

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.45>

IIBC 2015-2-7

인지 통신 네트워크의 스펙트럼 감지 및 전력 수집 방안

Method of Spectrum Sensing and Energy Harvesting in Cognitive Communication Network

김태욱*, 공형윤**

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

요약 본 논문에서는 인지 통신의 스펙트럼 감지 기법에 에너지 하베스팅 기법을 적용하여 2차 송신단의 전력 소모 없이 스펙트럼을 감지할 수 있을 뿐만 아니라 전력을 저장할 수 있는 방안을 제안하였다. 감지 및 수집 알고리즘은 에너지 하베스팅 기법으로 수집되는 전력량을 임계값과 비교하여 1차 네트워크의 스펙트럼 사용 유무를 판단하며 2차 송신단이 메시지를 전송하려는 경우, 1차 네트워크가 사용 중이라면 주파수를 변경하여 스펙트럼의 사용 유무를 판단하게 된다. 또한 전송하려는 메시지를 가지지 않는 경우, 지속적으로 전력을 수집하게 된다. 따라서 에너지 하베스팅 기법을 스펙트럼 감지 기법에 적용할 경우, 2차 네트워크의 전력이 낭비되는 문제점을 제거하고 전력을 충전하게 되므로 인지 네트워크의 활용도 및 효율성을 증가시킬 수 있다.

Abstract In this paper, we proposed not spectrum sensing but also save energy without consume energy of secondary network that spectrum sensing of cognitive applied energy harvesting scheme. Algorithms of sensing and harvesting is determine active or idle of primary network, compares the amount of energy that is harvested by energy harvesting scheme with the threshold. If secondary network to send a message and primary network is active, by changing frequency to use the spectrum. Further, if secondary network have no message, continues energy harvest. Therefore, spectrum sensing applied energy harvesting scheme, energy of secondary network is remove waste and charge energy, efficiency and utilization of cognitive network can be increase.

Key Words : Cognitive Network, Spectrum Sensing, Energy Harvesting

1. 서론

무선 기기의 증가로 인해 주파수 자원 관리라는 문제가 발생하였으며 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 인지 통신이 제안되었다. 인지 통신에서 2차 네트워크는 허가된 대역을 사용하는 1차 네트워크의 주파수 사용 유무를 감지하여 1차 네트워크에게 할당된 주파수가 사용되지 않을 경우, 그 대역을 사용할 수 있다. 따라서 스

펙트럼의 사용 유무를 판단하기 위한 스펙트럼 감지 기법으로 에너지 감지, 정합 필터 감지 등이 제안되었다. 또한, 오수신 확률 및 오경보 확률을 최소화해야 1차 네트워크와의 간섭을 최소화할 수 있다. 따라서 오수신, 오경보 확률을 최소화하기 위해 중계기, 분산형, 중앙형 등의 협력 스펙트럼 감지 기법이 제안되었다^[1]. [1]에서 제안된 모든 스펙트럼 감지 기법은 지속적으로 주파수 대역의 사용 유무를 감지해야하기 때문에 전력을 소모하게

*준회원, 울산대학교 전기공학부

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)
접수일자 : 2014년 12월 17일, 수정완료 : 2015년 2월 2일
게재확정일자 : 2015년 4월 10일

Received: 17 December, 2014 / Revised: 2 February, 2015 /

Accepted: 10 April, 2015

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

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

된다. 따라서 스펙트럼 감지에 참여하는 모든 2차 네트워크에서는 주파수 대역의 사용 유무를 판단하기 위한 전력의 낭비가 초래된다.

따라서 본 논문에서는 인지 통신 네트워크에 에너지 하베스팅 기법을 적용하여 스펙트럼 감지로 인한 전력 낭비를 방지함과 동시에 전력을 수집할 수 있는 기법을 제안한다. 본 논문의 시나리오에서는 1차 송신단, 수신단으로 이루어진 1차 네트워크, 2차 송신단, 수신단으로 이루어진 2차 네트워크로 구성되어 있다. 또한 2차 네트워크는 에너지 하베스팅 기법을 통해 1차 네트워크의 메시지를 전력으로 전환한다. 2차 네트워크에서 수집되는 전력량이 설정된 임계값 이상일 경우, 1차 네트워크가 사용 중이라고 판단하며, 임계값 이하일 경우, 1차 네트워크는 유휴 상태로 판단한다. 따라서 전환되는 전력을 통해 1차 네트워크의 사용 유무를 판단할 수 있으며 2차 네트워크는 1차 네트워크가 유휴 상태로 판단될 경우, 오버레이(Overlay) 방식을 통해 스펙트럼을 사용하게 된다.

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

II. 시스템 모델

본 장에서는 1차 송신단(PT: Primary Transmitter), 1차 수신단(PR: Primary Receiver)로 구성된 1차 네트워크(Primary Network)와 2차 송신단(ST: Secondary Transmitter), 2차 수신단(SR: Secondary Receiver)로 구성된 2차 네트워크(Secondary Network)로 구성된 시스템 모델을 정의하며 전력 수집 기법을 통한 스펙트럼 감지 방안에 대해 소개한다. 그림 1은 1차 네트워크(Primary Network)와 2차 네트워크(Secondary Network)로 구성된 시스템 모델을 도식화한 것이다. 그림 1의 h_{PS} , h_{SP} , h_{PS} , h_S 는 각각 1차 송신단과 수신단, 1차 송신단과 2차 송신단, 2차 송신단과 1차 수신단, 2차 송신단과 2차 수신단 사이의 채널 상태 정보이다. 또한 2차 네트워크는 에너지 하베스팅 기법이 적용된 노드로서 수집되는 전력량에 의해 1차 네트워크의 사용 유무를 판단한다.

1. 감지 및 전력 수집 방안

기존의 스펙트럼 감지 기법 중 하나인 전력 감지 기법

은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$T(y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y(n)|^2 \quad (1)$$

식 (1)은 [2]에서 표현된 전력 감지 기법이다. N개의 표본에 대한 전력량의 평균을 의미하며 결과치인 $T(y)$ 와 임계값과의 비교를 통해 1차 네트워크의 사용 유무를 판단하였다.

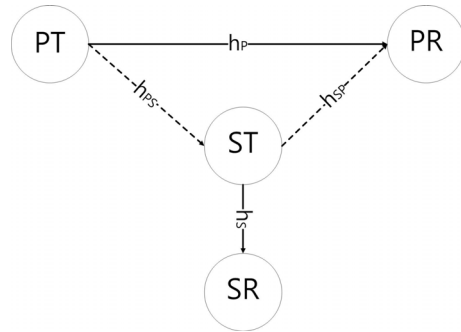


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

본 논문에서는 위와 같은 전력 감지 기법에 에너지 하베스팅 기법을 적용하여 1차 네트워크의 사용 유무를 판단한다. [3-6]에서 사용된 전력 수집량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

식 (2)에서 η 는 전력 전환 효율을 의미하며 d^m 은 송신단과 전력 수집 노드 사이의 거리, P_S 는 1차 송신단의 전송 전력, $|h|^2$ 은 채널 이득이다. 또한 위 식 (2)을 사용하여 본 논문에서 제안하는 전력 수집량에 대한 식을 유도할 수 있다.

$$E_h = \sum_{i=0}^{T_{E_h}} \frac{\eta P_S |h_{SP}|^2}{d_{PS}^m} \times i \quad (3)$$

식 (3)의 E_h 는 한 주기(T_{E_h})동안 수집되는 전력량을 의미한다. 또한 수집되는 전력량 E_h 를 이용하여 에너지 하베스팅 기법이 적용된 스펙트럼 감지에 관한 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{cases} E_h \geq E_h^{th} : \text{primary network is active} \\ E_h < E_h^{th} : \text{primary network is idle} \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)은 수집되는 전력량 E_h 와 임계값 E_h^{th} 를 사용해 1차 네트워크의 사용 유무를 판단하게 된다.

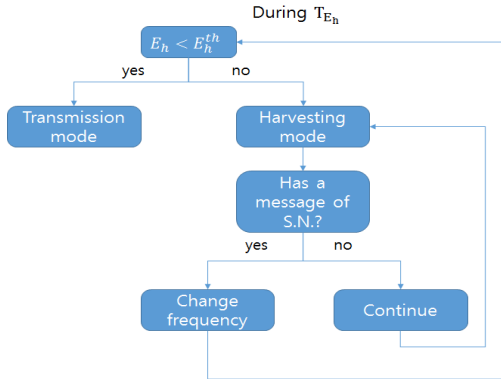


그림 2. 감지와 전력 수집 알고리즘
 Fig. 2. Algorithms of sensing and harvesting

그림 2는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대한 순서도이다. 첫째로 식 (4)와 같이 전력 수집량 E_h 가 E_h^{th} 보다 작을 경우, 2차 네트워크는 1차 네트워크를 유휴 상태로 판단하고 1차 네트워크에게 할당된 스펙트럼을 주기 T_{E_h} 동안 사용하여 2차 수신단에게 메시지를 전송한다. 그러나 전력 수집량 E_h 가 임계값 E_h^{th} 보다 클 경우, 2차 네트워크는 1차 네트워크가 사용 중인 것으로 판단한다. 이때 2차 송신단이 2차 수신단으로 메시지를 전송하고자 하는 경우, 2차 송신단은 주파수를 변경하여 에너지 하베스팅 기법이 적용된 스펙트럼 감지를 실시하며 2차 수신단으로 전송하려는 메시지가 없는 경우, 전력 수집을 반복한다. 또한 전 과정에서 수집되는 전력은 2차 송신단의 저장소에 저장되며, 전력 수집량이 임계값보다 낮아지는 시점부터(1차 네트워크의 유휴 상태), 2차 송신단의 메시지를 2차 수신단으로 전송한다.

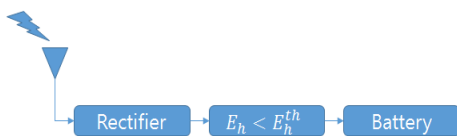


그림 3. 전력 수신기
 Fig. 3. Energy receiver

그림 3은 전력 수집에 대한 수신기 모델이다. 그림 3에 서는 수집되는 전력량 E_h 가 임계값 E_h^{th} 보다 작을 경우 만 표현하였지만, 수집되는 양을 비교하기 때문에 수집 되는 전력량이 임계값보다 큰 경우도 비교하는 과정 동안 저장소에 저장된다.

III. 모의실험

본 장에서는 시스템 모델의 성능을 평가하기 위해 모 의실험을 진행하였다. 모의실험에 적용한 파라미터는 아 래 표 1과 같다.

표 1. 모의실험 파라미터
 Table 1. Simulation parameters

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent	3
Modulation	BPSK
SNR threshold	5dB
SNR	0 ~ 20 dB
Harvesting period(T_{E_h})	1
Conversion efficiency(η)	1

표 1의 모의실험 파라미터에서는 레일리 페이딩을 적 용하였으며, 경로 손실 지수는 3, 아웃티지 확률을 분석 하기위한 임계값은 5dB로 지정하였다. 전력 수집 주기 T_{E_h} 는 1로 지정하여 메시지가 전송되는 하나의 시간 슬롯으로 표현하였고 전환 효율 η 는 시스템 내에서 손실되 지 않는다고 가정하여 1로 지정하였다. 또한 1차 송신단 과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1, 2차 송신단과 수 신단 사이의 거리는 0.5, 1차 송신단과 2차 송신단 사이의 거리는 0.5로 지정하였다.

그림 4는 1차 네트워크의 스펙트럼 사용에 따른 2차 송신단의 전력 수집률이다. 2차 송신단에서 1차 네트워 크의 사용 유무를 판단하는 주기 T_{E_h} 동안, 1차 네트워 크가 자신에게 할당된 스펙트럼을 주기 T_{E_h} 와 비교하여 25%, 50%, 75%동안 사용한 경우, 2차 송신단에서 얻어 지는 전력 수집률이다. 그림 2의 순서도에서 수집되는 전 력량이 임계값보다 낮을 경우, 2차 네트워크의 전송을 시 작하게 되므로 1차 네트워크의 사용률 25%, 50%, 75%에 대해 2차 네트워크는 전체 주기 T_{E_h} 동안의 75%, 50%, 25%의 시간동안 전송을 한다.

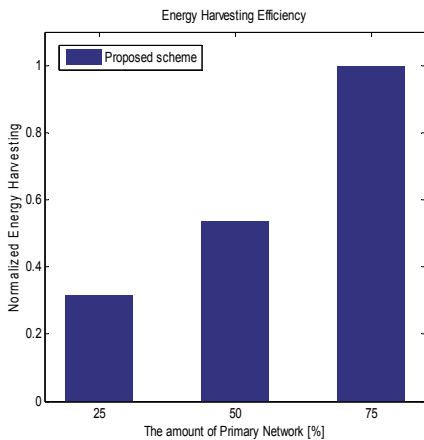


그림 4. 1차 네트워크의 사용에 따른 전력 수집 효율
Fig. 4. Energy harvesting efficiency according to primary network

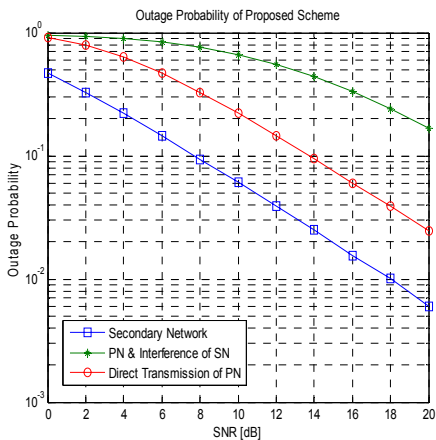


그림 5. 1, 2차 네트워크의 아웃티지 확률
Fig. 5. Outage probability of primary and secondary network

그림 5에서는 세가지 상황에 대한 아웃티지 확률을 표현하였다. 첫 번째 그래프 'Secondary Network'는 2차 송신단이 1차 네트워크를 유휴 상태로 판단할 경우 2차 수신단으로 메시지를 전송할 때 발생하는 아웃티지 확률, 두 번째 'PN & Interference of SN'은 2차 네트워크가 메시지를 전송하는 과정에서 1차 네트워크가 자신의 메시지를 전송하는 경우 발생하는 아웃티지 확률, 세 번째 'Direct Transmission of PN'은 1차 네트워크만 메시지를 전송할 때의 아웃티지 확률이다. 첫 번째의 경우, 2차 송신단이 1차 네트워크를 유휴 상태로 판단하며 1차 네

트워크가 유휴 상태이기 때문에 2차 네트워크는 간섭을 받지 않는다. 또한 2차 네트워크 사이의 거리가 0.5로 정규화되어 있으므로 위와 같은 아웃티지 확률을 얻을 수 있다. 두 번째의 경우, 2차 네트워크의 메시지 전송 중에 1차 네트워크가 동작하게 되며 2차 네트워크가 간섭 요인으로 작용하는 1차 네트워크의 아웃티지 확률이다.

이 그래프의 경우 그래프 'Direct Transmission of PN'와 비교하여 20dB에서 10^{-1} 정도의 차이를 나타내는데 이것은 2차 네트워크가 간섭 요인이기 때문이다.

IV. 결론

본 논문에서는 인지 통신의 스펙트럼 감지 기법에 에너지 하베스팅 기법을 적용하여 2차 송신단의 전력 소모 없이 스펙트럼을 감지할 수 있을 뿐만 아니라 전력을 저장할 수 있는 방안을 제안하였다. 기존의 스펙트럼 감지 기법은 할당된 스펙트럼의 사용 유무 감지하기 위해 지속적으로 전력을 소모하여야한다. 그러나 감지 및 수집 알고리즘은 에너지 하베스팅 기법으로 수집되는 전력량을 임계값과 비교하여 1차 네트워크의 스펙트럼 사용 유무를 판단하며 2차 송신단이 메시지를 전송하려는 경우, 주파수를 변경하여 1차 네트워크의 사용 유무를 판단하게 된다. 또한 전송하려는 메시지를 가지지 않는 경우, 지속적으로 전력을 수집하게 된다. 따라서 에너지 하베스팅 기법을 스펙트럼 감지 기법에 적용해 2차 네트워크의 전력이 낭비되는 문제점을 제거하고 전력을 충전할 수 있으므로 인지 네트워크의 활용도 및 효율성을 증가시킬 수 있다.

References

- [1] Tevfik Yucek, Huseyin Arslan, "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications", Communications survey & tutorials, IEEE, Vol 11, No 1, pp 116-130, Mar 2009.
- [2] Federico Penna, Claudio Pastrone, Maurizio A. Spirito, Roberto Garello, "Energy Detection Spectrum Sensing with Discontinuous Primary User Signal", ICC 2009, pp 1-5, Jun 2009.

- [3] 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.
- [4] J. Paradiso and T. Starmer, "Energy scavenging for mobile and wireless electronics," IEEE Pervasive Comput., Vol 4, No 1, pp 18~27, Jan, 2005.
- [5] 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.
- [6] Tae Wook Kim, Hyung Yun Kong, "Performance Analysis of Relay applied to Energy Harvesting", IIBC, Vol 14, No 5, pp 67-72, Oct 2014.

저자 소개

김 태 욱(준회원)



- 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