

다중 안테나 기반 인지 무선 시스템에서 효율적인 스펙트럼 센싱 기법

*노고산, 이제민, **홍대식
연세대학교 전기전자공학부
e-mail : *gsnoh@yonsei.ac.kr, **daesikh@yonsei.ac.kr
Homepage: http://mirinae.yonsei.ac.kr

An Efficient Spectrum Sensing Scheme for Cognitive Radio Systems with Multiple Antennas

*Gosan Noh, Jemin Lee, **Daesik Hong
School of Electrical and Electronic Engineering
Yonsei University

Abstract

We propose an efficient spectrum sensing scheme for cognitive radio systems with multiple antennas. By utilizing the property of multiple receive antennas, spectrum sensing without idle period is possible. Simulation results show that the detection probability is enhanced with the number of receive antennas, which explains the effect of the spatial diversity.

I. 서론

인지 무선 시스템에서 스펙트럼 센싱은 이차 사용자 (Secondary user)가 일차 사용자 (Primary user)의 무선 자원을 재사용하기 위한 필수적인 기능이다 [1]. 일차 사용자는 스펙트럼 사용의 우선권을 가지고 전송하기 때문에 이차 사용자는 스펙트럼 센싱 후에 해당 대역을 사용할 수 있으며, 데이터 전송을 중지하고 스펙트럼 센싱을 하므로 유휴 주기 (Idle period)의 존재가 불가피하게 된다.

이러한 유휴 주기를 없애기 위한 다양한 노력들이 제안되었다. Oner 는 일차 사용자 신호인 GSM 신호

의 Cyclostationary 특성을 이용하여 별도의 유휴 주기 없이 센싱하는 방법을 고안하였다 [2]. Noh 는 OFDM신호의 순환 구간 (Cyclic prefix)의 특성을 이용하였다 [3]. 본 논문에서는 다중 안테나를 적용한 시스템의 수신기에서 중복되는 신호 특성을 이용하여 유휴 주기가 없는 스펙트럼 센싱 기법을 제안한다. 유휴 주기가 없으므로 이로 인한 이차 사용자의 전송률 감소가 없으며 공간 다이버시티 이용에 따른 검출 확률 (Detection probability) 향상도 이를 수 있다.

II. 스펙트럼 센싱

스펙트럼 중첩 (Spectrum overlay) 모델을 가정한다. 동일한 무선 대역을 사용하는 일차 사용자와 이차 사용자가 존재하며 이차 사용자는 데이터 전송중에 지속적으로 스펙트럼 센싱을 한다. 이차 사용자는 다수의 수신 안테나를 가진다고 가정한다. 즉, 이차 사용자의 송신 안테나는 1개이고 수신 안테나는 L 개다. 안테나 간의 공간적 상관관계는 없다고 가정하고 주파수 비선택적 레일리 페이딩 환경을 고려한다. 또한, 이차 사용자는 TDD (Time-division duplexing) 방식으로 이중화를 한다고 가정한다.

일차 사용자와 이차 사용자가 보낸 신호는 독립적인 서로 다른 경로를 거치며 페이딩의 효과를 겪으며 이차 사용자의 수신기는 이차 사용자의 송신기 사이의 채널 정보를 알고 있다고 가정한다. 이차 사용자 수신기에서 일차 사용자 송신기와 이차 사용자 송신기의 위치가 다르기 때문에 각 수신 신호의 크기는 다르게 관측된다. 스펙트럼 센싱은 기본적으로 신호의 유무를 검출하는 검파 문제이며 본 논문에서는 에너지 검파기

1) 본 과제(결과물)는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실 지원사업의 연구 결과임.

2) 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업 (NRL:ROA-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음.

(Energy detector)를 적용한다 [4]. n 번째 심볼 구간에 l 번째 안테나에서 수신된 신호를 일차 사용자가 존재하지 않을 때와 존재할 때로 나누어서 검파 문제로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_0 : r_l(n) &= h_{s,l}(n)s(n) + w_l(n) \\ H_1 : r_l(n) &= h_{p,l}(n)p(n) + h_{s,l}(n)s(n) + w_l(n), \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $p(n)$ 과 $s(n)$ 은 각각 일차 사용자와 이차 사용자의 송신 신호이며 BPSK 신호를 가정한다. $h_{p,l}(n)$ 과 $h_{s,l}(n)$ 은 각각 일차 사용자와 이차 사용자 신호에 대한 l 번째 경로에서의 채널 이득이다. 한편, $w_l(n)$ 은 l 번째 수신 안테나에서의 노이즈로써 AWGN을 가정한다.

안테나 간 송신 신호의 중복성을 이용하여 수신된 신호로부터 이차 사용자 신호를 제거한다. 센싱을 하기 위한 검정 통계량은

$$T = \sum_{l=0}^{L/2-1} |q_l(n) - q_{l+L/2}(n)|^2 \quad (2)$$

이다. 여기에서 $q_l(n)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$q_l(n) = \frac{h_{s,l}^*}{|h_{s,l}|} r_l(n) \quad (3)$$

페이딩 채널에 의한 효과를 보상하면 원래의 송신 신호만 남게 되고 각 홀수 안테나와 짝수 안테나간 신호를 빼주면 일차 사용자 신호만 남게 되고 이에 대한 에너지를 구해서 더하면 T 가 된다.

이차 사용자 수신기에서 수신하는 신호 벡터에 대하여 구한 검정 통계량을 문턱값 λ 와 비교하여 신호의 존재 여부를 판별한다 [4]. 즉, $T \geq \lambda$ 이면 H_1 으로 판별하고 $T < \lambda$ 이면 H_0 으로 판별한다. 한편, λ 는 주어진 오경보 확률(False alarm probability)로부터 구해진다. 오경보 확률이란 일차 사용자 신호가 존재하지 않음에도 불구하고 존재한다고 판별할 확률을 의미한다. 본 논문에서는 주어진 오경보 확률에 대하여 검출확률을 최대화시키는 방식을 따른다.

III. 실험 결과 및 결론

제안된 스펙트럼 센싱 기법의 성능을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 오경보확률은 0.1로 가정한다. 일차 사용자 신호에 주는 간섭을 최소화하기 위하여 이차 사용자의 전송 파워를 낮게 유지한다. 이차 사용자의 SNR은 $\gamma_s = 5\text{dB}$ 로 설정한다. 일차 사용자의 SNR γ_p 를 변화시키면서 이차 사용자 수신 안테나 개수에 대한 검출 확률을 그래프로 그리면 그림 1 과 같다.

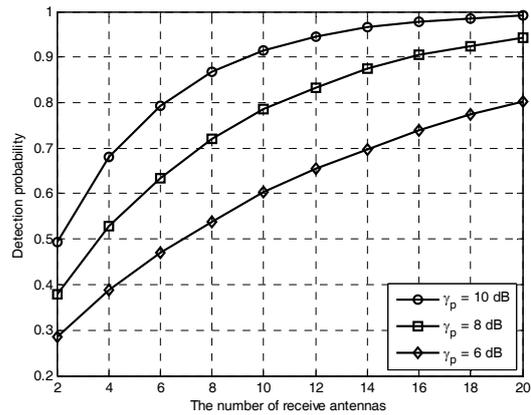


그림 1 수신 안테나 개수에 따른 검출 확률

결과 그래프에 의하면 검출 확률은 수신 안테나 개수가 증가할수록 좋다는 것을 알 수 있다. 안테나 개수가 증가할수록 검정 통계량에 더해지는 신호가 많아지므로 파워 이득이 생긴다. 또한 다중 경로에 따른 다이버시티 효과에 의한 이득을 얻으므로 페이딩에 의한 효과를 극복할 수 있다. 제안된 방식은 기존의 방식과는 달리 안테나 개수가 어느 이상이 되면 유휴기간이 없이도 충분한 센싱 성능을 낸다. 일차 사용자의 SNR이 10 dB일 때 10개의 안테나를 통해 90% 이상의 검출 확률을 보인다. 한편, 검출 확률은 일차 사용자의 SNR과도 밀접한 관련이 있다. 그래프에서 일차 사용자의 SNR이 클수록 검출 확률이 좋아지는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access," *IEEE Signal Processing Mag.* vol. 24, no. 3, pp. 79-89, May 2007.
- [2] M. Oner and F. Jondral, "Cyclostationary-Based Methods for the Extraction of the Channel Allocation Information in a Spectrum Pooling System," in *Proc. Radio and Wireless Conf.*, pp. 279-282, Sep. 2004.
- [3] G. Noh, J. Lee, H. Wang, S. You, and D. Hong, "A New Spectrum Sensing Scheme using Cyclic Prefix for OFDM-Based Cognitive Radio Systems," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, to be appeared in 2008.
- [4] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory*, Prentice-Hall, 1998