

논문 2009-46TC-1-11

# 인지 무선 시스템에서 확인 과정을 가지는 에너지 검출기의 스펙트럼 센싱 성능에 센싱 시간이 미치는 영향

(Effect of Sensing Time on the Spectrum Sensing Performance of Energy Detector with Verification in Cognitive Radio System)

백 준 호\*, 황 승 훈\*\*

(Jun-Ho Baek and Seung-Hoon Hwang)

## 요 약

본 논문은 에너지 검출기에 시간 지연 장치를 채택하여 복수번의 확인 과정을 갖는 향상된 스펙트럼 검출기에서 센싱 시간에 따른 성능의 영향을 알아본다. SNR은 1dB, 그리고 오보 확률은 0.1로 고정하고 3, 60, 100km/h의 다양한 이동 속도를 고려한 스즈키 채널 하에서 시뮬레이션을 통해 센싱 성능을 고찰하고 이를 기존의 에너지 검출기의 경우와 비교한다.

## Abstract

In this paper, we investigated effect of sensing time on the performance of enhanced spectrum sensing method, which is the energy detector with multiples of verification using time delay, under Suzuki channel. We assumed that SNR is 1dB,  $P_{FA}=0.1$  and various mobile speed such as 3, 60, 110 km/h. The performance is investigated by simulation and compared to that of conventional energy detector.

**Keywords :** Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Energy Detector, Sensing Time, Time Delay, Verification.

## I. 서 론

미연방통신위원회인 FCC (Federal Communications Commission)는 주파수 사용 효율을 높이고 새로운 응용 서비스 도입을 용이하게 하기 위하여 인지 무선 (Cognitive Radio : 이하 CR) 개념에 관한 규정 관련법을 제정하였다<sup>[1]</sup>. 이는 사업자에게 특정 주파수를 할당해 독점적 이용권을 부여하는 과거의 주파수 자원 관리 정책과 달리 이용권 제약 없이 누구나 이용할 수 있도록 한다는 것이다. 즉, 정책 당국의 인위적인 분배와 독점적 이용권 부여가 주파수 이용 효율을 저해시킴에 반해, 주파수를 이용하고자 하는 자들끼리 서로 주파수를

공유하게 되면 주파수 부족현상이 해소되고 보다 효율적으로 주파수 자원을 이용할 수 있게 된다는 것이다. 이를 바탕으로 미국에서 새로운 주파수 정책 도입 시도가 있었는데, DTV 전환대역인 700MHz 대역의 D블록에 적용된 정책에서 D블록을 공공안전용과 상업용으로 동시에 이용하도록 하는 의무를 부여했다는 것이다. 비록 유찰되었지만 미국의 D블록 주파수 정책은 초보적인 CR 개념에 기반을 두어 새로운 주파수 정책 도입을 시도한 점에서 의의를 갖는다.

CR 기술은 주변 무선 환경을 인지하고 학습하여, 스스로 무선 환경에 최적화된 파라미터를 결정해 타 기기에 간섭을 주지 않고 무선 통신하는 것을 기본으로 한다<sup>[2]</sup>. 이 기술을 활용하기 위해 특정 대역의 스펙트럼을 센싱하는 정합 필터, 신호 형태 검출, 에너지 검출 방식 등 이들 기술을 바탕으로 다양하고 폭넓은 연구가

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

접수일자: 2008년9월5일, 수정완료일: 2009년1월19일

시도 되고 있다<sup>[3~5]</sup>. 페이딩이나 웨도잉을 갖는 무선 채널에서 급격한 성능 열화가 일어나는 기존 에너지 검출기의 단점을 극복하고 단일 CR 사용자 자체적으로 스펙트럼 센싱 방식의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안이 제안되었다<sup>[6]</sup>. 이 방법은 시간 지연 장치를 통해 재차 확인 하는 효과를 통해 스펙트럼 센싱의 신뢰성을 높일 수 있다. 하지만 확인 효과가 클수록 센싱 시간이 더 많이 필요하게 되고 결국 데이터를 전송할 시간이 줄게 되므로 적절한 센싱 시간을 구하는 일이 필요하다.

본 논문은 다양한 이동 무선 환경 하에서 확인 과정을 갖는 에너지 검출 방법의 센싱 시간에 따른 영향을 시뮬레이션을 통하여 결과 분석하고, 기존의 에너지 검출기의 경우와 비교 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 에너지 검출 방식과 확인 과정을 가지는 에너지 검출 방식을 설명하고, III장에서는 확인 과정을 갖는 에너지 검출 방식의 센싱 시간에 따른 센싱 성능의 차이를 알아보고, 또 기존의 에너지 검출기의 경우와 비교한다. 끝으로 IV장 결론으로 구성 되어있다.

II. 스펙트럼 센싱 기술

1. 기존의 에너지 검출기

에너지 검출 방식은 다른 센싱 방식에 비하여 단순하다. 그림 1에서 보는 바와 같이 해당 신호의 중심 주파수를 선택하고 대역폭을 결정하기 위해 대역 통과 필터에 통과 시킨 후, 제곱을 하여 적분하는 방법으로 특정 대역의 주파수의 에너지를 측정신호의 주파수의 에너지를 측정 신호의 존재 유무를 감지하는 방식이다.

에너지 검출기의 성능 테스트를 위한 가정은 아래와 같다.

$H_0 : y(t) = n(t)$  Channel Vacant

$H_1 : y(t) = x(t) \cdot h(t) + n(t)$  Channel Occupied

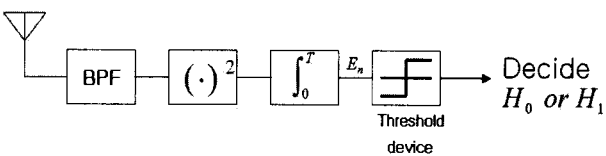


그림 1. 에너지 검출기 블록 다이어그램  
Fig. 1. The block diagram of conventional energy detector.

여기서  $y(t)$ 는 CR 사용자가 수신한 신호 이고,  $x(t)$ 는 주 사용자가 전송한 신호이다.  $n(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 나타내고,  $h(t)$ 는 채널의 크기 이득을 나타낸다. 일반적인 에너지 검출기에서 AWGN 만 고려한 채널의 이론적인 검출 확률 및 오보 확률은 다음과 같이 정의 되어있다<sup>[7]</sup>.

$P_D = P\{y > \lambda | H_1\} = Q_M(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{2})$  (1)

$P_{FA} = P\{y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(m, \lambda/2)}{\Gamma(m)}$  (2)

여기서  $\lambda$ 는 임계값 이고,  $\gamma$ 는 SNR이며,  $m$ 은 시간-대역폭의 곱이다.  $Q_m(\cdot, \cdot)$ 은 Generalized Marcum Q-function이다<sup>[8]</sup>.  $\Gamma(\cdot, \cdot), \Gamma(\cdot)$ 는 각각 Complete gamma 그리고 Incomplete gamma 함수이다<sup>[9]</sup>.

2. 확인 과정을 가지는 에너지 검출기

이 단락에서는 기 제안된 복수의 시간지연 장치를 이용한 다단 확인 과정 갖는 스펙트럼 검출기를 간략히 설명한다<sup>[6]</sup>.

그림 2는 신뢰성이 향상된 스펙트럼 검출기 구조로서 안테나, 복수의 시간지연 장치, 에너지 검출기, 공동 판정기를 갖는다. 단일 안테나로 부터 신호를 수신하여 각 시간 지연장치는 입력신호를 일정시간 T시간만큼 지연시킨다. 제 1 시간 지연장치를 거친 경우 T시간만큼 지연되고, 제 2 시간 지연장치를 거친 경우, 2T시간만큼 지연되며, 제 n-1 시간 지연장치를 거친 경우, (n-1)×T시간만큼 지연된다. 즉 매 시간 지연장치를 지날 때마다 누적적으로 시간이 지연된다. 각 에너지 디텍터에서 미리 정의된 임계값 (=  $\lambda$ )보다 큰 값은 1 (=

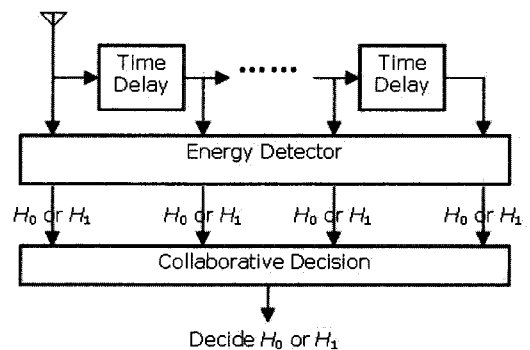


그림 2. 확인 과정을 갖는 에너지 검출기의 블록 다이어그램  
Fig. 2. The block diagram of energy detector with multiples of verification using time delay.

$H_1$ )로  $\lambda$  보다 작은 값을 0 (=  $H_0$ )으로 각각 판단한 후 공동 판정기에서 다수의 법칙에 따라  $H_1$  또는  $H_0$ 로 최종 판단한다. 즉, 수신된 하나의 샘플을 다수의 시간 지연을 거친 값을 공동 판정기에서 결정하게 된다.

### III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 레일레이 페이딩과 로그 노말 쉐도잉의 곱으로 표현 할 수 있는 스즈키 채널을 고려하였다<sup>[10]</sup>. 구현 복잡도를 고려하여 시간 지연장치를 두개로 가정하였다. 따라서 두 번의 시간 지연을 통한 추가적인 확인 과정 뒤에 총 세 개의 결정 값들이 얻어지며 원칙에 따라 최종 판정을 공동 판정기에서 하도록 한다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터들은 표 1에 정리하였다.

그림 3, 4, 5는 이동속도가 각각 3, 60, 110km/h를 갖는 스즈키 채널 하에서 기존 에너지 검출 방법과 확인 과정을 가지는 검출 방법의 센싱 시간을 변화시켰을 때의 성능을 그린 ROC (Receiver Operating Characteristics,  $P_{FA}$  vs.  $P_D$ ) 그래프이다. CR사용자 관점에서 본 주 사용자의 SNR를 1dB로 고정하고 앞서 언급한 이동 속도와 센싱 시간을 변화 시키면서 시뮬레이션 하였다. 각 그림들에서 오보 확률이 0.1 기준에서 기존 에너지 검출 방법과 확인 과정을 가지는 검출 방법 모두 센싱 시간이 길어짐에 따라 검출 성능이 향상된다. 일반적으로 센싱 시간이 길면 스펙트럼 센싱의 급격한 성능 열화를 발생시키는 페이딩이나 쉐도잉 채널 환경 상황에서도 평균적으로 수신 에너지 값이 커지므로 스펙트럼 센싱의 신뢰성이 높아진다.

이미 언급하였듯이 본 논문에서는 최대 두 번의 시간 지연을 통한 추가적인 확인 과정 뒤에 총 최대 세 번의 결정 값들이 얻어지고 다수의 법칙에 따라 최종 판단되므로 기존 검출기에 비해 2 또는 3배 긴 검출 시간을 갖게 된다. 여기서 검출 시간은 빈 스펙트럼의 존재 유

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. The simulation parameters.

파라미터	값
중심 주파수	900MHz
이동 속도	3, 60 110km/h
시간 지연 장치 수	2
판정 법칙 - 다수의 법칙	2 out of 3
SNR(Signal to Noise Ratio)	1dB
센싱 시간 (ST)	0.99, 3.3, 6.6, 9.9ms

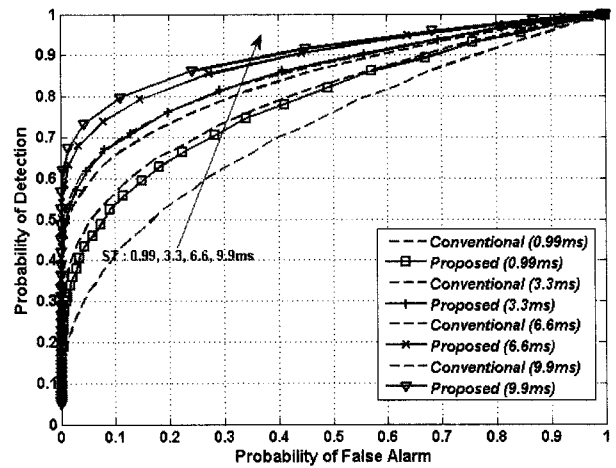


그림 3. 스즈키 채널 하에서 센싱 시간에 따른 제안하는 방식과 기존 방식의 성능 비교 (이동속도: 3km/h)

Fig. 3. Performance comparison of proposed and conventional method for different sensing time in Suzuki channel (mobile speed: 3km/h).

무를 판단하는데 걸리는 최종 판정까지의 시간으로 센싱시간과 구분된다. 예를 들어 기존에 검출기 센싱 시간이 3.3ms이면 검출 시간도 역시 3.3ms로 같다. 그러나 확인 과정을 가지는 에너지 검출기는 센싱 시간이 3.3ms이면 검출 시간은 최소 6.6ms 이거나 최대 9.9ms 이므로 평균적으로 검출 시간은 6.6ms에서 9.9ms 사이의 값을 가진다. 따라서 센싱 시간이 9.9ms인 기존 에너지 검출기와 센싱 시간이 3.3ms인 확인 과정을 갖는 에너지 검출기의 성능을 비교해보는 것은 매우 흥미로운 일이 될 것이다. 그림 3에서 이동 속도가 비교적 낮은 3km/h인 경우 9.9ms와 3.3ms의 서로 다른 센싱 시간을 가지는 두 에너지 검출 방법들의 성능을 비교하여 보면 거의 동일한 성능을 보인다. 이는 각 에너지 검출기가 다른 센싱 시간을 가진다는 점을 감안하면, 확인 과정을 가지는 제안된 에너지 검출기가 보다 짧은 검출 시간을 요구한다는 점을 알 수 있다. 따라서 저속 환경에서 동일한 성능이 요구되는 경우 확인과정을 가지는 제안된 에너지 검출기가 오히려 기존의 에너지 검출기 보다 우수하다고 할 수 있다. 실제 CR 기술의 최초 상용화를 목표로 하는 IEEE 802.22 표준은 이동성이 없는 고정된 장치에서 스펙트럼 센싱을 한다는 점을 고려하면, 저속 환경에서 확인 과정을 갖는 에너지 검출기의 이득은 매우 의미 있다고 할 수 있다.

반면에 이동 속도가 비교적 높은 60, 110km/h인 경우에는 그림 4, 5에서 보는 바와 같이 기존의 에너지 검출

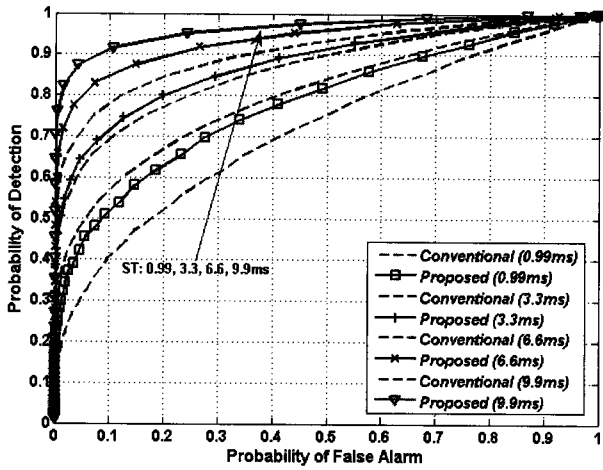


그림 4. 스즈키 채널 하에서 센싱 시간에 따른 제안하는 방식과 기존 방식의 성능 비교 (이동속도: 60km/h)

Fig. 4. Performance comparison of proposed and conventional method for different sensing time in Suzuki channel (mobile speed: 60km/h).

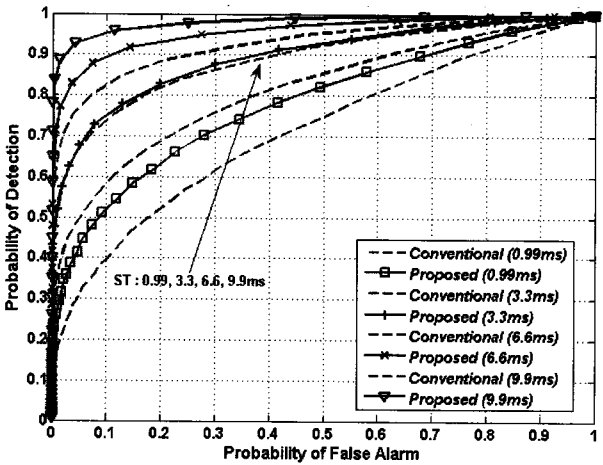


그림 5. 스즈키 채널 하에서 센싱 시간에 따른 제안하는 방식과 기존 방식의 성능 비교 (이동속도: 110km/h)

Fig. 5. Performance comparison of proposed and conventional method for different sensing time in Suzuki channel (mobile speed: 110km/h).

방식이 6% 정도 우수한 결과를 보이는데, 이러한 결과는 이동 속도가 빨라짐에 따라 채널의 변화도 빨라지므로 확인과정에서 얻어지는 이득보다는 검출 시간이 센싱 성능을 좌우하게 되기 때문에 절대적인 검출 시간이 긴 기존의 에너지 검출기의 성능이 좋게 나오는 것으로 판단된다.

그림 6은 SNR이 3dB이고 오보 확률이 0.1 기준에서 기존의 에너지 검출기와 확인과정을 갖는 에너지 검출기에 대해 이동 속도와 센싱 시간에 따른 검출 성능의

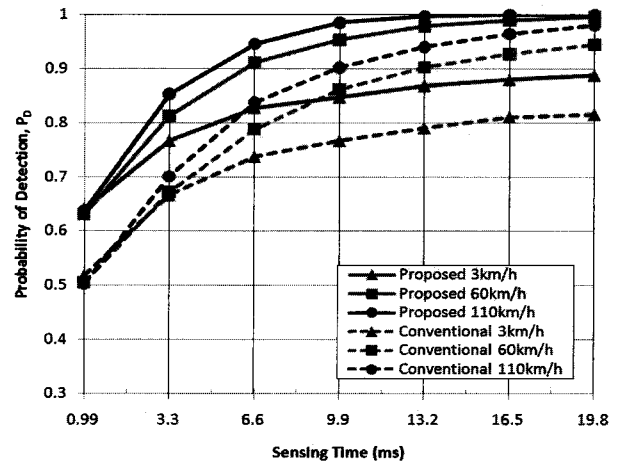


그림 6. 이동 속도와 센싱 시간에 따른 제안하는 방식과 기존 방식의 성능 비교 (PFA: 0.1, SNR: 3dB)

Fig. 6. Performance comparison for proposed and conventional method for different mobile speed and sensing time (PFA: 0.1, SNR: 3dB).

경향을 보기 쉽게 하기 위해 정리한 그래프이다. 이동 속도에 따른 영향을 살펴보면, 센싱 시간이 증가함에 따라 기존의 에너지 검출 방법과 확인 과정을 가지는 에너지 검출기 두 경우 모두 검출 확률 성능의 개선 정도는 감소하지만 지속적으로 개선된다. 이는 그림 3, 4, 5에서의 결과와 동일한 경향을 보여주고 있다. 그런데, 주목할 점은 비교적 고속의 환경인 60km/h와 110km/h 간에는 각 에너지 검출기에 있어서 그 성능의 차이가 크지 않으며, 센싱 시간이 매우 큰 경우에는 두 에너지 검출기 성능의 차이도 크지 않게 된다. 이는 그림 4와 5에서 언급한 바와 같이 이동 속도가 빨라짐에 따라 채널의 변화도 빨라지므로 확인과정에서 얻어지는 이득보다는 검출 시간이 센싱 성능을 좌우하게 되기 때문에 절대적인 검출 시간이 에너지 검출기의 성능을 좌우하기 때문이다. 이와는 달리 저속 환경에서는 센싱 시간이 증가함에도 불구하고 두 가지 에너지 검출기의 성능 차가 유지되어 제안된 확인과정을 가지는 에너지 검출기의 성능이 우수하게 된다. 이와 같은 결과로 저속에서는 센싱 시간의 증가보다는 확인과정에 의한 이득이 크다는 그림 3에서 언급된 결과를 다시 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 CR시스템에서 가장 중요하게 고려되는 스펙트럼 센싱 기술 중 하나로 제안된 확인 과정을

가지는 에너지 검출기의 센싱 성능에 센싱 시간이 미치는 영향을 분석하고 이를 기존의 에너지 검출기와 비교하였다. 다양한 이동 속도를 갖는 스즈키 채널 환경 하에서 시뮬레이션을 수행한 결과를 볼 때, 낮은 이동 속도에서는 에너지 검출기에서 확인 과정이 가지는 이득이 크며 비교적 높은 이동 속도에서는 전체적인 검출 시간을 크게 확보하는 것이 에너지 검출기의 성능 개선을 가지고 온다는 점을 확인하였다. 향후에는 환경에 따라 적응적으로 스펙트럼 센싱 성능을 개선할 수 있는 하이브리드 형태의 에너지 검출기에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

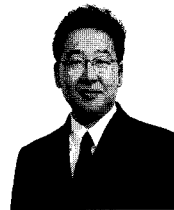
[1] FCC, "Notice of proposed rule making and order", ET, December 2003, Docket No 03-222.  
 Mitola, J., III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", in Proc. IEEE Int. Workshop on Mobile Multimedia Communication., 1999.  
 [2] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: Making software radios more personal," IEEE Pers. Commun., vol. 6, pp. 13-18, Aug. 1999.  
 [3] V. I. Kostylev, "Energy Detection of a Signal with Random Amplitude", IEEE International Conference on Communication, vol. 3, pp. 1606 - 1610, April 2002.  
 [4] Carlos Cordeiro, Monisha Ghosh, Dave Cavalcanti, and Kiran Challapali, "Spectrum Sensing for Dynamic Spectrum Access of TV Bands", Proc. of CrownCom, pp. 225 - 233, Aug. 2007.  
 [5] Amir Ghasemi and Elvino S. Sousa, E.S, "Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments", 2005 First IEEE International Symposium on 8-11, pp. 131-136, Nov. 2005.  
 [6] 백준호, 이종환, 오형주, 황승훈, "인지 무선 환경에서 스펙트럼 센싱을 위한 에너지 센싱기의 성능 개선 : 시간지연을 이용한 확인 과정", 전자공학회 TC편 45권 1호, pp. 72-77, 2008.  
 [7] F. F. Digham, M.-S. Alouini and M. K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," in Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC'03), pp. 3575 - 3579, May 2003.  
 [8] A. H. Nuttall, "Some integrals involving the QM function," IEEE Transactions on Information

Theory, vol. 21, no. 1, pp. 95 - 96, Jan. 1975.  
 [9] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, 5th ed. Academic Press, 1994.  
 [10] M. Patzold, U. Killat, "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, pp. 318 - 331, May 1996.

저 자 소 개



백 준 호(학생회원)  
 2008년 동국대학교 전자공학과 학사.  
 2008년~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.  
 IEEE Senior Member, IET Member, IEICE Member.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신 시스템>