

병렬 중계 시스템을 위한 인지 무선 기반 중계 전력 할당 기법

김 광 열*, 김 준 수*, 신 요 안^o

A Cognitive Radio Based Relaying Power Allocation Scheme for Parallelized Relay Systems

Kwang-Yul Kim*, Junsu Kim*, Yoan Shin^o

요 약

병렬 중계 기법은 하나의 중계기가 송신단으로부터 데이터를 수신하는 동안에 다른 중계기는 수신단으로 데이터를 중계하기 때문에, 중계기간에 상호 간섭이 발생하게 되어 대역 효율성이 감소된다. 따라서 본 논문은 병렬 중계 기법의 대역 효율성을 개선하기 위해 인지무선 기반의 중계 전력 할당 기법을 제안한다. 제안 기법은 중계기마다 우선순위를 부여하고, 우선순위가 낮은 중계기에는 간섭 온도가 적용된 중계 전력을 할당한다. 모의실험을 통해, 제안 기법이 중계기간 상호 간섭에 강한 특성을 보이며, 병렬 중계 기법의 대역 효율성을 개선할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : parallelized relaying, interference temperature, priority assignment, spectral efficiency, relaying power allocation

ABSTRACT

In order to improve the spectral efficiency of a parallelized relaying, the cross-relay interference should be carefully considered. In this paper, we propose a interference temperature based relaying power allocation scheme for reducing the cross-relay interference. The simulation results show that the proposed scheme can improve the spectral efficiency.

I. 서 론

하나의 송신단, 다수의 중계기, 다수의 수신단이 존재하는 협력형 중계 시스템에서 매 순간마다 채널 상태가 최적인 하나의 중계기를 선택하여 전송하는 기 최적 중계 기법은 분리된 전송 시간으로 인해 대역 효율성이 감소하게 된다^[1,2]. 이 문제를 해결하기 위해, 하나의 중계기가 송신단으로부터 데이터를 수신하는 동안에 다른 중계기는 수신단으로 데이터를 중계하는 병렬 중계 (Parallelized Relaying; PR) 기법이 제안되었다^[2]. 그러나 PR 기법은 중계기간 상호 간섭 (Cross-Relay Interference; CRI)이 발생하게 되어 대역 효율성이 감소된다^[2]. 따라서 본 논문은 PR 기법의 대역 효율성을 개선하기 위해 인지무선 기반 중계 전력 할당 기법을 제안한다.

II. 병렬 중계 모델

그림 1은 PR 기법을 나타낸 것으로, 한 개의 송신기, 두 개의 AF (Amplify and Forward) 중계기, 그리고 두 개의 수신기를 가정한다^[2]. 스케줄링을 통해 중계기와 수신기는 사전에 중계 쌍 (Relaying Pair)으로 결정되고, 송신기는 중계기에 순차적으로 데이터를 전송한다. 따라서 송신기와 수신기 사이의 직접적인 채널과 중계 쌍 간의 채널은 없다고 가정한다. 제안된 기법은 스케줄링을 통해 더 많은 수의 중계 쌍 환경으로 확장시킬 수 있다. 그림에서 h_i 와 h_j 는 송신기와 중계기 간 채널 이득, g_i 와 g_j 는 중계기와 수신기 간 채널 이득, 그리고 α 는 중계기간 채널 이득을 의미한다. 이 때 모든 채널 이득은 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 랜덤 변수이다.

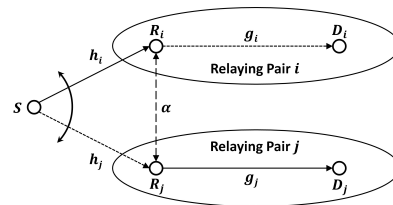


그림 1. 일반적인 PR 기법[2]
 Fig. 1. Conventional PR scheme

* 이 논문은 2017년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (셀룰러 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능 한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심기술 개발).

♦ First Author : School of Electronic Engineering, Soongsil University, kky1117@ssu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : School of Electronic Engineering, Soongsil University, yashin@ssu.ac.kr, 중신회원

* Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University, junsukim@kpu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2017-05-138, Received May 2, 2017; Revised June 5, 2017; Accepted June 5, 2017

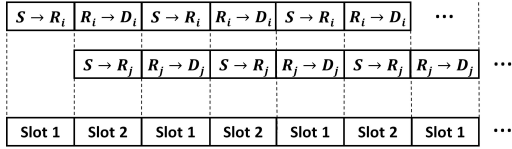


그림 2. PR 기법의 스케줄링 과정
Fig. 2. Scheduling process of PR scheme

그림 2는 PR 기법의 스케줄링 과정을 도시한 것이다. 대역 효율성을 높이기 위한 PR 기법의 핵심은 송신기 S 가 중계기 R_i 로 데이터를 전송할 때 중계 쌍 j 가 데이터를 중계하고, 송신기 S 가 중계기 R_j 로 데이터를 전송할 때 중계 쌍 i 가 데이터를 중계하는 것이다. 그러나 각 슬롯마다 중계기에서는 데이터 수신 또는 데이터 중계가 수행되기 때문에 CRI가 발생하게 되어 대역 효율성이 감소된다.

III. 인지무선 기반 중계 전력 할당 기법

본 논문은 PR 기법의 대역 효율성을 개선하기 위해 인지무선 기반 중계 전력 할당 기법을 제안한다. 제안한 기법은 우선권이 부여된 중계기에 최대 중계 전력을 할당하고, 우선순위가 낮은 중계기에는 간섭 온도 (Interference Temperature; IT)^[3]를 적용하여 CRI를 일으키지 않는 허용치 내에서 중계 전력을 할당한다. 다음 식은 IT 허용치가 적용된 중계 전력 ρ_Q 을 표현한 것이다.

$$\rho_Q \triangleq \min(\rho_r, Q/|\alpha|^2), \quad (1)$$

여기서 ρ_r 은 잡음전력대비 최대 중계 전력, Q 는 IT 허용치이다. 다음은 중계 전력을 할당하기 위한 기준인 우선권 부여 방식을 설명한 것이다.

3.1 평등적 우선권 부여 (“평등적 PR 기법”)

평등적 우선권 부여 방식은 두 중계 쌍에 동일한 우선권을 부여하는 방식으로, 우선권이 없는 것을 의미한다. 따라서 각 중계기는 CRI를 일으키지 않기 위해 모든 중계기에 IT 허용치가 적용된 중계 전력 ρ_Q 을 할당해야 한다. 다음 식은 평등적 PR 기법에서 각 수신단이 얻는 유효 신호대간섭잡음비 (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio; SINR)로 송신기와 중계기, 중계기와 수신기 사이의 채널 이득에 대한 중계기간 간섭 비로 표현된다^[2].

$$\gamma_k^{P_0} = \frac{|h_k|^2 \rho_s |g_k|^2 \rho_Q}{|h_k|^2 \rho_s + |g_k|^2 \rho_Q + 1 + |\alpha|^2 \rho_Q \{1 + |g_k|^2 \rho_Q\}}, \quad (2)$$

여기서 $k \in \{i, j\}$, ρ_s 는 송신기의 잡음전력대비 전송 전력이다. 이 때 평등적 PR 기법의 대역 효율성 $C_{PR}^{P_0}$ 은 다음 식과 같이 표현된다^[2].

$$C_{PR}^{P_0} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_i^{P_0}) + \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_j^{P_0}), \quad (3)$$

여기서 상수 1/2는 두 단계를 통해 데이터를 전송하는 PR 기법의 자유도를 의미한다.

3.2 차등적 우선권 부여 (“차등적 PR 기법”)

평등적 PR 기법은 모든 중계기의 중계 전력을 CRI에 따라 제한해야 하므로 대역 효율성이 다소 필요 이상으로 제한받을 수 있다. 따라서 두 중계 쌍에 우선순위를 부여하고, 우선순위가 높은 중계기에 최대 중계 전력을 할당하는 방식을 고려한다.

3.2.1 1단계: CSI 기반의 우선권 부여 단계

1단계에서는 시스템이 채널 상태 정보 (Channel State Information; CSI)를 알고 있다고 가정하고, CRI가 없는 환경 ($|\alpha| = 0$)에서 각 수신단이 수신하는 신호의 유효 SNR을 계산한다. 다음 식은 유효 SNR을 표현한 것이다.

$$\gamma_k^{P_1} = \frac{|h_k|^2 \rho_s |g_k|^2 \rho_r}{|h_k|^2 \rho_s + |g_k|^2 \rho_r + 1}. \quad (4)$$

이 때, 중계기 R_i 의 유효 SNR이 중계기 R_j 보다 큰 경우 ($\gamma_i^{P_1} > \gamma_j^{P_1}$), 중계기 R_i 에 우선권이 부여된다.

3.2.2 2단계: 우선권에 따른 전력 할당 단계

2단계에서는 1단계에서 부여된 우선권에 따라 다음 식과 같이 중계기에 중계 전력을 할당한다.

$$\begin{cases} R_j = \rho_Q, & P = 0 \\ R_i = \rho_r, & P = 1 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 P 는 우선권으로 “0”은 우선권이 없는 경우이며, “1”은 우선권이 있는 경우를 의미한다. 결과적으로 우선권이 있는 중계기는 CRI에 상관없이 최대 중계 전력 ρ_r 으로 중계하기 때문에 대역 효율성이 향상될 수 있다. 다음 식은 차등적 PR 기법에서 각 수신단

이 얻는 유효 SINR을 표현한 것이다.

$$\gamma_i^{P_i} = \frac{|h_{ij}|^2 \rho_s |g_i|^2 \rho_r}{|h_{ij}|^2 \rho_s + |g_i|^2 \rho_r + 1 + |\alpha|^2 \rho_Q \{1 + |g_i|^2 \rho_r\}}, \quad (6)$$

$$\gamma_j^{P_i} = \frac{|h_{ji}|^2 \rho_s |g_j|^2 \rho_Q}{|h_{ji}|^2 \rho_s + |g_j|^2 \rho_Q + 1 + |\alpha|^2 \rho_r \{1 + |g_j|^2 \rho_Q\}}. \quad (7)$$

IV. 모의실험 결과 및 결론

제한한 중계 전력 할당 기법의 대역 효율성을 평가하기 위해 그림 1의 모델을 고려하였으며, 기회적 중계 기법^[1,2], 일반적인 PR 기법^[2]과 비교하였다. 표 1은 모의실험을 위한 주요 파라미터이다.

그림 3은 Q 를 -3 dB로 고정시켜 놓고, CRI에 따른 대역 효율성을 측정된 결과이다. 기회적 중계 기법은 CRI가 없기 때문에, CRI에 따라 대역 효율성이 일정한 것을 볼 수 있다. 그러나 PR 기법들은 CRI가 증가함에 따라 대역 효율성이 감소된 것을 볼 수 있는데, 일반적인 PR 기법은 -5 dB, 평등적 PR 기법은 -8 dB, 그리고 차등적 PR 기법은 0 dB부터 기회적 중계 기법보다 대역 효율성이 낮았다. 하지만 차등적 PR 기법은 CRI가 -9~0 dB에서 고려된 모든 기법보다 대역 효율성이 높았다. 또한, CRI가 증가해도 다른 PR 기법보다 기회적 중계 방식에 근접한 성능을 보일 수 있기 때문에, 제한한 기법이 CRI에 강한 특성을 보인다고 할 수 있다.

그림 4는 IT에 따른 대역 효율성의 결과를 측정된 것이다. 차등적 PR 기법의 대역 효율성이 기회적 중계 기법과 동일한 경우 ($E[|\alpha|^2] = 0$ dB), 차등적 PR 기법은 기회적 중계 기법과 동일한 대역 효율성을 유지하다가 IT가 커질수록 ρ_Q 에 의해 일반적인 PR 기법의 성능으로 점차 수렴하는 것을 볼 수 있다. 반면에, 차등적 PR 기법의 대역 효율성이 일반적인 PR 기

표 1. 모의실험을 위한 주요 파라미터
Table 1. Main parameters for the simulations

Parameter	Value
Source transmission power ρ_s	10 dB
Relay transmission power ρ_r	10 dB
Source-relay channel gain $E[h_{ki} ^2]$	0 dB
Relay-destination channel gain $E[g_k ^2]$	-3 dB

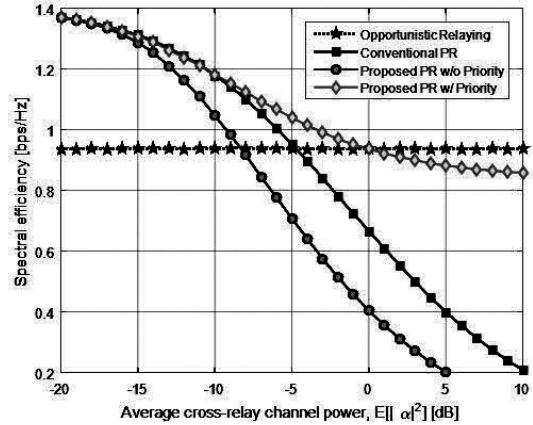


그림 3. CRI에 따른 대역 효율성 (@ $Q = -3$ dB)
Fig. 3. Spectral efficiency according to the average CRI

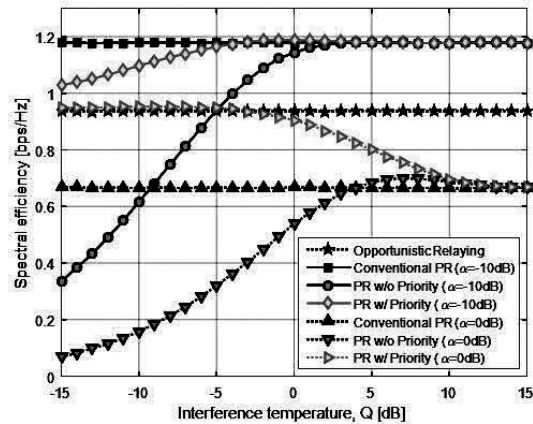


그림 4. IT에 따른 대역 효율성 (@ $\alpha = \{-10, 0\}$ dB)
Fig. 4. Spectral efficiency according to the IT

법과 동일한 경우 ($E[|\alpha|^2] = -10$ dB), IT의 제한으로 일반적인 PR 기법보다 낮은 대역 효율성을 보이다가 IT가 커질수록 일반적인 PR 기법의 대역 효율성으로 점차 수렴하는 것을 볼 수 있다. 한편, α 의 변화에 따라 요구되는 Q 가 상이하기 때문에 제한한 기법은 대역 효율성을 유지하기 위해 CRI와 IT를 함께 고려해야 함을 알 수 있다.

모의실험을 통해, 중계 전력 할당 기법이 적용된 차등적 PR 기법이 일반적인 PR 기법의 대역 효율성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 다만, 실제 환경에서는 CRI가 수시로 변하게 되며, 모든 상황에서 동일한 Q 를 적용하는 것은 비효율적이다. 따라서 앞으로는 변화하는 환경에서 대역 효율성을 극대화시킬 수 있는 최적의 Q 를 찾고, 이를 적용하여 중계 전력을 할당하는 기법을 연구하고자 한다.

References

- [1] H. Hwang and K. Ahn, "Performance analysis of amplify-and-forward relaying in cooperative networks with partial relay selection," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2317-2323, Dec. 2015.
- [2] K.-Y. Kim, C. J. Lee, Y. Shin, and J. Kim, "Cognitive radio based parallelized relaying scheme," in *Proc. ICTC 2015*, pp. 683-685, Jeju, Korea, Oct. 2015.
- [3] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 3, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.