

논문 2010-47TC-3-1

# Cognitive Radio 환경에서 고유치 값 검출을 통한 실시간 센싱 방법

( A Real Time Sensing Through The Eigenvalue Detection in Cognitive Radio )

손 성 환\*, 장 성 진\*, 김 재 명\*\*

( Sung Hwan Sohn, Sung Jeen Jang, and Jae Moun Kim )

## 요 약

Cognitive Radio는 비어있는 주파수 대역을 적절하게 사용하여 주파수 자원 부족의 문제를 완화하는데 효과적인 방법이다. 우선 사용자 시스템의 간섭 없는 데이터 전송을 보장하기 위해서는 휴지기간(quiet period) 동안의 스펙트럼 센싱이 제안되어 왔다. 그러나 CR시스템에서 우선 사용자(우선 사용자 : Primary User)는 예상치 못한 시간에 나타날 수 있기 때문에 우선 사용자에 대한 간섭을 막기에는 충분하지 못하다. 본 논문에서는 기존 스펙트럼 센싱방법의 한계에 대해 설명하고 실시간으로 우선 사용자를 검출하기 위해 이를 모니터링하는 블록을 갖는 새로운 CR 수신기를 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 2 개의 문턱값으로 우선 사용자를 검출하는 고유치값 기반의 검출방법을 검증한다.

## Abstract

Cognitive Radio, which adaptively utilizes the vacant licensed spectrum band, is considered as an effective way to alleviate the scarcity of spectrum resource shortage. In order to guarantee the non-interference transmission of primary system, spectrum sensing, especially in quiet period, is proposed. However, it is insufficient to avoid the unacceptable interference caused by Cognitive Radios, because the primary user may appear anytime that is unpredictable. In this paper, we address the deficiency of conventional spectrum sensing and propose a novel Cognitive Radio receiver structure with monitoring function block to detect the appearance of primary user in a real-time manner. Simulations prove that the proposed eigenvalue based detection method together with the two-threshold decision procedure performs properly.

**Keywords :** Spectrum Sensing, Eigenvalue Detection, Cognitive Radio

## I. 서 론

최근 2002년 미국연방통신위원회 (Federal Communications Commission, FCC)의 주파수 정책 테스크 보

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 인하대학교 정보통신대학원 (INHA-WiTLAB, Graduate School of IT & Telecommunication)

※ 이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0066336)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1011-0007)

접수일자: 2009년11월17일, 수정완료일: 2010년3월18일

고서에 따르면 상당한 시간 및 공간적인 면에서 스펙트럼이 비어 있다고 보고되었다.<sup>[1]</sup> 보고서에 따르면 주파수 자원 부족에 대한 문제점에서 더 나아가 고정적인 스펙트럼 면허 규제 정책의 비효율성에 대해 보고하고 있다. 이와 더불어, 최근 모바일 서비스의 증가로 인해 제한된 스펙트럼 정책의 문제점을 악화시키고 있다. 스펙트럼 사용의 효율성을 증대시키기 위해 넓은 주파수 대역에서 주파수 환경을 센싱하고 이러한 정보들을 사용자의 요구에 부합하는 무선 서비스 접속을 위해 사용하는 CR이 대두되었다.<sup>[2]</sup>

CR은 스펙트럼이 고정적으로 할당된 우선 사용자에 의해 상대적으로 낮은 권한을 갖기 때문에, 기본적으로

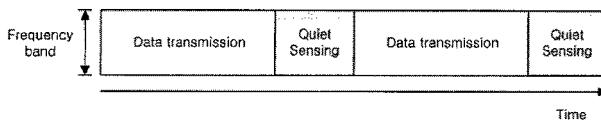


그림 1. 휴지기간 센싱

Fig. 1. Quiet Period sensing.

주변의 우선 사용자에게 간섭을 주지 말아야 한다. 이러한 요구 조건을 충족시키기 위해서는 스펙트럼 센싱(spectrum sensing)이 중요한 기능으로 작용한다. 현재 까지 IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 제안된 세 가지 센싱 방법은 정합필터, 에너지 검출기, 특징 검출기이다.<sup>[3~4]</sup> 이러한 방법들은 모두 2차사용자(SU : secondary user)가 전송하지 않는 휴지기간 동안의 센싱에만 초점을 맞추고 있어, 그림 1과 같이 이 기간 동안에는 CR 사용자가 데이터를 전송할 수 없고 기지국과 단말기가 스펙트럼 센싱을 수행해야 한다. CR 사용자가 우선 사용자를 검출하기 위해 스펙트럼 센싱을 하기 위해서는 일단 CR 사용자의 데이터 전송을 멈추고 휴지기간 동안 센싱을 수행해야 한다. 센싱 결과를 통해 우선 사용자가 특정 대역에서 나타나지 않은 것을 확인하면, CR 사용자는 다음 구간동안 데이터를 전송한다. 즉, 이러한 센싱 방법은 우선 사용자의 데이터 전송에 완벽하게 간섭을 미치지 않는 것을 보장할 수 없기 때문에 우선 사용자가 갑자기 등장하게 될 때 심각한 문제를 발생시키게 된다. 우선 사용자의 대역 점유 패턴은 예상하기 힘들기 때문에 휴지기간 동안의 센싱은 우선 사용자의 무간섭 전송을 완벽하게 보장하지 못 한다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 우선 사용자의 무간섭 전송을 보장하기 위해서 모니터링 방법이 필요하다.

모니터링은 우선 사용자의 갑작스런 등장을 CR 사용자가 검출하도록 하는 방법으로써 최근 몇 가지 연구들이 진행되어 왔다. [5]에서는 채널 할당 정보를 검출하기 위해 수신신호의 Cyclostationary 특징을 사용하는 방법을 전개하였다. 이러한 방법은 CR 사용자의 검출에 있어 좋은 성능을 보이지만 수신기의 복잡도를 증가시키는 단점을 갖고 있다. [6]에서는 간섭신호의 갑작스런 등장을 검출하기 위해 결합간섭 검출 및 디코딩 방법을 제안하였는데 이는 특정 대역에서 우선 사용자의 등장을 검출하는데 사용될 수 있다. 본 논문에서는 우선 사용자의 공간 정보를 기초로 우선 사용자의 갑작스런 등장을 검출하기 위해 고유치값 기반의 검출 방법을 제안한다.

본 논문은 II장에서 두 가지 가정으로 모니터링하는

모델을 제안하고 III장에서 고유치 검출 기반의 모니터링 방법을 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 아이디어의 성능을 검증을 하고, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 CR 단말기가 수신한 신호에서 공간정보를 검출하여 우선 사용자의 존재를 모니터링한다. 그림 2와 같이 배열 안테나를 갖는 CR 단말기에 기존의 OFDM 수신기과 병렬로 독립적인 기능을 수행하는 모니터링 블록을 추가하였다.

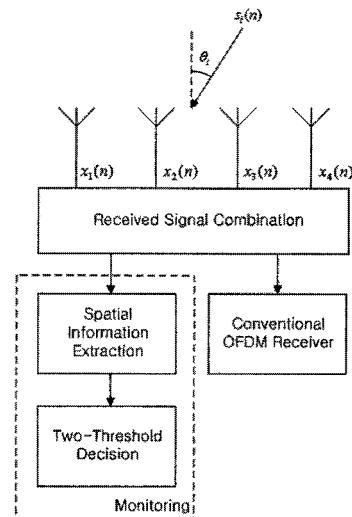


그림 2. 제안된 CR 단말기 구조

Fig. 2. Proposed structure for CR terminal.

### 1. 수신신호모델

모니터링 기능은 능동형 CR 단말기에 해당하기 때문에 수신된 신호에만 주목한다. CR 단말의 복잡도를 제한하기 위해 각 단말은 4개의 선형 안테나 배열을 갖는 것으로 가정하고 다음의 분석을 통해 모니터링하기에 적절한 방법임을 확인하였다.

D개의 단말이 전송한 신호를 수신하게 되면 수신단말에서 나타나는 신호  $x_i(n)$ 은 식(1)과 같이 된다.

$$X = \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \\ x_3(n) \\ x_4(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(\theta_1) & a_1(\theta_2) & \cdots & a_1(\theta_D) \\ a_2(\theta_1) & a_2(\theta_2) & \cdots & a_2(\theta_D) \\ a_3(\theta_1) & a_3(\theta_2) & \cdots & a_3(\theta_D) \\ a_4(\theta_1) & a_4(\theta_2) & \cdots & a_4(\theta_D) \end{bmatrix}_{4 \times D} \begin{bmatrix} s_1(n) \\ s_2(n) \\ \vdots \\ s_4(n) \end{bmatrix}_{D \times 1} + \begin{bmatrix} w(n) \\ w(n) \\ w(n) \\ w(n) \end{bmatrix}_{4 \times 1} \quad (1)$$

여기서  $a_m(\theta_i)$ 는 m번째( $m=1,2,3,4$ ) 안테나에서 i번째( $i=1,2,\dots,D$ ) 수신 신호의 방향정보를 가리키는 배열인자이다. 이는 식(2)와 같이 배열인자 위치와 수신 신호 각도  $\theta_i$ 에 의해 계산될 수 있다.

$$a_m(\theta_i) = e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} m \sin(\theta_i)} \quad (2)$$

여기서 d는 안테나 배열 인자간 거리이고  $\lambda$ 는 파장을 나타낸다.  $s_i(n)$ 은 CR단말의 i번째 수신신호를 나타내고  $w(n)$ 은 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

## 2. 모니터링에서의 두 가지 가정

모니터링 과정은 식(3)과 같이 두 가지 가정에 의해 이뤄진다.  $H_0$ 는 우선 사용자가 특정 대역에 존재하지 않고 CR 기지국이 CR 사용자 신호  $s_{CR}(n)$ 만을 CR 단말기에 전송하고 있는 상황을 나타낸다. 반면  $H_1$ 은 수신 신호에 CR 신호와 우선 사용자의 신호가 동시에 존재하는 것을 나타낸다. 본 논문에서는 D값을 사용하여  $H_0$ 는 D=1으로  $H_1$ 은 D=2로 입사신호의 개수를 나타내기로 한다. 여기서 해당 대역을 점유하고 있는 우선 사용자가 하나 이상인 경우 D는 더 큰 값을 가질 수 있으나 본 논문에서는 관심대역에서 우선 사용자가 하나일 때를 가정하였다.

$$\begin{aligned} H_0 : x(n) &= s_{CR}(n) + w(n) \\ H_1 : x(n) &= s_{CR}(n) + s_{PU}(n) + w(n) \end{aligned} \quad (3)$$

## III. 제안된 방법

제안된 모니터링 방법은 공간정보검출과 2단 문턱값 결정의 두 가지 단계로 이루어진다. 우선 공간 정보가 담겨있는 고유치 값을 계산하여 공간정보 검출 블록에 정렬시킨다. 이 정보는 다음 모니터링 과정이 수행될 때까지 수신기에 저장된다. 2단 문턱값 검출 블록은 우선 사용자의 존재 유무를 판별하기 위해 미리 지정된 문턱값들을 사용하여 고유치값과 비교한다. 여기서 사용되는 2단 문턱값은 발생 가능한 모든 상황에 적합하게 고려되었다.

### 1. 공간 정보 검출

그림 3은 공간정보 검출을 위해 제안된 방법을 나타

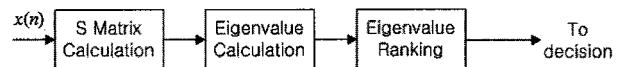


그림 3. 공간정보검출을 위한 블록 다이어그램  
Fig. 3. Block diagram of Spatial Information Extraction.

낸다. 이는 S 행렬 계산, 고유치값계산, 고유치값 정렬의 세 단계로 이루어져 있다. S 행렬은 식(4)와 같이 수신 신호에 대한  $4 \times 4$  크기의 공분산 행렬로 정의되어 있고, 여기서 입사 신호와 잡음은 비상관인 것으로 가정하였다.

$$S = \overline{XX^*} \quad (4)$$

입사신호의 개수 D는 우선 사용자 의 존재유무에 따라 배열 안테나의 개수보다 작은 1 또는 2의 값을 갖기 때문에 [10]에서 증명된 것처럼 S 행렬에는 4개의 고유치가 존재한다. 그리고 N=4-D 번의 반복 수행을 통해 최소값을 갖는 고유치 값을 찾아내게 된다. 이러한 고유치 값은 오름차순의 순서로 정렬시켜  $\lambda(i)$ 로 정의한다. 여기서 i는 1에서 4의 값을 가지며 고유치 값 정렬 계수를 나타낸다. 두 가지 가정에 대한 고유치 값의 모든 해는 식(5)와 식(6)으로 나타낼 수 있다.

$$H_0 : \lambda_i = \begin{bmatrix} \lambda_1 = P_n \\ \lambda_2 = P_n \\ \lambda_3 = P_n \\ \lambda_4 = 4P_{CR} + P_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$H_1 : \lambda_i = \begin{bmatrix} \lambda_1 = P_n \\ \lambda_2 = P_n \\ \lambda_3 + \lambda_4 = 4(P_{CR} + P_{PU}) + P_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서  $P_n$ ,  $P_{CR}$ ,  $P_{PU}$ 는 각각 관측된 시간 동안의 잡음, 수신된 CR신호, 우선 사용자신호에 대한 전력을 나타낸다. 식(5), 식(6)에서의 숫자 4는 배열 안테나의 개수를 나타낸다.

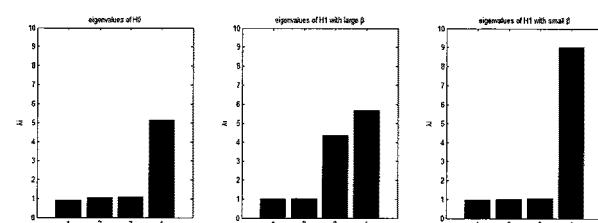


그림 4. 두 가지 가정에 대한 고유치의 모든 경우  
Fig. 4. Complete set of eigenvalues for both hypotheses.

그림 4는 모니터링에 있어서 두 가지 가정에 대한 고유치의 모든 경우를 나타낸다. 첫 번째 그림은 식(5)과 같이 가정  $H_0$ 에 대한 것이고, 가장 큰 값의 고유치는 CR 신호를 의미한다. 나머지 두 그림은 식(6)에 대한 것으로서  $H_1$ 을 나타내는 것이고 다음 절에서 설명한다.

## 2. 우선 사용자가 존재할 수 있는 두 가지 경우

CR단말은  $H_1$ 의 가정에서 두 개의 신호를 수신한다. 하나는 CR 기지국으로부터 수신되고 다른 하나는 우선 사용자로부터 수신된다. 두 신호 사이의 각도는  $\beta$ 로 정의되며, 우선 사용자의 신호발생이 예상치 못함을 고려하면 그림 5와 같이 CR 단말의 위치에 대한 CR 사용자의 위치를 2개로 구분할 수 있다. 첫 번째 경우는  $\beta$  값이 큰 경우로 대부분의 경우에서 이러한 상황이 발생하게 된다. 이는 그림 4에서 가운데 그림에 해당하는 경우로 두 개의 큰 고유치 값은 CR 신호와 우선 사용자 신호의 값에 해당한다. 두 번째 경우는  $\beta$ 값이 작은 경우로 우선 사용자가 CR단말과 CR기지국의 일직선상에 존재하는 경우이다. 이는 그림 4에서 세 번째 그림에 해당하는 경우로 CR신호와 우선 사용자의 신호가 같은 방향에서 나타나기 때문에 고유치가 하나의 큰 값을 갖게 된다.

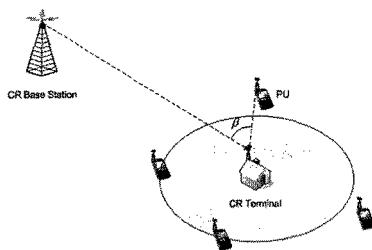


그림 5. 우선 사용자가 존재할 수 있는 위치  
Fig. 5. Possible position of primary user.

## 3. 2단 문턱값 방법

우선 사용자의 위치가 다른 경우를 고려하여 우선 사용자의 존재유무를 결정하는 2단계 문턱값 결정방법을 그림 6과 같이 제안한다.

$\lambda(1)$ 과  $\lambda(2)$ 는 두 개의 가정에서 관측 구간 동안의 국지적인 잡음전력을 나타내기 때문에 두 개 중 하나를 잡음전력으로 사용할 수 있고, 본 논문에서는  $\lambda(1)$ 을 사용하였다. 각각의 고유치 값과 최소값을 갖는 고유치 값의 차를 통해 우선 사용자의 존재유무를 판별하기 위

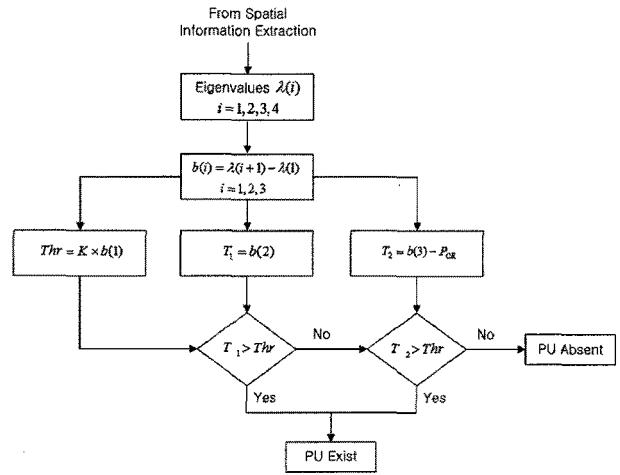


그림 6. 제안된 모니터링 절차

Fig. 6. Proposed Decision Procedure for Monitoring.

해 식(7)과 같이  $b(i)$ 를 정의한다.

$$b(i) = \lambda(i+1) - \lambda(1), i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

수신기에서 우선 사용자의 존재유무를 판단하는 방법은 두 단계로, 첫째 큰  $\beta$ 값을 갖는 경우로써 두 개의 큰 고유치 값을 갖게 된다. 고유치 값은 오름차순의 순서로 정렬되기 때문에  $b(2)$ 의 값을 우선 점검하게 된다. 만약  $b(2)$ 의 값이 크지 않을 때에는 다시 우선 사용자가 없거나  $\beta$ 값이 작은 경우의 두 가지 경우로 나뉘게 된다. 이 두 가지 경우를 구분하기 위해서는 또 다른 결정과정이 필요한데 이 결정과정에서는 식(8)과 같이 우선 사용자가 없을 때 CR신호의 전력을 나타내는  $P_{CR}$ 을 사용한다.

$$P_{CR} = b(3), \text{ when PU is absent} \quad (8)$$

그림 6의  $T_2$ 값이 문턱값을 넘게 되면 수신기는 우선 사용자가 존재한다고 판별하게 된다.

고유치값  $Thr$ 은  $K \times b(1)$ 의 값으로 결정된다.  $K$ 는 오검출 확률에 맞도록 미리 맞춰진 인자이다. 큰 값의  $K$ 는 낮은 검출 확률, 낮은 오검출 확률을 의미하고, 한편으로 작은 값의  $K$ 는 높은 검출 확률 및 높은 오검출 확률을 의미한다.

## IV. 시뮬레이션 결과

제안된 모니터링 방법의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 주요 파라미터는 오검출 확률과 검출 확률로서 각각  $P_{fa}$ 와  $P_d$ 로 정의한다. 기타 다른

표 1. 관측 시간에 따른 K 인자값

Table 1. K factor for different observation time.

Observation Time	K factor
1024-point FFT	5.3
2048-point FFT	4.7
4096-point FFT	4.3

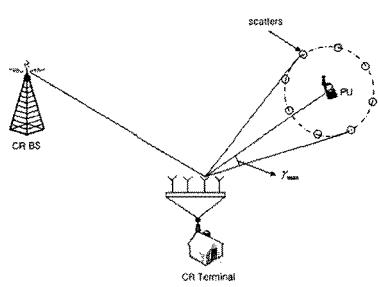


그림 7. 우선 사용자 주변의 산란 모델

Fig. 7. Scattering Model around a CR user.

파라미터로는 관측시간에 따른 K 인자, 각분산에 따른  $\beta$ 가 있다.

일반적으로 CR 시스템은 OFDM을 기반으로 구축되며 때문에 OFDM 기반 시스템의 주요 파라미터는 심볼 길이와 직접적으로 관련된 FFT 길이이다. 여기서는 CR 시스템의 FFT 길이를 IEEE 802.22 WRAN 시스템을 참조하여 1024, 2048, 4096 길이로 선택하였다. 따라서 시뮬레이션에서의 관측 시간은 OFDM 심볼의 길이와 동일하게 설정하였고, K인자는 관측 구간에 영향을 받는다. K값은 요구되는 오검출 확률을 만족하도록 수신기에서 사전에 정의하는 것으로 가정하였다. 10%의 오검출 확률을 만족하기 위해 IEEE 802.22 WRAN 문서에서 정의하고 있는 K 인자 값을 표 1에 정의하였다.

또한 우선 사용자와 CR 사용자 시스템의 다른 환경을 고려하여 시뮬레이션에서 산란효과를 적용하였다. WRAN과 같은 CR 시스템은 대부분 교외 지역을 염두에 둔 시스템이기 때문에 그림 7과 같이 우선 사용자 주변의 산란만이 고려된다. 여기서 사용된 환형 산란모델은 [11]에서 논의되었다.

산란 효과에 따른 성능 검증을 위해 최대 각분산  $\gamma_{\max}$ 가 사용되었고 그에 대한 결과가 그림 8에 나타나 있다.  $\gamma_{\max}$ 의 값이 증가할수록 검출성능이 감소하는

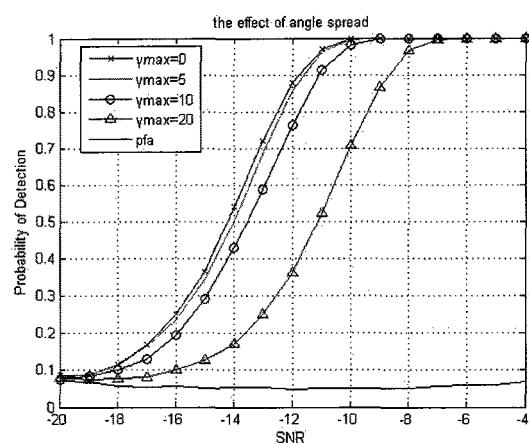


그림 8. 각 분산의 영향

Fig. 8. Effect of angle spread.

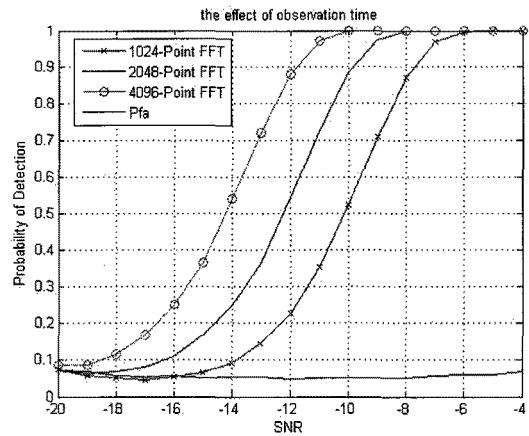


그림 9. 관측 시간의 영향

Fig. 9. Effect of observation time.

것을 알 수 있다. 이는 식(9)에서 나타나는 바와 같이 우선 사용자 주변의 산란에 의해 안테나의 배열 인자가 변화하기 때문이다.

$$a_m(\theta_i, \gamma_{\max}) = f_{m-1}(\eta) e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} (m-1) \sin(\theta_i)}$$

$$\text{where } f_k(\eta) = J_0(k\eta) + J_2(k\eta), \quad (9)$$

$$\eta = 2\pi \frac{d}{\lambda} \gamma_{\max} \cos(\theta_i)$$

그림 9에서는 FFT 길이에 따라 검출 성능을 나타낸 것으로 FFT 길이가 길수록 검출 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 심볼길이가 4096 FFT일 때에는 -11dB 이상에서 90% 이상의 검출 확률을 얻을 수 있다. 심볼길이가 1024 FFT일 때에는 -7dB 이상인 경우에 90%의 요구 검출 확률을 얻을 수 있다.

제안된 2단계 문턱값 결정 과정은 우선 사용자의 모든 가능한 위치를 다룰 수 있도록 제안되었기 때문에  $\beta$

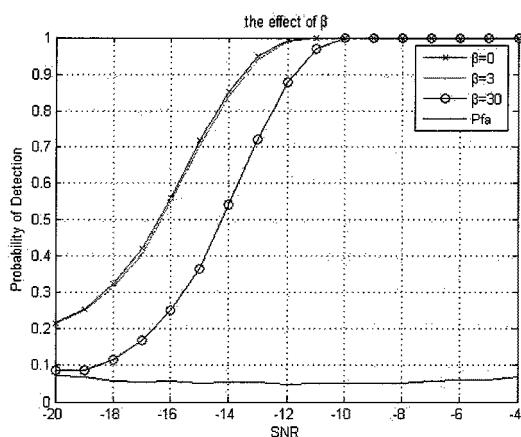
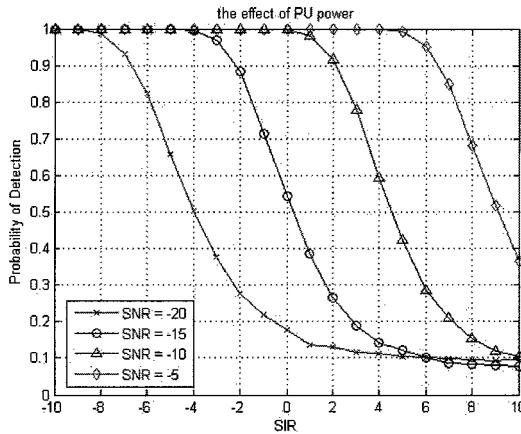
그림 10.  $\beta$ 에 의한 영향Fig. 10. Effect of  $\beta$ .

그림 11. 우선 사용자의 전력에 의한 영향

Fig. 11. Effect of priority user power.

에 대한 성능을 검증할 필요가 있다. 그림 10에서는 우선 사용자의 모든 위치에서 제안된 알고리즘이 잘 수행되고 있음을 확인할 수 있고  $\beta$ 값이 작을수록 성능이 증가하게 되는 것을 확인하였다.

또한 우선 사용자의 전력에 대한 영향도 고려될 필요가 있다. 그림 11은 SIR에 대한 검출 성능을 나타내고 있는데, 여기서 SIR은 수신된 CR신호와 우선 사용자 신호간의 전력 비율을 나타내고 우선 사용자 신호의 영향을 나타내는 척도가 된다. 높은 SIR 값은 수신된 우선 사용자의 전력이 약할 때를 의미하고 낮은 SIR은 우선 사용자 신호가 강할 때를 나타낸다. 우선 사용자 신호와 CR 신호를 동시에 수신하는 상황에서 SNR이 낮더라도 검출률이 높은 것을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서 CR 시스템의 데이터 전송과 우선 사용자의 검출을 동시에 수행하기 위해 모니터링 방법이 제안되었다. 기존의 센싱방법은 휴지기간 동안만 센싱하는 반면 모니터링 방법은 우선 사용자의 무간섭 데이터 전송을 보장하고 동시에 우선 사용자의 갑작스런 등장에도 문제가 발생하지 않는다. 이에 다중안테나 신호처리를 사용하여 안테나 배열에서 수신 신호의 공간 정보를 활용하는 고유차 기반의 신호 검출을 제안하였다. 또한 어떤 수신 각도에서도 우선 사용자의 검출을 신뢰적으로 수행하기 위해 2단계의 문턱값을 사용하는 결정 알고리즘이 제안되었다. 마지막으로 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 모니터링 방법이 효과적으로 수행되는 것을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Federal Communication Commission, "Spectrum Policy Task Force Report", Rep. ET Docket No. 02-155, Nov. 2002.
- [2] Simon Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications", *IEEE J. Commun.Mag.*, vol.23, no.2, Feb 2005.
- [3] D.Cabric, S.Mishra, and R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", in *Proc. Asilomar Conf. On Signals, Systems and Computers*, vol. 1, Nov. 2004, pp.772-776.
- [4] D.Cabric, A.Tkachenko, and R. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection", in *Proc. IEEE Military Communications Conf.*, Oct. 2006, pp. 1-7.
- [5] Guanbo Zheng, Ning Han, Xiaoge Huang, Sung Hwan Sohn, Jae Moung Kim "Enhanced Energy Detector for IEEE 802.22 WRAN Systems Using Maximal-to-Mean Power Ratio" to appear in *Proc. of IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, October, 2007.
- [6] Sung Hwan Sohn, Ning Han, Jae Moung Kim, Jae Wan Kim "OFDM Signal Sensing Method Based on Cyclostationary Detection" in *Proc. of the 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*, August, 2007.
- [7] Ning Han , Sung Hwan Sohn, Jong Ok Joo, Jae

- Moung Kim "Spectrum Sensing Method for Increasing the Spectrum Efficiency in Wireless Sensor Network" *Ubiquitous Computing Systems LNCS* 4239, pp. 478–488, 2006.
- [8] Mengüç Öner, and Friedrich Jondra "On the Extraction of the Channel Allocation Information in Spectrum Pooling Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 25, No. 3, April. 2007.
- [9] Tao Li, Wai Ho Mow, Vincent K. N. Lau, Manhung Siu, Roger S. Cheng, and Ross D. Murch, "Robust Joint Interference Detection and Decoding for OFDM-Based Cognitive Radio Systems With Unknown Interference" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 25, No. 3, April. 2007.
- [10] Schmidt, R., "Multiple emitter location and signal parameter estimation", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, Volume 34, Issue 3, Mar 1986 Page(s); 276-280
- [11] Jami, I., Ormondroyd, R. , "Estimation of the Scattering Radius Around a Mobile Handset Using a Sub-space Technique" *EUROCOMM 2000. Information Systems for Enhanced public Safety and Security*. IEEE/AFCEA 17 May 2000 Page(s):131-135
- [12] 백준호, 오형주, 이종환, 황승훈, "인지무선환경에 서 스펙트럼 센싱을 위한 에너지 검출기의 성능개선: 다중안테나를 이용한 확인과정", 대한전자공학회논문지, 제45권 TC편, 제4호, 2008. 4, pp. 38~42
- [13] 백준호, 황승훈, "인지 무선 시스템에서 확인 과정을 가지는 에너지 검출기의 스펙트럼 센싱 성능에 센싱 시간이- 미치는 영향", 대한전자공학회논문지, 제46권 TC편, 제1호, 2009. 1, pp. 89~93

## 저자소개



손 성 환(학생회원)  
 2004년 인하대학교  
     전자공학과 학사 졸업.  
 2006년 인하대학교 정보통신대학  
     원 석사 졸업.  
 2006년 ~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사 과정.

<주관심분야 : 이동통신, 무선인지기술>



장 성 진(학생회원)  
 2007년 인하대학교  
     전자공학과 학사 졸업  
 2009년 인하대학교 정보통신대학  
     원 석사 졸업  
 2009년 ~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사 과정

<주관심분야 : 이동통신, 무선인지기술>



김 재 명(정회원)  
 1974년 한양대학교  
     전자공학과 학사  
 1981년 미국남가주대학교(USC)  
     전기공학과 석사  
 1987년 연세대학교  
     전자공학과 박사  
 1974년 3월 ~ 1979년 6월 한국과학기술연구소,  
     한국 통신기술연구소 근무  
 1982년 9월 ~ 2003년 3월 한국전자통신연구원  
     위성통신연구단장/무선방송연구소 소장  
 2003년 4월 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원  
     교수, 통신위성 우주산업연구회 회장 외  
     기술 자문으로 다수 활동 중  
 <주관심분야 : 차세대 무선이동통신 및 Cognitive Radio, UWB>