
STFT 기법을 적용한 스펙트럼 센싱 모듈 구현

Implementation of Spectrum Sensing Module using STFT Method

이현소, 강민규, 문기탁, 김경석
충북대학교 전자통신공학과

Hyun-So Lee(hyunso.lee@gmail.com), Min-Kyu Kang(zmfla04@naver.com),
Ki-Tak Moon(narasian82@gmail.com), Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)

요약

스펙트럼 센싱 기술은 차세대 무선통신 기술들 중 하나인 Cognitive Radio (CR) 시스템에서의 핵심 기술이다. 본 논문은 CR 기술 기반의 효율적인 스펙트럼 센싱을 위하여 대상 신호의 시간-주파수 측면의 분석을 위한 알고리즘인 Short Time Fourier Transform을 적용하는 방법을 제안하였다. STFT에 적용된 윈도우는 Kaiser Window이며, 그 중첩 정도는 50%로 규정하였다. 시뮬레이션을 위해 6MHz 대역폭을 가진 DVB-H 신호를 입력 신호로 하였으며, Modified Periodogram Method, Welch's Method와의 비교를 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 확인하였다. 또한, 임베디드 보드를 통하여 스펙트럼 센싱 모듈을 구현하였다.

■ 중심어 : | 스펙트럼 센싱 | Short Time Fourier Transform | 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. In this paper, we proposed the efficient Spectrum Sensing Method using the Short Time Fourier Transform (STFT) that is the algorithm for Time-Frequency analysis of the raw data. Applied window function to STFT algorithm is a Kaiser window, it is piled up its 50% range. For the simulation, the DVB-H signal with the 6MHz bandwidth is used as the Input Signal. And we confirm the Spectrum Sensing result using Modified Periodogram Method, Welch's Method for compared with Short Time Fourier Transform Algorithm. And also, Spectrum Sensing Module is implemented using embedded board.

■ keyword : | Spectrum Sensing | Short Time Fourier Transform | Cognitive Radio |

1. 서론

전 세계적으로 주파수 자원 부족 현상이 심화되면서 유연한 전파 관리 체계의 도입을 목적으로 기존 제도에

대한 재검토와 함께 새로운 방안을 모색하고 있는 상황이다. 향후 전파 이용 환경의 변화에 대응하기 위해 미국을 중심으로 하여 신규 주파수 자원을 확보하기 위한 기술 개발과 더불어, 기존 주파수를 효율적으로 이용하

* 본 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

접수번호 : #091118-006

접수일자 : 2009년 11월 18일

심사완료일 : 2010년 01월 14일

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

기 위한 유연한 전파 관리 체계의 도입이 추진되고 있다. 이러한 유연한 전파 관리 체계와 더불어 주파수 이용에 있어 간섭 없이 기존의 주파수 대역을 이용할 수 있는 새로운 무선 전송 기술이 등장함에 따라 기존 대역을 공유하는 무선기기 및 이를 위한 효율적인 주파수 자원 사용 및 관리가 더욱 중요한 문제로 부각되고 있다. 이에 최근 타 무선통신 시스템과의 간섭을 최소화하는 개념의 새로운 무선 전송 기술들이 등장하고 있는데, 이들 중 가장 대표적인 기술이 Cognitive Radio (CR)이다[1].

CR 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 무선 기기가 주변 전파환경을 인식, 인지할 수 있는 기능을 제공하여 스펙트럼 환경에 따라 무선 통신에 이용하는 주파수나 방식 등을 무선기기 스스로 선택해 주파수 이용 효율을 높이고자 하는데 있다. 이는 특정 무선통신 시스템이 '시간'이나 '주파수', '공간'을 점유하는 것이 아니라 이 세 가지 자원을 여러 무선통신 시스템이 적용적으로 공유하여 무선통신에 이용할 수 있는 주파수 자원의 부족을 해결하기 위함이다.

본 논문은 IEEE 802.22 환경을 기반으로 한 Cognitive Radio 기술을 위한 효과적인 스펙트럼 센싱을 위하여 Short Time Fourier Transform 알고리즘 적용 방법을 제안하였다. 2장에서 IEEE 802.22 환경 및 스펙트럼 센싱을 위한 기존 알고리즘인 Modified Periodogram Method와 Welch's Method에 대하여 설명하고, 3장에서는 스펙트럼 센싱의 성능 향상을 위하여 제안한 Short Time Fourier Transform의 스펙트럼 센싱 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하며, Modified Periodogram Method와 Welch's Method와 적용 결과를 비교, 분석하였다. 그리고 결론으로 마무리 하였다.

II. 스펙트럼 센싱 기술

스펙트럼 센싱 기술은 무선 환경에서의 간섭 온도를

추정하고 사용 요청자가 사용할 수는 비어있는 Spectrum 주파수 대역을 찾는다. 채널의 대역을 파악한 후 채널의 상태를 인식 하는 과정을 거치는데, 채널 인식은 채널 상태에 대한 정보를 추정하고 사용 가능한 채널의 용량을 예측한다. 예측된 채널을 통해 동적인 Spectrum 할당 및 전송단의 전력제어를 통해 Cognitive Radio의 기본적인 과정이 이루어진다[2].

스펙트럼 센싱 기술 중 가장 간단한 기법은 Periodogram Method이다. 이후, 성능 향상을 위하여 Periodogram Method에 윈도우의 변화를 준 Modified Periodogram Method로 발전 하였다. 이후 Welch에 의해 발전한 기법이 Welch's Method이다.

1. Modified Periodogram Method

기존 Periodogram Method의 문제점을 보완하고자 Modified Periodogram Method가 고안되었다[3]. 이 방법은 근본적으로 입력신호에 대한 DFT(Discrete Fourier Transform)이며, 길이가 L인 신호에 대한 PSD를 취하는 형태로 식 (1)의 형태로 나타나며, 식(2)와 같이 Window함수를 일반화한 값인 변수 U 가 첨가된 형태로 표현된다.

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

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

U 는 선택하는 Window에 독립적이다.

2. Welch's Method

Welch's Method는 기본적으로 한 주파수에 집중되어야 하는 스펙트럼 전력이 퍼져있거나 인접한 주파수로 누설(Leakage)되는 것을 방지하기 위하여 1967년 P.D Welch가 제안한 두 가지 방식의 접근법으로, 역시 PSD를 근간으로 한다[4]. Welch가 제안한 두 가지 방식이란 Window와 Overlapping을 하는 것으로 시계열에서 신호를 세그먼트 단위로 나누어 각 세그먼트들을 Modified Periodogram Method를 이용하여 계산한다.

조건이 주어지지 않을 경우 기본 윈도우로 Hamming

window를 사용하며 신호를 8개의 세그먼트로 나누고 각각은 50%씩 중첩이 되도록 계산한다. [그림 1]은 Modified Periodogram Method와 Welch's Method를 비교하여 나타낸 것이다.

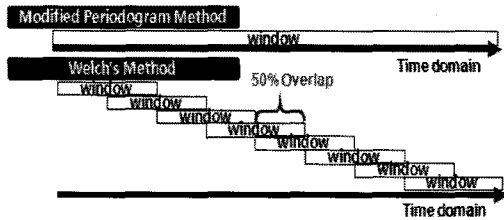


그림 1. Modified Periodogram과 Welch 's Method 비교

III. 스펙트럼 센싱 성능 향상을 위한 Short Time Fourier Transform 알고리즘 제안

1. Short Time Fourier Transform (STFT)

Fourier Transform의 비정상적인 신호에 대한 주파수 분석 기법의 오차가 생기는 문제점이 발생한다. 따라서 이와 같은 오차가 발생하는 순간에도 주파수 분석을 할 수 있는 방법이 필요하다.

1946년 D.Gabor는 신호의 안정성을 고려하여 대상 신호를 프레임 단위로 나누어 일정한 크기의 창을 움직이면서 Fourier Transform을 수행하는 Short Time Fourier Transform(STFT)을 처음으로 도입하였다[5].

STFT는 분석하고자 하는 신호에 Window함수를 적용한 후 Fourier Transform을 수행하는 것으로 시간 영역에서의 STFT의 수식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$STFT(t,w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)w(\tau-t)e^{-jw\tau}d\tau \quad (3)$$

로 뜻매김 할 수 있다. 여기서 $x(\tau)$ 는 분석하고자 하는 신호이고, $w(\tau-t)$ 는 Window 함수이다.

2. Kaiser Window

STFT는 Welch's Method와 같이 윈도우의 중첩을 통한 신호 및 잡음의 평균화로 신호의 주파수 분석을 용이하게 하는 것을 주요 목표로 하고 있다. 하지만, 적용 윈도우 및 중첩 정도가 정해져있는 Welch's Method와 달리 STFT는 적용 윈도우 및 중첩 정도를 변경이 가능하다. 즉, Welch's Method보다 적용에 유연성이 있음을 알 수 있다.

STFT는 Kaiser Window를 적용하였을 때 주파수 분석 면에서의 성능이 높다[7]. 이에 본 논문에서 제안한 STFT에서는 Kaiser Window를 적용하였고, 그 중첩 정도로 성능을 조절하였다.

Kaiser Window는 변수를 적절히 조절하여 여러 가지 모양의 윈도우를 표현할 수 있으며 수식적인 정의는 식 (4)와 같다.

$$\omega(n) = \frac{I_0(\beta) \sqrt{1 - ((n - \frac{N}{2}) / \frac{N}{2})^2}}{I_0(\beta)} \quad (4)$$

Kaiser Window의 매개변수로는 Window의 길이 N과 식 (5)에서 확인 가능한 shape 변수 β 가 있다[8].

$$\beta = \begin{cases} 0.1102(A_s - 8.7) & , A_s > 50 \\ 0.5842(A_s - 21)^{0.4} & , 50 \geq A_s \geq 21 \\ 0 & , A_s < 21 \end{cases} \quad (5)$$

식(5)에서 Stopband Attenuation A_s 는 식 (6)으로 정의된다.

$$A_s = -20 \log_{10} \delta \quad (6)$$

식 (5)에서 δ 값은 윈도우의 주파수응답에서 피크 근사화 오차(Peak Approximation Error) 즉 Ripple을 의미하며, Window의 모양을 결정하는 β 값을 선택하기 위해 존재한다. 즉, δ 값이 작을수록 β 는 커지게 되고, 이로 인하여 Window의 모양은 보다 좁은 형태가 된다.

[그림 2]는 β 값에 따른 Kaiser Window의 모양을 나타낸다. 실선은 β 값이 3일 때이고, 점선은 β 값이 10일 때의 형태를 나타낸다.

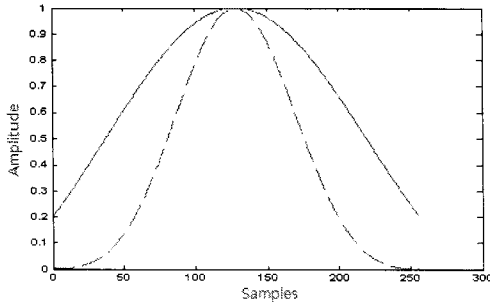


그림 2. β 값에 따른 Kaiser Window 모양

식 (4)에서 $I_0(x)$ 는 Zero-order Modified Bessel Function로 수식적인 정의는 식 (7)과 같다[9].

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{(0.5x)^k}{k!} \right)^2 \quad (7)$$

β 와 같이 Kaiser Window의 매개 변수인 N 은 식 (8)로 나타낼 수 있으며,

$$N \approx \frac{A_s - 7.95}{14.36 \Delta w / 2\pi} \quad (8)$$

Δw 는 Transition Bandwidth이고 Stopband Attenuation A_s 와 함께 Window의 길이 N 을 결정하는 변수가 된다[10].

IV. 모의실험 및 분석

1. 모의실험 환경

2장에서 언급한 Modified Periodogram Method, Welch's Method와 본 논문에서 제안한 3장의 STFT의 성능 검증을 위한 모의실험을 진행하였다. 본 논문에서는 해당 신호로 Digital TV 신호인 DVB-H 신호를 적용하여 그 성능을 비교 분석하였다.

[표 1]과 같은 DVB-H 신호로 각 센싱 알고리즘의 성능을 비교하였다. 이 때, STFT 방법에는 Kaiser

Window를 적용하였으며, Window의 중첩 정도를 50%로 적용하였다. 이는 Welch's Method와의 효과적인 비교를 위하여 중첩 정도를 동일하게 하여 성능을 비교하기 위한 것이다.

표 1. 입력 신호 파라미터

Signal	Parameter	Value
DVB-H	Bandwidth	6 MHz
	Signal Power	-80 dBm
	FFT Size	1024
	Signal Point (FFT Size 기준)	389 ~ 634
	AWGN	10

2. Modified Periodogram Method 적용 결과

[그림 3]은 [표 1]의 6MHz의 대역폭을 갖는 DVB-H 신호를 입력 신호로 적용한 후 Modified Periodogram Method를 통하여 스펙트럼 센싱을 진행한 결과이다. 신호와 잡음이 불규칙한 부분이 많이 보이기 때문에 잡음 및 페이딩의 영향을 받는 실 환경에서는 센싱 성공률이 낮아질 가능성이 있다.

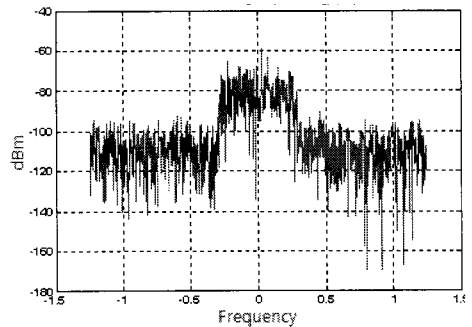


그림 3. Modified Periodogram의 스펙트럼 센싱 결과

3. Welch's Method 적용 결과

스펙트럼 센싱을 위한 성능 검증을 위해, Modified Periodogram Method와 동일한 형태의 신호로 시뮬레이션을 진행하였다.

[그림 4]는 DVB-H 신호에 Welch's Method를 적용한 결과이다. 주파수 도메인과 잡음과의 차이가 기존의

Modified Method보다 크고 신호의 불규칙함 또한 적어 안정적인 형태를 나타내므로 잡음 및 페이딩 환경에서의 센싱 성능은 Modified Periodogram Method보다 우수하다.

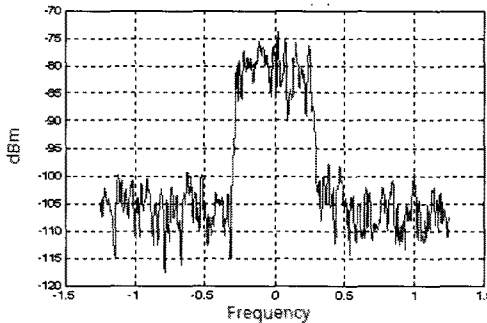


그림 4. Welch's Method의 스펙트럼 센싱 결과

4. Short Time Fourier Transform 적용 결과

[그림 5]는 DVB-H 신호에 STFT를 적용한 결과이다.

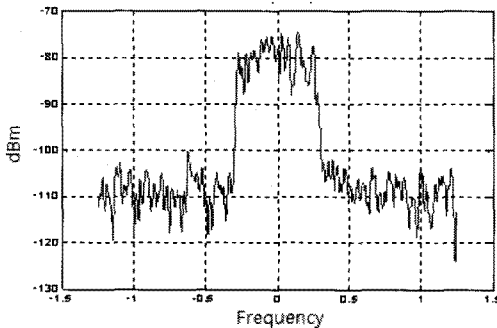


그림 5. STFT의 스펙트럼 센싱 결과

주파수 도메인에서 Modified Periodogram Method보다 안정적인 스펙트럼을 나타냄을 확인 가능하며, 윈도우의 차이만을 둔 채 동일한 중첩 정도를 적용한 Welch's Method와는 신호 구간에 나타나는 불규칙하게 낮아지는 부분 또한 보정이 되어 안정적인 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

V. 임베디드 기반 Sensing Algorithm 구현 및 결과 분석

1. 시스템 환경

[그림 6]은 Sensing Module 실험 환경을 위한 구성이다. 실제 Sensing 알고리즘을 수행을 임베디드 보드와 ARM 및 DSP를 제어하기 위한 PC, 그리고 테스트를 위해 DVB-H 신호를 발생시키는 Signal Generator로 구성된다. Sensing Module은 [그림 7]과 같이 임베디드 보드의 ARM, RF, DSP Board가 서로 유기적으로 동작하여 Sensing 알고리즘을 수행한다.

Sensing Module을 위한 임베디드 보드에 탑재된 DSP 보드의 제원은 [그림 8]과 같다. DSP는 Texas Instruments사의 TMS320C6416 이며 1GHz로 동작한다. Flash Memory 는 1M byte 이고 SDRAM 은 16M Bytes 4개로 구성되어 있어 64MBytes까지 확장하여 사용이 가능하다.

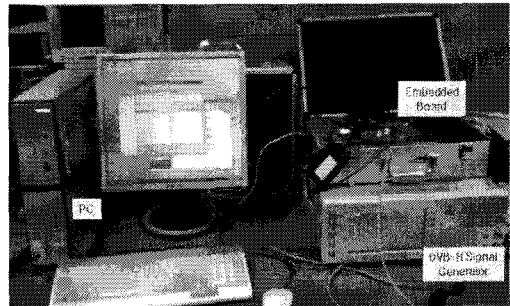


그림 6. Sensing Module 실험 환경

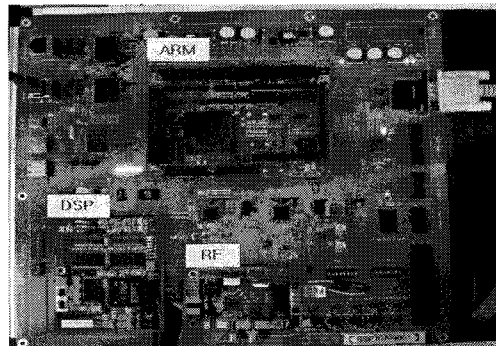


그림 7. Sensing Module이 탑재된 임베디드 보드

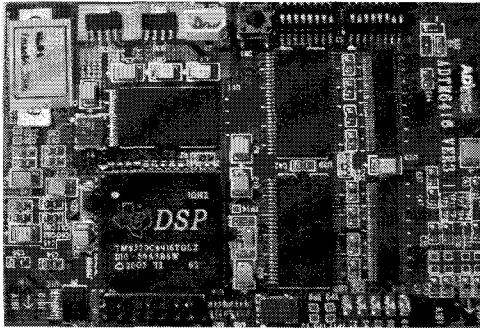


그림 8. TMS320C6416 DSP 보드 제원

[그림 9]는 본 논문에서 제안한 STFT 알고리즘의 흐름도이다. 시스템 환경에서 대상 신호를 수신하면 대상 신호를 시간 도메인 기준으로 동일한 크기의 7개의 세그먼트로 분리하며, 세그먼트 크기와 동일한 Kaiser Window를 생성한다. 그리고 각 세그먼트에 Kaiser Window를 적용한 후 중첩하게 되고, 최종적으로 FFT 연산을 통하여 주파수 도메인으로 변경하여 연산이 종료된다.

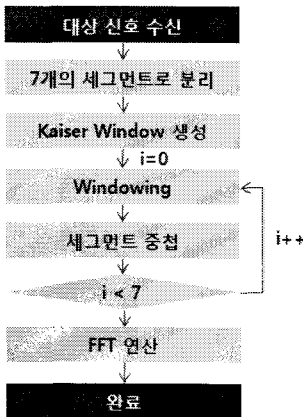


그림 10. STFT 알고리즘 흐름도

2. Modified Periodogram Method 적용 결과

DVB-H 신호에 Modified Periodogram Method를 적용한 결과는 [그림 10]과 같다.

신호구간인 123번 Sample~366번 Sample 에서 6MHz 대역의 DVB-H 신호를 확인할 수 있다. 신호 구

간의 레벨은 -81dBm로 나타났으며, 잡음 구간의 레벨은 -121dBm으로 나타났다. 잡음 구간 및 신호 구간의 파형이 안정적이지 못하며, 이러한 경우 잡음 및 페이딩 환경에서는 신호 검출이 어려울 것이다.

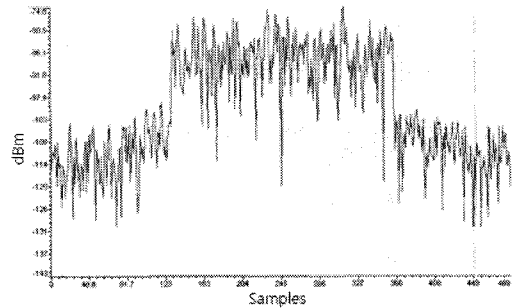


그림 10. Modified Periodogram Method 적용 결과

3. Welch's Method 적용 결과

DVB-H 신호에 Welch's Method를 적용한 결과는 [그림 11]과 같다.

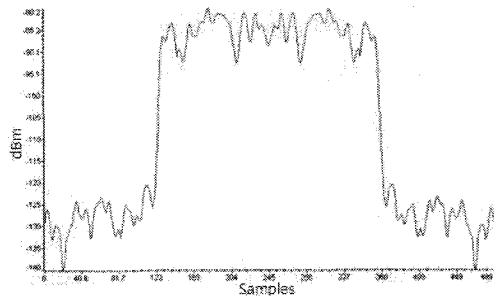


그림 11. Welch's Method 적용 결과

신호구간에서 6MHz 대역의 DVB-H 신호를 확인할 수 있다. 신호 구간은 -85dBm 으로 나타났으며, 잡음 구간의 레벨은 -126.8dBm으로 나타났다. 신호 구간 레벨과 잡음구간 레벨의 차이는 42dB으로 나타났다. Welch's Method 의 경우 여러 윈도우를 중첩시켜 사용함으로써 한 개의 윈도우를 사용하는 Modified Periodogram Method 보다 평균화가 잘 되어있음을 확인할 수 있다.

4. Short Time Fourier Transform 적용 결과

DVB-H신호에 STFT Method를 적용한 결과는 [그림 12]와 같다.

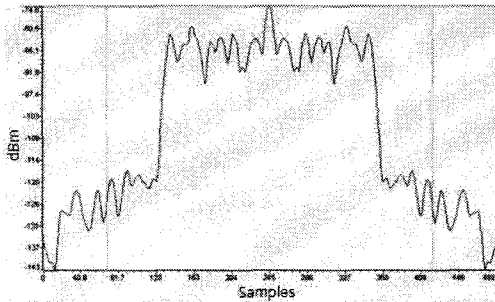


그림 12. STFT의 스펙트럼 센싱 결과

신호구간에서 6MHz 대역의 DVB-H 신호를 확인할 수 있다. 신호 구간의 레벨은 입력 신호인 -80dBm 보다 5.2dB 낮은 -85.2dBm 으로 나타났으며, 잡음 구간의 레벨은 -124dBm으로 나타났다. 신호 구간 레벨과 잡음 구간 레벨의 차이는 38.8dB로 나타났다. STFT Method의 경우 여러 윈도우를 중첩시켜 사용함으로써 한 개의 윈도우를 사용하는 Modified Periodogram Method 보다 평균화가 잘 되어있음을 확인할 수 있다.

5. DVB-H 신호의 Spectrum Sensing 성능 비교

Spectrum Sensing 알고리즘의 성능 확인을 위해 DVB-H 신호에 Modified Periodogram Method, Welch's Method, STFT Method를 적용하였으며 각 100번씩 수행하였다. DVB-H 신호 검출을 위한 Threshold Level은 임의로 적용하였다.

적용 결과 Modified Periodogram Method, Welch's Method, STFT Method 모두 -105dBm 까지 100% 신호 검출 성공률을 보였다. Modified Periodogram Method를 적용하였을 때 -110dBm의 입력 신호에서 69%, -114dBm의 입력신호에서 46%의 검출 성공률을 보였으며, Welch's Method를 적용하였을 때 -110dBm의 입력 신호에서 78%, -114dBm에서 62%, STFT Method를 적용하였을 때 82%, 70%의 검출 성공률을 보였다. 위의 내용에서 언급한 결과를 표로 정리한 내

용은 [표 2]와 같다.

표 2. 센싱 알고리즘에 따른 DVB-H 검출 성공률

	Modified Periodogram Method	Welch's Method	STFT Method
-80dBm	100%	100%	100%
-90dBm	100%	100%	100%
-100dBm	100%	100%	100%
-105dBm	100%	100%	100%
-110dBm	69%	78%	82%
-114dBm	46%	62%	70%

전체적인 검출 성공률을 보면 STFT Method의 검출 성공률이 가장 높았으며 Welch's Method, Modified Periodogram Method의 순서로 검출 성공률이 높았다.

VI. 결론

본 논문에서는 스펙트럼의 중요성이 강조되고 있는 Cognitive Radio 환경에서 가용한 채널에 효율적인 스펙트럼 센싱 기법을 적용할 목적으로 일반적으로 신호의 주파수-시간 분석에 사용되는 Short Time Fourier Transform을 스펙트럼 센싱에 적용하는 방안을 제안하였다. 특히, DSP 프로세서 기반의 스펙트럼 센싱 알고리즘을 구현하였으며, 알고리즘들의 구현 결과를 다양하게 분석하였다.

시뮬레이션 결과, Modified Periodogram Method의 경우에는 신호가 불규칙한 부분이 발생함을 확인 가능하며, 잡음이나 페이딩의 영향을 받을 경우 신호의 불규칙성이 심해져 센싱 성공률이 낮아질 가능성이 크다. Welch's Method의 경우에는 Modified Periodogram Method에서 발생했던 신호의 불규칙성이 매우 적어짐을 확인 가능하나, 신호 구간에서 레벨이 급격히 낮아지는 구간의 보정이 되지 않아, 향후 지능적인 CR 시스템이 구현될 경우 그 부분이 잡음구간으로 검출될 가능성이 존재한다. Short Time Fourier Transform의 경우에는 Welch's Method에서 보였던 신호구간의 불규칙한 부분이 보정되어 신호구간과 잡음구간 모두 안정적

인 스펙트럼을 보이며, 신호 구간의 레벨과 잡음 구간의 레벨 차이도 Welch's Method 에 비해 크게 나타나, 비교한 센싱 알고리즘 중 가장 좋은 성능을 보인다.

시뮬레이션 결과를 통해 Short Time Fourier Transform 알고리즘은 해당 신호를 주파수 측면으로 분석할 수 있는 기능이 있음을 확인하였고, 이러한 특징을 통해 기존 스펙트럼 센싱 알고리즘들과 동일하게 센싱 알고리즘으로써 적용이 가능함을 보였다.

제안한 알고리즘은 향후 이동 및 무선 통신 시스템에서 CR 기술 중 스펙트럼 센싱 부분에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

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] Yucek. T and Arslan. H, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.11, Issue.1, pp.116-130, 2009.
- [3] N. R. Lomb, "Least-squares frequency analysis of unequally spaced data," Astrophysics and Space Science, Vol.39, pp.447-462, 1976.
- [4] 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).
- [5] Tomazic. S and Znidar. S, "A fast recursive STFT algorithm," Electrotechnical Conference MELECON '96, 8th Mediterranean, Vol.2, pp.1025-1028, 1996(5).
- [6] Wen-kai Lu and Qiang Zhang, "Deconvolutive Short-Time Fourier Transform Spectrogram," IEEE Signal Processing Letters, Vol.16, Issue.7, pp.576-579, 2009(7).
- [7] http://www.dsprelated.com/dspbooks/sasp/STFT_Kaiser_Window_Beta_10.html
- [8] Thomas. G, Flores. B.C, and Jae Sok-Son, "SAR sidelobe apodization using the Kaiser window," Image Processing Proceedings International Conference, Vol.1, pp.709-712, 2000(9).
- [9] Yuan-Pei Lin and Vaidyanathan. P.P, "A Kaiser window approach for the design of prototype filters of cosine modulated filterbanks," IEEE Signal Processing Letters, Vol.5, Issue.6, pp.132-134, 1998(6).
- [10] J.P. Marques de Sa, "A Note on The Kaiser window," FEUP/DEEC, pp.1-8, 2003(10).

저자 소개

이 현 소(Hyun-So Lee)

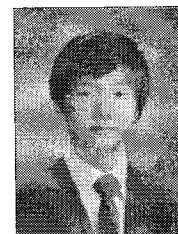
준회원



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

강 민 규(Min-Gyu kang)

준회원



- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업예정
- <관심분야> : DSP, Spectrum Sensing

문 기 탁(Ki-Tak Moon)

준회원



- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
 - 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
- <관심분야> : Multi-rate Filter, SDR

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
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야> : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB