

Cognitive Radio 시스템을 위한 열악한 통신 환경에서 효과적인 에너지 검출방법

Efficient Energy Detection Method in Poor Radio Environment for Cognitive Radio System

현영주, 김경석
충북대학교 전자공학과

Young-Ju Hyun(bbang7101@naver.com), Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)

요약

주파수 대역의 사용 유무를 판단하는데 스펙트럼 센싱의 결과는 중요하다. 스펙트럼 센싱은 CR 시스템에서 주파수 대역을 확인하는 역할을 한다. 본 논문에서 에너지 검출 기반의 센싱 기법에 자기상관함수를 적용하여 제안하였다. 이는 수신된 신호에 자기 상관함수를 적용하여 에너지 검출기반의 성능을 향상시켰다. 이 방법은 평균 및 자기 상관함수와 같은 확률적인 파라미터들이 시간에 따라 주기적으로 변하는 특성을 갖는 Cyclostationary 프로세서와는 다른 접근 방법이다. 본 논문에서 제안된 센싱 방법은 열악한 통신 환경에서 보다 효과적인 것이다. 만약 CR 시스템에서 유휴주파수 대역을 찾기 위한 센싱 과정에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하면, 에너지 검출기반의 센싱 기법의 장점인 구조적 간단함과 빠른 스펙트럼 검출 결과를 얻을 수 있을 것이다.

■ **중심어** : | 과학기술 | 무선인지 | 스펙트럼 센싱 | 에너지 검출 방법 | 자기 상관함수 | 전력 스펙트럼 밀도 |

Abstract

The spectrum sensing is important for decision of using frequency band. It checks the frequency band for cognitive radio system. In this paper, we apply autocorrelation function to the energy detection method. We use the autocorrelation function to improve the performance of spectrum sensing method based on the energy detection method. This method is different from cyclostationary process method where parameters such as the mean or the autocorrelation function are time-varying periodically. And we propose improved method that is robust in poor radio environment. If the proposed method applies for sensing in the cognitive radio system, it will have the structural simplicity and the fast computation of spectrum sensing.

■ **keyword** : | Science Technology | Cognitive Radio | Spectrum Sensing | Energy Detection Method | Auto-Correlation | Power Spectral Density |

I. 서론

오늘날 무선 통신이 발전함에 따라 주파수 자원에 대

한 수요가 늘어나는 반면에 기존의 독점적 이용 방식만으로는 한정된 전파 자원의 공급에 한계가 있다. 따라서 한정된 주파수 자원의 이용 효율을 높이기 위해 주

파수공유 기술이 많이 연구되고 있다. 그중 대표적인 방법이 Cognitive Radio(CR)이다.

CR의 표준화(IEEE802.22)는 2003년 12월에 FCC NPRM에서 V/UHF TV 대역의 주파수 공유가능성이 발표된 이후, 현실적인 시스템으로 개발하려는 노력이 IEEE802.22이라는 표준화 작업반을 탄생시켰다. IEEE802.22는 WRAN(Wireless Regional Area Network)의 작업그룹으로, 주파수의 효율적 사용을 위해 TV 방송대역에 간섭을 주지 않으면서 비면허 장비의 사용이 가능하도록 무선인지 기술에 기초한 PHY/MAC air interface의 표준을 개발하는 회의로 2004년 8월 PAR(Project Authorization Request)을 승인 받은 뒤 2004년 11월에 IEEE802.22 첫 모임을 가졌다[1][2].

CR 시스템은 장치 주변의 전파 환경을 측정하고, 측정된 결과를 근간으로 향후 행동의 방향을 스스로 결정한다. 예를 들어 기존 사용자가 주파수 자원을 사용하지 않고 있는 경우 이를 측정을 통해 확인한다. 그리고 해당 주파수 자원의 이용을 원하는 CR 사용자에게 할당한다. 이때 기존 사용자를 항상 확인하여 다른 기존 사용자들에게 간섭을 미치지 않도록 한다[3].

CR 시스템에서의 스펙트럼 센싱은 이러한 기존 사용자 혹은 CR 사용자가 주파수 대역을 사용하는지 항상 확인하는 역할을 한다. 따라서 스펙트럼 센싱의 결과가 신빙성이 떨어지면 기존 사용자 및 CR 사용자간에 심각한 간섭에 의한 오류를 발생할 수 있다.

즉 CR 시스템은 고도의 intelligence를 가지고 있기 때문에 기존장치에 간섭을 주지 않고 주파수의 공유를 할 수 있다[4].

본 논문에서 에너지 검출기반의 센싱 기법들에 대해 연구하였으며, 기존의 에너지 검출 기법을 향상하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 열악한 통신 환경에서 유용할 것으로 예상된다. 제안한 방법은 수신된 신호에 자기 상관함수를 적용하는 기법으로 구조적으로 간결하며, 결과적으로 기존의 에너지 검출 방법에 비해 성능의 향상을 이루었다.

자기 상관함수를 적용하는 방법은 평균 및 자기상관 함수와 같은 확률적인 파라미터들이 시간에 따라 주기

적으로 변하는 특성을 이용하는 Cyclostationary 프로세서와는 다른 접근 방법이다[5]. Cyclostationary를 이용한 신호 검출 기법은 수신 신호의 주기적 특성으로 인해 주파수 성분 간의 상관성이 존재하게 되어 스펙트럴 상관함수(SCF : Spectral Correlation Function)를 이용하는 것이다. 그러나 본 논문에서는 수신된 신호에 자기 상관함수를 적용하여 에너지 검출기반의 센싱 기법을 통해 수신 신호를 검출하는 아주 간단한 방법이다. 또한 자기상관함수를 적용한 기법의 성능을 좀 더 향상시키기 위한 방법을 제안하였다.

II. 기존의 에너지 검출 기반의 스펙트럼 센싱 기법들

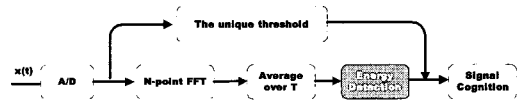


그림 1. 에너지 검출기반의 블록 구조

에너지 검출기반의 방식은 [그림 1]에서처럼 수신된 신호에 FFT(Fast Fourier Transform)연산 및 평균을 취한 후, 그 결과를 특정 임계치와 비교하는 방법으로 해당 주파수 대역 내에 존재하는 신호의 검출을 수행한다[6]. 에너지 검출기반의 센싱 기법은 [그림 1]처럼 구조적 간단함을 갖는다. 또한 FFT의 연산을 통해 이루어지므로 처리시간이 짧은 장점을 갖는다.

기존의 에너지 검출기반의 기법들에 대해 간단히 알아보고 본 논문에서 제안한 방법을 모의실험을 통해 상호간의 성능을 검증한다.

II-1. Periodogram Method

Periodogram 방법은 에너지 검출 기반의 기법중 기본적인 것으로 간단히 입력신호에 대한 DFT(Discrete Fourier transform) 취하는 방식이다.

PSD(Power Spectral Density)의 Periodogram 추정 방법은 길이가 L 인 신호 $X_L[n]$ 에 대해 다음과 같이

정의된다.

$$\hat{P}_{xx}(f) = \frac{|X_L(f)|^2}{f_s L} \quad (1)$$

이때

$$X_L(f) = \sum_{n=0}^{L-1} x_L[n] e^{-j2\pi f n / f_s} \quad (2)$$

f_s = Sampling frequency 이다.

Periodogram 방법의 단점은 신호 검출에 오직 구형의 윈도우(Rectangular window)만을 사용하게 된다. 따라서 구형 윈도우 때문에 발생하는 문제를 해결하기 위해 Modified Periodogram으로 개량되었다[7].

II-II. Modified Periodogram Method

Modified Periodogram의 PSD 계산은 다음과 같다.

$$\hat{P}_{xx}(f) = \frac{|X_L(f)|^2}{f_s L U} \quad (3)$$

이때 U는 일반화된 윈도우 상수이다.

$$U = \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |\omega(n)|^2 \quad (4)$$

따라서 U는 선택하는 윈도우에 독립적으로 작용한다. 구형 윈도우가 아닌 윈도우 (Non-rectangular windowing)는 시간영역에서 샘플과 윈도우가 겹칠 때 샘플이 가늘어는 문제가 발생한다. 따라서 신호의 평균파위에 영향을 미친다. 이를 보상하기 위해 Modified Periodogram 방법은 윈도우의 평균 파워를 곱해준 것이다.

II-III. Welch's Method

Welch에 의해 신호검출 성능이 향상된 방법으로, 역시 PSD를 근간으로 하고 있다. 이 방법은 시계열에서 신호를 segment하여 각각의 segment들의 중첩을 Modified Periodogram의 평균으로 계산한다.

$$x_m(n) = x(n + mN), n = 0, 1, \dots, N-1 \text{ 일 때}$$

신호 $x \in C^{MN}$ 의 m번째 segment를 의미하며, M은 segment수이다. 이때 Welch의 PSD는 다음과 같다.

$$\hat{R}_x(\omega_k) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} |DFT_k(x_m)|^2 \cdot \{X_m(\omega_k)^2\}_m \quad (5)$$

이때, " $\{ \}_m$ "은 m 값에 따른 데이터의 시간평균을 의미한다. Welch 방법은 중첩을 허용하고, 더 많은 Periodogram의 평균화를 통해 추정된 PSD의 통계적인 variance를 감소시킬 수 있다.

II-IV. MultiTaper Method (MTM)

전형적인 윈도우를 이용한 전력 스펙트럼 추정 방법은 주파수 측면에서 스펙트럼의 누수(leakage) 현상 및 높은 variance 때문에 원하지 않는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 다중의 taper(or window)를 이용한다. 다중의 윈도우들은 서로 간에 직교-정규화(orthonormal) 특징을 가지며 스펙트럼 누수현상이 최소가 되도록 설계되고, 각각의 윈도우들과 관련된 eigen spectral의 결합을 통해 PSD 추정 시에 발생하는 추정 variance를 감소시킬 수 있다. MTM은 N개의 샘플 정보에 대한 테이퍼들을 계산하여 각각의 테이퍼들로 가중한다. 이후 가중된 샘플 정보들은 FFT 연산을 수행한 후 평균화를 통해 높은 분해능 및 낮은 variance를 가지는 PSD의 추정이 가능해진다. 이때 최적의 테이퍼 선택은 유한 시간 간격들에 대해 대역 제한된 함수들의 확인을 통해 가능하며, 다중 테이퍼를 이용한 전력 스펙트럼 추정은 다음과 같다.

$$Y(f) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{K-1} Y_k(f) \quad (6)$$

여기서 $Y_k(f)$ 는 k번째 테이퍼와 관련된 eigen 스펙트럼이다.

$$Y_k(f) = \sum_{n=1}^N w_n^{(k)} e^{j2\pi f n t} \quad (7)$$

여기서 N과 k는 각각 샘플의 수와 샘플간의 간격을 의미하고, $w_n^{(k)}$ 는 k번째 eigen 스펙트럼을 위한 테이퍼로써 메인 로브의 폭 W에 에너지가 집중되어 있다. 이러한 N개의 테이퍼를 이용한 다중 테이퍼 방법으로는 일반적으로 sine 테이퍼와 DPSS (Discrete Prolate Spheroidal Sequence)테이퍼가 있다. MTM 방법은

PSD 추정기의 분해능과 variance 사이의 균형을 유지하기 위해 시간-주파수 곱(time-band width product)의 파라미터 NW를 제공한다. 이는 스펙트럼을 계산하기 위해 사용되는 테이퍼의 수와 직접적으로 연관되어 있다. NW가 결정되면 테이퍼의 수는 $2NW-1$ 이 된다. NW가 증가되면 variance는 줄어들게 되지만, 이에 반해 스펙트럼 leakage현상이 더욱 발생하게 되고, bias 역시 전체적으로 증가하게 된다[8].

III. 효과적인 에너지 검출을 위해 제안된 스펙트럼 센싱 기법

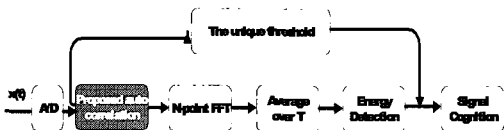


그림 2. 자기상관함수를 적용한 에너지 검출 기반의 블록 구조

[그림 2]는 기존의 에너지 검출 구조에 자기 상관함수 블록을 추가하여 본 논문에서 제안한 구조이다. 이 방법은 평균 및 자기 상관함수와 같은 확률적인 파라미터들이 시간에 따라 주기적으로 변하는 특성을 갖는 Cyclostationary 프로세서와는 다른 접근 방법이다. 본 논문에서 제안한 방법은 자기 상관함수를 에너지 검출 기반의 신호검출에 적용하여 에너지검출 기반의 장점인 구조적 간단함과 빠른 신호 검출 결과를 얻는데 있다.

[그림 2]에서 에너지 검출 기반의 신호검출 과정을 보면, 입력신호 $x(t)$ 를 자기 상관함수를 이용해서 계산한 후 FFT를 취하여 신호를 검출하는 구조로 아주 간단 시스템 구조를 갖는다.

[그림 3]에서 알 수 있듯이 주기신호의 자기 상관함수를 구하면 마찬가지로 주기신호가 된다. 그러나 신호가 채널을 통해 수신될 때, 주기성이 전혀 없으며 신호 샘플간의 상관성이 없는 잡음이 첨가된다. 잡음의 자기 상관함수를 구하면 $\tau = 0$ 근처에서만 큰 값을 갖게 되고, 그 외에는 매우 작은 값(0에 가까운)을 갖는다. 이러한 성질을 이용하여 본 논문에서는 채널을 통해 수신된 신호에 자기 상관함수를 적용하여 신호를 검출하였다.

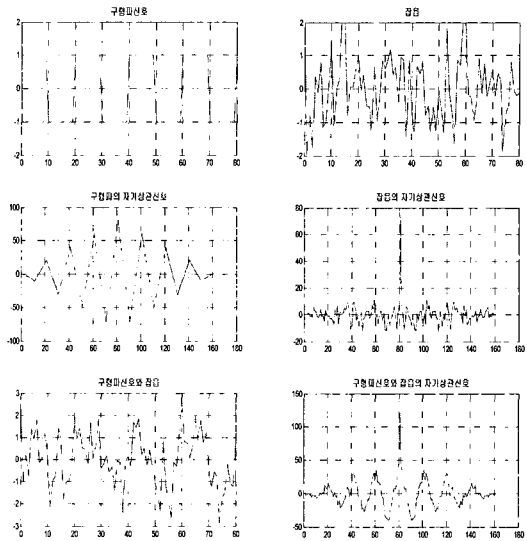


그림 3. 자기상관 함수의 예

자기 상관함수는 어떤 시간에서의 신호값과 다른 시간에서의 신호값과의 상관성을 나타내는 것으로 자기 상관함수 $R_{ff}(\tau)$ 는 시간 t 에서의 신호값 $x(t)$ 와 τ 만큼의 시간지연이 있을 때 즉, 시간 $t-\tau$ 에서의 신호값 $x(t+\tau)$ 의 곱에 대한 평균(Average)으로 다음과 같이 정의된다.

$$R_{ff}(\tau) = E[f(t)f^*(t-\tau)]$$

$$R_{xx}(j) = E[x_n x_{n-j}^*] \quad (8)$$

수식에서 '*'는 복소수를 의미한다. 여기서 평균은 엄밀한 의미에서는 각 신호의 샘플(Sample)에 대한 평균이어야 하나, 다루고 있는 신호가 에르고딕(Ergodic) 즉, 샘플에 대한 평균과 시간에 대한 평균에 구분이 없는 경우에 무리 없는 방법이다. 에르고딕 신호의 자기 상관함수는 다음과 같이 정의되기도 한다.

$$R_{ff}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t+\tau)f^*(t)dt \quad (9)$$

잡음이 섞인 수신신호에 자기 상관함수를 취하면, 검출 신호 및 잡음성분도 증가하게 된다. 그러나, 기존의 검출방법으로 검출된 결과에 비해 SNR의 향상을 확인할 수 있다. 자기 상관함수를 적용한 검출결과 보다 높은 SNR을 얻기 위해 본 논문에서 자기상관함수를 수정하여 에너지 검출 방법의 출력 값을 향상하였으며, 이를 이용하여 신호를 검출하였다.

$$R_{ff}(\tau) = E\{[s(n) - s(n-1)]f(t)s\{(n) + s(n-1)\}f^*(t - \tau)]$$

$$R_{xx}(j) = E\{[s(n) - s(n-1)]x_n\{s(n) + s(n-1)\}x_{n-j}^*\}$$
(10)

$$R_{ff}(\tau) = E[f(t)f^*(t - \tau)]\{(s(n) - s(n-1))(s(n) + s(n-1))\}$$

$$= \{s^2(n) - s^2(n-1)\}E[f(t)f^*(t - \tau)]$$
(11)

수식(11)에서 $\{s^2(n) - s^2(n-1)\}$ 은 상수이며, $s(n)$ 은 수신된 신호의 n 번째이다. 수정된 자기 상관함수를 적용하여 잡음 환경에 강한 에너지 검출방법을 제안하였다. 수식(11)은 잡음에 의해 감소된 자기 상관함수의 크기를 보상하는 의미이다. 즉 n 번째 신호와 $(n-1)$ 번째 신호의 차를 통해 잡음의 영향을 고려하며, 잡음의 영향에 대한 신호의 크기감소를 보상한다.

IV. 모의실험

CR 시스템에서는 센싱 부분을 통해 얻어진 결과를 주위상황을 분석하여 신호의 존재 유무를 판단한다. 이때 기준이 되는 특정 임계치는 주위의 상황에 따라 달라지는 변수이다. 왜냐하면 주위에서 다른 신호원이 존재하면 그 신호원에 의해 방사되는 간섭신호에 의해 특정 임계치는 영향을 받는다. 따라서 특정 임계치는 초기에 설정되는 상수적 개념이 아니며, 통신 상황에 따라 변하는 변수이다. 또한, 센싱을 통해 얻어진 결과만으로 신호판별 시 오류가 발생할 수 있으므로 CR에서는 REM (Radio Environment Map)을 정의한다. REM (Radio Environment Map)은 데이터 베이스화를 인지적으로 하기 위해 도입된 개념으로 learning algorithm을 통해 파라미터의 지속적인 updata를 한다. 기존 각 데이터 베이스들은 독립적인 목적을 가지고 운용되었으나, CR에서는 위치, 지리적 주변 환경, 정책 등의 요소들을 종합적으로 활용해야 하기 때문에 이들을 유기적으로 연결하는 것이 필요하다. REM은 무선 자원을 정의하며, 이를 GA(Genetic Algorithm)이나, Neural network등의 알고리즘을 사용하여 주기적으로 updata한다. 따라서 본 논문에서는 특정 임계치에 대해 특별

히 정의하지 않았다.

이번 장에서는 모의실험을 통해 기존의 에너지 검출 방법들과 제안한 기법이 적용된 방법들의 성능을 비교하였다. 기존의 에너지 검출방법과 자기 상관함수를 적용한 방법, 수정된 자기 상관함수를 적용한 방법으로 분류하여 신호를 검출하였다. 변조방식은 64QAM을 고려하였으며, AWGN을 가변하며 모의실험을 수행하였다.

각 방법에 적용된 전송 방식은 모두 동일하며, 다만 수신단에서 신호의 주파수 특성을 확인하는 과정이 비교대상이다. 64QAM으로 변조된 신호를 6MHz로 샘플링하여, 2MHz의 반송파에 실어 전송하고, 수신단에서 수신하는 과정을 시뮬레이션 하였다. 이때 수신신호의 주파수 특성을 확인하고자 1024의 size로 FFT를 수행하였다.

모의실험에서 적용된 주요 파라미터들은 [표 1]과 같다.

표 1. 모의실험 파라미터

| Parameter | Value |
|-----------------------------|-------|
| Carrier frequency (f_c) | 2MHz |
| Symbol rate | 30KHz |
| Sampling Frequency | 6MHz |
| Number of data | 200 |
| FFT size | 1024 |

64QAM 변조신호를 2MHz의 반송파에 적용하여 기존의 에너지 검출 방법들과 제안한 방법들로 신호를 검출하였다. 이때 AWGN은 0dB인 경우를 고려하였다.

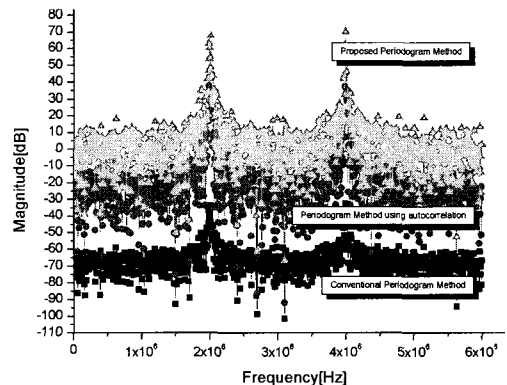


그림 4. AWGN이 0dB인 경우 Periodogram 방법으로 64QAM 변조신호 검출

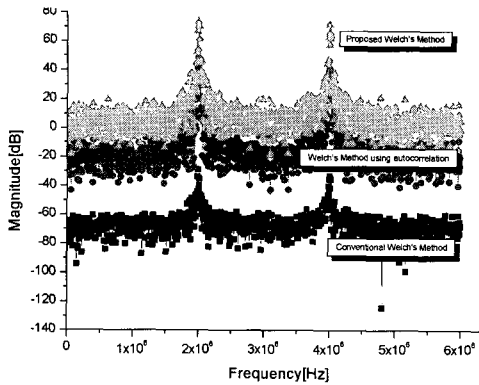


그림 5. AWGN이 0dB인 경우 Welch's 방법으로 64QAM 변조신호 검출

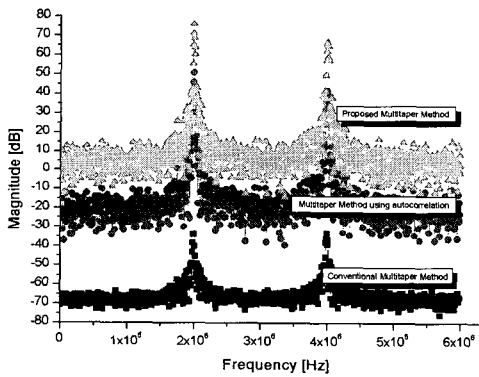


그림 6. AWGN이 0dB인 경우 Multitaper 방법으로 64QAM 변조신호 검출

[그림 4][그림 5][그림 6]은 수신된 신호에 AWGN 0dB가 첨가된 신호의 주파수 특성 결과이다. 기존의 에너지 검출 방법을 이용하여 얻은 결론은 각 그림의 가장 아래쪽에 위치한 파형이다. 중간에 위치한 파형은 수신된 신호에 자기상관함수를 취하는 과정이 첨부된 결과 파형이며, 가장 위에 위치한 파형이 수정된 자기상관함수가 적용된 결과 파형이다.

[그림 4]는 Periodogram 방법으로 신호를 검출한 결과이다. 기존의 방법을 이용한 검출 파형의 SNR은 육안으로 판별 시 대략 35dB정도이다. 두 번째 파형은 자기상관함수를 적용한 결과로 수신신호의 자기상관을 취하면, 잡음 레벨도 상승하나, SNR을 확인하면 약 70dB 정도로 신호의 크기도 크게 상승한다. 마지막으로 가장 위의 출력파형을 확인하면 약 72dB 정도이다.

SNR은 잡음 레벨과 신호가 존재하는 영역의 크기차이를 그래프를 보고 판단한 결과이다. 각 값은 출력결과 중 낮은 레벨의 SNR과 최고 SNR의 차이를 나타낸다. 각 결과 파형을 중첩하여 기준 점을 공유하면 좀 더 판별이 쉬웠을 것이지만, 본 논문에선 각 수신신호의 크기를 확인하기 위해 [그림 4][그림 5][그림 6][그림 7][그림 8][그림 9]와 같이 나타내었다.

[그림 5]는 Welch's 방법으로 신호를 검출한 결과이다. 출력 파형 순서는 [그림 4]와 동일하다. [그림 6]는 Multitaper 방법으로 신호를 검출한 결과이며, 출력 파형 순서는 앞과 동일하다.

모의실험 조건을 더 열악한 통신환경을 고려하기 위해 AWGN이 -5dB인 경우, 동일한 조건으로 모의실험을 실행하였다.

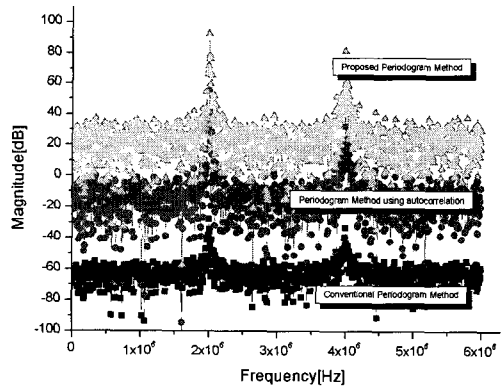


그림 7. AWGN이 -5dB인 경우 Periodogram 방법으로 64QAM 변조신호 검출

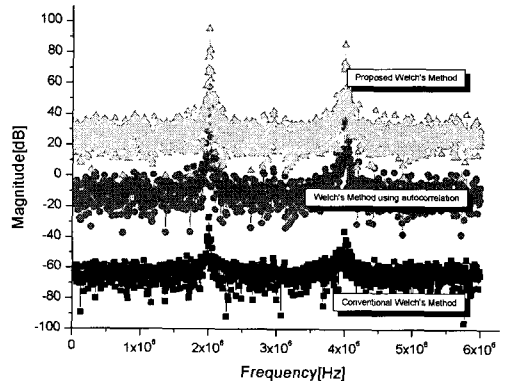


그림 8. AWGN이 -5dB인 경우 Welch's 방법으로 64QAM 변조신호 검출

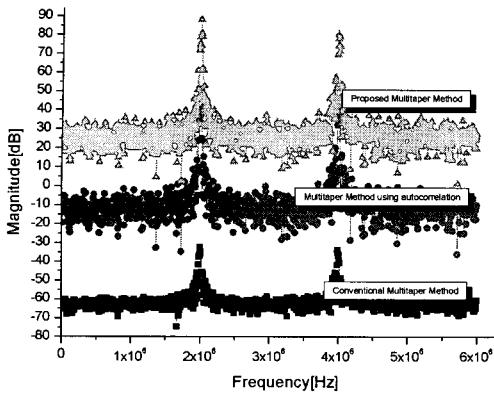


그림 9. AWGN이 -5dB인 경우 Multitaper 방법으로 64QAM 변조신호 검출

[그림 7][그림 8][그림 9]에서 볼 수 있듯이 각각의 에너지 검출 기반 방법들에서 AWGN 0dB인 경우와 동일하게 -5dB인 경우에도 제안한 기법이 좋은 결과를 나타냈다.

표 2. AWGN -5dB인 경우 얻어진 출력 파형의 SNR

| | 기존 방법 | 자기 상관함수 적용 방법 | 수정된 자기 상관함수 적용 방법 |
|-------------|-------|---------------|-------------------|
| Periodogram | 약40dB | 약70dB | 약75dB |
| Welch's | 약40dB | 약65dB | 약70dB |
| MTM | 약35dB | 약65dB | 약65dB |

[표 2]은 AWGN -5dB인 환경에서 얻어진 각각 검출 파형의 SNR을 비교 정리한 것이다. 기존의 방법으로 검출된 결과가 자기 상관함수를 적용한 방법이나, 수정된 자기 상관함수를 적용한 방법에 비해 상대적으로 낮은 SNR을 나타낸다. 즉, 제안한 기법이 열악한 통신 환경에서도 기존의 방법에 비해 우수함을 알 수 있다. 따라서 열악한 통신환경에서 제안한 기법을 사용하면, 특정 임계치와 비교하여 신호의 유무를 판단하는데 용이할 것이다.

V. 결론

기존의 스펙트럼 센싱 방법은 단지 수신된 신호의 PSD (power spectrum density)를 계산하는 것이다. 그

리고 계산을 통해 얻어진 결과를 특정 임계치와의 비교를 통해서 신호의 유무를 판단하는 것이었다. 그러나 잡음의 간섭영향 때문에 신호의 유무판단이 잘못될 수 있다. 앞장의 모의실험에서 볼 수 있듯이 기존의 방법으로 신호를 검출하면 신호의 크기가 낮기 때문에 잡음 및 간섭에 의해 영향을 받기 쉽다.

기존의 방법으로 검출된 결과는 자기 상관함수를 적용한 방법이나, 수정된 자기 상관함수를 적용한 방법에 비해 상대적으로 낮은 SNR을 나타냈다. 즉, 기존 방법에 비해 제안된 방법이 SNR이 크므로 신호검출이 용이하다고 할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 열악한 통신 환경에서 수신된 신호에 자기 상관함수를 적용하기 때문에 기존의 방법에 비해 잡음의 영향에 의한 잘못된 판단을 줄일 수 있다. 또한 자기 상관함수를 수정하여 에너지 검출 기반의 방법에 적용함으로써 잡음에 의한 신호의 감소를 보상하여 간섭의 영향을 감소하였다. 제안한 방법은 수신된 신호의 자기상관함수를 취하는 구조로써 아주 간단한 형태이다. 자기 상관함수가 계산된 신호는 기존의 신호에 비해 큰 값을 갖기 때문에 주파수 대역의 사용 유무를 판단하기 용이하다.

결과적으로 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 향상된 결과를 나타내었다. 따라서 CR시스템에서 유휴 주파수 대역 혹은 사용 중인 주파수 대역을 찾기 위한 센싱 과정에 본 논문에서 제안한 방법을 적용한다면, 에너지 검출 방법의 장점인 구조적 간단함과 빠른 센싱 결과를 얻을 수 있다. 그러나 자기 상관함수의 계산이 구조에 추가되므로 기존의 방법에 비해 계산적으로 복잡하며, 처리시간을 더 소비하는 단점이 발생한다.

열악한 통신환경에서 CR 시스템을 위한 스펙트럼 센싱을 수행할 때 기존 방법에 비해 제안한 방법이 향상된 스펙트럼 센싱 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22 : Cognitive Wireless RAN

Medium Access Control and Physical Layer specifications : Policies and procedures for operation in the TV Bands, IEEE P802.22/D0.1, May 2006.

- [2] 성향숙, 무선 인지(Cognitive Radio) 기술 및 표준화 동향, TTA 저널, 2006(12).
- [3] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," IEEE Mobile Multimedia Conference, pp.3-10, 1999.
- [4] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.23, No.2, Feb. 2005.
- [5] W. A. Gardner, "Spectral correlation of modulated signals: Part I-analog modulation," IEEE Trans. Commun. 1987(5).
- [6] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Proc. IEEE Signals, Systems and Computers Conference 2004, Vol.1, Nov. 2004.
- [7] <http://www.mathworks.com/>
- [8] K. S. Riedel and A. Sidorenko, "Minimum bias multiple taper spectral estimation," IEEE Trans. Signal Processing, Vol.43, pp.188-195, 1995.

김 경 석(Kyung-Seok Kim)

정회원



- 1989년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원

- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업 (공학박사)
 - 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
 - 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 - 2006년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 조교수
- <관심분야> : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB

저 자 소 개

현 영 주(Young-Ju Hyun)

준회원



- 2006년 2월 : 충북대학교 전자공학과 졸업
 - 2006년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정
- <관심분야> : CR, Sensing, 4G