

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.6.69>

IIBC 2014-6-11

다중 중계기 환경에 대한 에너지 하베스팅의 적용 방안

Applied Method of Energy Harvesting for Multi-Relay Environment

김태욱*, 공형윤**

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

요약 본 논문에서는 협력 통신의 다중 중계기 모델에 에너지 하베스팅 기법을 적용하여 수신단에서 다이버시티 이득을 극대화함과 동시에 중계기의 전력 낭비를 줄일 수 있는 방안을 제안하였다. 송신단은 에너지 하베스팅 기법이 적용된 다중 중계기 중 가장 우수한 중계기를 선택해 메시지를 전송하게 되며 나머지 중계기는 전력으로 변환하여 저장하게 된다. 또한 기존에 선택된 중계기의 전력량이 일정 수준 이하일 경우 차선의 중계기를 선택해 전송을 유지함으로써 수신단의 다이버시티 이득을 유지할 수 있다. 따라서 제안하는 프로토콜을 일반적인 네트워크에 적용할 경우 중계기의 잔여 전력량에 따라 중계기의 교체가 지속적으로 이루어지게 되어 네트워크의 활용도 및 효율성을 증가시킬 수 있다. 마지막으로, 제안한 프로토콜을 레일리 페이딩 환경에서 전력 수집 효율 및 중계기 활용률, 비트 오류율(Bit Error Rate)을 통해 시스템의 성능을 평가한다.

Abstract In this paper, an energy harvesting scheme is investigated in the multi-relay cooperation communication. Our proposal is to maximize the diversity gain and overcome the disadvantages of the limited power wireless devices. The best relay is selected based on the maximizing channel gains from source to relays so that the harvested energy at selected relay is best. If an internal power of the best relay is lower than a defined target power, the best relay will harvest the energy from the source, and the help of the source-destination link is changed to the second best relay. By this operation method, the diversity gain is maintained and the performance of the network is improved. Finally, performance of the proposed protocol is analyzed in terms of bit error rate, utilization efficiency, power collection efficiency.

Key Words : Energy Harvesting, Cooperative Communication, Relay Selection Scheme, Decode and Forward, Maximum Ratio Combining

1. 서론

최근 전력의 부족으로 인해 자체적으로 전력을 수집할 수 있는 에너지 하베스팅 기법이 각광받고 있으며 반도체, 통신, 전기 분야 등 다양한 영역에서 에너지 하베

스팅 기법을 적용하고 있다^[1-2].

무선 통신 분야에서는 에너지 하베스팅 기법을 협력 통신에 적용하였으며 수집된 전력을 중계기의 전력원으로 사용한다^[3-4]. 또한, 클러스터 형태의 다중 중계기 모델, 단대단 모델, 양방향 모델 등 다양한 모델에 적용하였

*학생회원, 울산대학교 전기공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)

접수일자: 2014년 9월 1일, 수정일자: 2014년 10월 1일

게재확정일자: 2014년 12월 12일

Received: 1 September, 2014 / Revised: 1 October, 2014

Accepted: 12 December, 2014

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

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

다^[3-5]. 기존의 기법에서는 중계기의 전력 수집과 메시지 전송을 실시간으로 처리하며, 수집된 전력을 증폭 후 전송(Amplify and Forward) 방법을 통해 메시지를 수신단으로 전송하게 된다. 그러나 중계기에서 증폭 후 전송 기법을 적용할 경우, 잡음의 문제에서 벗어날 수 없으며 수신된 메시지의 품질이 떨어지게 되므로 메시지의 재전송을 요구하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 [6]에서는 복호 후 전송(Decode and Forward) 기법을 적용하였다. 또한 중계기의 전력이 일정량 이상이 될 경우 전송에 참여하고, 일정량 이하로 떨어질 경우 전송을 중단한 뒤 전력을 수집하는 기회주의적인 에너지 하베스팅 기법을 제안하였다. 그러나 위 논문의 시스템 모델은 전력의 효율을 높일 순 있지만 중계기를 하나만 사용하기 때문에 네트워크의 활용률은 떨어지게 된다.

따라서, 본 논문에서는 다중 중계기를 적용하여 전력 수집 및 사용의 효율을 높이고 네트워크활용 효율을 높일 수 있는 방안을 제안한다. 본 논문의 시나리오에서 송신단이 메시지를 전송할 경우, 중계기의 잔여 전력량에 따라 전력을 수집하거나 전송에 참여하게 된다. 전력을 수집하는 경우, 중계기의 최대 전력량의 80%까지 전력을 수집한다. 또한 이 과정에서 잔여 전력이 최대 전력의 20%가 될 때까지 전송에 참여할 수 있다. 20%이하가 될 경우 전력 수집 상태인 비활성 상태로 된다. 전송에 참여하는 경우, 다중 중계기 중 채널 상태가 우수한 최상의 중계기를 선택하게 되며 나머지 중계기는 활성화 상태로 대기한다. 또한, 송신단에서 수신단까지 직접 통신을 통해 수신단에서는 최대비 결합(Maximal Ratio Combining) 기법을 사용하여 송신단의 메시지를 복호한다.

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

II. 시스템 모델

본 논문의 시스템 모델은 송신단(Source : S)과 수신단(Destination : D) 사이에 다중 중계기(Multi Relay : R)으로 구성되며 전력 수집 효율 및 비트 오류율을 통해 시스템 모델의 성능을 평가한다. 그림 1의 시스템 모델에서 S는 송신단으로 사용자를 의미하고 D는 수신단으로서 기본적으로 기지국을 의미하며 R은 다중 중계기

($i = 1, 2, \dots, N$)로서 메시지를 전달하는 역할을 담당한다. 중계기에는 에너지 하베스팅 기법이 적용된 노드로서 잔여 전력량에 의해 활성화, 비활성 상태로 나뉜다. 송신단과 중계기 사이의 채널 정보는 h_{S,R_i} ($i = 1, 2, \dots, N$)으로 표현되며 중계기와 수신단 사이의 채널 정보는 $h_{R_i,D}$ ($i = 1, 2, \dots, N$)로 표현된다.

전송을 준비하는 단계에서 송신단은 채널 이득이 가장 우수한 가용 중계기를 선택해 메시지를 전달하게 되며 방식은 다음과 같다.

$$\max \left(\frac{P_S |h_{S,R_i}|^2}{N_0} \right), (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

식 (1)에서 P_S 는 송신단의 전송 전력이며 $|h_{S,R_i}|^2$ 은 채널 이득, N_0 는 가우시안 잡음의 분산을 의미한다. 기존의 방식과 다르게 송신단에서 중계기 사이의 채널 이득만으로 최적의 가용 중계기를 선택하였다.

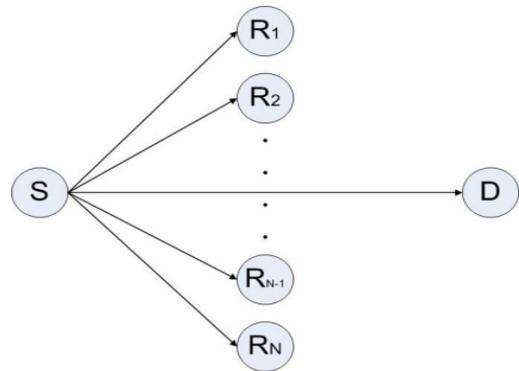


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

기존의 방식에서는 송신단과 중계기, 중계기와 수신단 사이의 채널 이득을 비교하여 최적의 중계기를 선택하였지만 이러한 과정은 전력의 낭비 및 네트워크 자원을 소모하게 되므로 불필요하며 송신단과 중계기 사이의 채널 이득을 사용하기 때문에 기존의 기법에 비해 응답이 빠른 장점을 가지고 있다.

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단은 중계기와 수신단으로 자신의 메시지를 전송하며 중계기와 수신단에 수신된 메시지는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{R_i} &= \sqrt{P_S} x_S h_{S,R_i} + n_0 \\ y_{D_i} &= \sqrt{P_S} x_S h_{S,D_i} + n_0 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 h_{S,R_i} , h_{S,D_i} 는 채널 정보를 의미하며, P_S 는 전송 전력, x_S 는 송신단의 메시지, n_0 는 평균이 0이며 분산이 N_0 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 의미한다. 또한, 수신된 신호의 임계 신호 대 잡음 비 γ_{th} 를 통해 복호의 유무를 판단한다.

두 번째 시간 슬롯에서 선택된 중계기는 복호후 전송 기법을 사용하여 수신단으로 전송하게 된다. 마지막으로 수신단에서는 최대비 결합을 통해 송신단의 메시지를 복호하게 된다.

1. 전력 수집 방안

본 논문에서 사용된 다중 중계기는 에너지 하베스팅 기법이 적용되어 있으며 그 과정은 그림 2와 같이 표현된다.

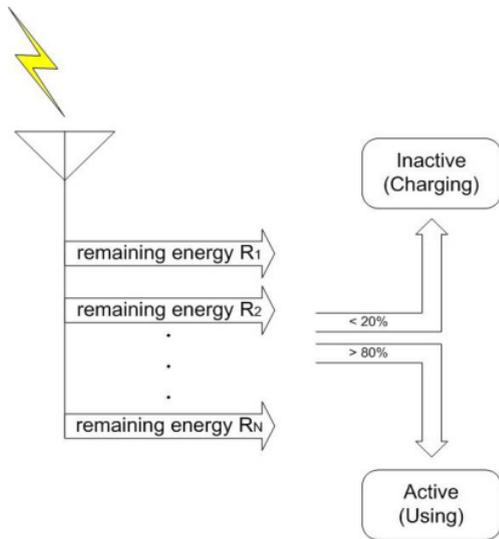


그림 2. 다중 중계기의 에너지 하베스팅 과정
 Fig. 2. The process of energy harvesting multi relay

그림 2에 나타나듯이 다중 중계기는 잔여 전력량에 따라 동작하며 최대 전력량 대비 80% 이상일 경우 활성화 상태, 20% 이하일 경우 비활성 상태가 된다. 또한, 송신단에 의해 선택된 하나의 중계기를 제외한 나머지 중계기는 최대 전력량 대비 80% 이상일 경우 선택된 노드가 비활성 상태로 변경된 경우를 대비하여 활성화 상태로

대기한다. 따라서, 선택된 중계기의 잔여 전력량이 20% 이하가 될 경우, 송신단에서는 식 (1)을 통해 대기 상태에 있는 중계기 중 최적의 중계기를 탐색한 뒤 자신의 메시지를 전송한다. 시간 슬롯에 따른 동작은 다음과 같다.

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단은 자신의 메시지를 수신단과 선택된 중계기로 전송하며 선택된 중계기를 제외한 나머지 중계기는 전력을 수집한다. 수집되는 전력의 양은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$E_h = \frac{\eta P_S |h|^2}{d_1^m} \quad (3)$$

식 (3)에서 η 은 전력 전환 효율, P_S 는 송신단의 전송 전력이며 $|h|^2$ 는 채널 이득, d_1^m 은 송신단에서 중계기까지의 거리를 의미한다.

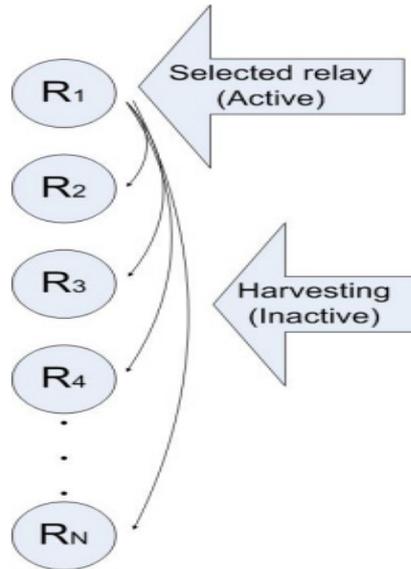


그림 3. 다중 중계기내의 에너지 하베스팅
 Fig. 3. Energy harvesting in the multi relay

식 (3)을 이용하여 잔여 전력량을 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$E_r = E_h - E_u \quad (4)$$

식 (4)에서 E_r 은 잔여 전력량이며 E_u 는 전송하기 위해 사용하는 전력량이다. 이 식에서 E_u 는 다음과 같다.

$$E_u = (P_R \times \mu) \quad (5)$$

식 (5)에서 P_R 은 중계기의 전송 전력의 크기이며 μ 는 복호후 전송 기법에서 소모하는 전력의 양이다.

두 번째 시간 슬롯에서 중계기의 동작을 그림 3에 표현하였다. 선택된 중계기가 수신단으로 메시지를 전송할 때 나머지 중계기는 선택된 중계기의 메시지를 수집하여 전력으로 전환한다. 이 과정을 통해 선택된 중계기의 전력이 20% 이하로 떨어질 경우 다른 중계기를 사용하여 전송을 할 수 있으며 수신단에서는 최대비 결합 기법의 사용을 유지할 수 있다.

III. 모의실험

시스템 모델의 성능 평가를 위해 전력 수집 효율 및 비트 오류율에 대한 모의실험을 진행하였으며 적용된 파라미터는 아래 표 1에 나타내었다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent	3
Modulation	BPSK
SNR Threshold	5dB
SNR	0 ~ 20 dB
Relay's protocol	Decode and Forward
Combining scheme	Maximum Ratio
Energy harvesting point	20% / 80%
Conversion efficiency(η)	1

표 1의 모의실험 파라미터에서 레일리 페이딩을 적용하였으며, 경로 손실 지수는 실외 환경을 고려해 3으로 지정하였다[7]. 비트 오류율을 측정하기 위해 BPSK 모듈레이션을 적용하였으며, 임계 신호 대 잡음 비는 5dB로 지정하였다[8]. 또한, 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 지정하였으며 중계기와의 거리는 무작위로 지정하였다. 전환 효율 η 는 1로 지정하였다.

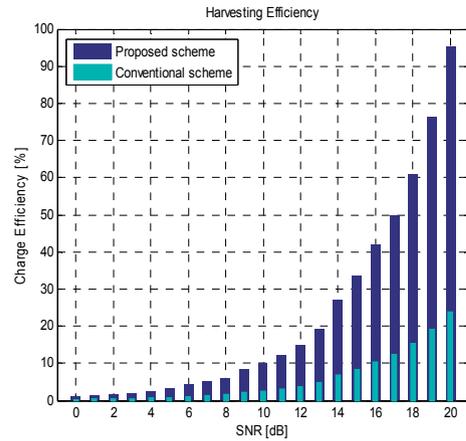


그림 4. 에너지 하베스팅 효율
Fig. 4. Energy harvesting efficiency

그림 4는 [6]에서 소개한 것처럼 신호 대 잡음 비에 따른 전력 수집의 효율을 나타내고 있으며, 신호 대 잡음 비가 클수록 수집 효율이 높음을 알 수 있다. 그러나 이 그래프는 중계기의 수가 1개인 경우에 대한 모의실험 결과이다. 또한 중계기가 비활성인 경우 중계기를 통한 다이버시티 이득을 얻을 수 없기 때문에 효율적이지 못함을 예상할 수 있다. 그러나 이러한 문제점을 가지고 있음에도 불구하고 [6]의 모의실험 결과는 기존에 소개된 기법에 비해 뛰어난 전력 수집 효율을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 다중 중계기 모델로 확장할 경우 우수한 성능을 얻을 수 있음을 예상할 수 있다.

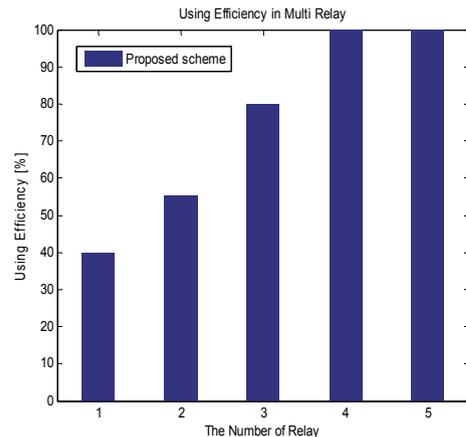


그림 5. 중계기 수에 따른 활용률
Fig. 5. Utilization efficiency according to the number of relay

그림 5는 모의실험 결과를 통해 중계기의 수가 증가할 때 수신단에서 중계기를 사용할 수 있는 비율을 나타낸 그래프이다. 식 (4)를 통해 각 중계기의 잔여 전력량을 구할 수 있으며 이를 통해 중계기 활용률을 확인할 수 있다. 그 결과, 중계기가 1개인 경우에 비해 수가 증가할수록 사용 효율이 높아지며 4개 이상일 때 활성 상태의 중계기를 계속해서 사용할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 4의 결과를 통해 [6]의 기법을 다중 중계기 모델로 확장할 경우 제안된 기법의 성능이 우수함을 예상하였으며 그림 5의 결과를 통해 중계기는 지속적으로 복호후 전송 기법을 사용할 수 있으며 수신단은 최대비 결합을 통해 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

지 하베스팅 기법을 적용하여 수신단에서 다이버시티 이득을 극대화함과 동시에 중계기의 전력 낭비를 줄일 수 있는 방안을 제안하였다. 기존에 소개된 방식의 문제점인 중계기에서의 잡음의 영향 및 전력 변환 과정의 오류를 개선시킬 수 있으며 수신단에서는 최대비 결합 기법을 통한 비트 오류율의 최소화를 구현할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템 모델은 단 대 단 모델, 중계기가 하나만 존재하는 모델에 비해 제안하는 프로토콜에 따라 중계기의 교체가 지속적으로 이루어지므로 네트워크의 활용도 및 효율성을 증가시킬 수 있다.

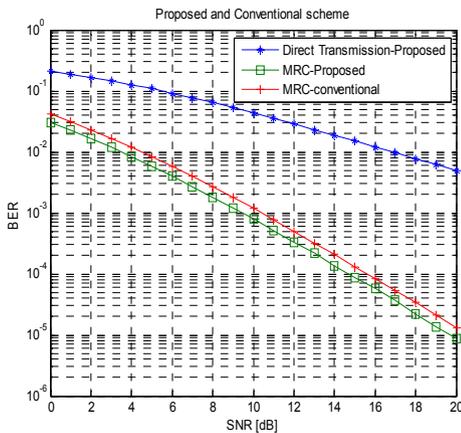


그림 6. 비트 오류율 성능 분석
 Fig. 6. Performance analysis of bit error rate

그림 6은 직접 통신, 기존의 기법, 제안하는 기법에 대한 비트 오류율을 수치화한 결과이며 기법간의 공정한 비교를 위해 수신단에서는 최대비 결합 기법을 적용하여 분석하였다. 이 그래프에서 기존의 기법은 단 대 단 및 양방향 모델에서 사용된 방법을 적용한 뒤, 본 논문에서 제안된 기법과 비교하였다. 그 결과 신호 대 잡음 비 전 구간에서 약 1.2배의 이득이 있음을 알 수 있으며 이와 같은 결과는 중계기에서 사용된 증폭 후 전송과 복호 후 전송 기법의 차이이다.

IV. 결론

본 논문에서는 협력 통신의 다중 중계기 모델에 에너

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. R. Varshney, "Transporting information and energy simultaneously", in *Proc. 2008 IEEE Int. Symp. Inf. Theory*.
- [3] P. Grover and A. Sahai, "Shannon meets Tesla: wireless information and power transfer," in *Proc. 2010 IEEE Int. Symp. Inf. Theory*.
- [4] 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.
- [5] Ali A. Nasir, Xiangyun Zhou, Salman Durrain, Rodney A. Kennedy, "Relaying protocols for wireless energy harvesting and information processing", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol 12, No 7, pp 3622~3636, July, 2013.
- [6] 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.
- [7] L. Carisio and A. J. M. Soares, "Simplified Characterization of the Urban Propagation Environment for Path Loss Calculation," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol.58, no.1, Jan 2010.

- [8] So-Young Lee, Jin-Young Kim, "Optimal Soft Decision for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems", The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol 22, no 4, pp 423~429, April 2011.

저자 소개

김 태 욱(학생 회원)



- 2007년 2월 ~ 2014년 2월 : 울산대학교 전기공학부 학사
- 2014년 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>