

---

# IEEE 802.22 WRAN 기반 스펙트럼 센싱 모듈 구현

## Implementation of Spectrum Sensing Module based on IEEE 802.22 WRAN

---

이현소, 김경석  
충북대학교 전자통신공학과

Hyun-So Lee(hyunso.lee@gmail.com), Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)

---

### 요약

스펙트럼 센싱 기술은 차세대 무선통신 기술들 중 하나인 Cognitive Radio (CR) 시스템에서의 핵심 기술이다. CR 시스템은 주변의 허가된 무선국을 보호하기 위해 주변 무선 환경을 탐색하여 빈 주파수 대역을 찾아 임시적으로 주파수 대역을 사용할 수 있도록 하는 기술이다. 본 논문은 임베디드 보드에서 CR 기술 기반의 효율적인 스펙트럼 센싱 기법들을 구현하였다. 6MHz 대역폭을 가진 DVB-H 신호를 입력 신호로 실험하였으며, Modified Periodogram Method, Welch's Method, SCF Method을 통하여 스펙트럼 센싱 결과를 확인하였다. 또한, 각각의 스펙트럼 센싱 모듈의 성능과 세부 기능들의 실행 속도를 TI320C6416 DSP 보드를 통하여 비교하였다.

■ 중심어 : | 스펙트럼 센싱 | Cognitive Radio |

### Abstract

The Spectrum Sensing technology is the core technology of the Cognitive Radio (CR) system that is one of the future wireless communication technologies. This is the technology that temporarily allocates the frequency bandwidth by scanning surrounding wireless environments to keep licensed terminals and search the unused frequency bandwidth. In this paper, we implement the efficient Spectrum Sensing methods based on CR technology in an embedded board. The DVB-H signal with the 6MHz bandwidth is used as the RF input signal. And we confirm the Spectrum Sensing result using Modified Periodogram Method, Welch's Method, SCF Method. And also, We examine the execution speed of each of detailed functions and the performance of Spectrum Sensing methods on TI320C6416 DSP board inserted in an embedded board.

■ keyword : | Spectrum Sensing | Cognitive Radio |

---

## I. 서론

언제, 어디서나 자유 공간을 활용하여 전자파인 주파수를 이용, 초고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한

차세대 무선 브로드밴드 네트워크와 관련된 무선통신 기술은 가용할 수 있는 주파수 자원이 한정되어 있는 단점을 갖고 있다. 따라서 도래하고 있는 유비쿼터스 시대에 Ad-hoc 기반의 소규모 센서 네트워크에서부터

---

\* 본 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

접수번호 : #090205-002

접수일자 : 2009년 02월 05일

심사완료일 : 2009년 03월 17일

교신저자 : 김경석, e-mail : kseokkim@cbnu.ac.kr

대규모 네트워크까지 다양한 무선망들이 혼재하는 상황이 존재하게 됨에 따라 주파수 자원의 고갈 및 간섭의 영향으로 통신 성능 저하에 대한 심각한 우려가 되고 있다. 따라서 모든 국가의 주파수 할당 정책은 최소한의 대역폭을 가지고 이용률을 극대화하면서 보다 많은 가입자를 수용하기 위한 방안으로 주파수를 활용하는 것이다. 제한적 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해 신기술 개발이 지속적으로 연구되고 있다. 이에 최근 타 무선통신 시스템과의 간섭을 최소화하는 개념의 새로운 무선 전송 기술들이 등장하고 있는데, 이들 중 가장 대표적인 기술이 Cognitive Radio (CR) 기술이다[1].

CR 기술은 통신 단말기 혹은 네트워크가 지능화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황을 인지하여 이러한 요구에 적합하도록 주어진 무선 자원을 최적으로 활용하는 제반 기술을 의미한다. 즉, CR 기술은 주변 환경을 감지하여 주파수, 변조방식, 출력 등의 무선 송신 파라미터를 결정하는 무선 기술로 지역과 시간에 따라 빈 주파수를 자동으로 찾아 주변의 허가된 무선국을 보호하면서 통신을 가능토록 하는 기술이다. 특히 이동통신 수요의 증가로 주파수 자원이 고갈되면서 주파수 자원 활용의 효율성을 극대화 할 수 있는 기술로 각광받고 있다. CR은 값비싼 스펙트럼을 충분히 이용할 수 있게 해주며, 사용자 요구에 맞고 신뢰성이 높으며, 주변 상황에 적합한 통신 서비스를 제공할 수 있다.

미국연방통신협회(FCC)가 주파수 부족 현상을 해결하기 위해 주파수 이용 현황 및 효율적인 주파수 관리 방법을 연구하여 개방형 주파수 관리 정책을 점진적으로 수용할 것을 제안하였다[2-4]. 개방형 주파수 관리 정책은 특정 사용자에게 인가된 주파수 대역에서 주 사용자들에게 간섭을 주지 않는 한에서 다른 사용자가 그 대역을 빌려 쓸 수 있도록 하는 것이다. 이렇게 주파수 대역을 차용하는 개념을 세계 최초로 적용한 무선 통신 시스템 표준을 개발하기 위한 IEEE 802.22 표준화 그룹이 결성되어 표준화에 대한 연구를 수행하고 있다[5].

본 논문은 IEEE 802.22 환경을 기반으로 한 Cognitive Radio 기술을 위한 스펙트럼 센싱 모듈을 구현하는 것이다. 2장에서 IEEE 802.22 환경 및 스펙트럼

센싱 알고리즘들에 대해 설명하고, 3장에서는 임베디드 보드에서의 CR 기반 스펙트럼 센싱 모듈 구현 방법 및 구현 결과 분석에 대해 자세히 서술하였다. 그리고 결론으로 마무리 하였다.

## II. Cognitive Radio 기반의 스펙트럼 센싱 기술

### 1. IEEE 802.22 WRAN 환경

IEEE 802.22 WRAN의 사용 대상은 미국이나 캐나다의 도시 외곽 지역이나 개발도상국이며, TV 대역에 CR을 사용하여 무선 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다. 정지된 사용자에게 패킷(packet) 데이터를 전송한다는 측면에서 보면 IEEE802.22의 사용자는 IEEE802.16의 Wimax의 대상과 유사한데, 목표 시장에서 다소 차이가 있다. IEEE 802.22 WRAN은 인구 밀도가 IEEE 802.16 (WMAN: wireless metropolitan area network)에서 대상으로 하는 것보다 낮은 지역에서 사용된다. 이런 면에서 보면 현재 무선 단말기 제조업체나 무선 통신 사업자들에게는 시장 규모가 현재 사용되고 있는 시장보다 상대적으로 작아서 많은 관심을 끌지 못할 것으로 예상되지만 CR이라는 새로운 개념의 통신 방식이 처음으로 표준화로 진행되고, 이의 개량된 형태가 차세대 무선 통신 기술과 접목하여 사용 될 수 있기 때문에 많은 회사들이 관심을 가지고 있다.

표 1. IEEE 802.22 WRAN 물리계층의 요구사항

Items	Value
Service Range	33~100 km
Frequency Range	54~862 MHz (VHF/UHF Bands)
Bandwidth	TV Band(6,7,8 MHz)
Capability	Similar to ADSL & Cable Modem over Less Popular Rural Area
Spectral Efficiency	0.5 bps/Hz(Minimum) / 5 bps/Hz(Typical)
Required Minimum Peak Throughput Rate at Edge of Coverage	1.5 Mbps(Forward) / 384 kbps(Reverse)

IEEE802.22의 장점 중의 하나는, 가격적인 측면에서 보면 무선 주파수 대역을 돈을 내지 않고 사용함으로써 기존의 셀룰라 형태의 무선 통신 서비스보다 가격이 저렴해지는 것이다. 하지만, BS (base station)의 CR 구현을 위한 추가 복잡도, 그리고 VHF 대역을 사용할 경우의 수신기의 안테나 크기 문제, 공용 주파수 사용으로 인한 서비스의 안정성(QoS: Quality of Service) 등도 고려되어야 할 사항이다. [표 1]은 IEEE 802.22 WRAN의 물리계층 요구 사항이다[6]. 서비스 범위는 33~100km의 넓은 범위를 커버하고 사용주파수 대역은 기존의 TV주파수 대역인 VHF/UHF대역을 사용한다. TV 대역폭은 각 나라마다 6,7,8MHz로 다르다. 본 논문에서는 국내에서 사용 중인 6MHz를 기준으로 하였다.

## 2. 스펙트럼 센싱 기술

스펙트럼 센싱 기술은 스펙트럼 환경을 인지하여 통신 가능한 주파수를 지능적으로 검출하고, 이를 이용하여 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 통신하는 지능형무선 통신 기술을 말한다. 다시 말하면, 단말기나 기지국 등의 무선기기가 주변 전파환경을 인식, 인지할 수 있는 기능을 제공하여 스펙트럼 환경에 따라 무선 통신에 이용하는 주파수나 방식 등을 무선기기 스스로 선택해 주파수 이용효율을 높고자 하는데 있다. 이는 특정 무선통신 시스템이 '시간'이나 '주파수', '공간'을 점유하는 것이 아니라 이 세 가지 자원을 여러 무선통신 시스템이 적응적으로 공유하여 무선통신에 이용할 수 있는 주파수 자원의 부족을 해결하기 위함이다. 스펙트럼 센싱 기술의 가장 간단한 기법은 Periodogram Method이다. 이 후 Periodogram Method에 윈도우의 변화를 준 Modified Periodogram Method로 발전 하였다. 이 후 Welch에 의해 발전한 기법이 Welch's Method이며, 보다 근대에 와서 나타난 기법이 MTM이라 불리는 The Multitaper Method(MTMD)가 있다.

본 논문에서는 Periodogram, Modified Periodogram Method와 Welch's Method를 적용하였다.

### 2.1 Periodogram Method

이 기법은 Lomb(1976)에 의해 처음 사용되었다[9].

근본적으로 입력 신호에 대한 DFT(Discrete Fourier Transform)이며, 길이가 L인 신호  $X_L[n]$ 에 대한 PSD를 취하여 신호를 추정하는 기법이다. 스펙트럼 관련 식은 식 (1)과 같다.

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

이 때, 신호  $X_L[n]$ 은 식 (2)와 같다.

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

### 2.2 Modified Periodogram Method

Periodogram Method는 신호의 검출을 할 경우 중요요인으로 작용하는 윈도우 함수가 구형 윈도우만으로 제한이 된다. 그에 따른 신호 검출의 난해성이 발생하여 Modified Periodogram Method가 고안되었다. 이 기법의 스펙트럼은 식 (3)과 같으며,

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

기존의 수식에 U라는 변수가 첨가된 형태이다.

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

식 (4)의  $U$ 는 윈도우 함수를 일반화한 값으로 선택하는 윈도우에 독립적이다. 구형 윈도우는 신호의 평균 레벨에 영향을 미친다. 왜냐하면 신호에 윈도우가 곱해졌을 때 time sample이 가늘어 지기 때문이다. 이러한 Periodogram Method의 단점을 보상하고자 윈도우의 평균 레벨을 곱한 것이다.

### 2.3 Welch's Method

이 기법은 1967년 그의 논문에서 언급[10]되었으며, 역시 PSD를 근간으로 한다. 시계열에서 신호를 세그먼트 단위로 나누어 각각의 세그먼트들을 Modified Periodogram Method를 이용하여 계산한다. 조건이 주

어지지 않을 경우 신호를 8개의 세그먼트로 나누고 각각은 50%씩 중첩이 되도록 계산한다. 단, 윈도우에 대한 조건이 없을 경우 기본 윈도우로 Hamming window를 사용한다. [그림 1]은 Periodogram Method와 Welch's Method를 비교하여 나타낸 것이다.

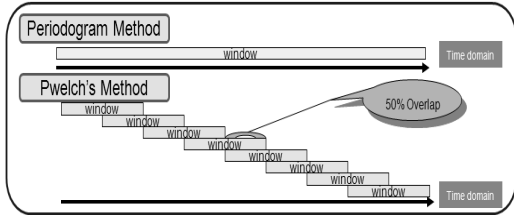


그림 1. Periodogram Method와 Welch Method의 비교

### 3. Signal Feature Detection Sensing Method

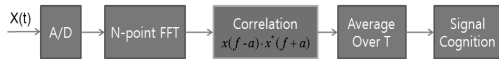


그림 2. SCF(Spectral Correlation Function)의 스펙트럼 센싱 구조

[그림 2]는 SCF Method의 스펙트럼 센싱 구조이다. 일반적으로 주 사용자의 변조 신호는 고유의 주기성을 갖는 성분들을 포함하고 있다. 전송 데이터는 정상 확률 과정 성격을 갖고 있지만, 변조된 신호는 그 평균과 자기 상관(Autocorrelation) 함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 Cyclo-Stationary한 특성을 나타내게 된다[11]. 주기적 스펙트럼, 즉 스펙트럴 상관 함수 측면에서 보면 변조된 주 사용자 신호의 시간관련 파라미터에 해당하는 위상 및 주파수 정보는 그대로 보존된다. 반면에 잡음 성분 및 간섭 신호의 경우에는 Spectral Correlation이 거의 존재하지 않게 됨으로 인해 매우 작은 상관 값을 갖게 된다. 결과적으로 Spectral Correlation을 이용한 신호 검출을 통해 출력되는 정보는 주 사용자의 채널 내에 존재하는 신호의 수, 주 사용자 시스템의 심볼 전송률, 주 사용자 채널 내 간섭 신호의 유무 등의 특징들을 도출할 수 있다.

신호  $x(t)$  는 신호의 시변 자기 상관 함수,

$R_{xx}(t, t+\tau) = E\{x(t) \cdot x(t+\tau)\}$ 가 시간  $t$ 에 대해 주기적일 때 Cyclo-Stationary 라고 말한다. 이 상관 함수는 푸리에 변환 식처럼 식 (5)와 같이 표현할 수 있다 [12].

$$R_{xx}(t, t+\tau) = \sum_{\alpha} R_{xx}^{\alpha}(\tau) e^{j2\pi\alpha t} \quad (5)$$

여기서  $R_{xx}^{\alpha}(\tau)$ 는 순환 자기 상관 함수라 정의 하며 식 (6), (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{xx}^{\alpha}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} R_{xx}(t, t+\tau) e^{-j2\pi\alpha t} dt. \quad (6)$$

$$R_{xx}^{\alpha}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x^*(t+\tau) e^{-j2\pi\alpha t} dt. \quad (7)$$

이 순환 자기 상관 함수를 푸리에 변환을 취하면 식 (8)과 같이 스펙트럴 상관 함수를 구할 수 있다.

$$S_{xx}^{\alpha}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}^{\alpha}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau. \quad (8)$$

단  $\alpha=0$ 인 경우에 대해 SCF는 PSD(Power Spectrum Density)와 같으며, 순환 자기 상관 함수는 자기 상관 함수와 일치한다.

## III. 임베디드 보드에서 스펙트럼 센싱 모듈 구현

### 1. 전체 실험 환경



그림 3. 전체 실험 환경

스펙트럼 센싱 모듈 구현을 위해 구성한 전체 실험 환경은 [그림 3]과 같다. 우선 스펙트럼 센싱 모듈에서

검색할 신호를 만들기 위해 Agilent 사의 ESG Vector Signal Generator E4438C를 이용해 DVB-H TV 신호를 발생시켰다. [그림 4]는 스펙트럼 센싱 모듈을 위한 임베디드 보드의 구성이다. [그림 5]는 발생된 신호를 알아보기 쉽게 하기 위해, Spectrum Analyzer의 Span을 10MHz로 하여 본 결과 화면이다. 가로 눈금 한 칸이 1MHz를 의미하므로, 신호 구간이 6MHz임을 확인 가능하다. 신호 레벨은 -80dBm를 적용하였다.

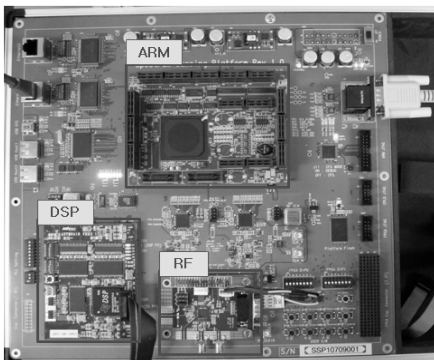


그림 4. 스펙트럼 센싱 모듈이 탑재된 임베디드 보드

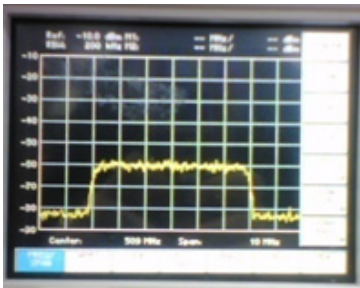


그림 5. 수신 신호의 형태

이 신호가 [그림 4]의 RF 단에 입력이 되어 FPGA 프로세서를 거쳐 DSP 프로세서의 스펙트럼 센싱 알고리즘에 입력으로 들어온다. DSP 프로세서는 Texas Instruments의 TMS320C6416로 1GHz의 속도로 동작을 하며 1M bytes의 Flash Memory와 최대 16 M Bytes의 SDRAM을 4개 포함 한다. 그리고 임베디드 보드의 전체 제어는 ARM에 있는 Linux가 하도록 프로그램화 하였다.

[그림 6]은 스펙트럼 센싱을 위한 임베디드 보드에서 수행하는 알고리즘의 흐름도 이다.

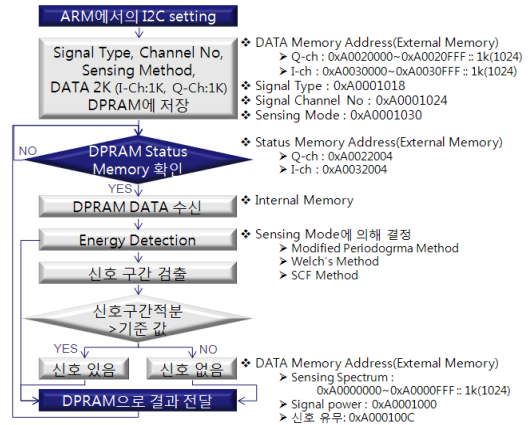


그림 6. 스펙트럼 센싱 모듈의 작업 순서도

[그림 6]에서 보는 것과 같이 DSP 프로세서는 외부 DPRAM에 지정된 Status Memory를 감시한다. DPRAM의 Data Memory에 데이터가 누적되면 Status Memory의 값이 변화하고, 이를 감지하면 DPRAM의 Data Memory에 누적되어있는 데이터를 DSP로 읽어 들인다. 읽어 들인 데이터로 센싱 알고리즘을 수행하는데, 본 논문에서는 Modified Periodogram Method, Welch's Method와 SCF Method를 적용하였다. 이들 알고리즘 과정 후에 지정된 신호 구간을 확인하여 신호 구간의 평균 레벨을 구한다. 또한, 신호 구간을 제외한 잡음 구간의 평균으로 연산된 기준 값과 지정된 신호 구간의 평균값을 비교하여 신호의 유무를 판단한다. 센싱 알고리즘을 수행한 후, Energy Detection 결과 및 신호의 유무, 신호 구간의 평균 레벨을 ARM에서 확인 가능하도록 DPRAM에 저장한다. DPRAM에 데이터를 저장한 후에는 다시 DPRAM의 Status Memory를 주시하여 다음 동작을 위해 대기하게 된다.

## 2. 스펙트럼 센싱 알고리즘 구현 결과 분석

DSP 프로세서에서 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용한 결과는 DSP 프로세서를 컨트롤하는 CCS(Code Compose Studio) Tool을 통해 확인하였다.

2.1 Modified Periodogram Method 적용

[그림 7]은 Signal Generator를 통해 발생된 6MHz/-80dBm의 DVB-H 신호에 Modified Periodogram Method를 적용한 결과이다.

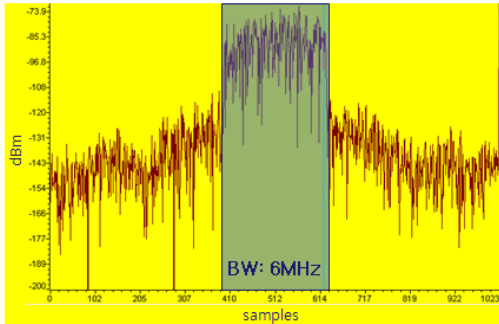


그림 7. Modified Periodogram Method 적용 결과

위의 결과는 Modified Periodogram Method의 적용 결과를 Log Scale로 나타낸 결과이다. 이 적용 결과에 입력 신호 대역을 신호 구간으로 지정하여 신호 구간과 잡음 구간의 평균 레벨을 구하였다. 그 결과로 신호의 유무를 판별한다.

2.2 Welch's Method 적용

[그림 8]은 Signal Generator를 통해 발생된 6MHz/-80dBm의 DVB-H 신호에 Welch's Method를 적용한 결과이다.

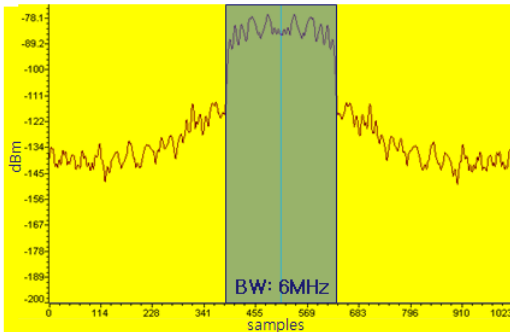


그림 8. Welch's Method 적용 결과

Welch's Method 결과가 Modified Periodogram Method 결과와 달리 불규칙하게 진동하는 부분이 적음을 확인할 수 있다. 그 이유는, 스펙트럼 센싱 알고리즘 실행시에 적용되는 윈도우의 차이에서 찾을 수 있다. Modified Periodogram Method와 Welch's Method 모두 Hamming Window를 적용하지만, Modified Periodogram Method는 단일 윈도우를 적용하는 반면, Welch's Method는 윈도우를 분할하여 각 윈도우가 50%씩 겹치게 적용한다. 그 결과 더 정형화 된 파형을 얻을 수 있는 것이다.

2.3 SCF Method 적용

SCF는 Cyclo-stationary의 특성을 갖고 있으며 PSD에 기반한다. SCF에서  $\alpha=0$ 인 경우에 대해 SCF는 PSD와 같으며, 순환 자기 상관 함수는 자기 상관 함수와 일치한다.

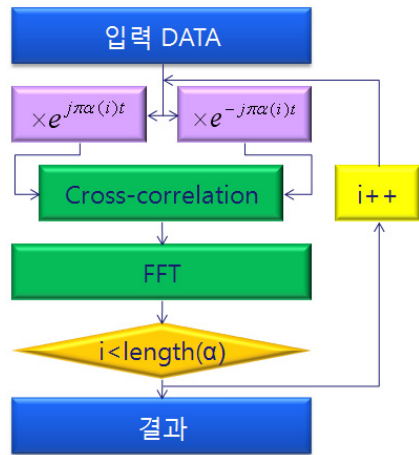


그림 9. SCF Method 흐름도

[그림 9]는 SCF의 작동 흐름도이다. [그림 10]은 [그림 7]과 [그림 8]에서 사용한 것과 동일한 DVB-H 신호에  $\alpha$ 가 0인 SCF Method를 적용한 것이며 결과는 다음과 같다.

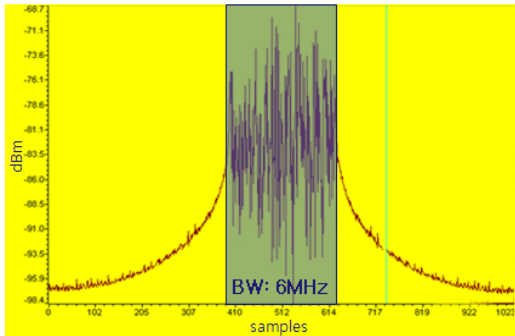


그림 10. SCF Method 적용 결과

[그림 10]의 결과에서 볼 수 있듯이, SCF Method는 Modified Periodogram Method와 Welch's Method에 비해 잡음 구간 레벨이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 잡음 구간의 불규칙한 진동이 거의 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

[그림 11]과 [그림 12]는  $\alpha$ 값을 1024로 지정하여 3차원 데이터를 도출한 결과인데,  $\alpha$ 값만큼 연산을 반복하여 최종 결과를 얻어냈다.

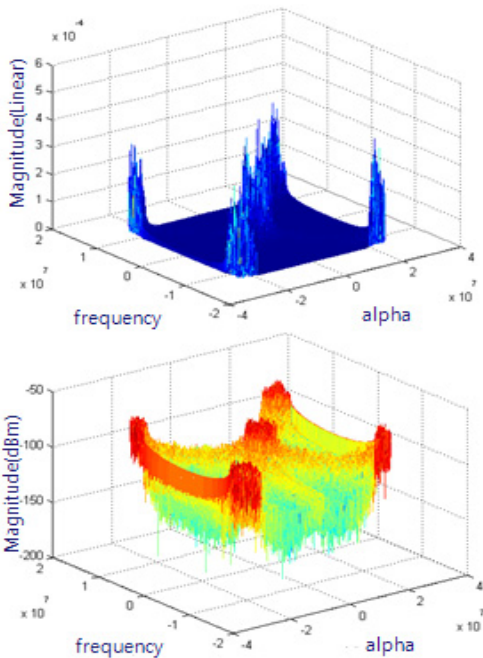


그림 11. DVB-H 신호의 SCF Method 적용 결과

[그림 11] 상단의 데이터는 Linear Scale로 나타낸 결과이고, 하단의 데이터는 Log Scale로 나타낸 결과이다. 하단 데이터의 Z축은 dBm을 나타낸다. Linear Scale의 경우에는 밝게 나타날수록, Log Scale의 경우에는 붉게 나타날수록 신호의 세기가 강하다.

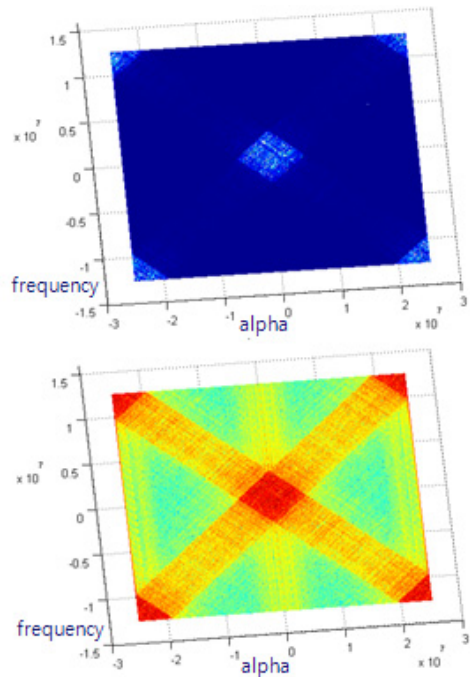


그림 12.  $\alpha$ 값 변동에 따른 SCF Method 적용 결과

[그림 12]는 동일한 결과의 농도 차와 신호 넓이의 형태 등을 확인하기 위하여 [그림 11]을 X, Y축을 기준으로 나타낸 결과이다.

결과를 보면, 가운데 신호 구간이 나타나고 대각선으로 미세한 잡음이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 세로축은 주파수를 나타내고, 가로축은  $\alpha$ 값을 나타낸다. 주파수 축에서 0은 중심주파수인 509MHz이고,  $\alpha$ 가 0인 경우는 Energy Detection으로서의 SCF와 결과가 같게 나타난다. 이러한 결과의 농도 차를 나타내는 신호의 밀집도로 해당 신호의 변조방식을 분석할 수 있으며, 신호의 고유 넓이 및 형태를 비교하여 수신 신호의 종류를 확인할 수 있다.

[그림 11]과 [그림 12]에서 본 것과 같이 SCF Method를 적용하면 잡음 및 간섭에 의해 가려진 신호의 검출, 분류 그리고 여러 가지 파라미터들을 추출하는데 널리 이용될 수 있을 뿐만 아니라 PSD 함수보다 다양한 측면에서 신호의 분석을 가능하게 해준다. 결국, 잡음과 간섭에 의해 심하게 손상된 변조된 신호들은 에너지 검출 기법을 이용하는 것보다 SCF를 이용한 검출에 의해 효과적인 스펙트럼 분석을 수행 할 수 있다.

2.4 구현된 스펙트럼 센싱 알고리즘들의 성능 비교

수신 데이터에 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용한 후에는 ARM에서 받은 채널 정보와 신호 종류를 사용하여 지정된 신호 구간을 연산하고, 그 신호 구간의 평균 레벨과 신호 구간을 제외한 잡음 구간의 평균 레벨을 사용하여 신호 유무를 판별하게 된다. 잡음 구간의 평균 레벨에 변동 가능한 레벨차를 합하여 신호 유무 판별 기준 레벨로 설정한다. 그리고 신호 유무 판별 기준 레벨을 기준으로 신호구간의 평균 레벨을 비교하여 신호 유무를 판별한다. 신호 유무 판별 후, ARM으로 신호 유무와 신호 구간 평균 레벨을 전달한다.

[표 2]는 각 스펙트럼 센싱 알고리즘에 따라 어느 정도 낮은 레벨의 신호까지 신호 유무 검출이 가능한지에 대한 결과 분석이다.

표 2. 구현된 스펙트럼 센싱 알고리즘들의 성능 비교

입력 신호 레벨	Modified Periodogram Method	Welch's Method	SCF Method
-80 dBm	100 %	100 %	100 %
-90 dBm	100 %	100 %	100 %
-100 dBm	100 %	100 %	
-105 dBm	90 % (27/30)	60 % (18/30)	-95 dBm : 53 % (16/30)
-110 dBm	30 % (9/30)	7 % (2/30)	이하 측정 불가

총 30번의 테스트한 결과, Modified Periodogram Method와 Welch's Method는 -100dBm까지는 무리없이 신호 유무를 검출할 수 있음을 확인할 수 있다. 하지

만, -105dBm 이하의 레벨로 내려가면 급격히 스펙트럼 센싱 성공 확률이 낮아짐을 확인할 수 있다. 이 결과로 -105dBm까지는 신호의 유무 판단이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다. SCF Method의 경우, -90dBm까지는 무리 없이 신호 유무 검출이 가능하나, -95dBm 이하 레벨에서는 신호 유무를 판단 할 수 없었다. SCF는 Energy Detection Method로서가 아닌, Energy Feature Detection으로써의 의미가 크게 작용하게 된다. 이 구현된 시스템의 RF Module의 Dynamic Range는 -80dBm이다.

2.5 스펙트럼 센싱 알고리즘들의 수행 시간 비교

DSP 프로세서에서 스펙트럼 센싱 알고리즘이 수행되는 시간은 프로그램 코드의 최적화 상태에 따라서 편차가 크게 나타난다.

[그림 13]은 본 논문에 적용된 스펙트럼 센싱 알고리즘인 Modified Periodogram Method, Welch's Method 및 SCF Method의 수행 시간을 수행 구간별로 비교한 그래프이다. SCF Method는  $\alpha=0$ 인 경우를 고려하였으며, 수행 시간의 단위는 ms이다.

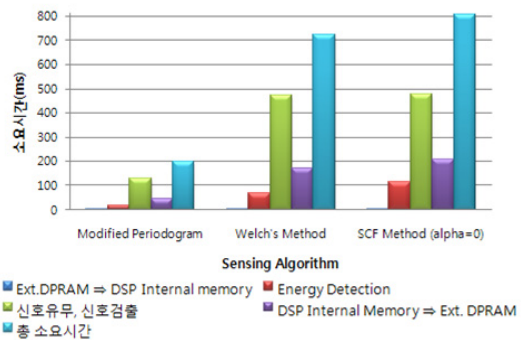


그림 13. 스펙트럼 센싱 알고리즘의 구간 별 소요 시간

각 알고리즘 분류 그래프에서 가장 왼쪽에 미세한 높이로 표시된 그래프는 외부 DPRAM에 저장된 수신 데이터를 DSP 내부 메모리로 읽어 들이는데 걸리는 시간이다. 세 가지 알고리즘 모두에서 유사한 시간인 4.2~4.4ms의 시간이 소요된다. 그 옆의 그래프는 스펙트럼 센싱 알고리즘에 소요되는 시간이다. Modified



Periodogram Method가 17.8ms로 가장 짧게 나타났고, 윈도우에 차이가 있는 Welch's Method가 70.1ms로 그 다음으로 적은 시간을 소요하고, Correlation 연산이 포함되는 SCF Method( $\alpha=0$ )는 116ms로 소요 시간이 가장 길게 나타났다. 그 옆의 신호 유무, 신호 검출 연산 소요시간은 Modified Periodogram Method가 130.2ms로 가장 적고, Welch's Method와 SCF Method( $\alpha=0$ )은 471.9ms와 478ms로 유사하게 나타났다. 다음은 DSP 내부 메모리에서 외부 DPRAM에 데이터를 저장하는데 걸린 시간이다. Modified Periodogram Method는 46.2ms, Welch's Method는 171.5ms, SCF Method( $\alpha=0$ )는 205.3ms로 각각 차이가 있었다. 총 소요 시간은 Modified Periodogram Method가 200ms, Welch's Method가 719.8ms, SCF Method가 805ms로 나타났다. Welch's Method는 Modified Periodogram Method보다 더 나은 성능을 보이지만, 소요 시간은 약 4배 정도가 길다는 것을 확인 가능하다.

$\alpha$ 가 0인 SCF Method는 SCF의 기능인 Energy Feature Detection 기능으로 쓰이지 못한다. SCF는  $\alpha$  값을 변화하여 3차원의 형태로 각 신호의 형태로 변조 방식과 신호를 판별할 수 있어야 한다. 그리하여  $\alpha$ 가 1024인 경우의 소요 시간을 측정해 보았다. 그 결과는 [그림 14]와 같다.

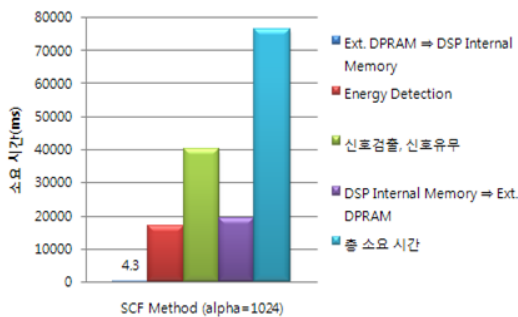


그림 14. SCF Method( $\alpha=1024$ 인 경우)의 구간 별 소요 시간

Energy Feature Detection 기능을 수행하는 SCF Method는 연산이 1024번 반복되므로 그만큼 긴 시간을 필요로 한다. 역시 외부 DPRAM에서 DSP 내부 메모리

로 데이터를 읽어 들이는 데에는 4.3ms로 Energy Detection Method 적용시와 유사하게 나타난다. 하지만 Energy Detection과 신호 검출, 신호 유무 판단, 데이터를 외부 메모리에 저장하는 시간이 매우 길게 소요됨을 확인할 수 있다. 각 그래프의 위쪽에 소요 시간을 표시해 두었다. 단위는 ms이다.  $\alpha$ 가 1024인 SCF 연산을 마치는 데는 총 76271.12ms, 약 76.27초로 1분이 넘는 시간이 소요된다는 것을 확인할 수 있다. 실시간 서비스에 SCF Method를 적용하기 위해서는 소요시간 단축을 위한 최적화가 필요함을 확인 가능하다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 스펙트럼의 중요성이 강조되고 있는 환경에서 가용한 채널에 효율적인 스펙트럼 센싱 기법을 적용할 목적으로 Cognitive Radio 기반의 스펙트럼 센싱 모듈을 구현하였다. 임베디드 기반의 Cognitive Radio 측정 시스템을 구현하여, 특히, DSP 프로세서 기반의 스펙트럼 센싱 알고리즘을 구현하였으며, 알고리즘들의 구현 결과를 다양하게 분석하였다. 구현된 시스템은 향후 이동 및 무선 통신 시스템에서 CR 기술의 기본 개념은 주변의 유휴 스펙트럼을 인식하여 기존 사업자에게 간섭을 끼치지 않는 한계 내에서 음성 및 패킷 데이터를 전송하는데 있다. 즉, 구현한 스펙트럼 센싱 모듈은 CR 기술의 기본 개념을 충분히 고려한 시스템으로 실제 주파수 대역의 사용 유무를 확인하는 것이 가능함을 보였다. CR 요소기술의 사용이 활성화되면 지금까지 미국과 전 세계에 이동 및 무선통신 기술이 확산되는데 걸림돌이 되었던 스펙트럼과 광대역의 제약이 상당히 줄어들 것이다. 이에 따라, 향후 차세대 이동통신 분야를 선도하기 위해서는 CR 요소 기술에 대한 전반적인 연구가 절대적으로 필요하다 하겠다.

#### 참고 문헌

- [1] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen,

"Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Proc. IEEE Signal, Systems and Computers Conference, Vol.1, pp.772-776, 2004(11).

[2] Federal Communications Commission (FCC), "Spectrum policy task force", Rep. ET Docket, No.02-135, Nov. 2002.

[3] Federal Communications Commission (FCC), "Notice of proposed rule making," ET Docket, No.04-113, 2004(5).

[4] J. Mitola, "Cognitive Radio for flexible mobile multimedia communications," Proc. of IEEE Workshop on Mobile Multimedia Comm., pp.3-10, 1999(11).

[5] <http://www.ieee802.org/22/>.

[6] C. Stevenson, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," IEEE 802.22 Draft, 2006(2).

[7] Mitola, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," IEEE Mobile Multimedia Conference, pp.3-10, 1999(11).

[8] Karsten Vandborg Sørensen and Søren Vang Andersen, "Noise Power Spectral Density Estimation From Noisy Speech Using On-line Trained Hidden Markov Models," Department of Communication Technology, Aalborg University.

[9] N. R. Lomb, "Least-squares frequency analysis of unequally spaced data," Astrophysics and Space Science, Vol.39, pp.447-462, 1976.

[10] P. D. Welch, "The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms," IEEE Transactions on Audio Electroacoustics, Vol.15, pp.70-73, 1967(6).

[11] J. Goerlich and D. A. Bruckner, "Signal Analysis Using Spectral Correlation

Measurement," IEEE Instrumentation and Measurement, Technology Conference, Vol.2, pp.1313-1318, 1998(5).

[12] W. A. Gardner, "Spectral correlation of modulated signals : Part I-analog modulation," IEEE Trans. Communication, Vol.35, pp.584-594, 1987(6).

저 자 소 개

이 현 소(Hyun-So Lee)

준회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정  
<관심분야> : Cognitive Radio, 전자파신호 복원, 전력선 통신

김 경 석(Kyung-Seok Kim)

정회원



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학 박사)

- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수  
<관심분야> : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB