

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.93>

IIBC 2015-4-12

최적의 전력 분배 방안이 적용된 중계기 프로토콜

Relay Protocol applied to Optimal Power Allocation

김태욱*, 공형윤**

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

요약 본 논문에서는 동일 채널 간섭을 겪는 중계기에 최적화된 분할 요인이 적용된 전력 분할 프로토콜을 활용하여 시스템의 성능을 최적화하는 방안을 제안하였다. 전력 분할 프로토콜이 적용된 중계 노드에서는 전력 분배 요인을 최적화하여 간섭 요인을 전력원으로 사용, 송신단의 신호를 최적의 상태로 복호한다. 따라서 제안된 방안을 협력 네트워크의 중계기에 적용할 경우, 전력 분할 프로토콜의 분할 인자에 따른 전력 수급이 가능하며 최적화된 채널 용량을 통해 네트워크의 효율성을 증가시킬 수 있다. 전력 분배 인자에 대한 아웃티지 확률 및 채널 용량 성능을 분석함으로써 시스템의 성능을 평가한다.

Abstract In this Paper, we proposed optimization of system performance, optimal splitting factor applied to power splitting protocol with relay in the cooperative communication undergo co-channel interference. We can possible to optimize and maximize the channel capacity of the receiver through optimal factor of splitting protocol. So, we can 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 센서 네트워크에 사용되는 무선 기기는 배치된 형태로 인해 배터리와 같은 독립적인 전력원을 통해 전력을 제공받는다. 이 경우, 무선 기기에 저장된 전력은 한정적이기 때문에 이를 효율적으로 사용하는 방법에 대한 연구가 필수적이다. 최근, 주변에 전파되는 신호를 수집하여 자신의 전력원으로 삼는 에너지 하베스팅 방안이 제안되었다. 이 기법을 통해 무선 기기에 전력을 수급함으로써 배터리를 활용하는 방법에 대한 대안이 되었다^[1].

협력 통신 네트워크는 에너지 하베스팅 기법을 효율

적으로 적용할 수 있는 네트워크 중 하나이며, 중계기의 전력 수집을 위해 시간 조정 프로토콜과 전력 분배 프로토콜이 제안되었다^[2]. 도심 지역과 같이 무선 기기를 사용하는 사용자가 밀집한 지역에서는 중계기와 같은 무선 기기가 동일 채널 간섭을 겪을 수 있다. 이는 중계기 혹은 수신단의 불능 현상을 야기하는 요인이다. 따라서 중계기 혹은 수신단은 간섭의 영향으로 인해 성능이 저하될 수 있으며 이로 인해 메시지의 수신 품질이 떨어진다^[2]. 그러나 [3, 5-6]에서는 에너지 하베스팅 기법의 시간 분할 프로토콜에 적용하여 간섭 요인을 수집하여 전력화하는 방안을 제안하였다. 그러나 전력 분배 프로토콜의

*준회원, 울산대학교 전기공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)
접수일자 2015년 4월 22일, 수정완료 2015년 6월 28일
게재확정일자 2015년 8월 7일

Received: 22 April, 2015 / Revised: 28 June, 2015 /

Accepted: 7 August, 2015

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

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

분배 인자를 통해 간섭 요인을 효율적으로 사용할 수 있다^[4].

따라서 본 논문에서는 전력 분배 프로토콜을 사용하여 전력을 수집과 전송에 대한 최적의 분배 인자 범위를 구한다. 본 논문의 시나리오에서 중계기는 수신되는 메시지의 전력 일부와 동일 채널 간섭을 통해 전력을 얻을 수 있으며 복호 후 전송 방법으로 수신단에 메시지를 전달한다. 최적의 전력 분할 인자를 적용하여 중계기 전력의 안정화를 통해 네트워크의 효율성을 높일 수 있다. 전력 분할 인자의 값에 따른 동일 채널 간섭 수준에 대한 단대단 노드의 아웃티지 확률 및 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 단 대 단 노드의 아웃티지 확률 및 용량을 분석함으로써 시스템의 성능을 평가한다.

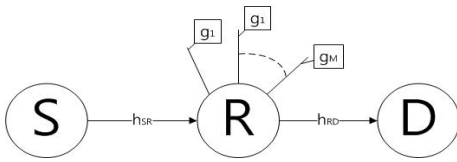


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

그림 1에서 중계기는 전력 분배 프로토콜이 적용되며 동일 채널 간섭을 겪는다. 각 채널의 정보는 h_{SR} , h_{RD} 로 주어지며 간섭 요인의 채널은 g_1, g_2, \dots, g_M 으로 구성된다.

1. 동일 채널 간섭을 겪는 중계기

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 중계기 R로 메시지를 전송하게 되며 중계기에서는 다음과 같은 신호를 수신한다[3].

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

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 수신한다.

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

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

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

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 [3-5]에서 정의된 전력 수집량에 관한 식을 수정하여 최종 식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

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

식 (4)를 통해 중계기에서 수집되는 전력량을 계산할 수 있으며 η 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.

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

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.

2. 아웃티지 확률 및 용량 분석

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

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

식 (7)의 신호 대 잡음 비를 통해 전력 분배 요인 α 에 따른 송신단과 중계기, 중계기와 수신단 사이의 단 대 단 아웃티지 확률을 구할 수 있다.

$$\gamma_{total} = \min(\gamma_{SR}, \gamma_{RD}) = \min\left(\frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0 + \sum_{i=1}^M P_j |g_i|^2}, \frac{P_R |h_{RD}|^2}{N_0}\right) \quad (8)$$

$$= \min\left(\frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0 + \sum_{i=1}^M P_j |g_i|^2}, \frac{\alpha \left(P_S |h_{SR}|^2 + \sum_{i=1}^M P_i |g_i|^2\right) |h_{RD}|^2}{(1-\alpha)N_0}\right)$$

최종적으로 식 (8)을 통해 전력 분할 인자 α 에 따른 전체 노드의 아웃티지 확률을 분석할 수 있으며, 이를 통해 시스템에 요구되는 송신단 메시지의 복호, 전력 수집에 대한 최적의 α 를 찾을 수 있다.

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

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

$$= E\left[\min\left\{\frac{1}{2}\log_2\left(1 + \frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0 + \sum_{i=1}^M P_j |g_i|^2}\right), \frac{1}{2}\log_2\left(1 + \frac{P_R |h_{RD}|^2}{N_0}\right)\right\}\right]$$

식 (9)는 각 노드 사이의 신호 대 잡음 비의 최솟값 비교를 통해 시스템의 용량 성능을 분석할 수 있다. 위 식에서 $E[\cdot]$ 은 기댓값, P_R 은 식 (5)와 같다.

$$C = E\left[\frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{\min})\right] \quad (10)$$

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

식 (10)에서 γ_{\min} 은 최솟값 비교를 통해 얻은 신호 대 잡음 비를 의미하며 1/2은 식 (4)의 주기와 동일하다. 송신단과 중계기, 중계기가 수신단 사이의 채널 용량 비교를 통해 단대단 채널 용량을 확인할 수 있으며 중계기와 수신단 사이엔 전력 분할 인자 α 가 포함되어있다. 따라서 분할 인자 α 가 채널 용량에 미치는 영향을 확인할 수 있다.

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
γ_{th}	5dB
SNR	0 ~ 20 dB
Conversion efficiency(η)	1
SNR of co-channel interference	5dB

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 3dB이며 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 설정하고 중계기와의 거리는 0.5로 설정, 동일 채널 간섭에 대한 수준은 5dB로 설정하였다. 또한 전력 전환 효율 η 는 이상적인 환경이라는 가정을 통해 1로 설정하였다.

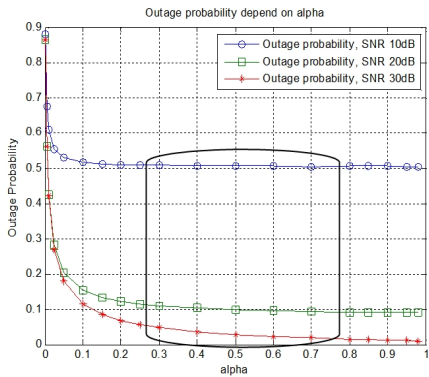


그림 2. 전력 분배 인자에 따른 아웃티지 확률
Fig. 2. Outage probability of depend on alpha

그림 2에서는 전력 분배 인자 α 에 따른 아웃티지 확률을 확인할 수 있다. 신호 대 잡음 비가 10dB, 20dB로 주어져 있을 때, α 의 값이 0.4부터 비슷한 성능이 나타나는 것을 확인할 수 있으며 30dB에서는 α 의 값이 높아질수록 아웃티지 성능이 우수해지는 것을 확인할 수 있다. 또한 위 그래프는 식 (8)을 통해 단 대 단 사이의 최저 신호 대 잡음 비를 가지는 채널에 대한 아웃티지 확률이다. 따라서 위 그래프에서 α 의 값이 증가할 때 아웃티지 성능이 우수해지는 것은 중계기와 수신단 사이의 아웃티지 확률, α 의 값이 증가하더라도 아웃티지 성능이 변화하지 않는 것은 γ_{RD} 의 신호 대 잡음 비가 계속해서 증가하지만 γ_{SR} 은 일정한 값으로 유지되고 있기 때문에 송신단과 중계기 사이의 아웃티지 확률로 예상할 수 있다. 따라서 전력 분배 인자 α 에 따른 아웃티지 확률에서 분배 요인이 일정 수치 이상이 될 경우, 단 대 단 아웃티지 확률에 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다. 그러나 전력 분배 인자 α 가 증가한다는 것은 식 (5)의 수직 전력량이 늘어나게 되는 것이므로 송신단의 신호를 복호하지 못하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 일정한 범위의 전력 분배 인자가 필요한 것을 확인할 수 있다.

그림 3에서는 전력 분배 인자에 따른 용량 성능을 신호 대 잡음비 10dB, 20dB, 30dB로 나타내었다. 이 경우 10dB와 20dB에선 비슷한 범위에서 성능이 최대치가 되는 것을 확인할 수 있고, 30dB에선 용량 성능이 지속적으로 우수해지는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 그림 2와 유사한 형태의 양상을 보인다. 식 (8)과 (9)의 유사성으로 인해 발생하는 현상이며 이 역시도 증가폭에선 γ_{RD} 에 대한 영향을 받고 평형 상태에서 γ_{SR} 의 영향을 받게 된다.

따라서 단 대 단 성능의 경우 최저치를 나타내는 부분의 영향을 받기 때문에 위와 같은 결과가 유도된다.

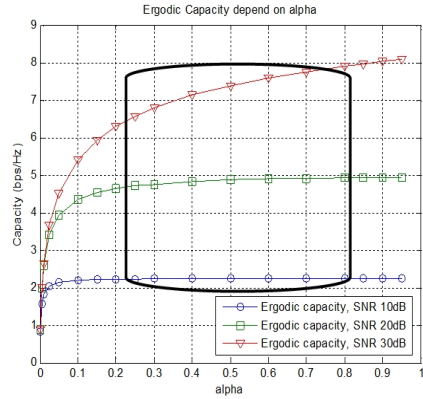


그림 3. 전력 분배 인자에 따른 용량 성능
Fig. 3. Ergodic capacity depend on alpha

결과적으로 위 그림 2와 3을 통해 최적의 α 에 대한 범위를 예상할 수 있으며 그림 상의 검은 테두리 안의 범위에서 최적의 α 가 존재한다.

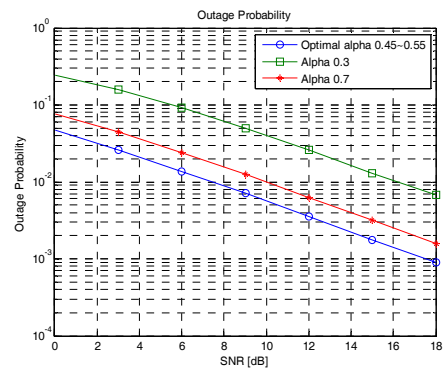


그림 4. 전력 분배 인자에 대한 아웃티지 성능 비
Fig. 4. compare outage probability of alpha

그림 4를 통해 최적의 α 로 선택된 값과 다른 값들에 대한 아웃티지 성능을 비교할 수 있다. 위 그래프에서 알 수 있듯이, 최적의 α 로 선택된 값과 그 외의 α 에 대해서는 아웃티지 성능 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 전력 분할 인자 α 의 수치가 전력 수직 및 메시지의 복호에 작용하므로 전력 분할 프로토콜이 적용된 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요인으로 작용한다.

IV. 결론

본 논문에서는 동일 채널 간섭을 겪는 중계기에 최적화된 분할 요인이 적용된 전력 분할 프로토콜을 활용하여 시스템의 성능을 최적화하는 방안을 제안하였다. 전력 분할 프로토콜이 적용된 중계 노드에서는 전력 분배 요인을 최적화하여 송신단의 신호를 최적의 상태로 복호하며 수집 전력을 극대화한다. 따라서 제안된 기법을 협력 네트워크의 중계기에 적용할 경우 수집 전력을 통해 전력 공급이 가능하며 최적화된 채널 용량을 통해 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] Yanju Gu, Sonia Aissa, "Interference Aided Energy Harvesting in Decode-and-Forward Relaying Systems", IEEE ICC 2014.
- [4] Tae Wook Kim, Hyung Yun Kong, "Optimal Performance of Power Splitting Protocol in Energy Harvesting Undergo Co-Channel Interference", The Institute of Internet Broadcasting and Communication, Vol 15, No 3, pp 67-71, Jun 2015.
- [5] 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.
- [6] 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. 362 2~3636, July 2013.

- [7] 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.

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