

# 오경보 확률 제어를 통한 적응적 임계치 사용 에너지 검출 스펙트럼 센싱의 성능 분석

서성일\*, 이미선\*, 김진영\* 정회원

## Performance Analysis of Energy Detection Spectrum Sensing Using Adaptive Threshold through Controlling False alarms

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

**요 약** .....

본 논문에서는 기존 에너지 스펙트럼 센싱 할 경우 고정된 FA를 기반으로 정해진 임계값에 따라 센싱이 진행된다. 하지만 SNR 상태가 높다면 낮은 레벨의 SNR에서보 비해 오경보 확률이 일어날 확률이 상대적으로 적어진다. 따라서 90%로 이상의 검출확률을 얻는 구간에 대하여 FA를 제어하는 방법으로 오경보 확률을 높게 설정하지 않아도 검출확률이 유지 되는지를 확인한다. 따라서 CR사용자의 SNR 상태에 따라 FA값을 컨트롤하여 적응적 임계값을 얻는 시스템 모델을 제안하고 성능을 분석한다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Energy detection, Control FA, Adaptive Threshold.

**ABSTRACT** .....

In this paper, we propose system model to solve conventional threshold problem of using fixed false alarm for energy spectrum sensing. Spectrum sensing reliability is ensured when Secondary user have high SNR. Thus, it is not reasonable using fixed optional false alarm without considering CR user's SNR. So, we propose adaptive threshold method. adaptive threshold is decided by controlling FA according to CR user's SNR

### 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. 스펙트럼 센싱은 1차 사용자의 사용유무를 결정하는 기술로써, 신뢰성 높은 기술이 요구된다. 여러 가지 검출 방법중 에너지 검출은 가장 간단한 스펙트럼 검출 방법이다. 하지만 Secondary User(SU)가 Low SNR시 검출에 어려움이 따르는 단점이 있지만 다른 검출 방법들과 비교하였을 때 빠른 센싱 시간을 가지므로, 광대역에서 다중 채널 검출을 위한 방법으로 적용가능 하다. 그러한 이유로 에너지 검출은 가장 널리 연구되는 검출 방식 중에 하나다. 본 논문에서는 에너지 검출기의 성능에 임계값이 어떤 영향을 미치는지 보이고 적응적 False Alarm(FA)를 컨트롤 하여 임계값을 변경하여 SU의 SNR에 따라 적응적으로 적용하여 센싱하였을 경우 성능 분석을 보인다. 스펙트럼 센싱 성능은 검출 확률, 오류 검출 확률, FA확률 등으로 구체화 할 수 있다. 오류 검출 확률은 주파수 대역에 Primary User(PU)가 존재하는데 없다고 잘못 센싱 판단하는 것을 말한다. 이것과 반

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2012-0007025) 광운대학교 전파공학과 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

대로, FA 확률은 SU가 PU가 존재하지 않는데 존재한다고 센싱 판단하는 것을 말한다. 기존의 에너지 검출에서의 임계값은 SU의 SNR에 따라 고정된 FA를 적용하여 얻어진 임계값과 수신된PU의 에너지 값과 비교하여 PU의 유무를 판단했다. 하지만 본 논문에서는 SU의 검출확률 90%를 만족하는 SNR 레벨 상태에 따라 FA를 높이지 않도록 제어하여 센싱을 진행한다. 임계치 값이 낮으면 false alarm 확률이 높아지고 false alarm 확률이 높아지면 detection probability가 높아져서 기존의 고정적 FA에 따른 임계치 값을 사용하였을 때 보다 효율적인 센싱 성능 기대 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 FA의 컨트롤을 통한 임계값 셋팅에 따른 에너지 검출 스펙트럼 센싱 시스템 모델을 제안한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법을 설명하고, 제 IV장에서는 모의 실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 에너지 센싱을 통하여 센싱시 SU의 SNR에 따른 FA제어를 통하여 임계치를 얻고 이에 따라 센싱을 진행하는 시스템 모델을 제안한다. 이를 통해 90%의 검출확률을 보이는 SU의 SNR구간에서 오경보 확률을 다르게 설정함으로써 다른 FA값을 적용하여 보다 효율적 센싱을 진행한다.

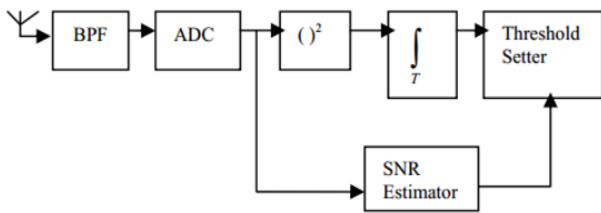


그림 1. SNR estimator를 통한 에너지 검출

그림 1.은 본 논문은 에너지 검출을 기반으로 센싱을 진행하며, SNR Estimator를 통하여 SU의 SNR상태를 정확히 파악할수 있다 가정하였다. 그림 2는 SU의 검출확률이 90%를 기준으로 하여 SNR구간을 정의한뒤 90%를 만족하지 못하는 구간에선 FA를 높이더라도 검출확률을 얻을수 있도록 하며, 검출확률을 90%이상을 만족하는 경우 FA를 높이지 않더라고 검출확률이 90%이상을 유지 할수 있도록 하는 시스템 모델을 제안하고 분석한다. 그림 3.은 CR사용자의 SNR,FA,검출확률 Pd,임계값의 관계를 비교한 것이다. 이를 적절히 조정한다면 최적의 검출확률을 얻을수 있을 것이다.

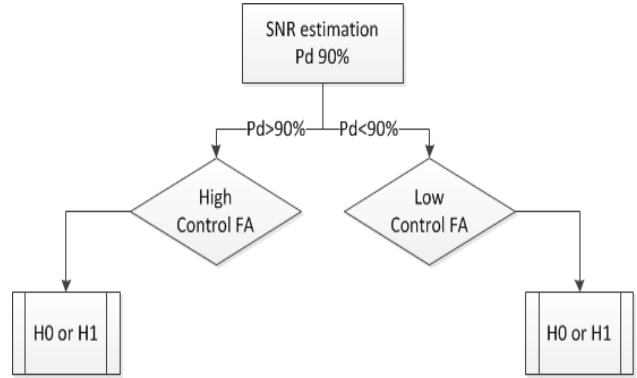


그림 2. SNR레벨에 따른 FA컨트롤 임계값 적용 시스템 모델

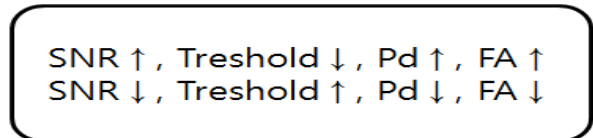


그림 3. SNR과 임계값 검출확률 오경보확률의 성질

## III. 본문

1차 사용자가 주파수 대역을 사용 중인 경우를  $H_1$  이라고, 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.

$$H_1 : y_n(k) = h(k) \otimes s(k) + n(k) \quad (1)$$

$$H_0 : y_n(k) = n(k) \quad (2)$$

여기서  $h(k)$ 는 무선 채널의 impulse 응답이고,  $\otimes$ 는 컨벌루션 (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 거

처서 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

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 |

본 논문에서는 위의 표 1과 같은 실험 파라미터를 이용하여 실험하였다. 우선 채널 모델은 백색 잡음 채널 (AWGN, Additive White Gaussian Noise)와 Rayleigh 채널 모델을 고려하였다. 오 경보 확률( FA probability, false alarm probability)을 5%, 10%로 설정하였고, 각 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 단말들의 변조방식은 BPSK (Binary Phase Shift Keying)을 사용한다고 가정하였다. 그리고 CR 기기가 센싱한 정보를 취합하는 방식으로 MRC(Maximum Ratio Combining)를 사용하였다. MRC는 기본적인 다이버시티 개념이라 본 논문에서는 언급하지 않았고, 참고문헌을 참고 한다[8].

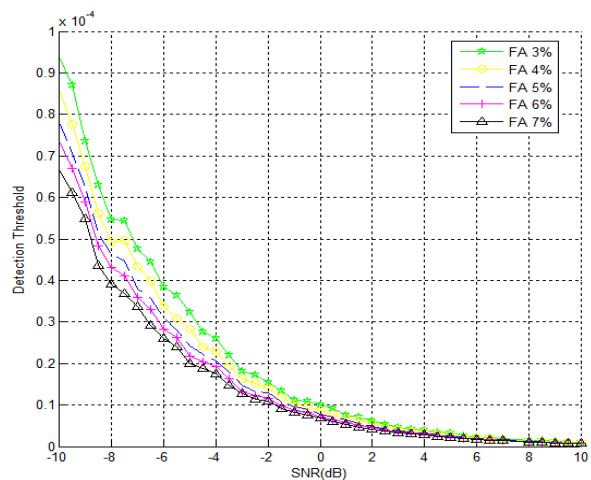


그림 4. 각 FA 변화에 따른 임계치 값

그림 4.는 에너지 검출에 사용될 임계값이다. SNR이 낮은 구간에서는 노이즈 값이 커지기 때문에 임계값은 높게 나타

나며, SNR이 높은 구간에서는 노이즈가 낮기 때문에 임계값 역시 작아지게 된다. 이 임계값들은 False alarm을 기반으로 하며, FA에 따라서도 각기 값이 달라지는데 낮을수록 임계값은 높아지며, FA가 높을수록 임계값은 낮아지게 된다.

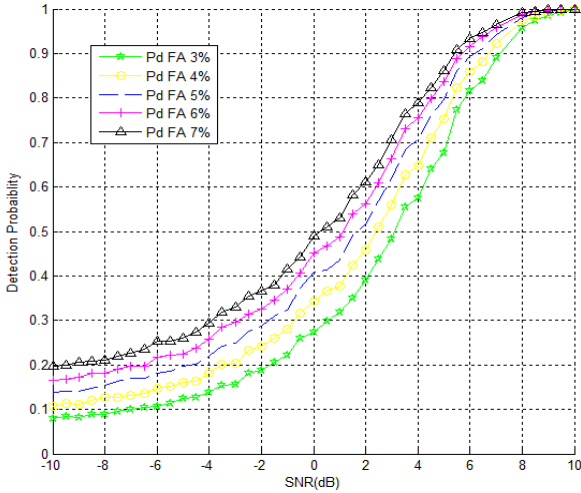


그림 5. FA에 따른 검출 확률

그림 5는 그림 4에서 구한 임계값으로 에너지 검출확률을 비교한 그림이다. FA이 높을수록 검출확률은 낮아지게 된다.

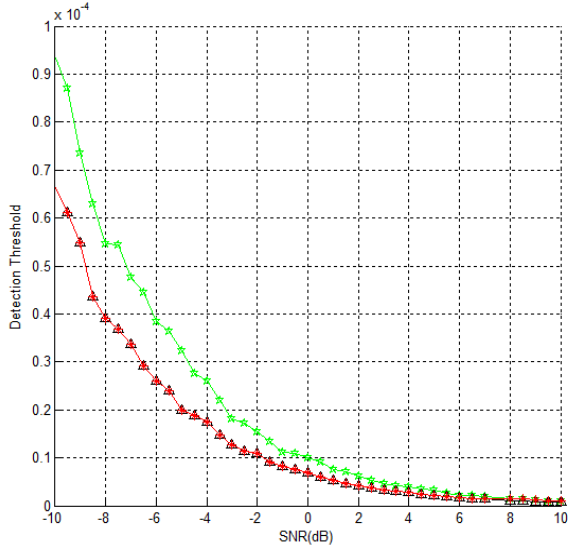


그림 6. FA에 제어에 따른 임계값의 변화

그림 6.본 논문에서 제안한 FA제어에 따른 임계값의 변화를 보여준다. FA3% 그리고 FA7%로 가장 낮고 높게 잡은 임계값에 대하여 본 논문에서 제안한 FA를 컨트롤 하여 얻는 임계값 그래프이다. 빨간색 그래프가 바로 FA제어를 통해 얻어진 그래프이고, 8 dB에서 90% 이상의 검출 확률을 얻을수 있었고, 그에따라 8dB이하의 구간에서는 가장 높은 임계값을 적용하였고, 8dB이상의 구간에서는 가장 낮은 FA를 적용하였다.

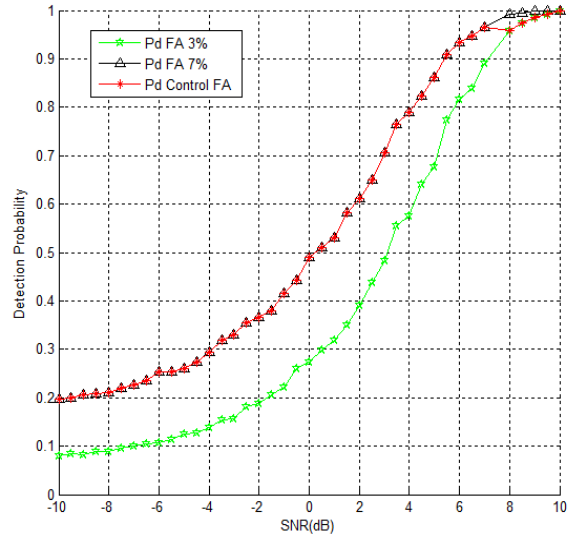


그림 7. 제안된 시스템 모델인 FA에 제어를 통한 검출확률

그림 7.은 제안된 시스템 모델의 검출확률을 보여준다. 낮은 구간에서는 FA를 올림으로써 검출확률을 가장높게 보장 하였으며, 검출확률이 90%로 만족되었던 8dB구간에서는 FA를 낮춤에도 불구하고, 90%를 만족하는 검출 확률을 보인다.

## V. 결론

본 논문은 FA와 검출 확률에 관해 살펴 보았고, FA제어를 통해 90%의 검출 확률을 보이는 구간에서는 FA를 줄이며 검출확률이 유지되었다. FA의 결정만으로도 검출확률에 검출확률 확연히 달라지며, 이를 적응적으로 제어가 가능하다면 낮은 오경보 확률로도 충분한 검출 확률을 얻을수 있다. 이는 SNR이 낮은 환경에서는 FA을 높이더라도 검출확률을 높여 검출확률을 높이는데 목적이 있고, SNR이 높은 환경에서는 최소한의 FA를 갖도록 설계하는데 목적이 있다.

## 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



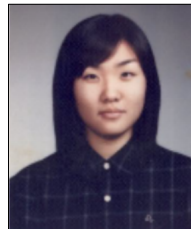
- 1992년 : 서울대학교 전자공학과 공학 석사
- 1992년~1997년 : 삼성전자, SOC사업부, Audio/Vidio SOC개발
- 1998년~2007년 : 삼성전자, CDMA2000, WIBRO통신 모델 개발

· 2007년~현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

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

### 이 미 선(Mi Sun Lee)

### 준회원



- 2011년 8월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2011년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학과 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 전자공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화