

동시 보고 기반 협력 스펙트럼 센싱을 위한 보고 채널 전송 오류 경감

임 창 현*

Reducing Transmission Errors on The Report Channel for Simultaneous Reporting Based Cooperative Spectrum Sensing

Chang Heon Lim*

요 약

이전 연구^[6]에서 협력 스펙트럼 센싱을 위한 효율적인 보고 채널 전송 방식으로 이차 사용자의 센싱 결정을 융합 센터로 동시에 전달하는 방식이 제안된 바가 있다. 본 논문에서는 이 방식의 보고 채널에 대한 전송 오류를 경감하는 방안을 제시하고, 모의 실험을 통해 그 성능을 평가하고자 한다.

Key Words : cognitive radio, spectrum sensing, cooperation, report channel, decision fusion

ABSTRACT

In a previous work^[6], a simultaneous reporting scheme for cooperative spectrum sensing has been presented for a resource efficient transmission over a report channel. In this paper, we present a method of reducing transmission errors on the report channel for it and evaluate its performance by simulation.

I. 서 론

인지 무선(cognitive radio)^[1] 시스템에 있어 가장 중요한 요소는 우선 사용자(primary user)의 활동 유

무를 판단하는 스펙트럼 센싱 기능이다.

무선 환경에서 페이딩 현상은 스펙트럼 센싱 성능 열화에 큰 영향을 미친다. 페이딩으로 인한 스펙트럼 센싱 성능의 열화를 줄이는 방안으로 협력 스펙트럼 센싱(cooperative spectrum sensing)^[11]이 발표된 바 있다. 이는 공간적으로 산재한 이차 사용자의 스펙트럼 센싱 결과를 토대로 우선 사용자의 출현 여부를 판단하는 방식이다. 가장 일반적인 협력 스펙트럼 센싱 구조로는 이차 사용자가 개별적으로 우선 사용자의 출현 여부를 판단한 후, 그 결과를 융합 센터에 전달하고, 융합 센터는 이를 바탕으로 최종 판단을 하는 방식이 있다. 그런데 이 방식에서 협력 스펙트럼 센싱에 참여하는 이차 사용자의 수가 늘어나면 이들이 융합 센터에 전달해야 하는 센싱 정보가 많아지는 문제가 생긴다. 이를 해결하는 방안의 하나로 이차 사용자의 센싱 결정을 선별하여 전달하거나 전달 과정을 다단계로 하는 방법이 제안된 바 있다^[11].

이전 연구^[2]에서 이차 사용자의 센싱 결과를 동시에 융합 센터에 전달하는 방식이 제안된 바 있다. 이 방식은 복수의 이차 사용자가 동일 보고 채널을 통해 센싱 결정을 동시에 전송하는 방식으로 이차 사용자 수가 늘어나더라도 센싱 결정을 전달하는데 소요되는 시간이나 주파수가 늘어나지 않는다. 본 논문에서는 이때 발생할 수 있는 전송 오류를 줄이기 위해서 안테나 다이버시티와 반복 부호 개념을 활용한 보고 채널 수신 방식을 제시하고자 한다.

II. 시스템 모델

협력 스펙트럼 센싱에 참여하는 이차 사용자의 숫자를 M 으로 하고, 이차 사용자는 스펙트럼 센싱을 수행한 후, 센싱 결과를 이진 형태로 융합 센터에 전달하는 것으로 설정한다. 그리고 이전 연구^[2]에서 제안했던 바와 같이 이차 사용자들은 센싱 결과를 동시에 전송하는 것으로 한다. 그리고 이차 사용자가 센싱 결과를 전송하는 보고 채널(report channel)은 레일리 페이딩 채널로 가정한다. 또한 융합 센터와 이차 사용자간의 채널 특성은 채널 추정 과정을 통해 파악하고 융합 센터와 이차 사용자 모두가 공유하는 것으로 가정한다. 또한 융합 센터는 다수의 수신 안테나를 사용하는 것으로 한다.

* 이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음

• First Author : Pukyong National University, Department of Electronic Engineering, chlim@pukyong.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-09-319, Received September 25, 2015; Revised November 13, 2015; Accepted January 15, 2016

III. 제안하는 보고 채널 전송 방식

이전 연구^[2]에서는 이차 사용자가 이진 센싱 결정을 융합 센터로 전달하기 위해서 BPSK 변조 방식을 사용하였다. 본 논문에서는 보고 채널을 통한 로컬 센싱 결정의 전달 오류 성능을 개선하기 위한 방안을 제안하고자 한다. 일반적으로 전송 오류 성능을 개선하기 위해서는 채널 부호화 기술을 적용하는 것을 고려해 볼 수 있다. 하지만 채널 부호화는 수신 과정에서 복호화 시간 지연을 수반하기 때문에 스펙트럼 센싱 문제처럼 시간 지연에 민감한 특성을 갖고 있는 경우에는 바람직한 선택이 되기 어렵다. 이에 본 논문에서는 융합 센터에서 수신 안테나 다이버시티에 반복 부호의 개념을 활용한 방식을 제안하고자 한다.

우선 사용자가 활동하는 경우와 그렇지 않은 경우를 각각 가설 H_0 와 가설 H_1 으로 나타내기로 한다. k 번째 이차 사용자의 센싱 결정을 m_k 로 나타내는데, $m_k = 1$ 은 우선 사용자의 활동을 의미하고 $m_k = 0$ 은 우선 사용자의 활동이 없음을 나타내기로 한다. m_k 는 변조 과정을 거쳐 다음과 같이 BPSK 심볼로 변환된다.

$$s_k = (2m_k - 1)\sqrt{E_b} \quad (1)$$

위 식에서 $\sqrt{E_b}$ 는 비트 당 에너지를 가리킨다.

k 번째 이차 사용자와 융합 센터의 l 번째 수신 안테나 간에 존재하는 주파수 비선택적 페이딩 채널의 이득을 $h_{k,l}$ 라고 하면, 융합 센터의 l 번째 수신 안테나가 수신한 심볼 r_l 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_l = \sum_{k=1}^M h_{k,l}s_k + n_l \quad (2)$$

위 식에서 n_l 은 l 번째 수신 안테나에서 발생하는 수신 잡음을 의미하며 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 AWGN이다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 융합 센터의 수신 구조를 도식한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수신 장치는 먼저 수신 안테나별로 수신 심볼에 최대 유사도 검파(maximum likelihood detection) 방식을 적용하여 이차 사용자가 전송하려는 송신 심볼 s_k 를 추정한다. l 번째 수신 안테나의 수신 신호를 분석하여 추정된 송신 심볼을 $\hat{s}_{1,l}, \hat{s}_{2,l} \dots \hat{s}_{M,l}$ 이라 할 때, 이

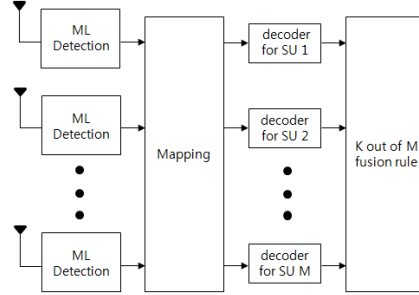


그림 1. 융합 센터의 수신기 구조
Fig. 1. Receiver structure for the fusion center

를 결정하는 과정을 수학적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\underset{\hat{s}_{1,l}, \hat{s}_{2,l}, \dots, \hat{s}_{M,l}}{\operatorname{argmin}} f(r_l | h_{1,l}, h_{2,l}, \dots, h_{M,l}) \quad (3)$$

위 식에서 $f(r|h)$ 는 h 가 주어졌을 때 r 의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

이차 사용자가 사용하는 보고 채널의 채널 이득을 추정하는 단계에서 채널 이득과 이차 사용자 간의 대응 관계가 결정되고, 식(3)의 과정에서 채널 이득 $h_{k,l}$ 과 송신 심볼 추정값 $\hat{s}_{k,l}$ 간에 대응 관계가 생기기 때문에, 이를 종합하면 이차 사용자와 송신 심볼 $\hat{s}_{k,l}$ 간에 대응 관계를 추정할 수 있다. 이후 추정된 송신 심볼을 센싱 정보를 나타내는 비트 정보로 변환하여 이차 사용자별로 분류한 후, 전체 수신 안테나에 대하여 이차 사용자별로 로컬 센싱 결정들을 취합하면, 그 결과는 일종의 반복 부호라고 볼 수 있으며, 이때 반복 부호어의 길이는 수신 안테나의 개수와 일치한다. 그림 1에서 mapping이라고 표시한 블록은 $\hat{s}_{k,l}$ 를 이진 정보로 변환하고, 이를 적절한 복호화기에 전달하는 일을 한다. 이후 이차 사용자별로 반복 부호에 대한 복호화를 진행하고 복호화 결과에 K out of M 규칙^[3]을 적용하여 우선 사용자의 활동 유무를 최종적으로 판단한다.

IV. 성능 평가

제안한 방식이 갖는 스펙트럼 센싱 성능을 평가하기 위한 사례로 3명의 이차 사용자와 3개의 수신 안테나를 가정하였다.

그림 2와 그림 3은 K out of M 융합 규칙의 K 값과 SNR에 따라 오경보 확률과 검파 확률이 어떻게

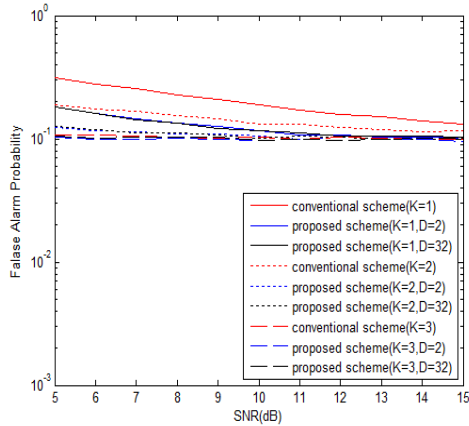


그림 2. 오경보 확률 성능 비교
Fig. 2. Comparison of false alarm probabilities

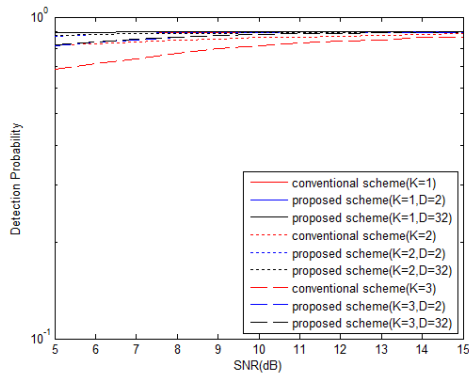


그림 3. 검파 확률 성능 비교
Fig. 3. Comparison of detection probabilities

달라지는 지를 나타낸 것이다. 그림에서 conventional scheme은 이전 연구^[2]에서 제안한 방법을 가리킨다. 두 가지 전송 방식 모두 기본적으로 SNR이 증가함에 따라 오경보 확률과 검파 확률이 당초 목표한 값에 수렴한다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 제안한 방법을 사용하는 방식이 기존의 방식보다 목표 성능 수준에 한층 더 근접한 성능을 보인다는 것을 알 수 있는데, 이는 일종의 부호화 이득이 발생하기 때문이다. 또한 그림에서 D 는 채널 이득을 표현할 때 필요한 유효 숫자를 가리키는데, 그림에서 보는 바와 같이 32인 경우와 2인 경우에 성능 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 전송 방식이 채널 이득의 해상도 변화에도 안정적으로 동작함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이차 사용자의 스펙트럼 센싱 결과를 동시에 융합 센터로 전달하는 전송 방식에 대한 전송 오류 경감 방식을 제안하였다. 모의 실험을 통해 제안한 방식이 기존의 방식보다 전송 오류 측면에서 양호한 성능을 보임을 확인할 수 있었으며, 채널 이득의 해상도 변화에도 안정적으로 동작함을 알 수 있었다.

References

- [1] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, 2009.
- [2] C. H. Lim, "Resource-efficient transmission for report channel in cooperative spectrum sensing," *Electron. Lett.*, vol. 50, no. 16, pp. 1171-1173, 2014.
- [3] S. W. Lee and C. H. Lim, "Performance evaluation of a cooperative spectrum sensing using the k-out-of-n fusion rule in CR networks," *J. KICS*, vol. 34, no. 5, pp. 429-435, 2009.