

# 채널상태정보에 따른 False alarm 선택 스펙트럼 센싱 성능 분석

이미선\*, 김진영\*

## Performance Analysis of Spectrum Sensing using CSI with False Alarm Selection

Mi Sun Lee\*, Jin Young Kim\* *Regular Members*

### 요 약

Cognitive Radio는 유휴 스펙트럼을 찾아 환경에 맞는 통신방식과 주파수 대역폭을 능동적으로 판단해 재활용하는 지능적인 간섭회피로 방식으로 스펙트럼을 공유하여 전파자원효율을 극대화 하는 기술이다. 기존의 협력 스펙트럼 센싱은 협력하는 사용자들의 채널 상태만을 고려하여 임계치를 정하고 있으며, 모두 같은 고정된 오경보 확률을 적용하여 센싱하게 된다. 오경보 확률은 오류 검출과 관계가 있으며, 고정된 오경보 확률은 검출확률의 감소의 문제를 가진다. 따라서 본 논문에서는 CR사용자의 채널상태를 고려할 뿐만 아니라 채널 상태에 따른 다른 오경보 확률을 차등 적용하여 협력 스펙트럼 센싱을 하는 시스템 모델을 제안하고 분석한다. 시뮬레이션 결과를 통해 검출확률 향상을 보인다.

**Key Words** : Cognitive Radio(CR), False alarm selection, Channel State Information(CSI), Energy detection

### ABSTRACT

CR(Cognitive Radio) technology is maximized frequency reuse using unused frequency band. Conventional cooperative spectrum sensing has fixed false alarms. so all cooperative user has equal threshold. This problem is caused degradation of detection probability. so we propose and analysis the system model that false alarm differential setting through CSI(channel state information) for resonable threshold. Simulation results show improvement of detection probability.

## I. 서 론

최근 무선 통신 서비스의 발달과 스마트 폰의 보급에 따른 데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다[1]. 하지만 폭발적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽의 증가 추세에 비해 Macro-BS 기반의 point-to-point 링크의 용량 증대만으로는 트래픽 수요를 수용할 수 없는 한계점에 다르고 있다. 또한, 통신사업자의입장에서는 수용해야 하는 모바일 데이터는 폭발적으로 증가하는데 비해서 통신서비스의 수익은 선형적으로 느리게 증가하여 수익구조의 악화를 경험하고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 저비용으로 이동통신망의 용량을 증대하는 기술이 필수적으로 요구되고있다[2][3]. 전통적인 이동통신 시스템의 용량증대 방식은 셀분할 기법 등을 통해 단위 면적에서의 기지국 노드

밀집도를 높여 스펙트럼 효율을 높일 수 있으나 밀집된 기지국 노드간의 셀간 간섭 (inter-cell interference)으로 인해 한계에 다다르고 있다.Cognitive Radio는 유휴 스펙트럼을 찾아 환경에 맞는 통신방식과 주파수 대역폭을 능동적으로 판단해 재활용하는 지능적인 간섭회피로 방식으로 스펙트럼을 공유하여 전파자원효율을 극대화 하는 기술이다. DSA (Dynamic Spectrum Access) 즉 Cognitive radio 기술은 HetNet에서의 간섭을 제거함으로써 QoS를 높이는데 사용하고 있는데, 이때 CR 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 신뢰도 높게 유휴주파수를 탐색하는 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아진다. 에너지 검출은 가장 간단한 스펙트럼 검출 방법이다. 하지만 단일 센싱은 셀경계 채도인 환경에서 신뢰도가 낮은 센싱 성능을 보이기 때문에 이를 보완하기 위한 방법으로 협력 스펙트럼 센싱 기술을 사용한다. 이때 본

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-(H0301-13-1005) 광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (\*mesunny777@gmail.com), (\*jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자: 2013년 7월 10일, 재접수일자: 2013년 11월 26일, 수정완료일자: 2013년 12월 15일, 최종 게재 확정일자 : 2013년 12월 16일

논문에서는 고정된 오경보 확률이 아닌 채널 상태에 따른 오경보 확률을 사용함으로써 검출 성능을 높인다. II장에서는 본 논문의 시스템 모델을 제안하고, III장에서는 시스템 모델에 대해 자세히 살펴본다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고, V장에서는 결론을 내린다.

## II. 제안한 시스템 모델

본 논문에서는 협력하는 사용자에게 채널상태에 따라 FA를 적용함으로써 적응적으로 임계치를 선택하여 협력 센싱하는 시스템 모델을 제안한다. 그림 1은 채널 상태에 따라 오경보 확률을 다르게 하여 임계치를 구하여 검출 확률을 높이는 협력 스펙트럼 센싱 시스템 모델이다. 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 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 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 유휴주파수를 탐색하는 것은 오 검출 확률이 높아지게 되고 신뢰성측면에서 그 성능이 낮아지게 된다[4-5].

따라서 Ad-hoc 채널환경에서 동일 시스템인 CR 사용자들의 협력 센싱의 검출성능을 높이기 위한 방법으로 사용자들의 채널상태를 고려한 차등적 오경보 확률을 통한 협력 스펙트럼 센싱 모델이다. 기존의 협력 시스템 모델에서는 임계

값을 정하는데 모두 같은 오경보 확률을 적용하고 있어 같은 임계값을 가지게 되는 문제가 있어 센싱 성능이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 CR사용자들의 채널 상태에 따라 차등적 오경보 확률을 적용함으로써 임계치를 적용하고 각 개별 센싱 결과를 융합센터에서 융합함으로써 최종 판단하게 된다.

## III. 시스템 분석

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 말한다. 이것과 반대로, false alarm 확률은 CR사용자가 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. 임계치 값이 정적이면 detection probability도 낮아지고, 시스템에 따라서 detection probability를 유동적으로 조절할 수가 없다. 따라서 본 논문에서는 협력하고자하는 CR사용자의 채널 상태에 따라 차등적 오경보 확률을 적용함으로써 검출 확률을 향상시키는 시스템 모델을 제안하고 분석한다. Ad-hoc 채널환경에서 협력하고자하는 동일 시스템들의 채널 상태가 모두 다름에도 불구하고, 동일한 임계치를 가지는 것을 오경보 확률을 적용한다면, 성능이 떨어질 것이다. 이러한 점을 해결하고자 채널상태에 따라 차등적 오경보 확률을 적용함으로써 임계치를 결정하고 이에 따라 detection probability를 높이고자 한다. PU가 주파수 대역을 사용 중인 경우를  $H_1$ 이라하고, 사용중이지 않은 경우를  $H_0$ 라 할 때, ad-hoc 네트워크내의 n번째 CR 사용자로부터 수신된 신호  $y_n(k)$ 는 각각 식 (1) 및 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

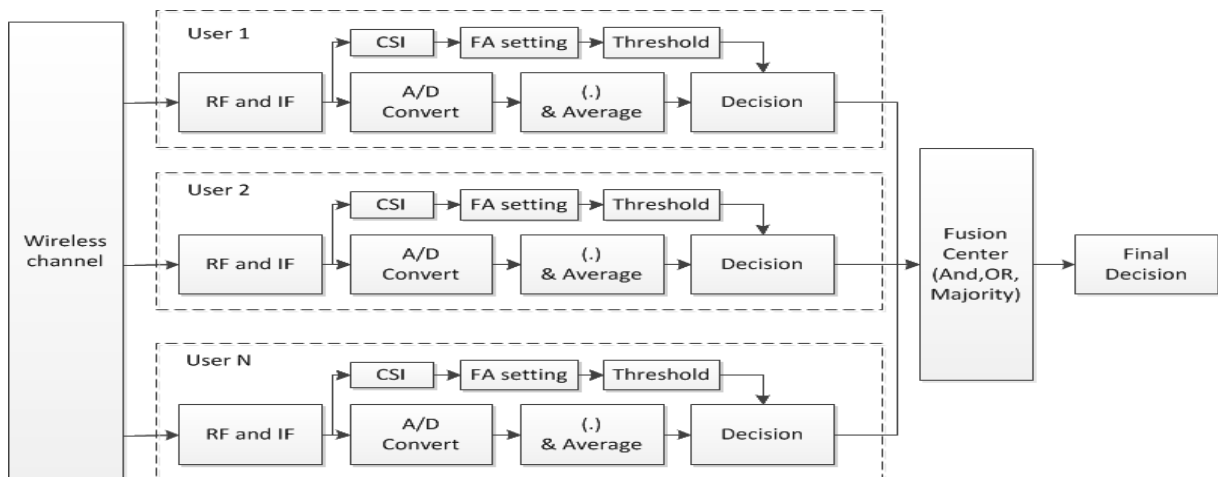


그림 1. CSI를 통한 협력 에너지 검출 사용 시스템 모델.

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

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

여기서  $h(k)$ 는 무선 채널의 impulse 응답이고,  $\otimes$ 는 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. Local 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.

$$\begin{aligned} P_d &= \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} f_{Y_U}(y|H_1) dy \\ &= \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_U)^2}{2\sigma_U^2}\right) dy, \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $\gamma(SNR)$ 은 ad-hoc 네트워크 채널정보에 따라 차등 오경보 확률을 적용했을 때의 값을 나타낸다. 식 (8)에서  $z = \frac{y-\mu_U}{\sigma_U}$ 로 치환하면, 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

AND 방식과 OR방식은 최종판정을 내리기위한 결합방식으로 제안된 간단한 방식으로  $g_i D_{i-D}$ 이 식 (8)에서 계산된 결과 값을 산술 평균을 취하는 것으로 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_F = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i D_{i-D}, \quad (9)$$

우선 사용자의 스펙트럼 사용을 알아보기 위해 AND방식 또는 OR방식을 적용한  $u_F$ 를 임계값( $\gamma_F$ )과 비교한다. 임계값을  $\gamma_F = 1/M$ 로 설정하면 OR방식,  $\gamma_F = 1$ 로 설정하면 AND방식으로 표현된다. 부 사용자는  $u_F = 1$ 이면, 우선 사용자가 사용하지 않은 빈 주파수대역을 사용할 수 있고, 만약  $u_F = 0$ 이라면 부 사용자는 주파수 대역을 사용할 수 없다. AND 방식은 개별 센싱의 결과인  $D_{i-D}[k]$  값이 하나라도 “0”이면 우선 사용자가 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판단하는 반면 OR방식은 개별 센싱 결과인  $D_{i-D}[k]$  값이 하나라도 “1”이면 우선 사용자가 검출된 것으로 판단, 부 사용자가 스펙트럼을 사용할 수 없게 된다. 기존에 제시된 최종 판정 결합방식은 AND방식을 적용하면 스펙트럼 센싱을 정밀하게 수행하게 됨으로서 우선사용자를 센싱하는데 어려움이 있고 OR 방식은 조악한 센싱을 수행하므로 검출 확률은 높아지지만 신뢰도가 낮아지게 된다. 위와 같은 AND방식 및 OR방식의 문제점을 보완하기 위해 다수결합 판정법은 개별 센싱 결과 중 과반수 이상의 결과를 최종 판정에 반영하는 방법으로 개별 센싱 결과를 취합한  $u_{i-D}[k]$ 이 임계값과 비교된다. 이때의 임계값은  $\gamma_M = M/2$ 로 설정한다. 그러나 다수결합 판정법은 협력하고자하는 사용자의 수가 3개 미만일 때는 OR방식과 같은 검출 확률을 보이므로 효율적이지 않다. 그러므로 다수결합 판정은 안테나의 수가 3개 이상일 시에 효율적이며 논리적인 검출 확률 결과가 도출된다. 위의 AND방식과 OR방식이 지나치게 정밀하거나 조악한 반면 본 논문에서 제시한 다수결합 판정은 논리적인 최종 판정법이라고 할 수 있다. 따라서 위의 3가지 방법에 따라 시뮬레이션 결과를 보이게 된다.

## IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 위의 표 1과 같은 실험 파라미터를 이용하여 실험하였다. 우선 채널 모델은 백색 잡음채널 (AWGN, Additive White Gaussian Noise)와 Rayleigh 채널 모델을

고려하였다. 오 경보 확률( FA probability, false alarm probability)을 10%, 9%, 6%, 4%로 설정하였고 인지무선 단말기를 채널 상태에 따라 차등으로, 각 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 단말들의 변조방식은 BPSK (Binary Phase Shift Keying)을 사용한다고 가정하였다. 그리고 CR 기기가 센싱한 정보를 취합하는 방식으로 EGC(Equal Gain Combining)를 사용하였다. EGC는 기본적인 다이버시티 개념이라 본 논문에서는 언급하지 않았고, 참고문헌을 참고 한다[4].

표 1. 모의 실험 파라미터.

Parameters	Value
Noise model	AWGN/Rayleigh
Modulation scheme	BPSK
Decision rule	AND, OR, Majority
Combining method	EGC
False alarm prob	10%,9%,6%,4%

본 논문에서 제안한 채널에 따라 차등적 FA를 적용하여 임계값을 얻었고, 협력하고자 하는 사용자를 4명으로 정하였으며 채널을 상태를 랜덤하게 결정하였다, 그리고 채널 상태가 가장 좋은 사용자를 순서로 하여 오경보 확률을 4%, 6%, 9%, 10%, 로 각각 차등적으로 적용하여 임계치를 구하였으며, 이 임계값을 이용한 로컬 센싱 결과를 융합센터에서 각각 AND, OR, Majority방식을 적용하여 최종 검출 성능을 보였다. 그림 2와 그림 3은 AWGN과 Rayleigh channel일 경우의 각각에 대한 FA 확률을 보여준다. 제안된 시스템은 AWGN 채널일 경우 그림 2의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. Rayleigh채널일 경우 그림3의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 2와 3에서 보이듯이, AWGN 채널에 비해 채널상태가 좋지 않은 Rayleigh channel의 임계값이 높은 것을 알 수 있다. 그림 4와 5는 이 임계값에 따른 검출 확률을 보인다. 오경보 확률에 따라 모두 다른 검출확률을 얻는 것을 확인할 수 있다.

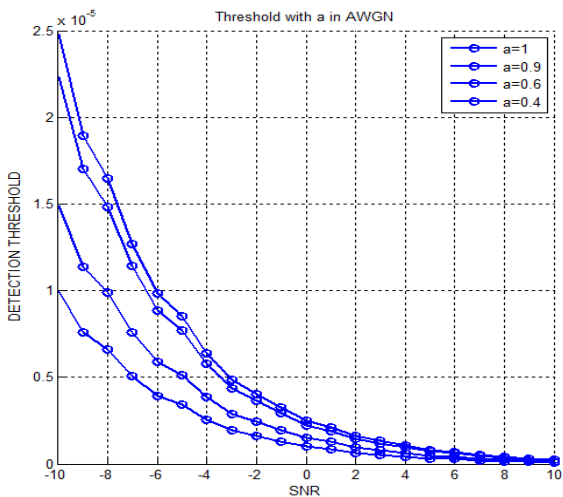


그림 2. AWGN 채널에서의 threshold 그래프.

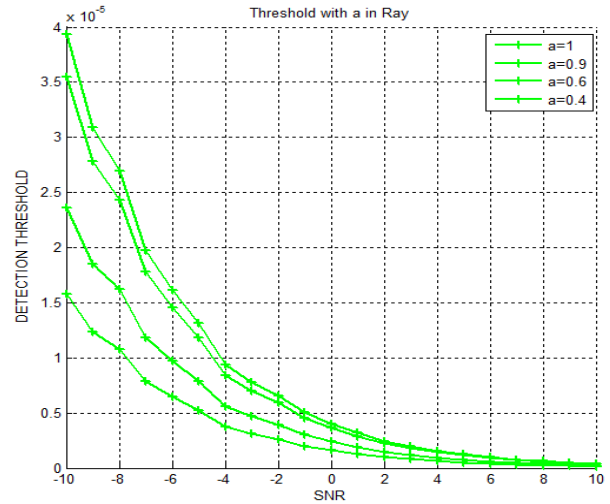


그림 3. Rayleigh 채널에서의 오경보확률에 따른 임계치 그래프

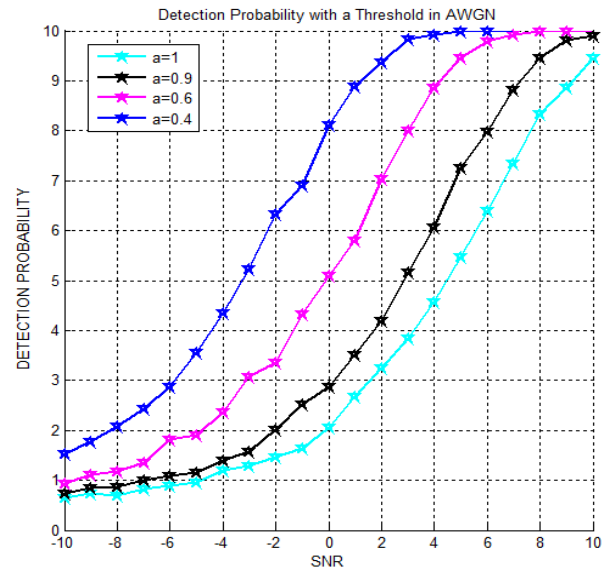


그림 4. AWGN 채널 오경보확률에 따른 검출확률

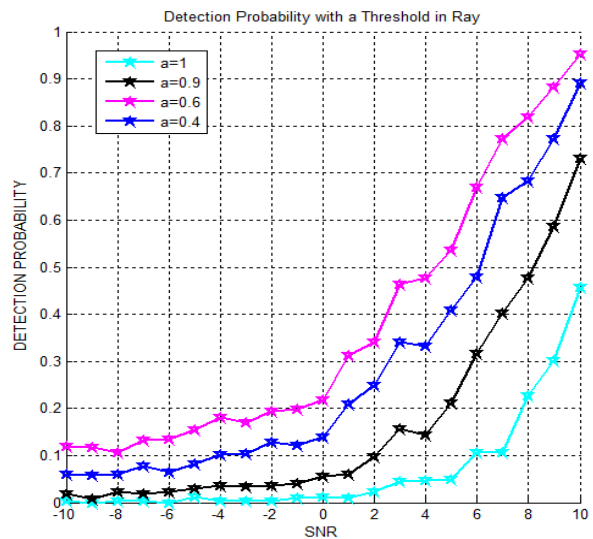


그림 5. Rayleigh 채널 오경보 확률에 따른 검출확률

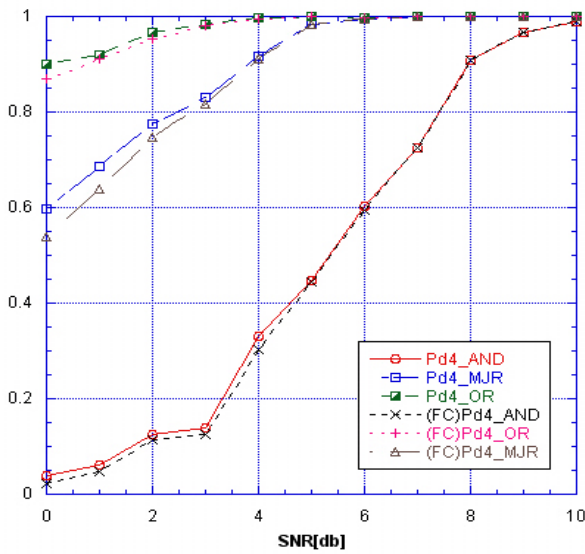


그림 6. 시스템 모델의 검출 성능

따라서 그림 6은 최종적으로 시스템 모델의 검출 확률을 보인다. 융합센터에서 AND, OR, Majority 방식을 사용하였을 때의 검출 확률을 보여준다. Pd\_4 AND, OR, Majority 방식은 4명의 협력 사용자를 채널 상태에 따라서 고정된 오경보 확률을 적용하여 융합했을 때의 검출 확률을 보이고 있고, (FC)Pd\_4는 4명의 협력 사용자의 채널 상태 뿐만 아니라 채널 상태에 따라 오경보 확률을 차등 적용하여 검출해낸 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 검출 성능이 향상되었음을 확인 할 수 있다.

## V. 결 과

본 논문에서는 주파수 부족 및 소 출력 무선통신 기기의 통신 인프라 구축 없이 스펙트럼을 사용하게 하기 위한 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 신호 검출 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. energy detection이 ad-hoc 네트워크에서는 워낙 성능이 떨어지기 때문에, 협력 센싱을 적용하였고, 개개의 조금 복잡하더라도 채널에 따라 임계값을 결정하는 것에서 더 나아가 협력 사용자들에게 차등적으로 오경보 확률 기법을 적용하였고, 이는 detection probability 성능이 올라감을 확인하였다. CR 기반 ad-hoc 네트워크에서는 비교적 단순한 에너지 검출 기법이 가장 많이 사용되고 있고, 본 논문의 결과에서처럼 신호 검출이 거의 되지 않는 것을 막기 위해 다양한 연구가 진행 중이지만, 이러한 상황에서 시스템 복잡도를 크게 증가시키지 않으면서 신호 검출 확률을 높일 수 있는, 본 논문에서 제안한 채널 상태에 따른 차등적 오경보 확률 기법이 CR 기반 ad-hoc 네트워크에서의 한 가지 해법이 될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive radio systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] S. Yeh et al., "Capacity and Coverage Enhancement in Heterogeneous Networks," IEEE Wireless Commun., vol. 18, no. 3, June 2011, pp. 32-28.
- [3] 3GPP Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2(Relase 10).
- [4] Charles E. Perkins, Ad hoc networking, Addison-Wesley, 2001.
- [5] C.K. Toh, Ad hoc mobile wireless networks: protocols and systems, Prentice Hall PTR, 2002.
- [6] T. S. Rappaport, Wireless Communications - principles and practice, Prentice Hall, 1996.

## 저자

### 이 미 선(Mi-sun Lee)



- 2011년 8월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2011년 9월~2013년 9월 : 광운대학교 전자공학과 석사 졸업

<관심분야> : Cognitive Radio, 가시광 통신

### 김 진 영(Jin Young Kim)

### 정희원



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

- 2009년~2010년 2월 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
- 2001년~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화