

중복 후 전송을 사용하는 단방향 전이중 중계기 네트워크에서 전력 분배 기법

심 영 규[°], 박 현 철^{*}

Power Allocation for Amplify-and-Forward One-Way Full-Duplex Relay Networks

Yeonggyu Shim[°], Hyuncheol Park^{*}

요 약

본 논문은 신호원, 중계기, 목적지로 구성되어 있고 중복 후 전송을 사용하는 단방향 전이중 중계기 네트워크를 고려한다. 단방향 전이중 중계기 네트워크에서는 중계기의 자기 간섭 채널 추정 오차가 있고 아날로그-디지털 변환기의 동작 범위 제한으로 인해서 자기 간섭 신호가 완벽하게 제거 되지 않고 남아 있게 된다. 남아 있는 자기 간섭 신호로 인해서 현재 전송 시간 슬롯의 전송률은 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력에도 영향을 받는다는 특징이 있다. 본 논문에서는 전송 전력의 합이 제한되어 있는 경우 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력을 고려하여 전송 전력의 합을 매 전송 시간 슬롯 마다 신호원과 중계기에 다르게 분배함으로써 전송률을 증가시키는 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해서 제안하는 전력 분배 기법이 균등 전력 분배 기법보다 성능이 우수한 것을 확인하였다.

Key Words : One-way relay, full-duplex relay, amplify-and-forward, power allocation, achievable rate

ABSTRACT

This paper considers an amplify-and-forward one-way full-duplex relay network consisting of a source, a relay, and a destination. Because there is the self-interference (SI) channel estimation error at the relay and the dynamic range of analog-to-digital converter is limited, the SI cannot be completely canceled. Due to the residual SI, the achievable rate in the current time slot is affected by the transmit power value from the relay in the previous time slot. Based on the transmit power from the relay in the previous time slot, this paper proposes the power allocation scheme for increasing the achievable rate under the sum power constraint. This work presents closed-form expressions for the transmit power values from the source and relay in each time slot. Numerical results show that the achievable rate of the proposed power allocation scheme is greater than that of the equal power allocation scheme.

I. 서 론

중계기는 이동통신 시스템의 셀 가장자리에 위치하여 셀 영역을 확장하거나 음영 지역 해소를 위해서 사

용 된다¹⁻⁵⁾. 전이중 중계기 네트워크는 반이중 중계기 네트워크와 달리 송신과 수신을 동시에 하기 때문에 자기 간섭 신호가 발생하지만 대역 효율을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다. 최근에는 전이중 중계기 네트

※ 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, 정회원

* School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), hcpc@kaist.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2018-01-029, Received January 30, 2018; Revised March 4, 2018; Accepted March 13, 2018

워크에 대해서 다양한 연구가 수행되었다⁶⁻⁹⁾.

신호원과 중계기의 전송 전력이 각각 제한되어 있는 경우 전력 전송을 통해서 전력을 송신 또는 수신을 하면 전송률 향상을 기대할 수 있다. 또한 신호원과 중계기의 전송 전력의 합 (sum transmit power)이 제한되어 있는 경우 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 적절하게 분배함으로써 전송률 (achievable rate)을 향상 시킬 수 있다.

반이중 중계기 네트워크에 비해 대역 효율을 증가시킬 수 있는 전이중 중계기 네트워크에서 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 분배하는 기법을 사용하면 추가적으로 전송률 증가를 기대할 수 있다. 최근에 증폭 후 전송 기법을 사용하는 양방향 전이중 중계기 네트워크에서 전송률을 증가시키기 위한 전력 분배 기법이 반복적인 방법을 이용하여 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⁾. 본 논문에서는 단방향 전이중 중계기 네트워크에서 복잡도가 낮은 전력 분배 기법을 연구하고자 한다.

본 논문에서 고려하는 전이중 중계기 네트워크에서는 중계기의 자기 간섭 채널 추정 오차가 있고 아날로그-디지털 변환기의 동작 범위 제한으로 인해서 자기 간섭 신호가 완벽하게 제거 되지 않고 남아 있게 된다. 남아 있는 자기 간섭 신호로 인해서 현재 전송 시간 슬롯 (time slot)의 전송률은 이전 전송 시간 슬롯에 신호원이 전송한 전력과 현재 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력뿐만 아니라 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력에도 영향을 받는다는 특징이 있다. 따라서 전송 전력의 합 제한이 있는 경우 전송률을 증가시키기 위해서는 매 전송 시간 슬롯마다 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력을 고려하여 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 다르게 분배해야 한다. 이러한 점에 착안하여 전송 전력의 합을 매 전송 시간 슬롯마다 신호원과 중계기에 다르게 분배하여 전송률을 증가시키는 기법을 연구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델을 설명한다. 3장에서는 전송률을 증가시키는 전력 분배 기법을 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 제안하는 기법의 우수성을 검증하고 5장에서는 결론으로 마무리 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 한 개의 신호원, 중계기, 목적지로 구성되어 있고 증폭 후 전송 기법을 사용하는 단방향 전이중 중계기 네트워크를 고려한다. 신호원과 중계기는 신호원과 중계기 사이의 채널 상태 정보와 중계기와 목적지 사이의 채널 상태 정보를 알고 있다고 가정한다. 또한 매 전송 시간 슬롯마다 채널 이득이 변한다고 가정한다.

전이중 중계기 네트워크에서는 신호원에서 전송하는 신호가 중계기를 거쳐서 다음 전송 시간 슬롯에 목적지로 전송되기 때문에 연속적인 전송 시간 슬롯을 고려해야 한다. t 번째 전송 시간 슬롯에서 신호원과 중계기 사이의 채널 계수와 중계기와 목적지 사이의 채널 계수는 각각 $h_{sr}^{(t)}$ 과 $h_{rd}^{(t)}$ 로 나타낸다. 또한 t 번째 전송 시간 슬롯에서 신호원의 전송 신호와 목적지의 전송 신호는 각각 $x_s^{(t)}$ 과 $x_r^{(t)}$ 로 나타내며 각각 $p_s^{(t)}$ 와 $p_r^{(t)}$ 의 전송 전력으로 전송한다. t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기와 목적지에서 잡음은 각각 $n_r^{(t)}$ 과 $n_d^{(t)}$ 로 나타내며 평균과 분산은 전송 시간 슬롯에 따라서 변하지 않는다고 가정한다. 중계기와 목적지에서 잡음은 평균이 0인 가산성 백색 가우시안 잡음이며 분산은 각각 $\sigma_{n,r}^2$ 과 $\sigma_{n,d}^2$ 이라고 가정한다.

고려하는 단방향 전이중 중계기 네트워크에서는 중계기만 전이중 방식으로 동작하고 중계기에서 자기 간섭 채널 추정 오차가 있다고 가정한다. t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기의 자기 간섭 채널과 자기 간섭 채널 추정 오차는 각각 $h_{rr}^{(t)}$ 과 $\Delta_{rr}^{(t)}$ 으로 나타낸다. 중계기에서 자기 간섭 채널 추정 오차의 평균과 분산은 전송 시간 슬롯에 따라서 변하지 않으며 평균은 0이고 분산은 σ_e^2 이라고 가정한다. 또한 중계기에서 자기 간섭 채널 추정 오차는 전송 시간 슬롯에 대해서 서로 독립적이라고 가정한다.

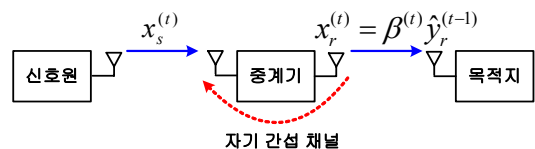


그림 1. t 번째 전송 시간 슬롯에 증폭 후 전송을 사용하는 단방향 전이중 중계기 네트워크
Fig. 1. Amplify-and-forward one-way full-duplex relay networks in the t th time slot

처음 전송 시간 슬롯에는 신호원만 중계기로 신호를 전송하고 다음 전송 시간 슬롯부터 신호원은 중계기로 신호를 전송하고 중계기는 이전 전송 시간 슬롯에 수신한 신호를 증폭한 후 목적지로 신호를 전송한다. 본 논문에서는 신호원만 신호를 전송하는 처음 전송 시간 슬롯을 0번째 전송 시간 슬롯이라고 한다.

0번째 전송 시간 슬롯에 신호원이 자신의 신호를 중계기로 전송한다. 0번째 전송 시간 슬롯에 중계기의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_r^{(0)} = h_{sr}^{(0)} x_s^{(0)} + n_r^{(0)} \quad (1)$$

1번째 전송 시간 슬롯에 중계기는 0번째 전송 시간 슬롯에 수신한 신호를 증폭 한 후 목적지로 전송한다. 그와 동시에 신호원으로부터 새로운 신호를 수신한다. 1번째 전송 시간 슬롯에 중계기의 전송 신호는 다음과 같다.

$$x_r^{(1)} = \beta^{(1)} y_r^{(0)}, \quad (2)$$

여기서 $\beta^{(1)}$ 는 1번째 전송 시간 슬롯에 중계기가 사용하는 증폭 계수로 다음과 같다.

$$\beta^{(1)} = \sqrt{\frac{p_r^{(1)}}{|h_{sr}^{(0)}|^2 p_s^{(0)} + \sigma_{n,r}^2}} \quad (3)$$

1번째 전송 시간 슬롯에 중계기는 신호원으로부터 신호를 수신하고 동시에 중계기가 전송한 신호를 수신한다. 중계기의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_r^{(1)} = h_{sr}^{(1)} x_s^{(1)} + h_{rr}^{(1)} x_r^{(1)} + n_r^{(1)} \quad (4)$$

중계기는 추정한 자기 간섭 채널을 이용하여 자기 간섭 신호를 제거한다. 이 때 자기 간섭 채널 추정 오차로 인해서 자기 간섭 신호가 남아 있게 된다. 중계기가 추정한 자기 간섭 채널을 이용하여 수신된 신호에서 자기 간섭 신호를 제거한 후 신호는 다음과 같다.

$$\hat{y}_r^{(1)} = h_{sr}^{(1)} x_s^{(1)} + \Delta_{rr}^{(1)} x_r^{(1)} + n_r^{(1)} \quad (5)$$

1번째 전송 시간 슬롯에 목적지의 수신 신호는 다

음과 같다.

$$y_d^{(1)} = h_{rd}^{(1)} x_r^{(1)} + n_d^{(1)} \quad (6)$$

$t-1$ 번째 전송 시간 슬롯에 중계기가 신호원과 중계기로부터 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_r^{(t-1)} = h_{sr}^{(t-1)} x_s^{(t-1)} + h_{rr}^{(t-1)} x_r^{(t-1)} + n_r^{(t-1)} \quad (7)$$

$t-1$ 번째 전송 시간 슬롯에 중계기가 추정한 자기 간섭 채널을 이용하여 수신된 신호에서 자기 간섭 신호를 제거한 후 신호는 다음과 같다.

$$\hat{y}_r^{(t-1)} = h_{sr}^{(t-1)} x_s^{(t-1)} + \Delta_{rr}^{(t-1)} x_r^{(t-1)} + n_r^{(t-1)} \quad (8)$$

t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기는 $t-1$ 번째 전송 시간 슬롯에 수신한 신호를 증폭하여 목적지로 전송한다. t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기의 전송 신호는 다음과 같다.

$$x_r^{(t)} = \beta^{(t)} \hat{y}_r^{(t-1)}, \quad (9)$$

여기서 $\beta^{(t)}$ 는 t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기가 사용하는 증폭 계수로 다음과 같다.

$$\beta^{(t)} = \sqrt{\frac{p_r^{(t)}}{|h_{sr}^{(t-1)}|^2 p_s^{(t-1)} + \sigma_{n,r}^2 + \sigma_{p_r}^2}} \quad (10)$$

t 번째 전송 시간 슬롯에 목적지의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_d^{(t)} = h_{rd}^{(t)} x_r^{(t)} + n_d^{(t)} \quad (11)$$

1번째 전송 시간 슬롯의 전송률은 다음과 같다.

$$R^{(1)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_s^{(0)} p_r^{(1)} a_1^{(1)}}{p_s^{(0)} a_2^{(1)} + p_r^{(1)} a_3^{(1)} + a_4^{(1)}} \right), \quad (12)$$

여기서 $a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, a_3^{(1)}, a_4^{(1)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 a_1^{(1)} &= |h_{sr}^{(0)}|^2 |h_{rd}^{(1)}|^2, \\
 a_2^{(1)} &= |h_{sr}^{(0)}|^2 \sigma_{n,d}^2, \\
 a_3^{(1)} &= |h_{rd}^{(1)}|^2 \sigma_{n,r}^2, \\
 a_4^{(1)} &= \sigma_{n,d}^2 \sigma_{n,r}^2.
 \end{aligned} \tag{13}$$

$t (t \geq 2)$ 번째 전송 시간 슬롯의 전송률은 다음과 같다.

$$R^{(t)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_s^{(t-1)} p_r^{(t)} a_1^{(t)}}{p_s^{(t-1)} a_2^{(t)} + p_r^{(t)} a_3^{(t)} + a_4^{(t)}} \right), \tag{14}$$

여기서 $a_1^{(t)}$, $a_2^{(t)}$, $a_3^{(t)}$, $a_4^{(t)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 a_1^{(t)} &= |h_{sr}^{(t-1)}|^2 |h_{rd}^{(t)}|^2, \\
 a_2^{(t)} &= |h_{sr}^{(t-1)}|^2 \sigma_{n,d}^2, \\
 a_3^{(t)} &= |h_{rd}^{(t)}|^2 (\sigma_e^2 p_r^{(t-1)} + \sigma_{n,r}^2), \\
 a_4^{(t)} &= \sigma_{n,d}^2 (\sigma_e^2 p_r^{(t-1)} + \sigma_{n,r}^2)
 \end{aligned} \tag{15}$$

$t (t \geq 2)$ 번째 전송 시간 슬롯의 전송률은 $p_s^{(t-1)}$ 과 $p_r^{(t)}$ 뿐만 아니라 $p_r^{(t-1)}$ 에 의해서도 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 전송률 증가를 위해서 전송 전력의 합을 분배하려면 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력도 고려해야 한다.

III. 제안하는 전력 분배 기법

본 장에서는 전송률을 증가시키기 위해 전송 전력의 합 p_{sum} 을 매 전송 시간 슬롯마다 신호원과 중계기에 다르게 분배하는 기법을 제안한다. t 번째 전송 시간 슬롯의 전송률을 증가시키기 위해서 고려하는 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &\underset{p_s^{(t-1)}, p_r^{(t)}}{\text{maximize}} \log_2 \left(1 + \frac{p_s^{(t-1)} p_r^{(t)} a_1^{(t)}}{p_s^{(t-1)} a_2^{(t)} + p_r^{(t)} a_3^{(t)} + a_4^{(t)}} \right) \\
 &\text{subject to} \quad p_s^{(t-1)} + p_r^{(t)} = p_{\text{sum}}
 \end{aligned} \tag{16}$$

밑이 2인 로그함수는 증가하는 함수이므로 고려하는 최적화 문제는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\underset{p_s^{(t-1)}, p_r^{(t)}}{\text{maximize}} \frac{p_s^{(t-1)} p_r^{(t)} a_1^{(t)}}{p_s^{(t-1)} a_2^{(t)} + p_r^{(t)} a_3^{(t)} + a_4^{(t)}} \\
 &\text{subject to} \quad p_s^{(t-1)} + p_r^{(t)} = p_{\text{sum}}
 \end{aligned} \tag{17}$$

t 번째 전송 시간 슬롯에서 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비 (ratio of relay transmit power to sum transmit power)를 $\alpha^{(t)}$ 라 하면 t 번째 전송 시간 슬롯에서 중계기의 전송 전력은 $p_r^{(t)} = \alpha^{(t)} p_{\text{sum}}$ 라 표현할 수 있고 $t-1$ 번째 전송 시간 슬롯에서 신호원의 전송 전력은 $p_s^{(t-1)} = (1 - \alpha^{(t)}) p_{\text{sum}}$ 으로 표현할 수 있다. $\alpha^{(t)}$ 를 이용하여 최적화 문제를 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &\underset{\alpha^{(t)}}{\text{maximize}} \quad \frac{-a_1^{(t)} p_{\text{sum}} (\alpha^{(t)2} - \alpha^{(t)})}{b_1^{(t)} \alpha^{(t)} + b_2^{(t)}} \\
 &\text{subject to} \quad 0 < \alpha^{(t)} < 1
 \end{aligned} \tag{18}$$

여기서 $b_1^{(t)}$ 과 $b_2^{(t)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 b_1^{(t)} &= (a_3^{(t)} - a_2^{(t)}) p_{\text{sum}}, \\
 b_2^{(t)} &= a_2^{(t)} p_{\text{sum}} + a_4^{(t)}
 \end{aligned} \tag{19}$$

최적화 문제에서 $b_1^{(t)} = 0$ 인 경우 $\alpha^{(t)+}$ 를 0.5로 결정한다. $0 < -b_2^{(t)}/b_1^{(t)} < 1$ 인 경우 목적 함수의 분모를 0으로 만드는 $\alpha^{(t)}$ 가 0과 1 사이에 있으므로 $\alpha^{(t)+}$ 를 $-b_2^{(t)}/b_1^{(t)} - \epsilon$ 로 결정한다. 여기서 ϵ 은 0보다 큰 매우 작은 값을 의미한다. $a_2^{(t)} \neq a_3^{(t)}$ 이면서 $-b_2^{(t)}/b_1^{(t)} \leq 0$ 또는 $-b_2^{(t)}/b_1^{(t)} \geq 1$ 인 경우 미

알고리즘 1. t 번째 전송 시간 슬롯에서 전송률의 증가를 위해 제안하는 전력 분배 기법
Algorithm 1. Proposed power allocation scheme for increasing the achievable rate in the t th time slot

- 1: Calculate $b_1^{(t)}$ and $b_2^{(t)}$.
- 2: if $b_1^{(t)} = 0$ then
- 3: $\alpha^{(t)+} = 0.5$
- 4: else if $0 < -b_2^{(t)}/b_1^{(t)} < 1$ then
- 5: $\alpha^{(t)+} = -b_2^{(t)}/b_1^{(t)} - \epsilon$
- 6: else
- 7: $\alpha^{(t)+} = \{ \sqrt{b_2^{(t)}(b_1^{(t)} + b_2^{(t)})} - b_2^{(t)} \} / b_1^{(t)}$
- 8: end if
- 9: Calculate $p_s^{(t-1)}$ and $p_r^{(t)}$ using $\alpha^{(t)+}$.

분을 통해서 $\alpha^{(t)+}$ 를 결정하고 그 값은 다음과 같다.

$$\alpha^{(t)+} = \frac{\sqrt{b_2^{(t)}(b_1^{(t)} + b_2^{(t)})} - b_2^{(t)}}{b_1^{(t)}} \quad (20)$$

유도한 수식들을 바탕으로 $t - 1$ 번째 전송 시간 슬롯에 신호원의 전송 전력과 t 번째 전송 시간 슬롯에 중계기의 전송 전력을 구하는 기법은 알고리즘 1과 같다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안하는 전력 분배 기법 (proposed power allocation scheme)과 전송 전력의 합을 신호원과 중계기에 동일하게 분배하는 균등 전력 분배 기법 (equal power allocation scheme)에 대해서 모의실험을 하였다. 중계기의 자기 간섭 채널 추정 오차의 분산 대 잡음의 분산 비를 interference-to-noise ratio (INR)이라고 정의하였다. 전송 전력의 합, INR, 전송 시간 슬롯에 따라서 전송률과 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비를 비교하였다. 모의실험에서 중계기 잡음의 분산과 목적지 잡음의 분산은 1로 같다고 하였다. 또한 $|h_{sr}^{(t-1)}|^2$ 과 $|h_{rd}^{(t)}|^2$ 은 전송 시간 슬롯에 따라서 변하지 않고 값은 1이라고 하였으며 ϵ 은 0.0001이라고 하였다.

그림 2는 전송 시간 슬롯이 5번째 일 때 전송 전력의 합과 INR에 따라서 제안하는 전력 분배 기법과 균등 전력 분배 기법의 전송률을 비교한 결과이다. 제안

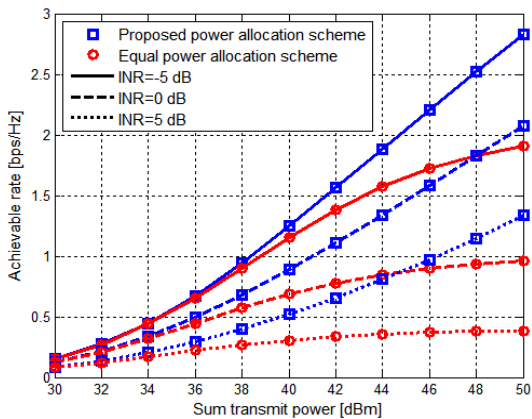


그림 2. 전송 전력의 합과 INR에 따른 전송률
Fig. 2. Achievable rate versus sum transmit power for different INR values

하는 전력 분배 기법이 균등 전력 분배 기법보다 전송률이 우수한 것을 확인하였다. 전송 전력의 합이 클수록 INR이 작을수록 성능이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 전송 전력의 합이 클수록 제안하는 전력 분배 기법과 균등 전력 분배 기법의 전송률 차이가 커지는 것을 확인하였다.

그림 3은 전송 시간 슬롯이 5번째 일 때 전송 전력의 합과 INR에 따라서 제안하는 전력 분배 기법의 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비를 비교한 결과이다. 전송 전력의 합이 증가할수록 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 INR이 증가함에 따라 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 중계기에 남아 있는 자기 간섭 신호의 영향이 클수록 자기 간섭 신호의 영향을 억제하기 위해서 중계기의 전송 전력을 감소시켜야 하기 때문이다.

그림 4는 전송 전력의 합이 50 dBm 일 때 전송 시간 슬롯과 INR에 따라서 제안하는 전력 분배 기법과 균등 전력 분배 기법의 전송률을 비교한 결과이다. 전송 시간 슬롯과 INR에 관계없이 제안하는 전력 분배 기법이 균등 전력 분배 기법 보다 전송률이 큰 것을 확인할 수 있다. 0번째 전송 시간 슬롯에 중계기는 전송하지 않고 신호원만 전송하기 때문에 1번째 전송 시간 슬롯에는 중계기의 자기 간섭 신호가 존재하지 않고 2번째 전송 시간 슬롯부터 중계기의 자기 간섭 신호가 남아있다. 그러므로 제안하는 전력 분배 기법과 균등 전력 분배 기법 모두 2번째 전송 시간 슬롯의 전송률이 1번째 전송 시간 슬롯의 전송률에 비해 감소하는 것을 확인할 수 있다. 균등 전력 분배 기법은

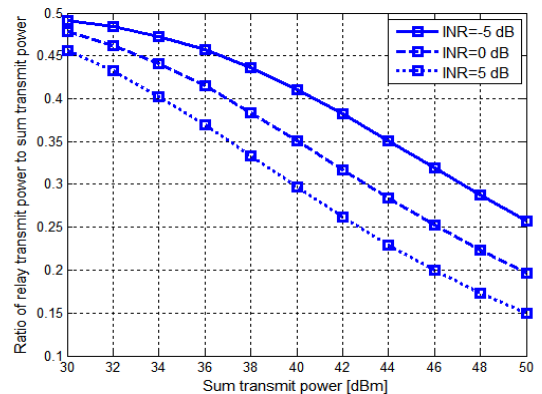


그림 3. 전송 전력의 합과 INR에 따른 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비
Fig. 3. Ratio of relay transmit power to sum transmit power versus sum transmit power for different INR values

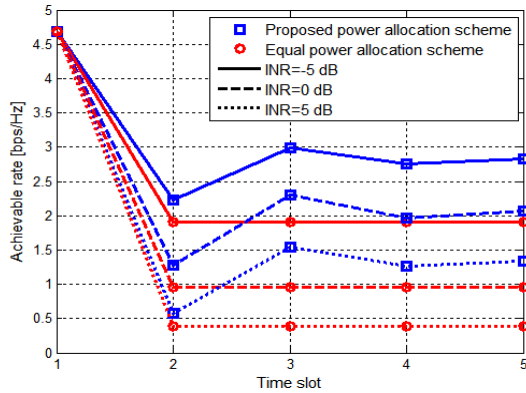


그림 4. 전송 시간 슬롯과 INR에 따른 전송률
Fig. 4. Achievable rate versus time slot for different INR values

전송 시간 슬롯에 상관없이 신호원과 중계기가 동일한 전력으로 전송하기 때문에 2번째 전송 시간 슬롯 이후부터는 전송률이 변하지 않는다.

그림 5는 전송 전력의 합이 50 dBm 일 때 전송 시간 슬롯과 INR에 따라서 제안하는 전력 분배 기법에 대한 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비를 비교한 결과이다. 전송 시간 슬롯이 증가함에 따라서 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비가 계속 변하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 제안하는 전력 분배 기법은 이전 전송 시간 슬롯에 중계기가 전송한 전력을 이용하기 때문이다. 또한 INR이 증가함에 따라 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

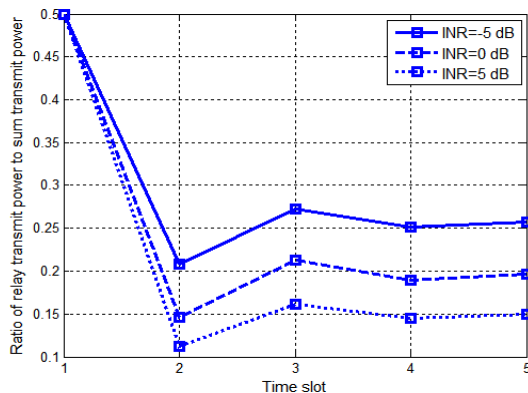


그림 5. 전송 시간 슬롯과 INR에 따른 중계기 전송 전력 대 전송 전력의 합 비
Fig. 5. Ratio of relay transmit power to sum transmit power versus time slot for different INR values

V. 결 론

본 논문에서는 전송 전력의 합 제한이 있는 단방향 전이중 중계기 네트워크에서 전송률의 증가를 위한 신호원과 중계기의 전송 전력 분배 기법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 닫힌 형태의 전송 전력을 기반으로 하여 구성된 알고리즘으로 복잡도가 낮다. 전이중 중계기 네트워크에서는 이전 전송 시간 슬롯에 사용하였던 중계기의 전송 전력이 현재 전송 시간 슬롯의 전송률에 영향을 미친다는 특징이 있다. 그러므로 채널 이득, 잡음의 분산, 자기 간섭 채널 추정 오차의 분산 등이 변하지 않아도 신호원과 중계기의 전송 전력을 매 전송 시간 슬롯마다 다르게 분배하는 방법이 전송률을 증가시킬 수 있다.

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 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] Y. Shim, W. Choi, and H. Park, "Beamforming design for full-duplex two-way amplify-and-forward MIMO relay," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 10, pp.

6705-6715, Oct. 2016.

- [7] S. Lee and S. Kim, "Outage optimal transmission strategy for full-duplex relay system," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, pp. 853-860, Nov. 2011.
- [8] X. Cheng, B. Yu, X. Cheng, and L. Yang, "Two-way full-duplex amplify-and-forward relaying," in *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 1-6, San Diego, USA, Nov. 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.

심 영 규 (Yeonggyu Shim)



2017년 2월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학부 박사
2017년 3월~현재 : 한국과학기술
원 박사후연구원
<관심분야> 중계기 네트워크

박 현 철 (Hyuncheol Park)



1983년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 학사
1985년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 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 이동통
신 CP
2009년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기및전자공학
부 정교수
<관심분야> 이동통신 시스템