

구가 수행되었다^{4,5}). 중계기 네트워크에서 전송률은 전력 전송과 전송 시간에 의해서 결정된다. 따라서 신호원과 중계기의 전송 전력의 합 (sum transmit power)이 제한되어 있는 경우 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 적절하게 분배하면 전송률 (achievable rate)을 증가시킬 수 있다. 또한 복호 후 전송을 사용하는 중계기 네트워크인 경우 전송 시간의 합 (sum transmit time duration)을 각각의 전송 시간에 적절하게 분배하면 전송률을 증가시킬 수 있다^{4,5}). 이러한 이유로 중계기 네트워크에서 성능 향상을 위한 전송 전력 분배 기법⁶⁻¹⁰, 전송 시간 분배 기법^{11,12}, 전송 전력 및 시간 분배 기법^{13,14} 연구가 수행되었다.

전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 적절하게 분배함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하는 기법은 각각의 전송 시간들이 서로 같다고 가정하고 있다. 물리 계층 네트워크 코딩을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 전송률을 증가시키는 전력 분배 기법이 제안되었다⁶). 또한 증폭 후 전송과 복호 후 전송을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 신호원들의 전송률의 공평성을 고려한 전력 분배 기법이 제안되었다⁷). 복호 후 전송을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하여 전송률을 최대화하는 기법이 제안되었다⁸). 또한 증폭 후 전송 기법을 사용하며 다수의 중계기로 구성된 양방향 전이중 중계기 네트워크에서 신호원들의 우선순위와 공평성을 고려한 목적 함수를 증가시키기 위해서 반복적인 방법을 이용한 전력 분배 기법이 제안되었다⁹). 증폭 후 전송을 사용하는 단방향 전이중 중계기 네트워크에서 자기 간섭 신호가 남아 있는 경우 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력을 고려하여 매 전송 시간 슬롯마다 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 다르게 분배함으로써 전송률을 증가시키는 기법이 제안되었다¹⁰).

복호 후 전송을 사용하는 중계기 네트워크인 경우 전송 시간의 합을 각각의 전송 시간에 적절하게 분배함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 전송 시간의 합을 각각의 전송 시간에 분배하는 연구들은 각각의 전송 전력을 알고 있다고 가정하고 있다. 신호원들이 서로의 신호를 교환하기 위해서 두 번의 전송 시간 슬롯을 이용하며 복호 후 전송을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 분배하여 전송률을 최대화하는 기법이 제안되었다¹¹). 중첩 코딩을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 시간 분배 기법에 대한 연구가

수행되었다¹²).

전송 전력의 합과 전송 시간의 합을 동시에 분배하는 기법에 대한 연구도 수행되었다. 복호 후 전송을 사용하는 양방향 중계기 네트워크에서 목표 전송률을 달성하기 위한 전력과 시간 분배에 대한 연구가 수행되었다¹³). 복호 후 전송을 사용하는 단방향 중계기 네트워크에서 전송률이 목표 전송률 보다 작을 확률을 최소화하기 위한 전력과 시간을 찾는 기법이 제안되었다¹⁴).

본 논문에서는 전송 전력의 합과 전송 시간의 합이 제한되어 있으며 복호 후 전송을 사용하는 단방향 중계기 네트워크를 고려하였다. 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 적절하게 분배함으로써 전송률을 증가시킬 수 있으며 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 적절하게 분배함으로써 추가적으로 전송률의 향상을 기대할 수 있다. 이러한 점에 착안하여 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하면서 동시에 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 분배하는 기법을 연구하고자 한다.

복호 후 전송 기법을 사용하는 중계기 네트워크는 전송 전력의 합뿐만 아니라 동시에 전송 시간의 합도 분배할 수 있다는 특징이 있다. 전송 전력과 전송 시간 값을 찾기 위한 방법으로는 격자 탐색 기법 (grid search scheme)과 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법 (equal power and equal time allocation scheme)이 있다. 격자 탐색 기법은 일정한 간격으로 가능한 전송 전력과 전송 시간 값의 조합을 생성하고 생성된 조합들 중에서 최고의 성능을 보이는 조합을 선택하는 방법으로 성능은 우수하지만 복잡도가 매우 크다는 단점이 있다. 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법은 전송 전력의 합을 신호원과 중계기의 전송 전력에 균등하게 분배하고 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 균등하게 분배하는 방법으로 복잡도가 낮다는 장점은 있지만 성능이 우수하지 않는다는 단점이 있다. 이러한 특징에 착안하여 전송률을 증가시키면서 복잡도를 낮추기 위해서 닫힌 형태 (closed-form)의 전송 전력과 전송 시간을 유도하고 이것을 이용한 전력 및 시간을 분배하는 기법을 연구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델을 설명한다. 3장에서는 전송률을 증가시키는 전력 및 시간 분배 기법을 제안하였다. 4장에서는 모의 실험을 통하여 제안 기법의 우수성을 검증하고 5장에서는 결론으로 마무리 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 한 개의 신호원, 중계기, 목적지로 구성되어 있는 단방향 중계기 네트워크를 고려한다. 이 때 중계기는 복호 후 전송 기법을 사용하고 신호원과 중계기는 모든 채널 상태 정보를 알고 있다고 가정한다. 첫 번째 전송 시간 Δ_1 동안 신호원이 p_s 의 전송 전력을 가지고 중계기로 신호를 전송한다. 중계기의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_r = h_{sr}x_s + n_r, \quad (1)$$

여기서 h_{sr} , x_s , n_r 는 각각 신호원과 중계기 사이의 채널 계수, 신호원의 전송 신호, 중계기의 가산성 백색 가우시안 잡음을 의미한다.

중계기는 첫 번째 전송 시간 슬롯에 수신한 신호를 복호하여 두 번째 전송 시간 Δ_2 동안 p_r 의 전송 전력을 가지고 목적지로 전송한다. 목적지의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_d = h_{rd}x_r + n_d, \quad (2)$$

여기서 h_{rd} , x_r , n_d 는 중계기와 목적지 사이의 채널 계수, 중계기의 전송 신호, 목적지의 가산성 백색 가우시안 잡음을 의미한다.

중계기 잡음의 분산과 목적지 잡음의 분산은 1로 같다고 가정하였다. 복호 후 전송을 사용하는 단방향 중계기 네트워크에서 전송률은 다음과 같다.

$$R = \min \left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 \log_2(1 + p_s |h_{sr}|^2), \\ \Delta_2 \log_2(1 + p_r |h_{rd}|^2) \end{array} \right\} \quad (3)$$

여기서 $\min(\cdot)$ 은 가장 작은 값을 나타내는 함수이다.

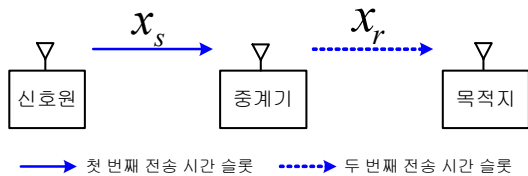


그림 1. 단방향 복호 후 전송 중계기 네트워크
Fig. 1. One-way decode-and-forward relay network

III. 제안하는 전력 및 시간 분배 기법

본 장에서는 전송률을 증가시키기 위해 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하고 동시에 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 분배하는 기법을 제안한다. 전송 전력의 합을 p 라고 하고 전송 시간의 합을 1이라고 가정하였다. 전송률을 증가시키기 위해서 고려하는 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \quad \min \left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 \log_2(1 + p_s |h_{sr}|^2), \\ \Delta_2 \log_2(1 + p_r |h_{rd}|^2) \end{array} \right\} \\ & \text{subject to} \quad p_s + p_r = p, \\ & \quad \quad \quad \Delta_1 + \Delta_2 = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

신호원 전송 전력 대 전송 전력의 합 비를 α 라 하면 신호원의 전송 전력은 $p_s = \alpha p$ 라 표현 할 수 있고 중계기의 전송 전력은 $p_r = (1 - \alpha)p$ 으로 표현 할 수 있다. 전송 시간의 합을 1이라고 가정하였으므로 Δ_1 은 첫 번째 전송 시간 대 전송 시간의 합 비 (ratio of the first transmit time duration to sum transmit time duration)라고 할 수 있다. α 와 Δ_1 을 이용하여 전송률을 증가시키기 위한 신호원 전송 전력 대 전송 전력의 합 비 α^+ 와 첫 번째 전송 시간 대 전송 시간의 합 비 Δ_1^+ 을 찾는 최적화 문제를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \quad \min \{f_1(\alpha, \Delta_1), f_2(\alpha, \Delta_1)\} \\ & \quad \quad \quad \alpha, \Delta_1 \\ & \text{subject to} \quad 0 < \alpha < 1, \\ & \quad \quad \quad 0 < \Delta_1 < 1 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $f_1(\alpha, \Delta_1)$ 과 $f_2(\alpha, \Delta_1)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_1(\alpha, \Delta_1) &= \Delta_1 \log_2(1 + \alpha p |h_{sr}|^2), \\ f_2(\alpha, \Delta_1) &= (1 - \Delta_1) \log_2\{1 + (1 - \alpha)p |h_{rd}|^2\} \end{aligned} \quad (6)$$

(6)식에서 Δ_1 이 증가함에 따라서 $f_1(\alpha, \Delta_1)$ 은 증가하는 함수이고 $f_2(\alpha, \Delta_1)$ 는 감소하는 함수이므로 $\min\{f_1(\alpha, \Delta_1), f_2(\alpha, \Delta_1)\}$ 을 최대화하는 Δ_1 은 $f_1(\alpha, \Delta_1) = f_2(\alpha, \Delta_1)$ 을 만족하는 Δ_1 이고 그 값은 다음과 같다.

$$\Delta_1 = \frac{\log_2\{1+(1-\alpha)p|h_{rd}|^2\}}{\log_2(1+\alpha p|h_{sr}|^2) + \log_2\{1+(1-\alpha)p|h_{rd}|^2\}} \quad (7)$$

(7)식을 $f_1(\alpha, \Delta_1)$ 또는 $f_2(\alpha, \Delta_1)$ 에 대입하면 다음과 같다.

$$f(\alpha) = \frac{\log_2(1+\alpha p|h_{sr}|^2)\log_2\{1+(1-\alpha)p|h_{rd}|^2\}}{\log_2(1+\alpha p|h_{sr}|^2) + \log_2\{1+(1-\alpha)p|h_{rd}|^2\}} \quad (8)$$

(6)식에서 로그함수는 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \log_2(1+\alpha p|h_{sr}|^2) &\approx \alpha p|h_{sr}|^2, \\ \log_2\{1+(1-\alpha)p|h_{rd}|^2\} &\approx (1-\alpha)p|h_{rd}|^2 \end{aligned} \quad (9)$$

(9)식을 이용하여 (8)식을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$g(\alpha) = \frac{|h_{sr}|^2|h_{rd}|^2 p \alpha (1-\alpha)}{(|h_{sr}|^2 - |h_{rd}|^2)\alpha + |h_{rd}|^2} \quad (10)$$

(10)식에서 $|h_{sr}|^2 = |h_{rd}|^2$ 인 경우 α 가 $\frac{\partial}{\partial \alpha}(-\alpha^2 + \alpha) = 0$ 을 만족할 때 $g(\alpha)$ 가 최대가 되므로 α^+ 는 0.5이다. $\alpha^+ = 0.5$ 를 (7)식에 대입하면 Δ_1^+ 을 찾을 수 있고 그 값은 0.5이다.

(10)식에서 $|h_{sr}|^2 \neq |h_{rd}|^2$ 인 경우 α 가 $\frac{\partial}{\partial \alpha}g(\alpha) = 0$ 을 만족할 때 $g(\alpha)$ 가 최대가 되므로 α^+ 는 다음과 같다.

$$\alpha^+ = \frac{\sqrt{|h_{sr}|^2|h_{rd}|^2 - |h_{rd}|^2}}{|h_{sr}|^2 - |h_{rd}|^2} \quad (11)$$

(11)식을 (7)식에 대입하면 Δ_1^+ 을 찾을 수 있고 그 값은 다음과 같다.

$$\Delta_1^+ = \frac{\log_2\{1+(1-\alpha^+)p|h_{rd}|^2\}}{\log_2(1+\alpha^+p|h_{sr}|^2) + \log_2\{1+(1-\alpha^+)p|h_{rd}|^2\}} \quad (12)$$

유도한 수식들을 바탕으로 신호원과 중계기의 전송 전력, 첫 번째와 두 번째의 전송 시간을 구하는 기법

알고리즘 1. 제안하는 전력 및 시간 분배 기법
Algorithm 1. Proposed power and time allocation scheme

- 1: if $|h_{sr}|^2 = |h_{rd}|^2$ then
- 2: $\alpha^+ = 0.5$
- 3: $\Delta_1^+ = 0.5$
- 4: else if $|h_{sr}|^2 \neq |h_{rd}|^2$ then
- 5: Determine α^+ using (11).
- 6: Determine Δ_1^+ using (12) and α^+ .
- 7: end if
- 8: Calculate p_s and p_r using α^+ .
- 9: Calculate Δ_2 using Δ_1^+ .

은 알고리즘 1과 같다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안하는 전력 및 시간 분배 기법 (proposed power and time allocation scheme)에 대해서 모의실험을 하였다. 제안하는 기법과 비교하기 위해서 격자 탐색 기법, 균등 전력 및 최적 시간 분배 기법 (equal power and optimal time allocation scheme), 최적 전력 및 균등 시간 분배 기법 (optimal power and equal time allocation scheme), 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법을 고려하였다. 전송 전력의 합과 채널 이득에 따라서 전송률과 첫 번째 전송 시간 대 전송 시간의 합 비를 비교하였다.

그림 2는 $|h_{sr}|^2 = 1$ 일 때 전송 전력의 합과 $|h_{rd}|^2$ 에 따라서 제안하는 전력 및 시간 분배 기법과 격자 탐색 기법의 전송률을 비교한 결과이다. 격자 탐색 기법은 일정한 간격으로 가능한 α 와 Δ_1 값의 조합을 생성하고 생성된 조합들 중에서 가장 큰 전송률을 나타내는 α 와 Δ_1 의 조합을 선택하는 기법으로 모의실험에서는 일정한 간격을 0.01로 하였다. 제안하는 전력 및 시간 분배 기법의 전송률이 격자 탐색 기법의 전송률과 매우 비슷한 것을 확인할 수 있다. 격자 탐색 기법은 복잡도가 큰 반면 제안하는 기법은 닫힌 형태를 이용한 방법으로 복잡도가 낮다는 장점이 있다.

그림 3은 $|h_{sr}|^2 = 1$, $|h_{rd}|^2 = 0.1$ 일 때 전송 전력의 합에 따라서 제안하는 전력 및 시간 분배 기법, 최적 전력 및 균등 시간 분배 기법, 균등 전력 및

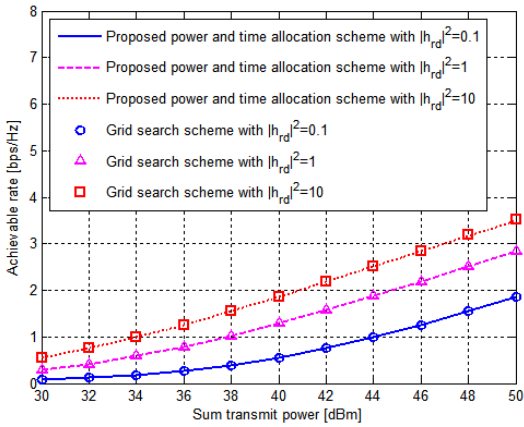


그림 2. 전송 전력의 합과 $|h_{rd}|^2$ 에 따른 전송률
 Fig. 2. Achievable rate versus sum transmit power for different $|h_{rd}|^2$

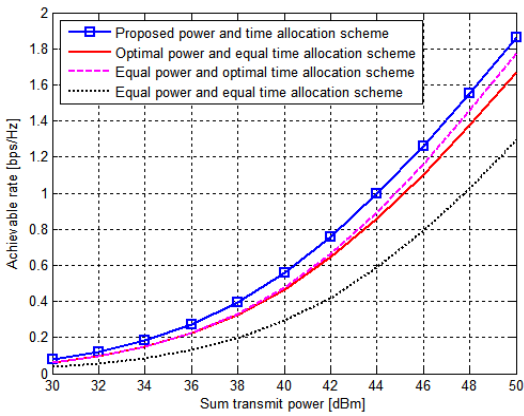


그림 3. 전송 전력의 합과 기법들에 따른 전송률
 Fig. 3. Achievable rate versus sum transmit power for different schemes

최적 시간 분배 기법, 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법의 전송률을 비교한 결과이다. 최적 전력 및 균등 시간 분배 기법은 전송 전력의 합을 신호원과 중계기의 전송 전력에 최적으로 분배하고 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 균등하게 분배하는 기법이다. 균등 전력 및 최적 시간 분배 기법은 전송 전력의 합을 신호원과 중계기의 전송 전력에 균등하게 분배하고 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 최적으로 분배하는 기법이다. 균등 전력 및 균등 시간 분배 기법은 전송 전력의 합을 신호원과 중계기의 전송 전력에 균등하게 분배하고 전송 시간의 합을 첫 번째 전송 시간과 두 번째 전송 시간에 균등하게 분배하는 기법이다. 제안하는 전력 및 시간 분배 기법이 가장 우수한 것을 확인

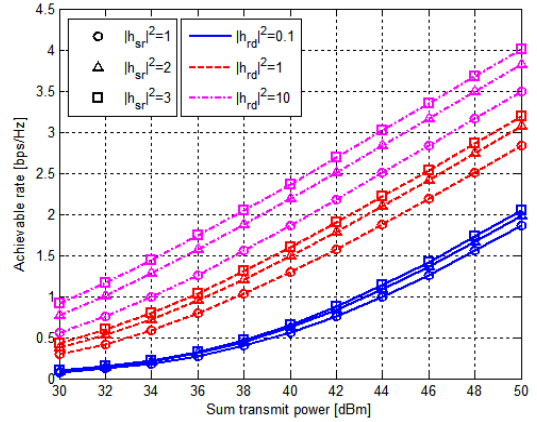


그림 4. 전송 전력의 합과 채널 이득에 따른 전송률
 Fig. 4. Achievable rate versus sum transmit power for different $|h_{sr}|^2$ and $|h_{rd}|^2$

할 수 있다. 이것은 제안하는 전력 및 시간 분배 기법은 전력과 시간 자원을 모두 분배하는 반면 최적 전력 및 균등 시간 분배 기법은 오직 전력 자원만 최적으로 분배하고 균등 전력 및 최적 시간 분배 기법은 오직 시간 자원만 최적으로 분배하기 때문이다.

그림 4는 전송 전력의 합과 채널 이득에 따라서 제안하는 전력 및 시간 분배 기법의 전송률을 비교한 결과이다. 전송 전력의 합이 증가할수록 제안하는 기법의 전송률이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 채널 이득이 증가할수록 제안하는 기법의 전송률이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5는 전송 전력의 합과 채널 이득에 따라서 제안하는 전력 및 시간 분배 기법의 첫 번째 전송 시간

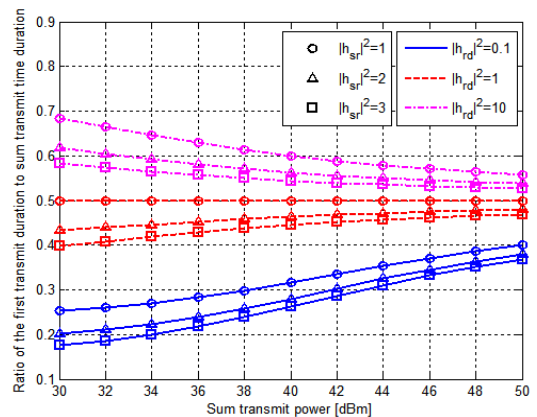


그림 5. 전송 전력의 합과 채널 이득에 따른 첫 번째 전송 시간 대 전송 시간의 합 비
 Fig. 5. Achievable rate versus ratio of the first transmit time duration to sum transmit time duration for different $|h_{sr}|^2$ and $|h_{rd}|^2$

대 전송 시간의 합 비를 비교한 결과이다. $|h_{sr}|^2$ 이 증가할수록 첫 번째 전송 시간 대 전송 시간의 합 비가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 단방향 중계기 네트워크에서는 첫 번째 전송 시간 슬롯에는 신호원이 중계기로 전송하고 두 번째 전송 시간 슬롯에는 중계기가 목적지로 전송하는데 신호원과 중계기 사이의 채널 이득이 증가할수록 첫 번째 전송 시간 보다는 두 번째 전송 시간에 더 많은 시간을 분배하는 것이 전송률 향상에 도움이 되기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 전송 전력의 합과 전송 시간의 합 제한이 있으며 복호 후 전송을 사용하는 단방향 중계기 네트워크에서 전송률을 증가시키기 위한 전송 전력 및 전송 시간 분배 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 닫힌 형태의 전송 전력 값과 전송 시간 값을 이용하여 구성된 알고리즘으로 격자 탐색 기법에 비해서 복잡도가 낮다. 제안하는 기법을 통해서 전력과 시간을 모두 분배하는 것이 전력 또는 시간 중에서 하나의 자원만 최적으로 분배하는 기법 보다 전송률을 향상시키는 것을 확인하였다.

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. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [2] B. Rankov and A. Wittneben, "Achievable rate regions for the two-way relay channel," in *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 1668-1672, Seattle, USA, Jul. 2006.
- [3] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Feb. 2007.
- [4] S. J. Kim, P. Mitran, and V. Tarokh, "Performance bounds for bidirectional coded cooperation protocols," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 11, pp. 5235-5241, Nov. 2008.
- [5] S. J. Kim, N. Devroye, P. Mitran, and V. Tarokh, "Achievable rate regions and performance comparison of half duplex bi-directional relaying protocols," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 10, pp. 6405-6418, Oct. 2011.
- [6] W. Shin, N. Lee, J. B. Lim, and C. Shin, "An optimal transmit power allocation for the two-way relay channel using physical-layer network coding," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-6, Dresden, Germany, Jun. 2009.
- [7] M. Pischella and D. L. Ruyet, "Optimal power allocation for the two-way relay channel with data rate fairness," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 9, pp. 959-961, Sep. 2011.
- [8] Y. Shim, H. Park, and H. M. Kwon, "Optimal power allocation for two-way decode-and-forward relay networks with equal transmit power at source nodes," in *Proc. IEEE Wireless Commun. and Network. Conf. (WCNC)*, pp. 3335-3340, Shanghai, China, Apr. 2013.
- [9] J.-W. Li and C. Lin, "On the optimal power allocation for two-way full-duplex AF relay networks," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 65, no. 21, pp. 5702-5715, Nov. 2017.
- [10] Y. Shim and H. Park, "Power allocation for amplify-and-forward one-way full-duplex relay networks," *J. KICS*, vol. 43, no. 5, pp. 801-807, May 2018.
- [11] Y. Shim and H. Park, "A closed-form expression of optimal time for two-way relay using DF MABC protocol," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp. 721-724, May 2014.
- [12] T. J. Oechtering and H. Boche, "Optimal time-division for bidirectional relaying using superposition encoding," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 265-267, Apr. 2008.
- [13] Z. Chen, H. Liu, and W. Wang, "On the optimization of decode-and-forward schemes for two-way asymmetric relaying," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 1-5, Kyoto, Japan, Jun. 2011.
- [14] Z. Mo, W. Su, S. Batalama, and J. D. Matyjas, "Optimum power and time allocation

for cooperative relaying protocol,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, pp. 4488-4494, Sydney, Australia, Jun. 2014.

심 영 규 (Yeonggyu Shim)



2017년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학부 박사

2017년 3월~현재 : 한국과학기술원 박사후연구원

<관심분야> 중계기 네트워크

박 현 철 (Hyuncheol Park)



1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사

1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사

1997년 8월 : Georgia Institute of Technology 전기공학과 박사

1984년 12월~2002년 1월 : 삼성전자 수석연구원

2002년 2월~2009년 2월 : 한국정보통신대학교(ICU) 부교수

2014년 11월~2016년 11월 : 미래창조과학부 이동통신 CP

2009년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학부 정교수

<관심분야> 이동통신 시스템