

# 협력 노드의 합리적 임계치 공유를 통한 센싱 검출 성능 분석

서성일\*, 이미선\*, 김진영\* 정회원

## Performance Analysis of Cooperative Spectrum Sensing Based on Sharing Threshold among cooperative users

SungIl Seo\*, MiSun Lee\*, Jinyoung Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 협력하고자하는 소출력 기기들이 협력 스펙트럼 센싱 할 경우 협력 노드들이 같은 FA(False Alarm)가지고 있다 가정 하며, 이때 최적의 임계값을 셋팅하고 서로 정보를 공유하는 시스템 모델을 제안하고 성능을 분석한다. 협력하고자하는 모든 노드의 False alarm이 같아도 각 채널에 따라 임계값이 달라지게 된다. 임계값이 낮아지면 검출확률이 낮아지게 되고, 반대로 임계값이 높을 때 검출확률은 높아지는 특성을 가지기 때문에, 따라서 가장 높음 임계값을 선택하여 세팅하고 공유하게 된다. 이는 협력스펙트럼 센싱시 가장 높은 임계값을 공유함으로써 고정되어 있는 임계값을 보다 높은 검출성능을 보일 수 있다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Cooperative Spectrum Sensing, Threshold setting

### ABSTRACT

In this paper, Threshold setting method is proposed to improve detection probability for cooperative sensing. Even if cooperative users have all same false alarm rate, each user has different threshold due to pass ad-hoc channel. threshold level is related to detection probability. So, we select the highest threshold among cooperative users and then share threshold information for getting the high detection probability.

## I. 서론

최근 무선 통신 서비스의 발달과 스마트 폰의 보급에 따른 데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다 [1]. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당 받은 면허 사용자가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라도 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 해당 주파수를 사용할 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 높이기 위해 J. Mitola에 의하여 인지 무선 시스템 (CR, Cognitive Radio System)이

제시되었다. 즉, 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 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. 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 임시적이며 즉흥적인 통신환경 구축에도 유용하다. 주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 인지 무선 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다. 하지만, 이러한 소 출력 무선통신 기기들로 ad-hoc 네트워크를 구성한다고 했을 때, 비 면허 사용 기기

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2012-0007025) 광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (\*mesunny777@gmail.com), (\*yoonhyun@kw.ac.kr), (\*jinyoung@kw.ac.kr) 접수일자 : 2013년 2월 19일, 수정완료일자 : 2013년 2월 28일, 최종 게재확정일자 : 2013년 3월 8일

들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 유휴주파수를 탐색하는 것은 오 검출 확률이 높아지게 되고 신뢰성측면에서 그 성능이 낮아지게 된다[6-7].

이러한 인지 무선 시스템 기반 ad-hoc 네트워크에서 센싱을 할 경우 FA값이 모두 같다 가정하였을 때, 최적의 임계값을 공유할 수 있다면, 신호 detection probability가 낮은 값을 개선할 수 있다. 즉 센싱 성능 향상을 위해 정적인 임계치 값이 아닌 협력노드중 FA에 따라 변하는 임계치중 가장 낮은 합리적인 임계치 값을 셋팅할수 있으며 이에 센싱을 진행할 수 있다

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 협력노드의 FA 공유를 통한 임계값 셋팅 시스템 모델을 제안한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법을 설명하고, 제 IV장에서는 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 인지 무선 기반 애드혹 네트워크와 같은 환경에서 협력스펙트럼 센싱을 통하여 센싱을 진행할시 FA 값은 같다고 가정하였고 이를 통해 얻어진 가장 낮은 threshold를 공유하여 센싱을 진행하고 그에 따른 성능을 보여준다.

스펙트럼 센싱 성능은 검출 확률, 오류 검출 확률, false alarm 확률 등으로 구체화 할 수 있다. 오류 검출 확률은 주파수 대역에 Primary User(PU)가 존재하는데 없다고 잘못 센싱 판단하는 것을 말하고, false alarm 확률은 Secondary User(SU)가 PU가 존재하지 않는데 존재한다고 센싱 판단하는 것을 말한다.

기존의 스펙트럼 센싱은 임계치(threshold)값의 따라 주파수 대역을 사용할 수 있는 없는지에 대한 여부를 판단을 한다. 이런 임계치 값은 정적으로 변하지 않는 값이다. 하지만 협력하고자 하는 노드들이 모두 같은 채널을 갖는 것이 아니기 때문에, 평균적인 임계치 값으로는 높은 검출 확률을 얻을수 없다. 따라서 협력하고자 하는 노드들이 FA값이 같다고 가정한다면, 채널 상태에 각기 다른 임계값을 가지게 되고 이중 가장 합리적인 임계값을 선택함으로써 검출확률을 높이는 시스템 모델을 제안하고 분석한다.

임계치 값이 낮으면 false alarm 확률이 높아지고 false alarm 확률이 높아지면 detection probability가 높아져서 기존의 정적인 임계치 값을 사용하였을때 보다 좋은 센싱 성능을 보일 수 있다. 그림 1.은 임계치 공유를 적용하여 에너지 센싱을 했을때 협력스펙트럼 센싱 시스템의 블록 다이어그램이다. 데이터가 보내지면 변조가 되고 A/D converter를 통해 변환된다. 변환된 데이터는 CR유저들의 RF and IF circuit block을 이용하여 ad-hoc channel로 통과된다. 통과

된 데이터는 수신기들이 협력하기 위해 임의로 네트워크를 구성하며, 각각의 송신기와 마찬가지로 RF and IF circuit block과 A/D converter를 거친 정보들을 공유할 것이다. 블록다이어그램에서 보듯이 합리적인 threshold 셋팅을 이용하여 협력 energy detector를 할 것이다.

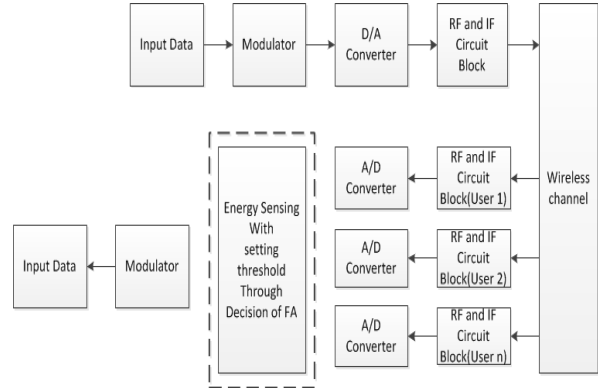


그림 1. 임계치 공유를 적용한 CR시스템 블록 다이어그램

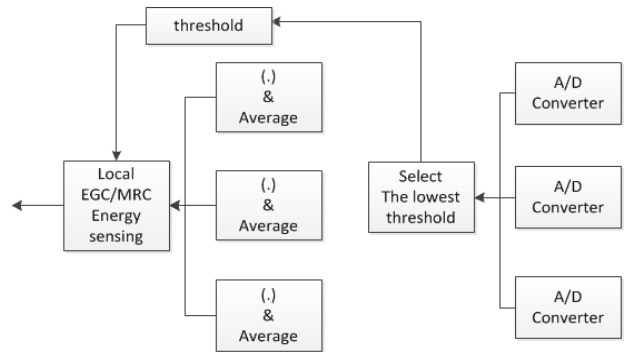


그림 2. 임계치 공유방법에 대한 시스템 모델

그림 2.는 임계치 공유방법을 통해 가장 낮은 임계치를 선택하여 에너지 센싱을 진행하는 과정을 자세하게 나타낸 시스템 모델이다. 각각의 송신기로부터 가장 낮은 임계값을 선택하고 이는 EGC(Equal Gain Combining) 또는 MRC(Maximum ratio Combining)을 통하여 얻어진 에너지와 비교하여 센싱 결과를 얻을수 있다.

## III. 본문

1차 사용자가 주파수 대역을 사용 중인 경우를  $H_1$  이라고 하고, 사용 중이지 않은 경우를  $H_0$  라 할 때, ad-hoc 네트워크 내의 n번째 CR 사용자로부터 수신된 신호  $y_n(k)$ 는 각각 식 (1) 및 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_1 : y_n(k) = h(k) \otimes s(k) + n(k) \tag{1}$$

$$H_0 : y_n(k) = n(k) \tag{2}$$

여기서  $h(k)$ 는 무선 채널의 impulse 응답이고,  $\otimes$ 는 컨볼루션 (Convolution) 연산을 나타낸다. 그리고  $n(k)$ 는 평균이 0 이고 분산이  $\sigma_N^2$ 인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN, Additive White Gaussian Noise)를 나타낸다. 무선 채널을 가우시안 채널로 가정하면  $H_1$ 과  $H_0$ 의 확률 밀도 함수 (PDF : Probability Density Function)는 각각 식 (3) 및 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_{Y_n}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_s)^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (3)$$

$$f_{Y_n}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (4)$$

여기서  $\mu_s$  1차 사용자 신호의 평균값이다. Ad-hoc 네트워크내의 각 CR 사용자로부터 수신된 신호는 신호처리를 거쳐서 Local Decision된 후, 이 결과들은 1차 사용자의 존재 유·무를 판단하는데 사용된다. Global Decision에 사용되는 신호는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_U = \sum_{n=1}^N \hat{y}_n \quad (5)$$

여기서  $\hat{y}_n$ 은 Local Decision 결과이다. 따라서  $H_1$ 과  $H_0$ 에서의  $y_U$ 의 PDF는 각각 식 (6) 및 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{Y_U}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_U)^2}{2\sigma_U^2}\right) \quad (6)$$

$$f_{Y_U}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_U^2}\right) \quad (7)$$

여기서  $\mu_U$ 와  $\sigma_U^2$ 은 각각  $\hat{y}_n$ 의 평균과 분산이다.

1차 사용자가 주파수 대역을 사용 중인 경우, 1차 사용자를 검출할 확률 (Detection Probability)은 식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_d = \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} f_{Y_U}(y|H_1) dy \quad (8)$$

$$= \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_U)^2}{2\sigma_U^2}\right) dy$$

여기서  $\gamma(SNR)$ 은 ad-hoc 네트워크 채널의 수신신호

power에 따라 adaptive하게 update되는 임계값을 나타낸다.

식 (8)에서  $z = \frac{y-\mu_U}{\sigma_U}$ 로 치환하면, 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = \int_{\frac{\gamma(SNR)-\mu_U}{\sigma_U}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (9)$$

$$= Q\left(\frac{\gamma(SNR)-\mu_U}{\sigma_U}\right)$$

여기서  $Q(\cdot)$ 는 Q 함수를 나타낸다.

1차 사용자가 주파수를 사용하지 않는 경우, 오경보 확률 (False Alarm Probability)은 식 (10)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{fa} = \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} f_{Y_U}(y|H_0) dy \quad (10)$$

$$= \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$$

식 (10)에서  $z = \frac{y}{\sigma_U}$ 로 치환하면, 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{fa} = \int_{\frac{\gamma(SNR)}{\sigma_U}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (11)$$

$$= Q\left(\frac{\gamma(SNR)}{\sigma_U}\right)$$

### III. 모의 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 협력 릴레이 센싱 성능을 모의실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1.의 파라미터를 따른다. 협력하고자 하는 모든 노드들의 오 경보 확률( FA probability, false alarm probability)을 10%로 설정하였고, 각 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 단말들의 변조방식은 BPSK (Binary Phase Shift Keying)을 사용한다고 가정하였다. 그리고 CR기기가 센싱한 정보를 취합하는 방식으로 EGC(Equal Gain Combining), MRC (Maximum Ratio Combining)를 사용하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

Parameters	Value
Channel model	AWGN / Rayleigh
FA probability	10%
Modulation scheme	BPSK
Combining method	EGC /MRC
Threshold method	Select lowest threshold

MRC와 EGC는 기본적인 다이버시티 개념이라 본 논문에서는 언급하지 않았고, 참고문헌을 참고 한다[8].

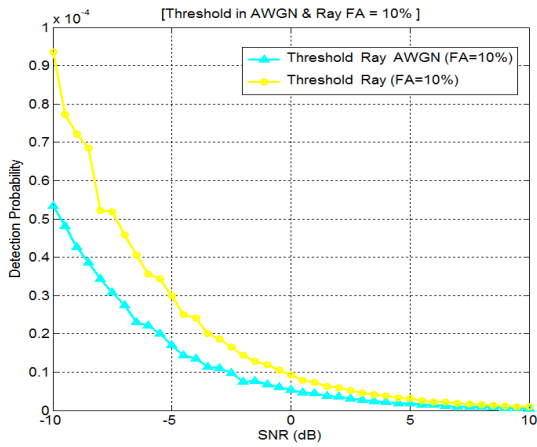


그림 3. AWGN채널에서의 FA(False Alarm)10%에 따른 임계값

그림 3은 AWGN과 Rayleigh channel일 경우의 각각에 대한 FA가 10%일때의 임계값을 확률을 보여준다. 제안된 시스템은 그림 2의 임계값을 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 3에서 보이듯이, AWGN 채널에 비해 채널상태가 좋지 않은 Rayleigh channel의 FA 확률이 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 수신신호의 power에는 Rayleigh channel이 AWGN 채널에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있게 한다.

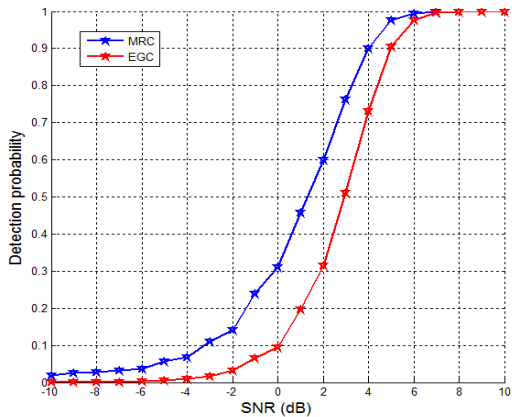


그림 4. AWGN채널에서의 가장 높은 임계값에 선택 공유에 따른 스펙트럼 센싱 성능 비교

그림 4와 그림 5는 협력하고자하는 사용자가 4명일 때, AWGN과 Rayleigh channel에서의 검출 확률을 보였다. 그림 3의 임계값을 바탕으로 진행하였으며, 모든 협력 노드의 FA가 10%라 가정하였다. 그림 4는 AWGN채널에서 일때의 가장 낮은 임계값으로 센싱을 진행 했을때와, 임계값의 평균을 통하여 센싱을 진행한 스펙트럼 센싱 결과이다. 본 논문에서 제안된 가장 낮은 임계값 선택 공유에 따른 센싱 결과가 임계값 평균을 통해 얻어진 센싱 결과보다 높은 검출 확률을 얻었음을 확인 할 수 있다. 그림 5는 Rayleigh channel

에서 본 논문에서 제안된 가장 낮은 임계값 선택 공유에 따른 센싱 결과가 임계값 평균을 통해 얻어진 센싱 결과보다 높은 검출 확률을 얻었음을 확인 할 수 있다.

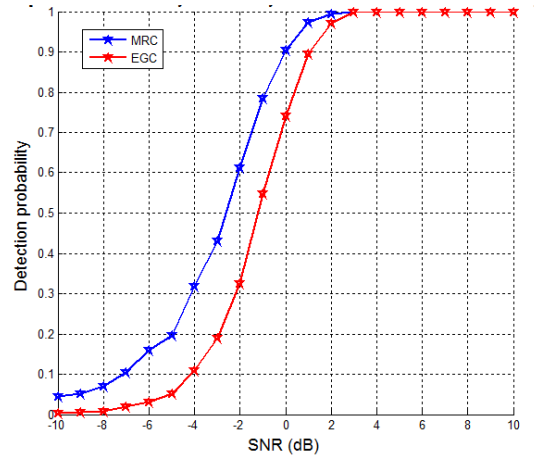


그림 5. Ray 채널에서의 가장 높은 임계값에 선택 공유에 따른 스펙트럼 센싱 성능 비교

## V. 결론

본 논문에서는 주파수 부족 및 소 출력 무선통신 기기의 통신 인프라 구축 없이 스펙트럼을 사용하게 하기 위한 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 협력 센싱시 신호 검출 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 협력 노드 중 가장 낮은 임계값을 서로 공유하여 협력 스펙트럼 센싱을 진행하였고, 임계값 평균을 공유하였을 때 보다 검출 확률이 향상되었음을 알 수 있다. FA와 임계값 그리고 검출확률은 서로 밀접한 연관이 있으므로, 이를 이용하여 합리적인 임계치를 찾는 방법이 더 연구되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- [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, W. Y. Lee, M. Vuran, and S. Mohant, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127 - 2159, May 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] T. S. Rappaport, Wireless Communications principles and practice, Prentice Hall, 1996.

## 저자

### 서 성 일(Sung Il Seo)

### 정회원



- 1992년 : 서울대학교 전자공학과 공학 석사
- 1992년~1997년 : 삼성전자, SOC사업부, Audio/Vidio SOC개발
- 1998년~2007년 : 삼성전자, CDMA2000, WIBRO통신 모델 개발

· 2007년~현재 : 광운대학교 전과공학과 박사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 협력통신, 가시광 통신, Cognitive Radio

### 이 미 선(Mi Sun Lee)

### 준회원



- 2011년 8월 : 광운대학교 전과공학과 졸업
- 2011년 9월~현재 : 광운대학교 전과공학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio

### 김 진 영(Jin Young Kim)

### 종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 : 미국 Princeton University Associate
- 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원

· 2009년~2010년 2월 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

· 2001년~현재 : 광운대학교 전과공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화