

논문 2008-45TC-4-5

# 인지무선환경에서 스펙트럼 센싱을 위한 에너지 검출기의 성능개선: 다중안테나를 이용한 확인과정

(Performance Improvements of Energy Detector for Spectrum Sensing  
in Cognitive Radio Environments: Verification using Multiple Antennas)

백준호\*, 오형주\*, 이종환\*, 황승훈\*\*

(Jun-Ho Baek, Hyeong-Joo Oh, Jong-Hwan Lee, and Seung-Hoon Hwang)

## 요약

본 논문에서는 다중 안테나 시스템에서 다수의 에너지 검출기를 이용하여 신뢰성 향상을 도모한 새로운 스펙트럼 검출 방법을 제안하였다. 스즈키 채널 상황 하에서 시뮬레이션을 통하여 기존의 에너지 검출기와 스펙트럼 검출 성능 비교하였다. 시뮬레이션 결과 10%로 고정된 오보확률에서 제안하는 구조의 성능을 SNR (Signal to Noise Ratio)에 따른 미 검출 확률로 구하고 또한 ROC(Receive Operation Characteristics) 커브로 나타내어 그 우수함을 보인다.

## Abstract

In this paper, we propose a new structure for spectrum sensing which employs multiples energy detectors in multiple antenna system, in order to improve its reliability. The performance is analyzed by simulation and compared to that of the conventional energy detector. The simulation results shows that the performance of the proposed scheme is much better than that of the conventional one. Additionally, the performance of is described in terms of ROC curve.

**Keywords :** Cognitive Radio, Verification, Spectrum Sensing, Energy Detector, Multiple Antenna

## I. 서론

최근 무선 응용 서비스들은 더 많은 대역폭과 더 높은 전송률을 요구하는 경향을 보인다. 이러한 경향에 따라 엄청난 주파수 사용 요구를 맞추기 위하여 무한한 주파수 자원이 필요하나 새로운 무선 서비스를 위한 여분의 주파수 대역은 부족하다. 또한 대부분의 기존 주파수 대역은 효율적으로 사용되지 않고 있다. FCC (Federal Communication Commission) Spectrum Policy Task Force 보고서에 따르면 기존 주파수 대역의 사용률은 위치나 시간에 따라 변한다<sup>[1]</sup>.

기존 주파수 사용 효율을 높일 수 있는 방안으로 인

지 무선 (Cognitive Radio: CR) 접속 기술이 제안 되었다<sup>[2]</sup>. CR 접속 기술은 동적 주파수 자원 관리 개념을 바탕으로 기존 1차 사용자의 우선 권한을 보장하며 유휴 주파수 부분을 사용하여 주파수 사용 효율을 높이는 기술이다. 특히 스펙트럼 검출 기술은 1차 사용자에게 점유되어 사용되고 있는지 또는 유휴 주파수 부분인지를 정확하게 판별할 수 있는 스펙트럼 검출 기술이 매우 중요하다. 따라서 2차 사용자는 기존 주파수 대역을 관찰하고 1차 사용자의 신호가 검출 되지 않았을 때에만 비로소 신호를 전송 할 기회를 갖는다.

이동 통신 시스템에서는 공간적으로 분리된 다수의 수신 안테나를 널리 사용한다. 다중 안테나 시스템은 공간 다이버시티 이득에 대한 장점을 갖는다. 공간 다이버시티 이득은 다수의 안테나가 수신하는 신호들은 서로 다른 경로를 통한 독립적인 페이딩을 겪음으로써 이득이 발생한다. 다중 안테나 기술은 현재와 가까운

\* 학생회원, \*\* 정회원, 동국대학교 전자공학과  
(Dongguk University, Seoul, Korea)

※ 본 연구는 LG전자의 지원으로 이루어졌음  
접수일자: 2008년1월9일, 수정완료일: 2008년4월18일

미래의 가장 활용도가 높은 기술이다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 새로운 스펙트럼 검출 구조를 갖는 기술을 제안한다. 이 검출 구조는 스펙트럼 검출의 신뢰성을 높이기 위하여 다수의 안테나와 다수의 에너지 검출기로 구성 되어있다. 최종 스펙트럼 검출에 대한 판정은 다수의 에너지 검출 정보를 바탕으로 협력적인 방법으로 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 검출 방법들의 특징을 검토하고, III장에서는 제안하는 스펙트럼 검출기의 구조를 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 분석 하였다. 마지막으로 V장에서 결론과 토의로 마무리 한다.

### II. 기존 스펙트럼 검출 방법

스펙트럼 검출을 위한 방법으로 정합 필터, 신호 형태 검출, 에너지 검출이 제안되었다. 정합 필터와 신호 형태 검출은 수신 신호에 대한 충분한 정보를 알아야 하는 제약을 갖는다. 실제로 1차 사용자 신호의 구조나 정보에 대해 사전에 알고 있기 힘들므로 CR 환경에서는 적합하지 않다.

에너지 검출기는 1차 사용자 신호의 형태를 알지 못하더라도 검출 가능하다는 장점이 있다. 게다가 앞서 언급한 검출 방식에 비해 간단한 구조를 갖는다. 그림 1은 에너지 검출기의 블록도를 나타낸다. 그림 1에서 보는 바와 같이 신호의 중심 주파수를 선택하고 대역폭을 결정하기 위해 대역 통과 필터(Band Pass Filter)에 통과 시킨 후, 제곱을 하여 적분한 값을 임계값과 비교하여 신호의 존재 유무를 판별한다.

에너지 검출 방식의 스펙트럼 검출의 성능은 페이딩, 선택도잉, 간섭과 같은 채널 환경에 매우 의존적이다<sup>[4]</sup>. 만약 1차 사용자가 존재하지만 제대로 검출이 되지 않는 경우에 1차 사용자에게 심각한 간섭을 주게 되고, 반대로 1차 사용자가 존재하지 않지만 검출되었다고 판정하는 경우 사용 가능한 스펙트럼을 유희하게 되어 비효율적인 동작을 하게 된다. 따라서 검출 신뢰성을 높인 새로운 스펙트럼 검출 방법을 고안 하였다.

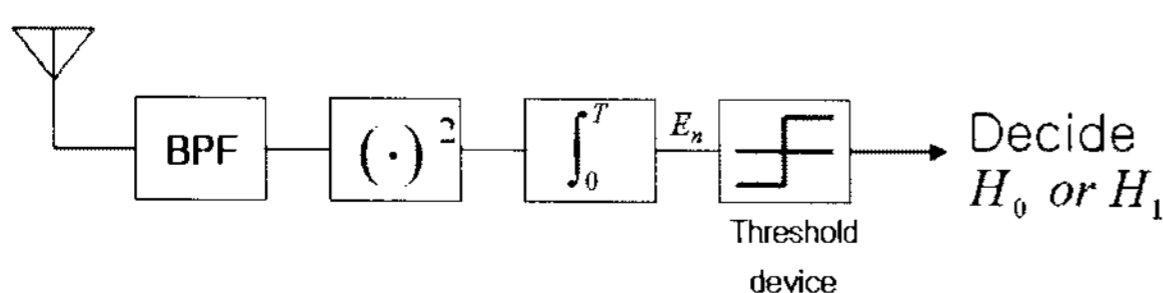


그림 1. 에너지 검출기의 블록도  
Fig. 1. The block diagram of energy detector.

### III. 제안하는 스펙트럼 검출기 구조

그림 2는 제안 하는 스펙트럼 구조의 블록도를 나타낸다. 다수의 안테나로부터 수신된 신호들 각각 에너지 검출기를 통과한다. 다수의 에너지 검출기로부터 얻어진 검출 정보를 바탕으로 공동 검출기는 1차 사용자의 신호가 비었는지 아닌지를 최종 판정한다.

각 에너지 검출기에서는 미리 정의된 임계값 (= λ)과 비교하여 H<sub>1</sub> 또는 H<sub>0</sub>으로 판단한다. 공동 판정기에서는 참조 값 K(1 ≤ K ≤ N)와 비교하여 H<sub>1</sub> 또는 H<sub>0</sub>으로 최종 판단한다, 여기서 N은 안테나 수이다. 예를 들어 세 개의 안테나(N=3)를 갖는 스펙트럼 검출 구조에서 두 개 또는 세 개의 H<sub>0</sub>은 K(=2)보다 크거나 같으므로 공동 판정기에서는 빈 채널이라고 판단하게 된다.

검출기의 성능 검사를 위한 가정은 아래와 같다.

$$H_0 : y(t) = n(t) \quad \text{Channel Vacant}$$

$$H_1 : y(t) = h(t) * x(t) + n(t) \quad \text{Channel Occupied}$$

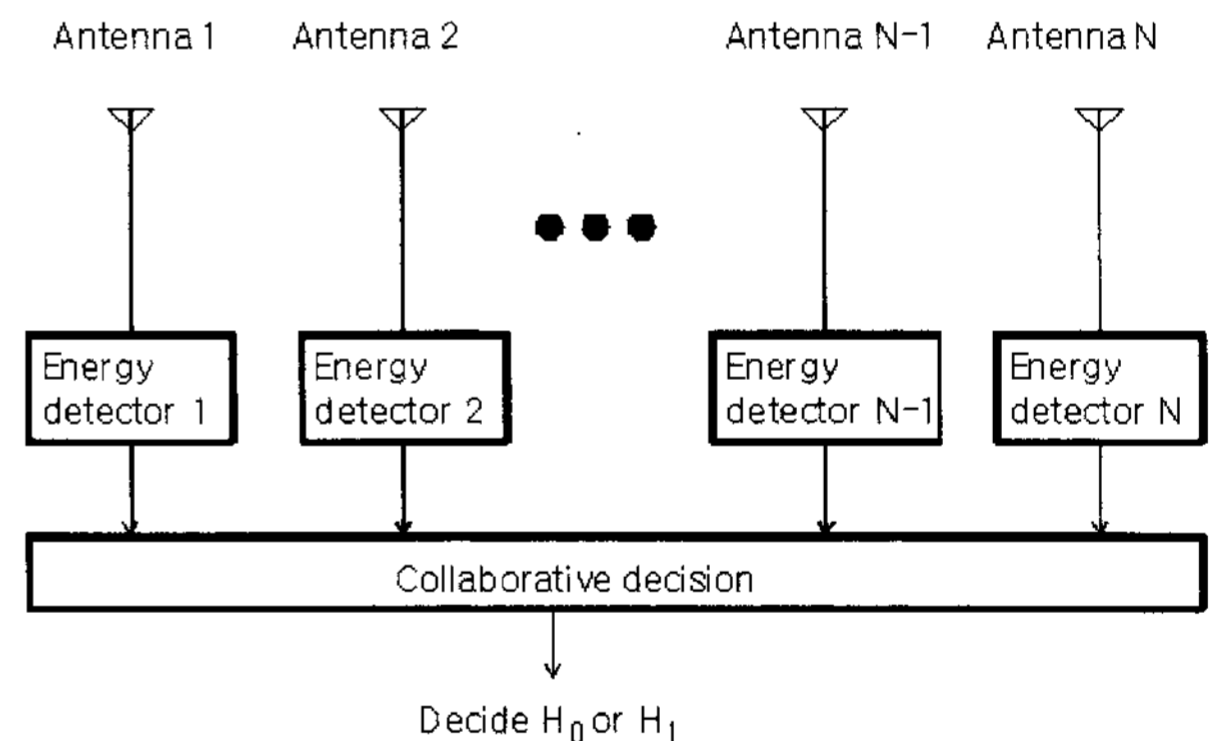


그림 2. 제안 하는 스펙트럼 검출의 블록도  
Fig. 2. The block diagram of proposed spectrum sensing.

표 1. 공동 판정기의 규칙 예  
Table 1. Example of Collaborative Decision Rule.

1 <sup>st</sup> 에너지 검출기	2 <sup>nd</sup> 에너지 검출기	3 <sup>rd</sup> 에너지 검출기	최종 공동 판정기
H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>
		H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>
	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>
H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>
		H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>

여기서  $y(t)$  는 2차 사용자가 수신한 신호 이고,  $x(t)$  는 1차 사용자가 전송한 신호이다.  $n(t)$ 는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)를 나타내고,  $h(t)$ 는 채널의 크기 이득을 나타낸다.

스펙트럼 검출기는 두 가지 종류의 오류를 가진다. 첫 번째, 실제로 채널이 비었다고( $H_0$ ) 가정할 때 검출기는 비어 있지 않다고 판단할 경우이다. 확률적으로 이러한 경우를 오보 확률 (=  $P_{FA}$ )이라 한다.

$$P_{FA} = P(y > \lambda | H_0) \tag{1}$$

두 번째, 실제로 채널이 사용 중이라고 가정할 때 ( $H_1$ ) 검출기는 이 채널이 비어있다고 판단 할 경우이다. 이러한 경우가 일어날 확률을 미 검출확률 (=  $P_{MD}$ ) 이라 한다.

$$P_{MD} = P(y > \lambda | H_1) \tag{2}$$

정상적인 검출이 될 확률은  $1 - P_{MD} = P_D$  이고 수식 (3)과 같다.

$$P_D = P(y > \lambda | H_1) \tag{3}$$

#### IV. 시뮬레이션 결과

다수의 안테나로부터 수신된 신호들 각각 독립된 스즈키 채널<sup>[5]</sup>을 통과한다고 가정하였다. 또한 공간 다이버시티 이득을 얻기 위해 각 안테나의 거리는 반송파 주파수의 반파장 이상 충분히 떨어져 있다고 가정하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터들은 표 2에 정리하였다.

미 검출 확률을 낮추려면 임계값을 낮추어야만 한다. 그러나 임계치가 너무 낮게 되면 1차 사용자의 신호가 실제로 존재 하지 않은 상황에서도 존재 한다고 검출될 확률, 즉 오보 확률 또한 높아진다. 이러한 임계값에 따른 오보 확률과 미 검출 확률은 서로 Trade-off 관계가

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. The simulation parameters.

Parameter	Value
Carrier frequency	900MHz
Mobile Speed	3, 60, 110km/h
K (reference number)	2
N (Num. of Receiver Antenna)	3
Sensing Duration	0.33ms

있으므로 정확한 검출기의 성능을 평가하기 어렵다. 따라서 임계치가 10% 오보 확률을 갖도록 선택한 뒤 미 검출 확률 값을 계산하였다. 그리고 SNR (Signal to Noise Ratio)과 2차 사용자의 이동 속도에 따른 성능의 변화를 보기 위해 잡음의 크기는 고정하고 수신 신호의 전력 값을 변화 시킨다<sup>[7]</sup>.

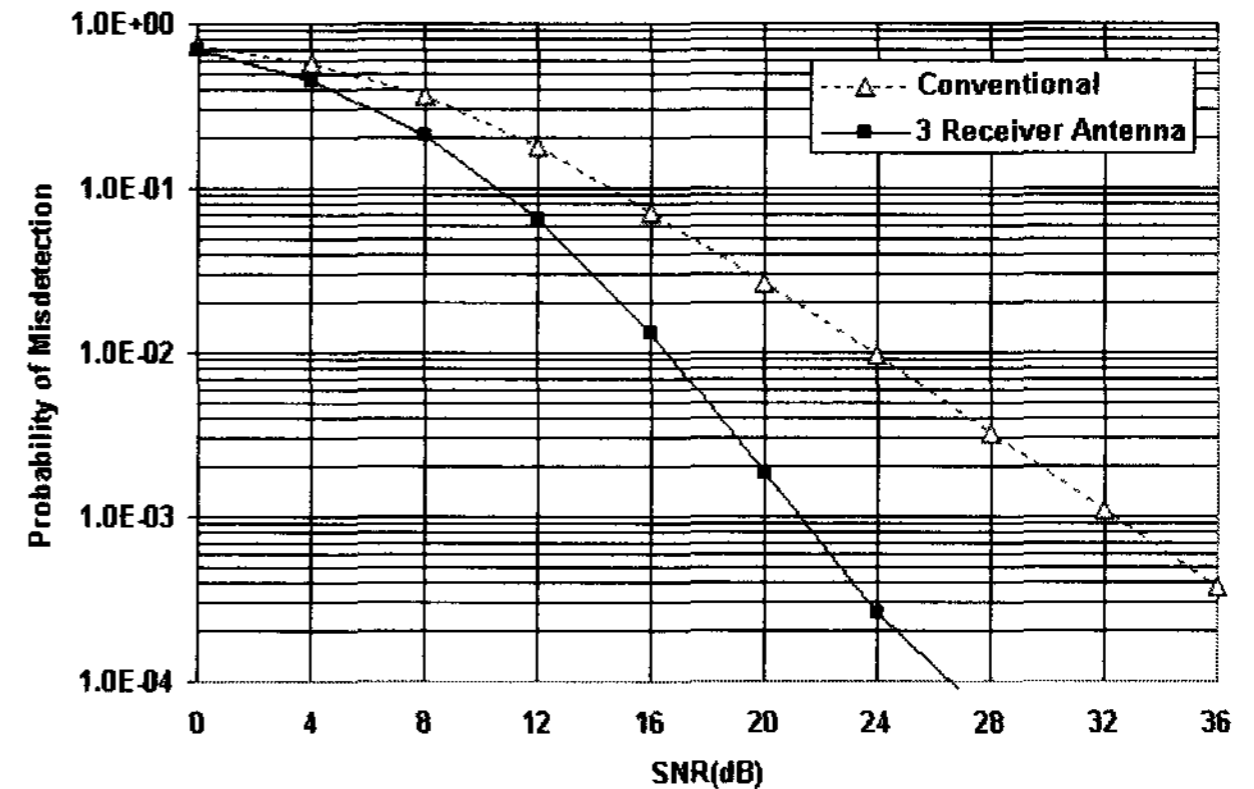


그림 3. SNR에 따른 미 검출 확률 (이동 속도=110km/h)  
Fig. 3. SNR vs. Probability of Misdetection (Mobile speed=110km/h).

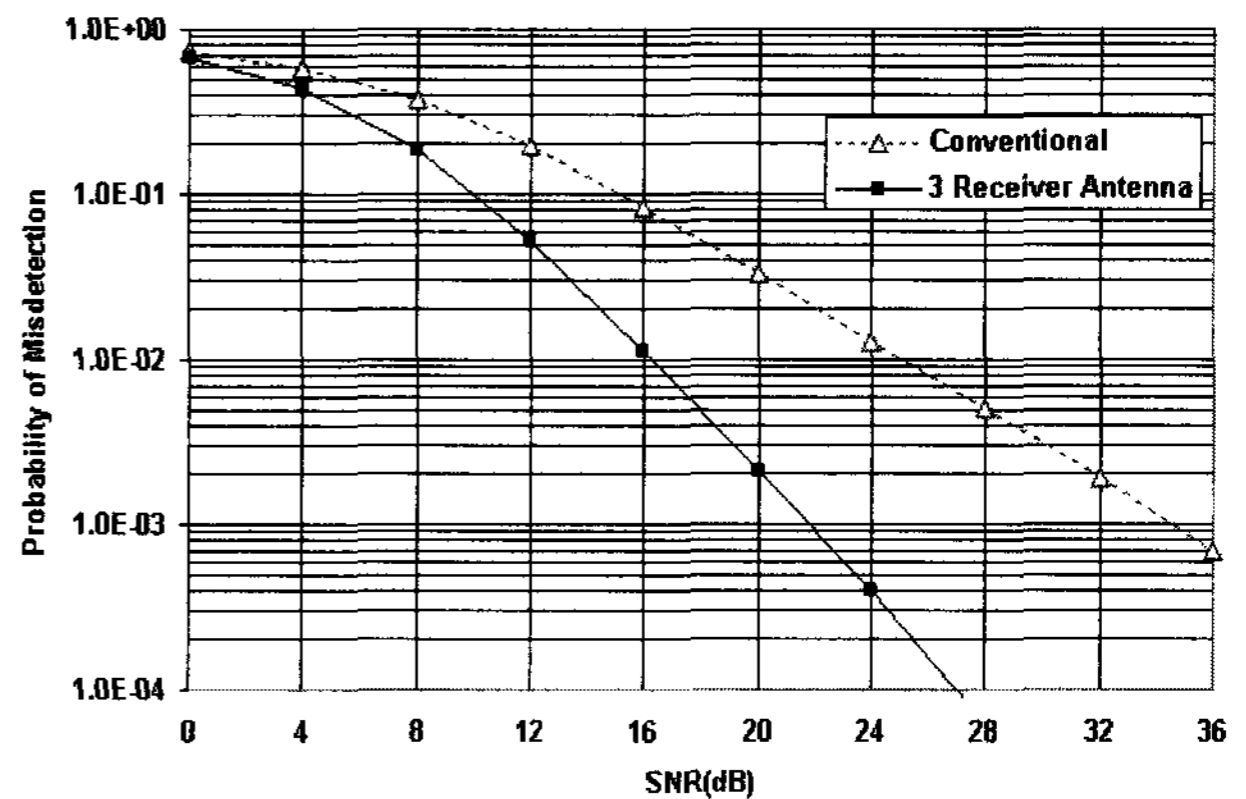


그림 4. SNR에 따른 미 검출 확률 (이동 속도=60km/h)  
Fig. 4. SNR vs. Probability of Misdetection (Mobile speed=60km/h).

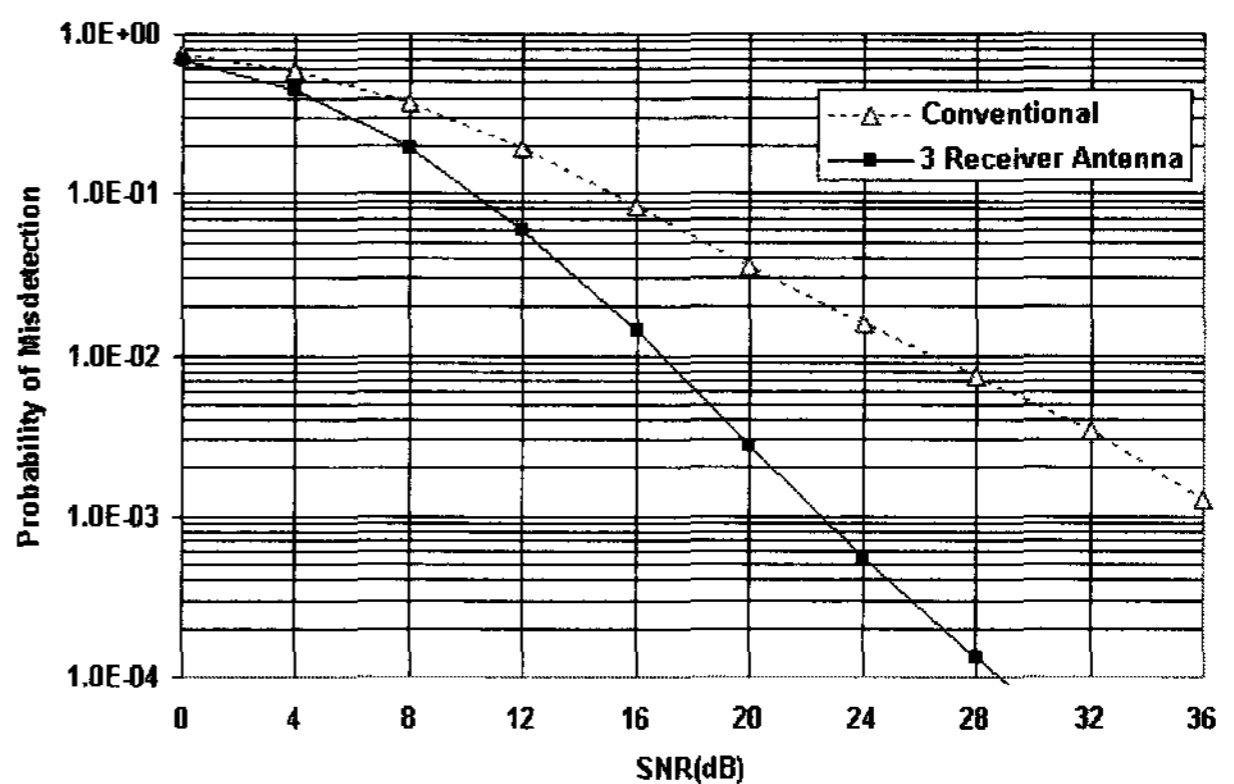


그림 5. SNR에 따른 미 검출 확률 (이동 속도=3km/h)  
Fig. 5. SNR vs. Probability of Misdetection (Mobile speed=3km/h).

그림 3, 4와 5를 보면 제안하는 스펙트럼 구조는 전 SNR 대역에서 기존의 방법 보다 우수한 성능을 보인다.

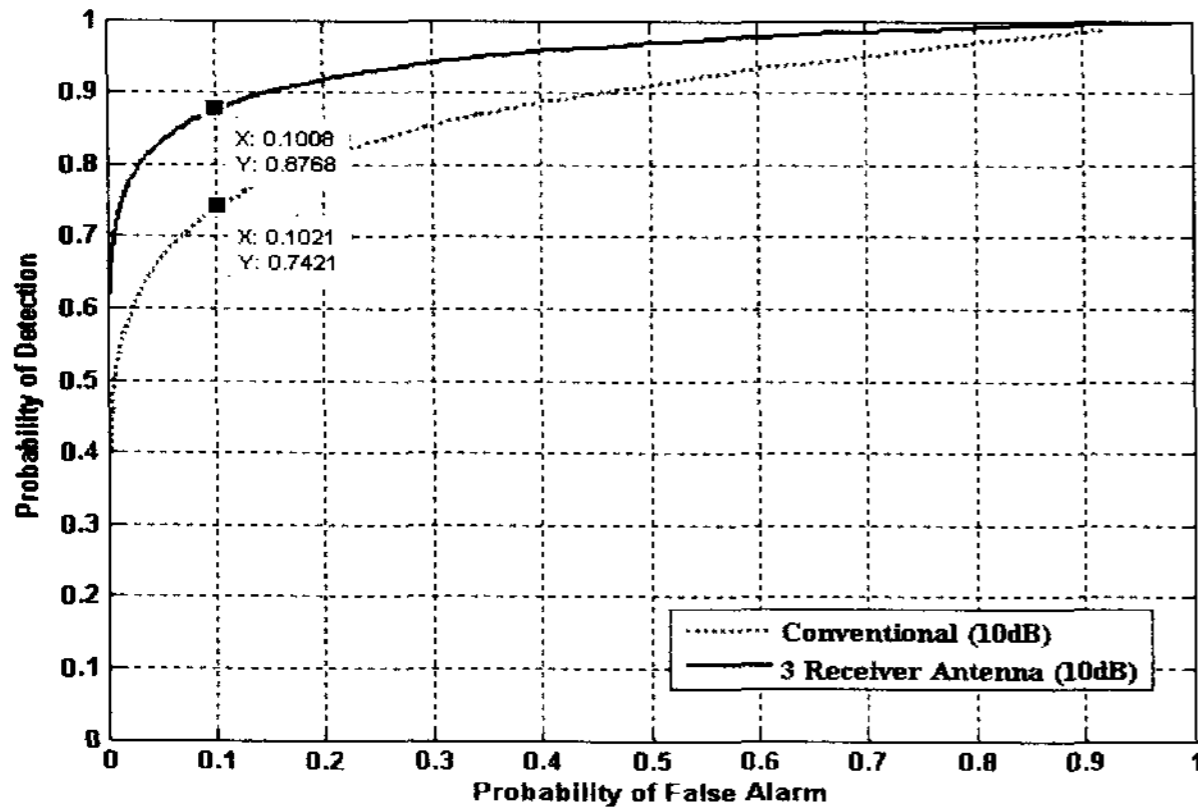


그림 6. 스즈키 채널 하에서 ROC 곡선 (이동 속도 =110km/h)

Fig. 6. ROC curve of Proposed Sensing Under Suzuki channel(Mobile speed=110km/h).

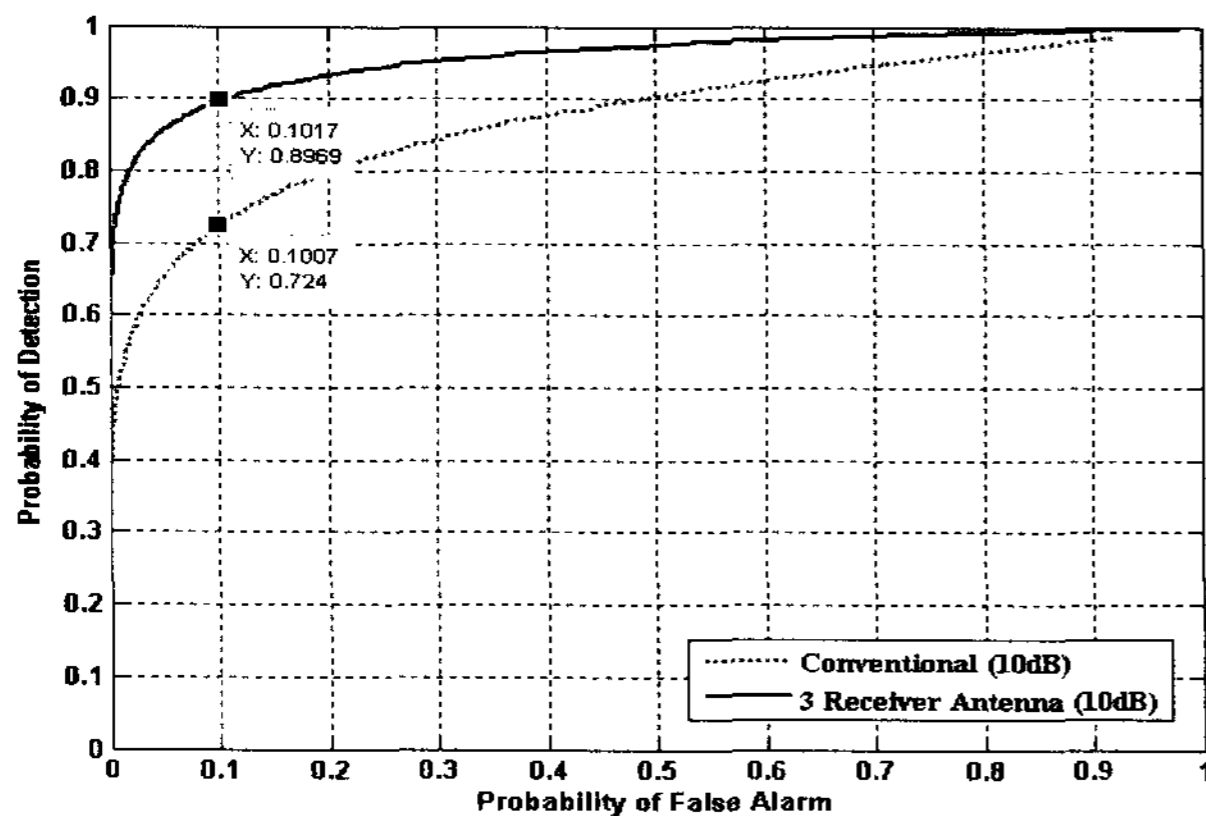


그림 7. 스즈키 채널 하에서 ROC 곡선 (이동 속도= 60km/h)

Fig. 7. ROC curve of Proposed Sensing Under Suzuki channel (Mobile speed=60km/h).

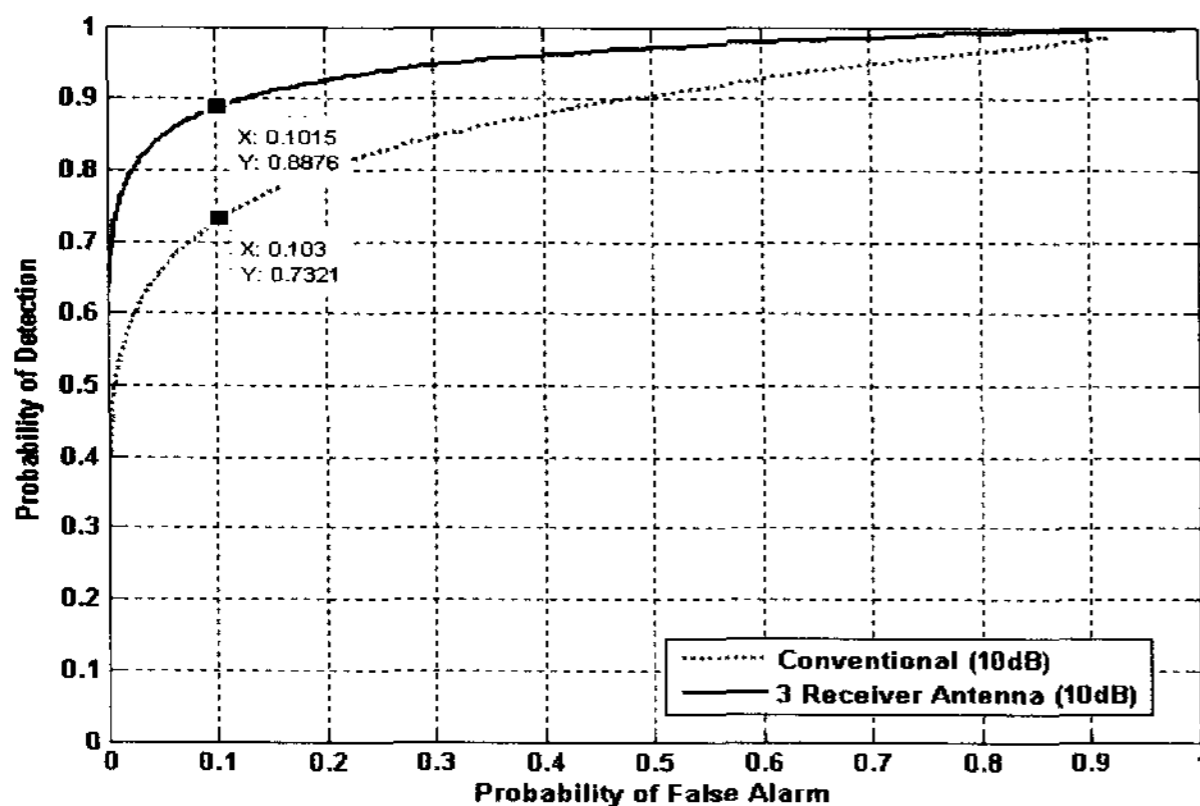


그림 8. 스즈키 채널 하에서 ROC 곡선 (이동 속도 3km/h)

Fig. 8. ROC curve of Proposed Sensing Under Suzuki channel (Mobile speed=3km/h).

다. 세 가지 이동 속도의 경우 모두 제안하는 스펙트럼 구조는 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 이동 속도와 관계없이 안정된 성능을 보이는 경향이 있음을 알 수 있다. 비록 다수개의 안테나로 인한 복잡도가 증가하더라도 낮은 이동 속도에서도 신뢰성 있는 스펙트럼 검출이 필요할 때 제안하는 스펙트럼 검출 구조는 매우 유용한 방법일 것이다.

다른 관점에서 제안하는 스펙트럼 구조의 성능 분석을 위하여 ROC 곡선 ( $P_{FA}$  vs.  $P_D$ )으로 나타내었다. 그림 6, 7과 8에서 스즈키 채널 환경 하에서 ROC curve로 나타내었다. SNR을 10dB로 두었기 때문에  $P_{FA}$ 가 0.1인 경우 세 가지 이동 속도에 따라서 성능의 큰 차이를 보이지 않으나 모두 제안한 방식이 기존의 방식 대비 대략 15% 이상 성능 향상을 보였다. 그림 6, 7과 8에서는 제안 방식과 기존 방식간의 성능 차이를 재차 확인 하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 CR 시스템 환경에서 가장 중요한 기술인 스펙트럼 검출 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 이 스펙트럼 검출 구조는 다수의 에너지 검출기와 다수의 안테나 그리고 공동 판정기 장치가 결합된 구조이다. 스즈키 채널 환경 하에서 시뮬레이션 결과 제안하는 검출 구조의 성능이 기존 에너지 검출기의 성능에 비해 세 가지 이동 속도 경우 모두 미 검출 확률 측면에서 높은 신뢰성을 갖는다는 것을 보였다. 이러한 결과는 제안하는 구조가 이동 속도와 관계없이 안정된 성능이 나타남을 보여준다. 다중 안테나로 인한 복잡도가 증가하나 낮은 이동 속도에서도 신뢰성 높은 검출 방법이 요구되는 환경에서 제안하는 검출 방법은 매력적인 방법이라 생각된다. 제안하는 검출 구조를 바탕으로 적응형 협력 스펙트럼 검출에 적용하고 또한 최적의 안테나 수에 관한 파라미터를 계속 연구 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] FCC, "Notice of proposed rule making and order", ET, Docket No 03-222, December 2003.
- [2] Mitola, J., III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", in Proc. IEEE Int. Workshop on Mobile Multimedia Communication 1999.
- [3] Blostein, S.D.; Leib, H. "Multiple antenna

- systems: their role and impact in future wireless access”, IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 7, Page(s):94-101, July 2003.
- [4] V. I. Kostylev, “Energy Detection of a Signal with Random Amplitude”, IEEE International Conference on Communication, vol. 3, pp. 1606 - 1610, April 2002.
- [5] Matthias, Ulrich, “A Deterministic Digital Simulation Model for Suzuki Process with Application to a Shadowed Rayleigh Land Mobile Radio Channel”, IEEE Transaction on vehicular technology. Vol. 45, No.2, MAY 1996.
- [6] Steve Shellhammer, Victor Tawil, Gerald Chouinard, Max Muterspaugh and Monish Ghosh, “Spectrum Sensing Simulation Model”, IEEE 802.22-06/0028r5, March 2006.
- [7] Functional Requirements for IEEE 802.22 WRAN Standard, “802.22/05-0007r46”, September 2005.

---

 저 자 소 개
 

---



백 준 호(학생회원)  
 2008년 동국대학교 전자공학과  
 학사.  
 2008년~현재 동국대학교  
 전자공학과 석사 재학.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신  
 시스템>



오 형 주(학생회원)  
 2007년 2월 동국대학교  
 전자공학과 학사.  
 2007년~현재 동국대학교  
 전자공학과 석사 재학.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신  
 시스템>



이 증 환(학생회원)  
 2007년 2월 동국대학교  
 전자공학과 학사.  
 2007년~현재 동국대학교  
 전자공학과 석사 재학.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신  
 시스템>



황 승 훈(정회원)  
 1999년 연세대학교 공학박사.  
 1999년 LG전자 이동통신기술  
 연구소 책임연구원.  
 2003년 University of Southampton,  
 United Kingdom, Research  
 Fellow.  
 2005년~현재 동국대학교 전자공학과 조교수.  
 2008년 현재 IEEE Senior Member,  
 IET Member, IEICE Member.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신 시스템>