

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.91

JIWIT 2012-1-12

# 인지 무선 기반 애드 혹 네트워크에서의 클러스터 헤드 선정기법

## Cluster-head Decision Method for Cognitive Radio Based on Wireless Ad-hoc Network

이경선\*, 김윤현\*, 김진영\*\*

Kyung-Sun Lee, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim

**요약** Ad-hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역, 전쟁 시와 같은 통신 인프라가 구축되기 어려운 상황에서 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 음성 및 데이터 서비스 등과 같은 무선 서비스의 제공을 위해 많은 양의 네트워크 용량이 필요하게 되지만 기존의 제한된 주파수 자원에 따른 주파수 부족 상황 및 주파수 자원정책의 규제에 따라 원활한 주파수 사용이 어려운 상황이다. 이에 따라 높은 주파수 활용을 제공하는 인지 무선 시스템을 ad-hoc 네트워크에 적용하여 보다 다양하고 확장된 네트워크 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 인지무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 1차 사용자의 센싱 정보를 취합해서 1차 사용자의 존재 유무를 판단하는 클러스터 헤드의 선정에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 시스템에서 각 ad-hoc 단말기내의 클러스터 헤드 선정 방법과 그에 따른 신호 검출 성능을 보여준다.

**Abstract** Ad-hoc networks can be used various environment, which it is difficult to construct infrastructures, such as shadowing areas, disaster areas, war area, and so on. In order to support to considerable and various wireless services, more spectrum resources are needed. However, efficient utilization of the frequency resource is difficult because of spectrum scarcity and the conventional frequency regulation. Ad-hoc networks employing cognitive radio (CR) system that guarantee high spectrum utilization provide effective way to increase the network capacity. In CR based wireless ad-hoc networks, cluster-head decides the existence of primary user using sensing information of primary user from each ad-hoc device. However, it is still defective research to decide cluster head among the a lot of ad-hoc devices. So, in this paper, we show the decision method of cluster head in CR based wireless and detection probabilities of primary user based on decision method of cluster head.

**Key Words :** Wireless ad-hoc network, cognitive radio, cluster-head, primary user detection

### 1. 서론

무선 통신 서비스의 발달과 스마트 폰의 보급에 따른

데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다<sup>[1]</sup>. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당 받

\*준회원, 광운대학교 전파공학과

\*\*정회원, 광운대학교 전자융합공학과

접수일자 2011.9.29, 수정완료 2011.12.25.

게재확정일자 2012.2.10

Received: 29 September 2011 / Revised: 25 December 2011 /

Accepted: 10 February 2012

\*\*Corresponding Author: jinyoung@kw.ac.kr

Dept. of Wireless communication Engineering, Kwangwoon University, Korea

은 면허 사용자가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라도 다른 사용자(주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자)는 해당 주파수를 사용 할 수 없다. 그러나 연방 통신 위원회 (FCC: Federal Communications Commission)의 조사결과에 따르면 면허 사용자에게 할당된 주파수 자원은 시간 및 위치에 따라 많게는 85%에 이르는 주파수 자원이 효율적으로 사용되지 않고 있다. 이와 같은 주파수의 비효율적 사용을 완화시키기 위해 주파수 자원의 효율적 사용에 대한 관심이 높아지고 있으며 [2-3], 이러한 주파수 사용의 활용을 높이고자, 인지 무선 시스템 (Cognitive Radio System)은 J. Mitola에 의하여 제시된 주파수 공유기술이다. 즉, 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임의적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템이다 [4-5].

기존의 구축되는 통신 인프라와 무관하게 이동 노드들 간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 네트워크에 자율성과 융통성을 부여한 네트워크가 ad-hoc 네트워크이다 [6]. 이러한 ad-hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역 및 전쟁과 같은 통신 인프라 구축이 어려울 때 매우 유용하게 사용 될 수 있다. 또한 인지 무선 시스템에서의 기존의 통신 인프라가 존재하지 않는 비 면허 무선기기들 간의 임의적이며 즉흥적인 통신환경 구축에도 유용하다 [7-9].

이러한 인지 무선 시스템 기반 ad-hoc 네트워크에서 센싱을 하기위해 클러스터 헤드를 선정해야 한다. 클러스터 헤드란 ad-hoc 네트워크 내의 각각의 단말기들의 센싱 정보를 한번에 모아 최종적인 센싱 결정을 하는 단말을 칭한다. 따라서 클러스터 헤드의 선정이 곧 센싱 결과의 신뢰성을 결정할 만큼 중요한 과정이다. 클러스터 기반의 네트워크에서는 에너지 효율적인 라우팅을 위해 클러스터의 헤드를 선정하는 방법이 매우 중요하다. 하지만 ad-hoc 네트워크에서 1차 사용자의 센싱 정보를 취합해서 1차 사용자의 존재 유무를 판단하는 클러스터 헤드의 선정에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 시스템에서 각 ad-hoc 단말기내의 클러스터 헤드 선정 방법과 그에 따른 신호 검출 성능을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문

에서 제안한 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 클러스터 헤드 선정 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법에 대한 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 클러스터 헤드를 선정하기 위한 방법으로 크게 세 가지 방법을 고려했다. 우선 첫 번째로 ad-hoc 네트워크를 구성하고 있는 여러 CR 기기들 가운데 랜덤하게 하나의 CR 기기를 택하고, 선택되어진 CR 기기는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 클러스터 헤드의 역할을 하게 된다. 일정 시간이 지나면 다시 랜덤하게 클러스터 헤드를 선정한다. 그림 1에서와 같이, 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 CR7 기기가 랜덤하게 클러스터 헤드로 선정이 되고, 선정된 CR7 기기는 CR1 기기부터 CR7 기기가 센싱한 1차 사용자의 존재 유무에 대한 정보를 취합하여 최종 판정을 내리게 된다. 랜덤하게 클러스터 헤드를 선정하는 만큼 시스템의 복잡도는 그리 높지 않을 것으로 예상되지만 랜덤 선택이라는 특성상 센싱 성능의 reliability는 보장되지 않을 것으로 생각된다.

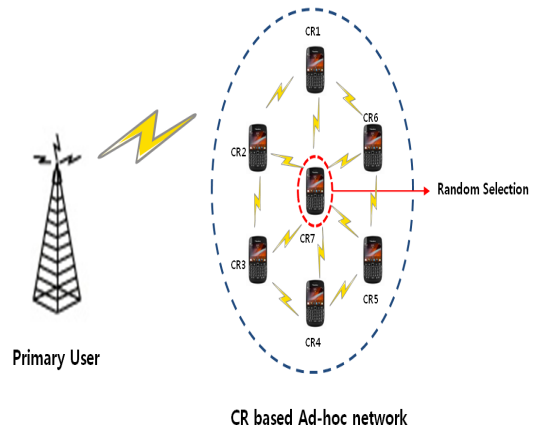


그림 1. 랜덤 클러스터 헤드 선정  
Fig. 1. Random cluster-head selection

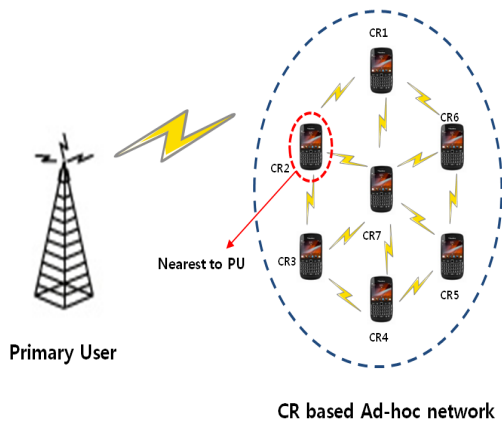


그림 2. 거리기반 클러스터 헤드 선정  
Fig. 2. Cluster-head selection based on distance

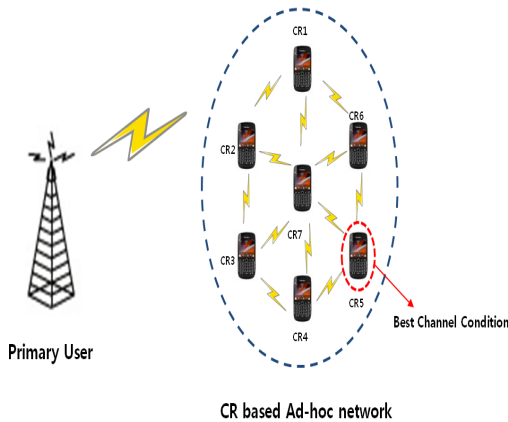


그림 3. 채널 상태 기반 클러스터 헤드 선정  
Fig. 3. Cluster-head selection based on CSI

이러한 랜덤 클러스터 헤드 선정의 낮은 reliability문제를 해결하기 위해 그림 2와 같이 primary user와의 가장 가까운 CR기기를 선정하는 시스템 모델을 생각해 볼 수 있다. 본 논문에서는 primary user를 TVWS (TV white space)라고 가정하였고, 그림 2에서와 같이 TV 송신 탑과 가장 가까운 CR 기기를 선정하는 방법이 랜덤 클러스터 헤드 선정의 낮은 reliability문제를 해결하기 위한 좋은 solution이 될 수 있다. 1차 사용자와 가장 가까운 CR 기기를 선택하는 것은 1차 사용자의 존재 유무를 센싱함에 있어서 가장 신뢰성 있는 센싱 정보를 가진 CR기기가 클러스터 헤드가 됨을 의미하며 랜덤 클러스터 헤드 선정 기법에 비해 보다 높은 신호 센싱 확률을 보일 수 있다. 그러나 1차 사용자와 가장 거리가 가까운 CR 기기는 1차 사용자의 신호 센싱에 있어서는 좋은 성능을 보일 수

있지만, 다른 CR 기기들과의 채널 상태는 보장할 수 없기 때문에 가장 좋은 클러스터 헤드 선정 기법이라고는 볼 수 없다. 왜냐하면, 1차 사용자와 거리가 가장 가까운 CR 기기만이 1차 사용자의 존재 유무를 결정하는 것이 아니라 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 내에 존재하는 모든 CR 기기들의 센싱 정보를 종합해서 최종적으로 1차 사용자의 존재 유무를 판단하기 때문이다.

마지막으로 그림 3에서는 앞의 두 가지 방법의 단점을 보완할 수 있는 방법이 설명되어 있다. 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 내의 여러 CR 기기들이 서로 통신을 하고 있다면, 각각의 CR 기기들은 서로의 채널 상태 정보 (CSI, channel state information)를 알 수 있다. 따라서 각 CR 기기들이 이러한 채널 상태 정보를 서로 공유할 수 있다고 가정한다면, 각 CR 기기들 중 가장 채널 상태가 좋은 어느 한 CR 기기를 클러스터 헤드로 선정할 수 있다. 이러한 방법을 사용하면 각각의 CR 기기들이 보내오는 1차 사용자 신호의 센싱 결과에 대한 신뢰성이 높아지며 결과적으로 최종적으로 1차 사용자의 유무를 판단하는 클러스터 헤드의 센싱 확률이 앞의 두 기법에 비해 상대적으로 높아질 수 있다.

다음 모의 실험 결과에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크상에서의 앞서 설명한 세 가지 클러스터 헤드 선정 기법에 따른 신호 센싱 확률 (DER, detection error rate)을 비교하도록 하겠다.

### III. 모의 실험 결과

이번 장에서는 본 논문에서 고려한 세 가지의 클러스터 헤드 선정 기법에 따른 무선 인지 기반 ad-hoc 네트워크 시스템에서의 신호 센싱 확률 성능을 모의실험 결과를 통하여 알아보려고 한다.

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Value
채널 모델	Multipath / AWGN
클러스터 헤드 선정 기법	랜덤 선택 거리기반 선택 채널 상태 기반 선택
오 경보 확률	5%
변조 방식	BPSK

본 논문에서의 실험은 표 1의 실험 파라미터를 따른다. 우선 채널 모델은 백색 잡음 채널 (AWGN, additive white Gaussian noise)와 Rayleigh 채널 모델을 고려하였다. 그리고 클러스터 헤드 선정 방식으로는 앞서 설명한 랜덤 선택, 거리기반 선택 그리고 채널 상태 기반 선택 이렇게 세 가지 방식으로 모의 실험을 하였다. 신호 센싱 성능을 보이기 위해 오 경보 확률 (FA probability, false alarm probability)을 5%로 설정하였고, 각 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 단말들의 변조 방식은 BPSK (binary phase shift keying)을 사용한다고 가정하였다.

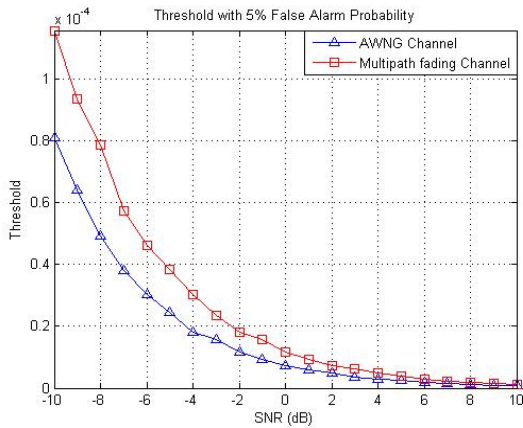


그림 4. 채널에 따른 FA 확률 그래프  
Fig. 4. FA probabilities with channel model

그림 4는 multipath channel 과 AWGN 채널일경우의 각각에 대한 SNR (signal-to-noise ratio)에 따른 임계치 (threshold) 값을 보여준다. 본 논문의 모의 실험 결과인 신호 센싱 확률은 그림 4의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 4에서 보듯이, AWGN에 비해 채널상태가 좋지 않은 multipath channel의 임계치가 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 SNR에서는 multipath channel이 AWGN channel에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있게 한다.

그림 5는 AWGN 채널에서 각 클러스터 헤드 선정 방식에 따른 신호 센싱 확률을 보여준다. X-축은 SNR을, y-축은 신호 센싱 확률을 나타내며, 오 경보 확률이 5% 일 때의 신호 센싱 확률을 보여준다. 그림 5에서 보듯이, 랜덤하게 클러스터 헤드를 선정하는 방식은 시스템 복잡도는 낮추지 모르나, 센싱 성능에서는 다른 두 방식에 비해 낮은 센싱 확률을 보였다. 10dB에서 센싱 확률이 0.5에 그치는 것을 그래프를 통해 알 수 있고, 이는 1차

사용자의 존재 유무를 판단하는 클러스터 헤드의 신뢰성에 문제가 있다고 판단 할 수 있다. 이에 반해, 1차 사용자와의 거리에 기반을 둔, 즉 다시 말해 1차 사용자와의 거리가 가장 가까운 ad-hoc 단말을 클러스터 헤드로 선정하는 방식을 적용했을 경우 랜덤하게 클러스터 헤드를 선정한 방식에 비해 센싱 성능이 향상됨을 알 수 있다. 마지막으로 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 내의 단말 중 가장 채널 상태가 좋은 단말을 클러스터 헤드로 선정했을 경우 센싱 성능이 앞서 두 가지 방식에 비해 월등히 높음을 확인 할 수 있다.

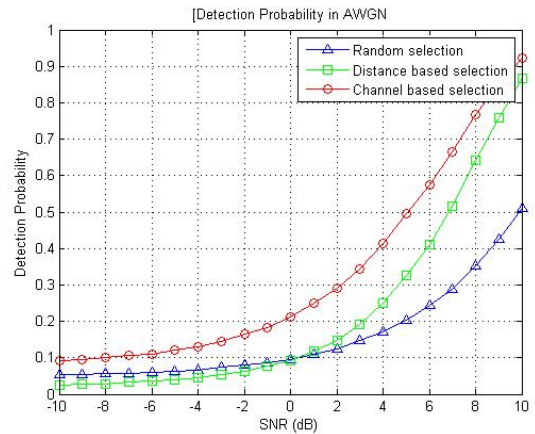


그림 5. AWGN 채널에서의 각 클러스터 헤드 선정 방식에 따른 신호 센싱 확률 (FA = 5%)

Fig. 5. Detection probabilities according to each cluster-head selection method with AWGN channel

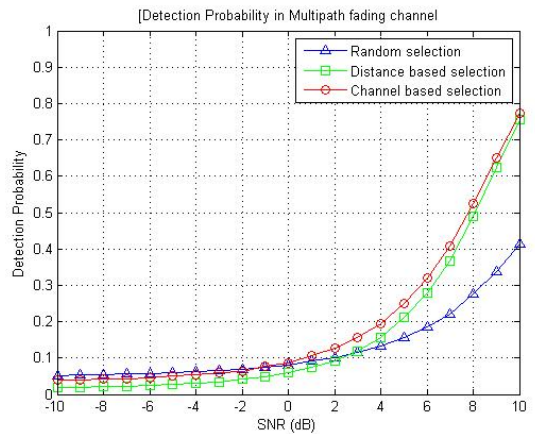


그림 6. Rayleigh 채널에서의 각 클러스터 헤드 선정 방식에 따른 신호 센싱 확률 (FA = 5%)

Fig. 6. Detection probabilities according to each cluster-head selection method with Rayleigh channel

그림 6은 Rayleigh 채널 환경에서의 센싱 성능을 보여주는 그래프이다. 그림 5에서와 마찬가지로, 오 경보 확률이 5%일 때의 센싱 성능을 나타낸다. AWGN 채널 환경에서와 유사하게 거리기반 및 채널 상태에 따른 클러스터 헤드 선정 방식이 랜덤 선정 방식에 비해 센싱 성능이 월등히 높음을 알 수 있다. 하지만 AWGN 채널 환경에서와는 달리 거리기반 선정방식과 채널 상태 기반 선정방식의 센싱 성능이 거의 유사함을 알 수 있다. 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 내의 단말들이 multi-path fading을 겪게 되면, 각 단말들의 채널의 신뢰성이 보장되지 못하고, 따라서 가장 채널이 좋은 단말을 클러스터 헤드로 선정하는 방식과 1차 사용자와 거리가 가장 가까운 단말을 선정하는 두 가지 방식의 센싱 확률은 거의 유사하게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 시스템에서 각 ad-hoc 단말기내의 클러스터 헤드 선정 방법과 그에 따른 신호 검출 성능을 보여주었다. 클러스터 헤드란 ad-hoc 네트워크 내의 각각의 단말기들의 센싱 정보를 한번에 모아 최종적인 센싱 결정을 하는 단말을 칭한다. 하지만 ad-hoc 네트워크에서 1차 사용자의 센싱 정보를 취합해서 1차 사용자의 존재 유무를 판단하는 클러스터 헤드의 선정에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 클러스터 헤드 선정 방식으로 세 가지 방식에 따른 센싱 성능을 보였다. 본 논문에서 고려한 클러스터 헤드 선정 방식은 인지 무선 ad-hoc 네트워크 내의 여러 단말 중 랜덤하게 하나의 단말을 선택해 클러스터 헤드의 역할을 수행하는 방법, 1차 사용자와의 거리가 가장 가까운 단말을 선정하는 방법, 그리고 여러 단말 중 가장 채널 상태가 좋은 단말을 클러스터 헤드로 선정하는 방법이다. 채널 상태 기반 클러스터 헤드 선정 방식이 다른 선정 방식에 비해 신호 센싱 성능이 우수함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

[1] J. Y. Kim, Cognitive radio systems, Gyobo

Publishers, Seoul, Korea, 2008.

- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.23, No.2, pp.201-219, Feb. 2005.
- [3] I. F. Akyildiz et al., "Next generation/dynamic spectrum access/ cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol.50, pp. 2127-2159, Sept. 2006.
- [4] D. Cabric, S. M. Mishra, R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," *38th Annual Asilomar conference on Signals, Systems and Computers*, Nov. 2004.
- [5] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [6] Charles E. Perkins, Ad hoc networking, Addison-Wesley, 2001.
- [7] C.K. Toh, Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems, Prentice Hall PTR, 2002.
- [8] S. Kim, J. Lee, H. Wang, and D. Hong, "Sensing performance of energy detector with correlated multiple antennas," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 8, pp. 671-674, Aug. 2009.
- [9] Y. Lim, J. Park, and Y. Sung, "Upper bound for the loss of energy detection of signals in multipath fading channels," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 11, pp. 949-952, Nov. 2009.

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2011-0025983)

## 저자 소개

### 이 경 선



- 광운대학교 전파공학과 공학사
- 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야 : 디지털 통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

### 김 윤 현



- 광운대학교 전파공학과 공학사
- 광운대학교 전파공학과 공학석사
- 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야 : 전력선통신, 가시광통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

### 김 진 영(정회원)



- 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 서울대학교 반도체공동연구소 특별연구원
- 미국 Princeton University, Research Associate
- SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
- 미국 Massachusetts Institute of

Technology (MIT 공대), Visiting Scientist

• IEEE Senior Member

• (現)광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야 : 전력선 통신, 스마트 그리드, 가시광 통신, UWB, LED-ID, DMB, RFID/USN 기술, 이동무선통신, 통방융합기술, 인지 무선 통신>