

# 실환경 CR 시스템에서 오경보 감소를 위한 신호 검출 알고리즘

정회원 임 선 민\*, 정 회 윤\*, 김 상 원\*, 정 병 장\*

## The Signal Detection Algorithms for Reducing False Alarms of CR System in Real Environment

Sun-min Lim\*, Hoi-yoon Jung\*, Sang-won Kim\*, Byung-Jang Jeong\* *Regular Member*

### 요 약

FCC의 TV white space 개방과 관련하여 스펙트럼 센싱에 대한 관심이 높아지면서 다양한 센싱 기법들이 제안되고는 있으나 대부분 실환경을 고려하지 않아 실제 모듈 적용시 원하는 성능을 얻기가 어렵다. 본 논문에서는 센싱 모듈의 실환경 적용시 발생할 수 있는 문제점과 이를 제어할 수 있는 방법을 제안하고 전산 모의 실험을 통해 성능을 검증하였다. 우선 시스템 내부 스푸리어스 성분으로 인한 오경보 가능성을 줄이기 위해 시스템 인식을 통한 채널 상태 정보를 이용하여 수신 신호와 구별할 수 있는 방법을 제안하였고, 다음으로 수신 신호에 여러 개의 협대역 신호가 공존하는 경우에 각 신호의 크기 차이로 발생할 수 있는 미검출 가능성을 줄일 수 있도록 서브밴드 정규화 방식을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 시스템 인식 과정을 통해 스푸리어스 성분으로 인한 오경보는 발생하지 않았으며, 서브밴드 정규화를 통해 기존 채널 단위의 정규화 방식으로 인해 신호간의 크기차로 발생했던 검출 성능의 차이가 신호간의 크기 차이에 상관없이 신호 자체 크기에 따라 검출 성능이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Cyclostationary, Spurious Signal, False Alarm

### ABSTRACT

After permission for utilization of TV white space by FCC, a lot of attentions are focused on spectrum sensing, and various spectrum sensing methods have been proposed. However, they do not consider real environment, thus they are hard to achieve the required performance. In this paper, we propose resolutions for the problem which could be occurred in implementation of spectrum sensing module and verify performance of the proposed methods with computer simulation. The first proposed method utilizes channel status information to separate received signal and spurious for reducing false alarm probability caused by system internal spurious. The another proposed scheme is subband normalization method to prevent miss detection caused by multiple narrow band signals with different received signal strength. The simulation results verify that we can prevent false alarm cause by spurious components with the proposed system internal spurious cognition. Moreover, the proposed subband normalization method shows that it could overcome performance degradation caused by received signal strength difference.

※ 본 연구는 방송통신위원회의 ETRI 연구개발지원사업 연구결과로 수행되었음(KCA-2011-10921-01305).

\* 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구팀 (smlim@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2011-03-134, 접수일자 : 2011년 3월 3일, 최종논문접수일자 : 2011년 8월 11일

## I. 서 론

미국은 아날로그 TV의 디지털 TV로의 전환 이후 생겨난 TV white space (TVWS)에 대해 비면허 사용자(TV Band Device, TVBD)가 사용할 수 있도록 주파수 개방을 결정하였다<sup>[1]</sup>. FCC R&O 10-174<sup>[2]</sup>에서는 면허 사용자 보호를 위해 TVBD는 데이터베이스를 이용하여 TV나 무선 마이크의 채널 점유 상황을 파악하도록 규정하였으나 직·간접적으로 데이터베이스에 접속할 수 없는 경우가거나 센싱 단독 장치의 경우에는 스펙트럼 센싱을 통해 채널 점유 상황을 판단하도록 하고 있다. 이들 중 면허 사용자인 무선 마이크 신호는 TV 신호와는 달리 변조 방식 및 대역폭이 결정되어 있지 않기 때문에 임의의 협대역 스퍼리어스 간섭 신호와 구분이 어려운 문제점을 가진다<sup>[3]</sup>. 따라서 스퍼리어스 간섭 신호들이 존재하는 상황에서 면허 사용자 신호의 검출 성능은 유지하면서 스퍼리어스 신호로 인한 오경보 확률은 줄일 수 있는 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 모듈 내부에서 발생된 스퍼리어스 신호로 인한 오경보 확률을 줄이기 위해 채널 상태 정보를 이용하고, 서브밴드 정규화를 통해 신호의 검출 성능 및 오경보 확률을 개선시키는 방법에 대해 제안하였다. 특히 무선 마이크 신호로의 오경보가 문제가 되므로 무선 마이크 신호를 수신 신호로 가정하여 전산 모의 실험을 수행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 신호 검출을 위해 사용된 사이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 검출 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 채널 상태 사전 정보를 이용하여 스퍼리어스 신호로 인한 오경보를 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 4장에서는 다양한 크기의 신호들이 공존하는 경우 서브밴드 정규화 방법을 통해 신호 레벨에 따른 검출 성능은 유지되도록 하여 오경보와 미검출 발생을 줄일 수 있는 방법을 제안하였고 5장에서는 전산 모의 실험을 통해 제안 알고리즘의 성능을 검증하고 6장에서 결론으로 마무리하였다.

## II. CR 시스템의 스퍼리어스 발생 환경에서 무선 마이크 신호 검출

### 2.1 무선 마이크 신호 검출과 오경보

스펙트럼 센싱과 관련하여 고려해야 할 중요한 성분 중의 하나는 오경보의 발생이다. 오경보는 면허 사용자가 출현하지 않았음에도 불구하고 면허 사용자가

점유하고 있다고 판단하는 경우로써 가용 채널의 개수를 줄이므로 가용 채널의 개수가 적은 환경에서는 매우 민감한 문제이다. 특히 무선 마이크 신호의 경우는 규격이 정해져 있지 않아 다양한 종류의 변조 방식 및 대역폭을 가지므로 스퍼리어스 신호와 무선 마이크 신호의 구분이 어렵다. 실환경에서 오경보의 발생은 크게 다음과 같이 2가지로 분류할 수 있다. 첫번째는 가장 기본적으로 임계값 결정에서 태생적으로 이미 결정된 오경보가 있고, 두 번째는 스퍼리어스 성분이 무선 마이크로 잘못 판단된 오경보가 있다. 첫번째 임계값 결정과 관련된 오경보 확률은 검출 성능과 trade off 관계를 가지므로 임의로 줄일 수 없지만 두 번째 오경보의 발생 원인이 시스템 내에서 발생된 스퍼리어스 신호 때문이라면 이를 완화시키거나 제거하여 오경보를 낮출 수 있다.

### 2.2 사이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출

신호의 통계적 특성이 시간상에서 주기성을 나타내는 경우 사이클로-스테이셔너리 성질을 가진다고 말한다<sup>[4-5]</sup>. 따라서 신호  $x(t)$ 의 자기 상관 함수가 주기를 가진다면 푸리에 시리즈를 이용하여 다음 식과 같이 표현할 수 있으며 사이클릭 자기 상관 함수(Cyclic Autocorrelation Function, CAF)라고 부른다.

$$R_x^\alpha(\tau) \cong \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{1}{z} \int_{-z/2}^{z/2} R_x(t + \tau/2, u - \tau/2) e^{-j2\pi\alpha t} dt \quad (1)$$

위 식에서 사이클릭 주파수는  $\alpha = m/T_0$ 으로  $m$ 은 정수이다. 스펙트럴 상관 함수(Spectral Correlation Function, SCF)는 사이클릭 자기 상관 함수의 푸리에 변환을 통해 얻을 수 있으므로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_x^\alpha(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x^\alpha(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2)$$

실환경에서는 잡음이 시간과 장소에 따라 다른 값을 가지므로 신호 존재 유무 판단시 동일 임계값을 적용하기 위해서는 정규화 과정이 필요한데 본 논문에서는 식 (3)과 같이 RMS (Root Mean Square)값을 이용하여 정규화 하였다. 여기서 N은 FFT 포인트 크기를 나타낸다.

$$\hat{S}_x^\alpha(f) = \frac{S_x^\alpha(f)}{\sqrt{\left(\sum_{\alpha=1}^N (S_x^\alpha(f))^2\right)/N}} \quad (3)$$

정규화된 싸이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출 방식은 잡음 불확실성에 강건하고, 낮은 SNR에서도 높은 검출 성능을 나타내는 장점을 가지는 반면에 계산 복잡도는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는  $f=0$ 인 경우의 정규화된  $\hat{S}_x^\alpha(0)$  값만을 이용하여 신호의 존재 유무를 판별하였다. 임계값은 잡음 신호로부터 계산된 정규화된 SCF 특성값의 확률 분포 특성으로부터 특정 오경보 확률을 적용하여 결정되었다.

TVWS에 존재하는 무선 마이크 신호의 경우 대역폭을 200KHz 미만으로 하는 것 외에는 규제 사항이 없기 때문에 제조사에 따라 변조 방식 및 대역폭이 다르다. 따라서 이를 검출하기 위한 센싱 알고리즘 또한 특정 방식을 검출하는 것이 아니라 잡음 이상의 에너지를 가지는 200KHz 미만의 협대역 신호에 대해 무선 마이크 신호라고 판별하는 것이 기존의 무선 마이크 검출 알고리즘들이다<sup>6,9)</sup>. 따라서 이 검출 방식의 경우 TVBD에서 발생하는 협대역 스퓨리어스 신호를 무선 마이크 신호로 잘못 판단할 가능성이 높다.

그림 1은 스퓨리어스 신호와 무선 마이크 신호가 공존하는 경우의 스펙트럼 및 싸이클로-스테이셔너리 특성을 나타낸 것으로 각 신호의 상대적 크기에 따른

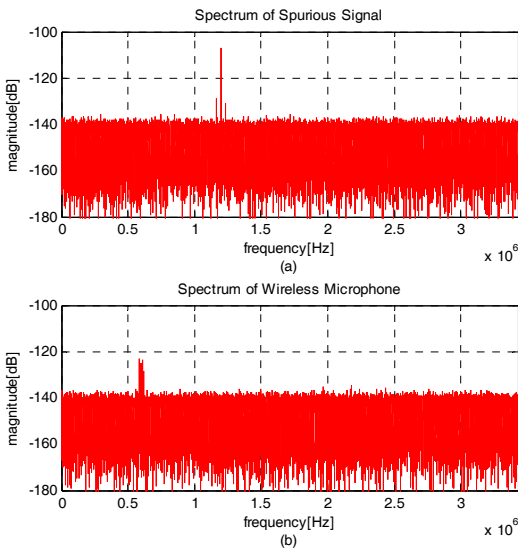


그림 1. 각 신호의 스펙트럼 특성  
(a)  $f_c=0.6\text{MHz}$ 인 무선 마이크 신호의 스펙트럼  
(b)  $f_c=1.2\text{MHz}$ 인 스퓨리어스 신호의 스펙트럼

오경보 및 미검출 가능성을 가지적으로 보여주기 위한 예시이다. 그림 1은 스퓨리어스 신호로 인한 오경보를 보여주는 예시로써 무선 마이크 신호의 SNR은 -6dB, 스퓨리어스 신호의 SNR은 3dB로 스퓨리어스 신호의 크기가 무선 마이크 신호에 비해 상대적으로 큰 협대역 신호를 가정한 경우의 특성을 나타낸 것이다. (a)는 스퓨리어스 신호의 스펙트럼을 나타낸 것으로 1.2MHz에 나타나며 (b)는 무선 마이크 신호의 스펙트럼을 나타낸 것으로 0.6MHz에 중심 주파수를 가지는 신호이다.

그림 2는 그림 1의 채널내에 (a)와 (b) 신호가 공존하는 경우의 싸이클로-스테이셔너리 특성을 나타낸 것으로 무선 마이크와 스퓨리어스 신호로 인해 싸이클릭 주파수 1.2MHz와 2.4MHz에 특성이 나타나지만 정규화된 특성값이 무선 마이크 신호의 경우에는 임계값 이하로 나타나 검출되지 못하는 반면 스퓨리어스 신호는 임계값 이상의 값을 가짐으로써 오경보를 나타낸다. 여기서 임계값은 10% 오경보를 가정하여 결정하였다. 이와 같은 현상은 시변 잡음 환경에서 동일 임계값을 적용하기 위해 사용되는 RMS 정규화로 인해 발생하는 것으로 채널 내에 공존하는 신호의 크기 차이가 큰 경우 상대적으로 높은 파워의 신호로 인해 RMS 값이 커져 이 값으로 정규화를 수행하게 되면 상대적으로 작은 파워의 신호는 임계값 미만으로 나타나 신호를 검출하지 못할 가능성이 있다. 따라서 다양한 크기의 신호가 공존하는 경우 상대적으로 낮은 크기의 신호를 검출하기 위해서는 다른 방법이 요구된다.

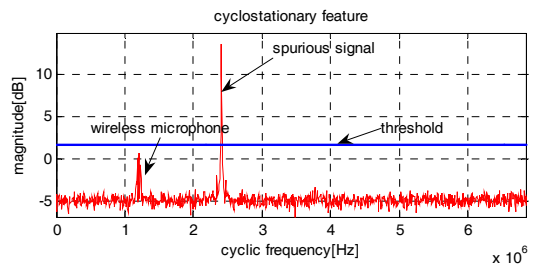


그림 2. 스퓨리어스 신호와 무선 마이크 신호가 공존하는 상황에서 무선 마이크 신호의 크기가 스퓨리어스 신호보다 작은 경우의 싸이클로-스테이셔너리 특성

### Ⅲ. 시스템의 채널 상태 정보를 이용한 오경보 감소 방법

그림 3은 앞서 기술된 문제점들을 해결할 수 있는 방법을 제안한 것으로 시스템 내에서 발생한 스퓨리

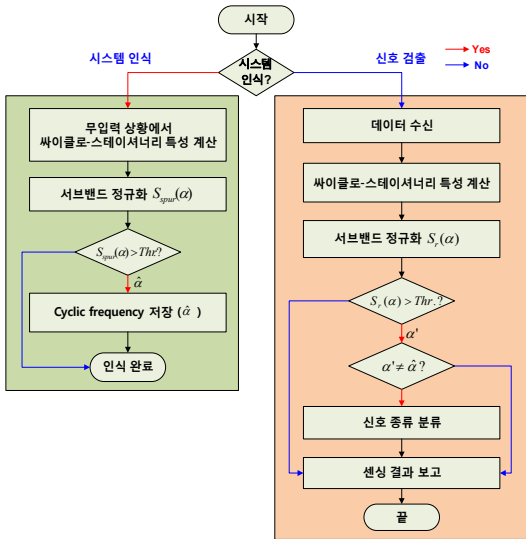


그림 3. 시스템 자체의 스푸리어스가 존재하는 환경에서 오경보 및 미검출 확률을 줄일 수 있는 알고리즘의 순서도

어스 신호로 인한 오경보 없이 신호를 검출하는 방법에 관한 흐름도이다.

위 그림에서 센싱 동작은 시스템 자체의 스푸리어스 정보를 파악하는 시스템 인식 과정과 수신 신호로부터 신호를 검출하는 신호 검출 과정으로 나뉜다. 우선 시스템 내부 스푸리어스 신호를 파악하기 위한 인식 과정에서는 각 채널별로 무입력 상황에서의 싸이클로 스테이셔너리 특성값을 이용하여 시스템 자체 특성을 파악하고 이를 채널 상태 정보로 저장한다. 시스템 특성은 시간의 변화에 따라 약간씩 변할 수 있으므로 일정 주기를 가지고 시스템 인식 과정을 수행하여 채널 상태 정보를 적응적으로 갱신하여야 한다. 이 과정이 완료된 후에는 신호 검출 단계로 채널 별로 신호를 수신하여 싸이클로-스테이셔너리 특성을 계산한 후에 앞서 파악된 채널 상태 사전 정보와 비교하여 신호의 존재 여부를 판단하면 스푸리어스 신호로 인한 오경보 없이 신호를 검출할 수 있다. 그러나 위 방식은 동일 채널 내에 여러 개의 다양한 크기의 스푸리어스 성분들이 공존하는 경우 RMS 정규화로 인해 작은 크기의 스푸리어스 신호는 미검출될 수 있는 문제점이 있다. 그림 2의 상황과 같이 스푸리어스 신호의 크기가 무선 마이크 신호보다 큰 경우 채널 상태 사전 정보에 의해 스푸리어스 신호로 인한 오경보는 발생하지 않는다 하더라도 무선 마이크 신호가 임계값 이하로 나타나 신호가 존재하지 않는 것으로 판단되는 문제점을 가진다. 따라서 수신 데이터에 다양한 크기의 신호들이 공존하는 경우 RMS 정규화로 인해 상대

적으로 작은 신호가 미검출 되지 않도록 하는 방법이 필요하다.

#### IV. 서브 밴드 정규화를 이용한 신호 검출 방법

TV 대역의 경우 채널별로 다양한 크기를 가진 다른 신호가 존재하므로 센싱 수신기의 자동 이득 제어 등을 위해 채널 단위로 수신하는 것이 일반적이다. 실 환경에서는 시간과 장소에 따라 배경 잡음의 크기가 다르기 때문에 동일 임계값을 적용하기 위해 정규화된 특성값을 이용한다. 그러나 무선 마이크와 같이 채널 내에 여러 개의 신호가 공존하는 경우 채널 단위로 정규화를 수행하면 상대적으로 크기가 작은 신호는 검출되지 못할 수도 있다.

그림 4는 센싱 대상 채널 내에 두 개의 다른 크기의 스푸리어스 성분이 존재하는 경우를 가정하여 싸이클로-스테이셔너리 특성을 나타낸 것이다. 그림 4 (a)는 단일 채널 내에 SNR=-6dB인 신호 1과 SNR=7dB인 신호 2가 공존하는 경우에 대해 TV 채널 단위로 정규화한 싸이클로-스테이셔너리 특성값을 나

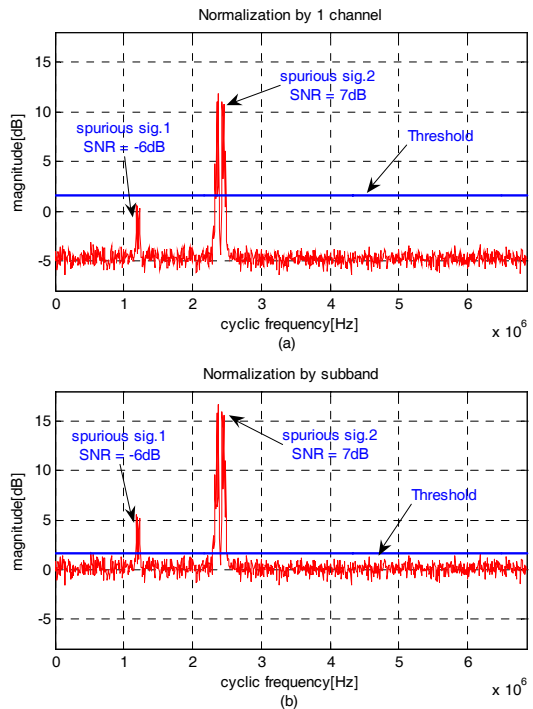


그림 4. 센싱 시스템 내부에 크기가 다른 2개의 스푸리어스 신호가 존재하는 경우 정규화 방법에 따른 싸이클로-스테이셔너리 특성 (a) 1 채널 단위로 정규화한 경우의 싸이클로 스테이셔너리 특성 (b) 서브 밴드 단위로 정규화한 경우의 싸이클로 스테이셔너리 특성

타낸 것으로 신호 1의 크기는 작고, 두 신호의 상대적인 크기가 크기가 커져 식 (3)과 같이 TV 채널 단위로 정규화시 신호 1이 임계값 미만의 값을 나타내어 신호 2만 검출 가능하게 된다. (b)는 계산된 싸이클로-스테이저너리 특성에 대해 무선 마이크 신호의 최대 대역폭인 200KHz 단위로 나눠 정규화한 특성값을 나타낸 것이다. 이는 단일 채널 수신 신호에서 여러 개 신호가 공존하더라도 200KHz내에 상대적 크기 차이가 큰 신호가 공존하는 경우만 아니라면 신호 검출이 가능한 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 신호의 미검출 발생을 줄이기 위해 마이크 신호의 최대 대역폭 단위인 200KHz 단위로 정규화하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 이를 서브밴드 정규화라는 이름으로 TV 채널을 200KHz씩 나눠 RMS 값을 계산했으며 따라서 식 (3)의 수식이 식 (4)과 같이 변형되어 정의될 수 있다.

$$\overline{S_x^{\alpha}(f)} = \left[ \widehat{S}_x^{\alpha_1}(f) \widehat{S}_x^{\alpha_2}(f) \dots \widehat{S}_x^{\alpha_P}(f) \right] \quad (4)$$

위 식에서  $M = \left\lceil N \times \frac{200\text{KHz}}{F_s} \right\rceil$  일 때  $P = \left\lceil \frac{N}{M} \right\rceil$  이며, 각  $\widehat{S}_x^{\alpha_k}(f)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\widehat{S}_x^{\alpha_k}(f) = \frac{S_x^{\alpha_k}(f)}{\sqrt{\frac{\sum_{\alpha=(k-1)M+1}^{kM} (S_x^{\alpha}(f))^2}{M}}} \quad (5)$$

식 (5)에서 서브밴드 정규화를 위해 고려되는  $\alpha_k$ 의 범위는  $(k-1)M+1 \leq \alpha_k \leq kM$ 가 된다. 서브밴드 정규화 방법을 이용하는 경우 앞서 설명한 바와 같이 오경보 발생 확률을 줄일 수 있는 장점을 가지는 반면에 RMS를 계산하는 부분이 P배만큼 늘어남으로 인해 P개만큼의 제곱근과 나눗셈 계산이 증가하는 단점을 가진다.

### V. 전산 모의 실험

본 절에서는 앞서 제안된 채널 상태 사전 정보와 서브밴드 정규화를 이용한 신호 검출 알고리즘의 성능 검증을 위해 전산 모의 실험을 수행하였다. 전산 모의 실험의 목적은 단일 채널 내에 다른 크기의 두 신호가 존재하는 경우 기존의 정규화 방법과 제안된 서브밴드 정규화 방법의 검출 성능을 비교하기 위한

것이다. 전산 모의 실험은 IEEE 802.22 WRAN에서 제시된 무선 마이크 센싱 알고리즘의 성능 검증을 위한 절차대로 수행하였으며 채널 내에 존재하는 스퍼리어스 신호와 무선마이크 신호는 표 1의 파라미터에 따라 생성되었다. 여기서 스퍼리어스 신호는 사일런트 무선 마이크 신호의 파라미터를 가정하여 생성되었다<sup>10)</sup>.

단일 채널 단위로 정규화를 수행하는 방식의 경우에는 modeX로, 서브밴드 단위로 정규화를 수행하는 방식의 경우에는 modeX\_SB로 나타냈으며 스퍼리어스 신호 레벨에 따라 각각 3가지 모드를 가정하였다. 우선 검출 대상 신호인 무선 마이크 신호는 -120dBm의 고정 수신 레벨을 갖는 신호이고, 스퍼리어스 신호의 크기는 mode1에서는 -103dBm, mode2에서는 -108dBm, mode3에서는 -113dBm으로 다르게 가정하였다. 그림 5에서 1채널 단위 정규화 방식의 경우  $F_s=6\text{MHz}$ ,  $\text{SNR}=-12\text{dB}$ (약 -120dBm)에서 mode1에서 1% 미만, mode2에서 약 25%, mode3에서 약 88%의 검출 성능을 나타냄으로써 스퍼리어스의 신호와 무선 마이크 신호의 크기가 클수록 검출 성능이 저하되는 것으로 나타났지만 modeX\_SB로 표현된 200KHz 단위로 정규화하는 방식의 경우에는 3가지 모드에서 약 98%의 검출 성능을 나타냄으로써 원래 스퍼리어스 신호가 존재하지 않고 무선 마이크 신호만 존재하는 only\_sig와 거의 같은 성능을 나타내는

표 1. 신호 생성 파라미터

신호 종류	반송 주파수	주파수 편이
스퍼리어스	32KHz	+/-5KHz
라우드 무선 마이크	13.4KHz	+/-32.6KHz

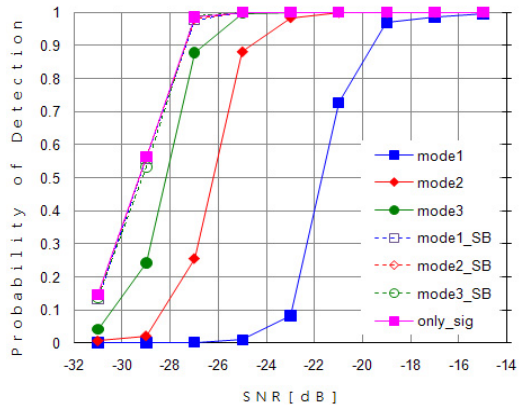


그림 5. 1 채널 정규화 방식과 서브밴드 정규화 방식의 성능 비교



것을 확인할 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 싸이클로-스테이셔너리 검출 알고리즘을 사용하는 실환경 센싱 모듈에서 발생할 수 있는 오경보 및 미검출 확률을 줄일 수 있는 방법을 소개하였다. 우선 스푸리어스 성분으로 인한 오경보를 줄이기 위해 시스템 인식 과정을 통해 채널 상태 사전 정보를 획득하고, 서브밴드 정규화를 통해 다양한 크기의 신호가 공존하는 상황에서도 수신 레벨에 따른 검출 성능은 유지할 수 있는 방법을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 기존 알고리즘이 공존하는 여러개 신호들의 크기차이에 따라 다른 검출 성능을 갖는 반면에 제안 알고리즘의 경우 공존하는 신호의 크기에 상관없이 채널 내에 단독 신호만 존재하는 경우와 거의 같은 검출 성능을 나타냄으로써 실환경 테스트베드에 적용시에도 원하는 성능을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov., 2008.
- [2] FCC, ET Docket No.10-174, "Second Memorandum Opinion and Order," Sep., 2010.
- [3] Hou-Shin Chen, Wen Gao, "Spectrum Sensing for FM Wireless Microphone Signals," DYSPAN International Conference, 2010.
- [4] William A. Gardner, Statistical Spectral Analysis: A Non-Probabilistic Theory, Prentice Hall, 1988
- [5] K. Kim, I. Akbar, K. K. Bae, J. Um, C. Spooner, and J. H. Reed, "Cyclostationary approaches to signal detection and classification in cognitive radio," in Proc. IEEE DySPAN, Apr., 2007.
- [6] H. Chen, W. Gao, and D. G. Daut, "Spectrum Sensing for Wireless Microphone Signals," IEEE SECON Workshop, pp.1-5, June 2008.
- [7] Adoum, B.A. Jeoti, V., "Cyclostationary feature based multiresolution spectrum sensing approach for DVB-T and wireless microphone signals," ICCCE International Conference, 2010.

- [8] Yousry, H., Elezabi, A., Newagy, F., ElRamly, S., "Improved Periodogram-Based spectrum sensing technique for FM wireless microphone signals," ICT International Conference, 2011.
- [9] Yonghong Zeng, Ying-chang Liang, "Eigenvalue-based spectrum sensing algorithms for cognitive radio," Communications, IEEE Transactions on, Vol.57, 2009.
- [10] Chris Clanton, Mark Kenkel and Yang Tang, "Wireless Microphone Signal Simulation Method," IEEE 802.22-07/0124r0, March 2007.

### 임 선 민 (Sun-min Lim)

정회원



2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학사)  
 2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학석사)  
 2010년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학박사)  
 2006년 9월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 비선형 시스템의 선형화

### 정 회 윤 (Hoi-yoon Jung)

정회원



2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학사)  
 2008년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학석사)  
 2008년 2월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 다중 안테나 시스템

### 김 상 원 (Sang-won Kim)

정회원



1999년 2월 서강대학교 전자공학과(공학사)  
 2003년 2월 서강대학교 전자공학과(공학석사)  
 2003년~2005년 LG전자 단말연구소 선임연구원  
 2005년~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> Cognitive Radio H/W 시스템 및 다중 안테나 시스템

정 병 장 (Byung-jang Jeong)

정회원



1988년 2월 경북대학교 전자  
공학과(공학사)

1992년 2월 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과(공학석사)

1997년 2월 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과(공학박사)

1996년~2003년 삼성종합 기

술원 전문연구원

2003년~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구 팀장  
<관심분야> 통신신호처리, Cognitive Radio 및 이  
동통신 전송기술