

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.3.67>

IIBC 2015-3-9

## 전력 분배 프로토콜을 통한 동일 채널 간섭을 겪는 중계기의 성능 최적화 방안

### Performance Optimization Method of Relay undergo Co-Channel Interference using Power Splitting Protocol

김태욱\*, 공형윤\*\*

Tae-Wook Kim\*, Hyung-Yun Kong\*\*

**요약** 본 논문에서는 동일 채널 간섭을 겪는 중계기에 전력 분할 프로토콜을 적용하여 시스템의 성능을 최적화하는 방안을 제안하였다. 동일 채널 간섭을 겪는 중계기에 전력 분배 요인을 조절할 경우, 간섭 요인이 새로운 전력원으로 작용하기 때문에 수집 전력을 극대화할 수 있으며 수신단의 채널 용량을 최적화할 수 있다. 전력 분할 프로토콜이 적용된 중계기의 최적의 전력 분할 수준을 찾는다면 중계기 및 수신단의 불능 현상을 해결할 수 있으며 네트워크의 효율성을 높일 수 있다. 동일 채널 간섭 수준에 대한 아웃티지 확률 및 단대단 노드의 용량 성능을 분석함으로써 시스템의 성능을 평가한다.

**Abstract** In this Paper, we proposed optimization of system performance, power splitting protocols applied to relay in the cooperative communication undergo co-channel interference. When relay adjust power distribution factors undergo co-channel interference, it is possible to optimize and maximize the channel capacity of the receiver. Because of energy harvesting, interference transfer to new power source. If finding the optimal power levels, to solve inability in system, and to increase the efficiency of the network. Finally, performance of the proposed protocol is analyzed in terms of outage probability, capacity of system.

**Key Words** : Energy Harvesting, Cooperative Communication, Decode and Forward, Power Allocation, Interference Mitigation

## 1. 서론

무선 네트워크에 배치된 무선 기기는 거듭되는 기술 발전을 통해 크기가 작아지고 있다. 무선 기기에 저장된 전력은 한정적이기 때문에 이를 효율적으로 사용하는 방법이 연구되고 있으며, 최근에는 에너지 하베스팅 기법을 통해 무선 기기의 작동 수명을 한 단계 상승 시킬 수 있는 방법이 제안되었다<sup>[1]</sup>.

협력 통신 네트워크는 에너지 하베스팅 기법을 효율적으로 적용할 수 있는 네트워크 중 하나이며, 중계기의 전력 수집을 위해 시간 조정 프로토콜과 전력 분배 프로토콜이 제안되었다<sup>[2]</sup>. 시간 조정 프로토콜 혹은 전력 분배 프로토콜이 적용된 중계기는 배치 환경에 따라 동일 채널 간섭 문제를 겪을 수 있다. 이는 중계기 혹은 수신단의 불능 현상을 야기하는 요인이다. 따라서 중계기 혹은 수신단은 간섭의 영향으로 인해 성능이 저하될 수 있

\*준회원, 울산대학교 전기공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)  
접수일자 2015년 3월 31일, 수정완료 2015년 5월 22일  
게재확정일자 2015년 6월 12일

Received: 31 March, 2015 / Revised: 22 May, 2015 /

Accepted: 12 June, 2015

\*\*Corresponding Author: hkong@ulsan.ac.kr

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

으며 이로 인해 메시지의 복호가 불가능할 수 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 이 문제를 에너지 하베스팅 기법의 관점에서 살펴볼 때, 중계기의 전력 수집량이 증가한다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 전력 분배 프로토콜을 사용하여 중계기의 전력을 수집하며 시스템이 불능 상태에 빠지지 않는 최적의 전력 분배 값을 찾는 방법을 제안한다. 본 논문의 시나리오에서 중계기는 수신되는 메시지의 전력 일부와 동일 채널 간섭을 통해 전력을 얻게 된다. 또한 복호 후 전송 방법으로 수신단에 메시지를 전달한다. 최적의 전력 분할 수준을 찾는다면 중계기 및 수신단의 불능 현상을 해결할 수 있으며 네트워크의 효율성을 높일 수 있다. 동일 채널 간섭 수준에 대한 아웃티지 확률과 단대단 노드의 용량 성능을 비교 분석함으로써 제안된 기법의 성능을 평가한다.

II장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델에 대해 소개하며, III장에서는 모의 실험 결과를 통해 시스템의 성능을 평가한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 송신단(Source : S)과 수신단(Destination : D) 사이에 중계기(Relay : R)가 그림 1과 같이 배치되었을 경우에 대한 아웃티지 확률 및 단 대 단 노드의 용량을 분석함으로써 시스템의 성능을 평가한다.

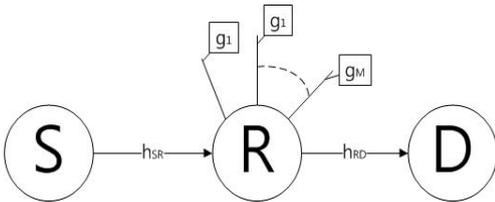


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

그림 1의 시스템 모델에서 중계기는 에너지 하베스팅 기법의 전력 분배 프로토콜이 적용되며 동일 채널 간섭을 겪는 노드이다. 각 채널의 정보는  $h_{SR}$ ,  $h_{RD}$ 로 주어지며 간섭 요인의 채널은  $g_1, g_2, \dots, g_M$ 으로 구성된다.

### 1. 간섭 요인이 적용된 중계기

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 중계기 R로 자신의 메시지를 전송하게 되며 중계기에서는 다음과 같은 신호를 수신한다.

$$y_{SR} = \sqrt{P_S} x_s h_{SR} + n_r \quad (1)$$

식 (1)에서  $P_S$ 는 송신단 S의 전송 전력이며,  $h_{SR}$ 는 각 노드 사이의 채널 정보,  $x_s$ 은 송신단 S의 메시지이다. 또한,  $n_r$ 은 평균이 0, 분산이  $N_0$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다. 간섭 요인  $g_1, g_2, \dots, g_M$ 이 포함될 경우 다음과 같은 신호를 수신할 수 있다.

$$y_{SR} = \sqrt{P_S} x_s h_{SR} + \underbrace{\sum_{j=1}^M \sqrt{P_j} x_j g_j}_{interference} + n_r \quad (2)$$

식 (2)에서  $\sum_{j=1}^M \sqrt{P_j} x_j g_j$ 는 동일 채널을 사용하여 중계기에 간섭 요인을 작용하는 부분을 의미한다. 그러나 중계기 R에는 전력 분배 프로토콜을 사용함으로써 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$y_{SR} = \sqrt{\alpha P_S} x_s h_{SR} + \sqrt{(1-\alpha) P_S} x_s h_{SR} + \sum_{j=1}^M \sqrt{P_j} x_j g_j + n_r \quad (3)$$

식 (3)을 통해 중계기에서 수신된 신호를 정리할 수 있으며  $\sqrt{(1-\alpha) P_S} x_s h_{SR}$ 은 전력 분배 프로토콜로 인한 전력 수집 부분임을 알 수 있다. 따라서 [3-6]에서 정의된 전력 수집량에 관한 식을 수정하여 최종 식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$EH = \eta \left( P_S |h_{SR}|^2 + \sum_{j=1}^M P_j g_j^2 \right) (1-\alpha) T \quad (4)$$

식 (4)를 통해 중계기에서 수집되는 전력량을 계산할 수 있으며  $\eta$ 는 전환 효율,  $1-\alpha$ 는 분배율,  $T$ 는 전력 수집 및 메시지 복호, 메시지 전송에 대한 주기이다. 또한 식 (4)를 통해 중계기의 전송 전력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_R = \frac{EH}{\alpha T/2} = \frac{2(1-\alpha)\eta \left( P_S |h_{SR}|^2 + \sum_{i=1}^M P_i |g_i|^2 \right)}{\alpha} \quad (5)$$

또한 수신단에서는 다음과 같은 신호를 수신하게 된다.

$$y_{RD} = \sqrt{P_R} x_R h_{RD} + n_d \quad (6)$$

식 (6)은 식 (1)과 마찬가지로  $P_R$ 는 중계기 R의 전송 전력이며,  $h_{RD}$ 는 각 노드 사이의 채널 정보,  $x_R$ 은 중계기에서 복호된 송신단의 메시지이다. 또한,  $n_d$ 은 평균이 0, 분산이  $N_0$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다.

## 2. 아웃티지 확률 및 용량 분석

중계기에서 간섭이 포함된 신호 대 잡음 비는 식 (3), (6)을 바탕으로 하여 다음과 같이 얻어진다.

$$\gamma_{SR} = \frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0 + \sum_{i=1}^M P_i |g_i|^2}, \gamma_{RD} = \frac{P_R |h_{RD}|^2}{N_0} \quad (7)$$

식 (7)은 송신단과 중계기, 중계기와 수신단 사이의 신호 대 잡음 비이며 송신단과 중계기 사이의 아웃티지 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{out}^{SR} = P_\gamma(\gamma_{SR} < \gamma_{th}) \quad (8)$$

$$= \int_0^{\gamma_{th}} f_{\gamma_{SR}}(\gamma_{SR}) d\gamma_{SR} = F_{\gamma_{SR}}(\gamma_{th})$$

식 (4)과 같은 과정으로  $\gamma_{SR}$ 에 대한 아웃티지 확률을 구할 수 있으며  $f_{\gamma_{SR}}(\gamma_{SR})$ 는 확률 밀도 함수(Probability Density Function),  $F_{\gamma_{SR}}(\gamma_{th})$ 은 확률 분포 함수(Probability Distribution Function)이다.

또한 시스템의 단대단 용량 성능을 확인하기 위해 다음과 같은 방법을 통해 분석한다.

$$C = E \left[ \min \left\{ \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{SR}), \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{RD}) \right\} \right] \quad (9)$$

$$= E \left[ \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{\min}) \right]$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^\infty \log_2(1 + \gamma) f_{\gamma_{\min}}(\gamma) d\gamma$$

식 (9)는 각 노드 사이의 신호 대 잡음 비의 최솟값 비교를 통해 시스템의 용량 성능을 분석할 수 있다. 또한 위 식에서  $E[\cdot]$ 은 기댓값,  $\gamma_{\min}$ 은 최솟값 비교를 통해 얻은 신호 대 잡음 비를 의미하며 1/2은 식 (4)의 주기와 동일하다.

## III. 모의실험

본 장에서는 시스템 모델의 성능 평가를 위해 모의실험을 진행하였다. 모의실험에서 이용되는 파라미터는 아래 표 1에 간략히 나타내었다.

표 1. 모의실험 파라미터  
 Table 1. Simulation parameters

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent	3
$\gamma_{th}$	5dB
SNR	-10, 0 ~ 20 dB
Conversion efficiency( $\eta$ )	1

표 1을 통해 모의실험 파라미터를 알 수 있다. 채널 환경은 레일리 페이딩을 적용하였고 경로 손실 지수는 실외 환경에 대한 지수인 3, 아웃티지 확률을 분석하기 위한 임계 신호 대 잡음 비는 5dB이며 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 설정하고 중계기와의 거리는 0.5로 설정하였다. 또한 전력 전환 효율  $\eta$ 는 이상적인 환경이라는 가정을 통해 1로 설정하였다.

그림 2는 동일 채널 간섭을 겪는 중계기의 아웃티지 확률을 분석한 결과이다. 간섭 요인인  $\sum_{i=1}^M P_i |g_i|^2$ 의 수치가 -4dB부터 4dB까지 2dB의 간격으로 설정되어있으며 간섭의 크기가 커질수록 중계기의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 식 (4)의  $\left( P_S |h_{SR}|^2 + \sum_{i=1}^M P_i |g_i|^2 \right)$ 으로 인해 중계기는 간섭이 없을 때에 비해 많은 양의 전력

을 수집할 수 있다.

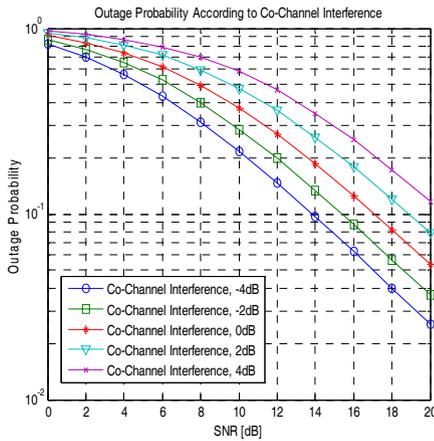


그림 2. 동일 채널 간섭 요인에 의한 아웃지 확률  
Fig. 2. Outage probability according to co-channel interference

따라서 식 (4)와 그림 2를 통해 전력 분배 비율인  $\alpha$ 의 값이 중요한 요인으로 작용하는 것을 확인할 수 있다.

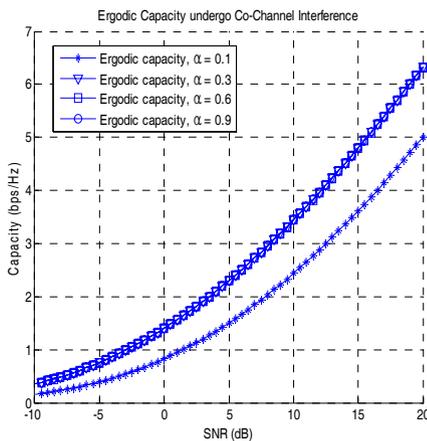


그림 3. 동일 채널 간섭 환경에서  $\alpha$ 에 따른 채널 용량  
Fig. 3. Ergodic capacity under co-channel interference

그림 2를 통해  $\alpha$ 가 시스템의 성능을 결정하는 중요 인이 되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3에서는 시스템의 단대단 채널 용량을 분석하여 최적의  $\alpha$ 가 어떤 범위 내에 존재하는지 확인할 수 있다.  $\alpha$ 가 0.3, 0.6, 0.9는 동일한 채널 용량을 나타내고 있으며 0.1에서는 그보다 열약

한 것을 확인할 수 있다. 식 (3)의  $\sqrt{\alpha P_s}$ 를 통해 중계기에 수신된 메시지를 복호할 때 작용하는 부분인 것을 확인할 수 있으며 이 값이 일정 수치인 0.3 이상부터는 동일한 성능이라는 것으로 분석할 수 있다. 이때, 식 (3)의  $\sqrt{(1-\alpha)P_s}$ 와 간섭 요인을 통해 수집된 전력을 바탕으로 복호된 메시지를 전송하게 되며, 그림 3의 용량 그래프를 통해 수신단의 성능을 최적화 시켰음을 확인할 수 있다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 동일 채널 간섭을 겪는 중계기에 전력 분할 프로토콜을 적용하여 시스템의 성능을 최적화하는 방안을 제안하였다. 에너지 하베스팅이 적용된 노드에서는 전력 분배 요인을 조절하여 수집 전력을 극대화하고 이를 바탕으로 수신단의 채널 용량을 최적화하였다. 따라서 제안된 기법을 협력 네트워크의 중계기에 적용할 경우 채널 용량이 최적화되어 있으므로 네트워크의 효율성을 증가시킬 수 있다.

## References

- [1] J. Paradiso and T. Starner, "Energy scavenging for mobile and wireless electronics," *IEEE Pervasive Comput.*, Vol 4, No 1, pp 18~27, Jan, 2005.
- [2] L. Liu, R. Zhang, and K.-C. Chua, "Wireless information transfer with opportunistic energy harvesting," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol 12, No 1, pp. 288~300, Jan, 2013.
- [3] Tae Wook Kim, Hyung Yun Kong, "Performance Analysis of The Relay Applied Energy Harvesting", *The Institute of Internet Broadcasting and Communication*, Vol 14, No 5, pp 67~72, Oct 2014.
- [4] Ali.A Nasir, Xiangyun Zhou, Salman Durrani, "Relaying Protocols for Wireless Energy Harvesting and Information Processing", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol 12, No 1, pp. 3622~3636, July 2013.
- [5] A. Bletsas. H. Shin. and M. Z. Win, "Cooperative

communication in the presence of co-channel interferences and outdated channel information", IEEE Commun. Letters, Vol 17, No 10, pp. 1948~1951, Oct 2013.

- [6] Yanju Gu, Sonia Aissa, "Interference Aided Energy Harvesting in Decode-and-Forward Relaying Systems", IEEE ICC 2014.

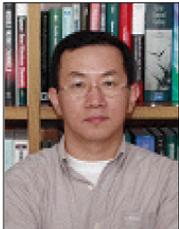
## 저자 소개

### 김 태 욱(준회원)



- 2007 2월 ~ 2014년 2 월 : 울산대학교 전기공학부 학사
- 2014 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 석사
- <주관심분야 : 인지 기술, 협력 통신, 전력 수집>

### 공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
- 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
- 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
- 1996년 ~ 1996년 : LG전자 PCS팀장
- 1996년 ~ 1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단
- 1998년 ~ 현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크>