

Short Time Fourier Transform 알고리즘을 적용한

효율적인 스펙트럼 센싱 기법

*강민규, *이현소, **황성호, *김경석

*충북대학교 전파통신공학과, **삼성전기 중앙연구소

*zmfla04@naver.com, *hyunso.lee@gmail.com, **sungho717.hwang@samsung.com,

*kseokkim@cbnu.ac.kr

Efficient Spectrum Sensing Method using the Short Time Fourier Transform algorithm

*Min-Kyu Kang, *Hyun-So Lee, **Sung-Ho Hwang, **Kyung-Seok Kim

*Chungbuk National University, **Samsung Electro-Mechanics Central R&D Center.

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 proposed the efficient Spectrum Sensing Method using the Short Time Fourier Transform (STFT). The Cosine and 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.

1. 서 론

도래하고 있는 유비쿼터스 시대에 Ad-hoc 기반의 소규모 센서 네트워크에서부터 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.

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 무선기기 가 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.

본 논문은 효과적인 스펙트럼 센싱을 위하여 Short Time Fourier Transform 알고리즘 적용 방법을 제안하였다. 2장에서 스펙트럼 센싱

기술 중 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.

2. 스펙트럼 센싱 기술

가. Modified Periodogram Method

기존 Periodogram Method는 신호의 검출을 할 경우 중요 요인으로 작용하는 Window함수가 구형으로 제한된다. 그에 따른 신호 검출의 난해성으로 인해 Modified Periodogram Method이 고안되었다. 이 방법은

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

으로, 기존의 수식에 U라는 변수가 첨가된 형태이다.

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

U는 Window함수를 일반화한 값으로 선택하는 Window에 독립적이다. 구형 Window는 신호에 Window가 곱해졌을 때 Time

Sample이 가늘어지므로 신호의 평균 파워에 영향을 미친다.

이러한 Periodogram 함수의 단점을 보상하고자 Window의 평균과 위를 곱한 것이다.

나. Welch's Method

이 기법은 1967년 그의 논문에서 언급되었으며, 역시 PSD를 근간으로 한다. 시계열에서 신호를 세그먼트 단위로 나누어 각 세그먼트들을 Modified Periodogram Method를 이용하여 계산한다. 조건이 주어지지 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.

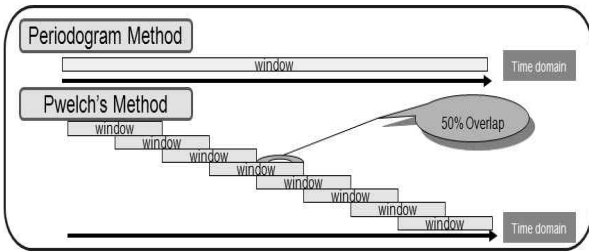


그림 1. Periodogram과 Welch's Method의 비교

3. 스펙트럼 센싱 향상을 위한 Short Time Fourier Transform 알고리즘 제안

가. Short Time Fourier Transform (STFT)

아날로그 및 이산 신호에 대한 주파수 분석 기법으로 가장 많이 사용되는 기술은 Fourier Transform이다.

그러나 Fourier Transform은 분석하고자 하는 신호와 무한 주기를 가지는 사인파 기저함수의 내적을 통해 수행된다. 그러므로 신호가 정상(Stationary)일 경우 Fourier Transform을 통해 신호를 쉽게 해석할 수 있으나 신호가 비정상(Non-Stationary)인 경우 주파수 성분은 전 주파수 대역에 나타나게 되어 Fourier Transform을 이용한 시간에 따른 신호 해석은 어렵게 된다. 특히 기계의 결함에 의해서 발생하는 신호는 비정상신호로서, 단순히 주파수성분만 표시하는 Fourier Transform으로서는 결함의 발생 시기 및 그때의 주파수성분 분석을 통한 동특성을 이해하기가 어렵다. 이 경우에는 결함이 발생하는 순간에 주파수 분석을 할 수 있는 방법이 필요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 1946년 D.Gabor는 신호의 안정성을 고려하여 대상 신호를 프레임 단위로 나누어 일정한 크기의 창을 움직이면서 Fourier Transform을 수행하는 Short Time Fourier Transform을 처음으로 도입하였다.

STFT는 분석하고자 하는 신호에 Window함수를 적용한 후 Fourier Transform을 수행하는 것으로

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

로 뜻매김 할 수 있다. 여기서 $x(t)$ 는 분석하고자 하는 신호이

고, $w(r-t)$ 는 Window 함수이다.

나. 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 Window 및 중첩 정도가 정해져있는 Welch's Method와 달리 STFT는 적용 Window 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. 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 다음과 같다.

$$\omega(n) = \begin{cases} \frac{I_0(\beta) \sqrt{1 - ((n - 0.5N)/0.5N)^2}}{I_0(\beta)} & , 0 \leq n \leq N \\ 0 & , otherwise \end{cases} \quad (4)$$

Kaiser Window의 매개변수로는 Window의 길이 N 과 다음 식으로 주어지는 shape 변수 β 가있다.

$$\beta = \begin{cases} 0.1102(A_s - 8.7) & , A_s > 50 \\ 0.5842(A_s - 21)^{0.4} + 0.07886(A_s - 21) & , 50 \geq A_s \geq 21 \\ 0 & , A_s < 21 \end{cases} \quad (5)$$

위 식에서 Stopband Attenuation A_s 는

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

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.

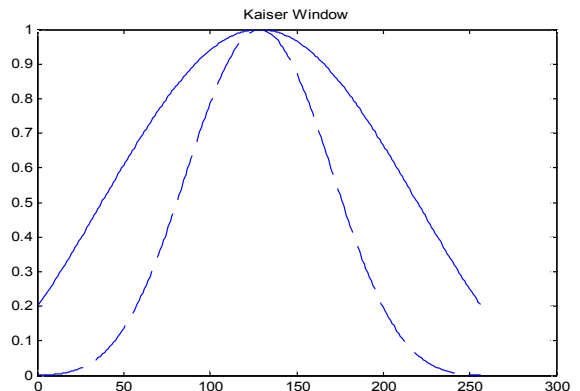


그림 2. β 값에 따른 Kaiser Window 모양

실선은 β 값이 3일 때이고, 점선은 β 값이 10일 때의 형태를 나타낸다.

식(4)에서 $I_0(x)$ 는 Zeroth-order Modified Bessel Function이고 수식적인 정의는 다음과 같다.

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

β 와 같이 Kaiser Window의 매개 변수인 N은

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

Δw 는 Transition Bandwidth이고 Stopband Attenuation A_s 와 함께 Window의 길이 N을 결정하는 변수가 된다.

4. 모의실험 및 분석

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.

해당 신호의 파라미터는 [표 1]과 같다.

표 1. 입력 신호 파라미터
Table 1. Input Signal Parameter.

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

[표 1]와 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.

가. Modified Periodogram Method 적용 결과

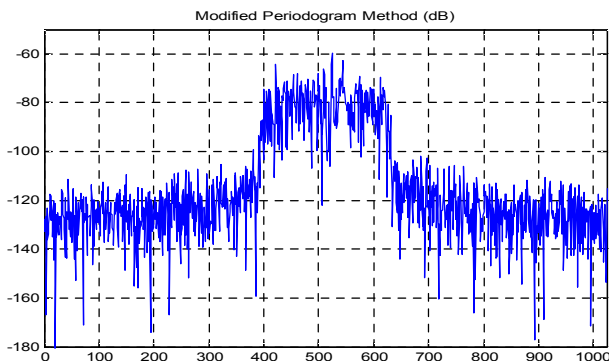


그림 3. Modified Periodogram Method의 스펙트럼 센싱 결과

[그림 3]은 DVB-H 신호에 Modified Periodogram Method를 적용한 결과이다.

주파수 도메인에서 신호구간의 평균 레벨은 -78dBm이고 잡음구간의 평균 레벨은 -120dBm으로 42dB의 차이를 보이며, 신호와 잡음이 불규칙한 부분이 많이 보이기 때문에 잡음 및 페이딩의 영향을 받는 실 환경에서는 센싱 성공률이 낮아질 가능성이 있다.

나. Welch's Method 적용 결과

[그림 4]은 DVB-H 신호에 Welch's Method를 적용한 결과이다.

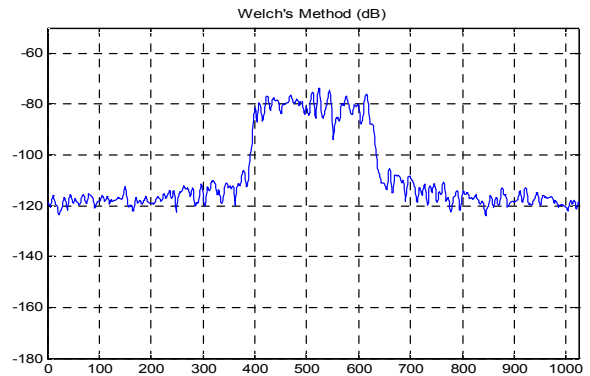


그림 4. Welch's Method의 스펙트럼 센싱 결과

주파수 도메인에서 신호구간의 평균 레벨은 -79dBm이고 잡음구간의 평균 레벨은 -115dBm으로 36dB의 차이를 보인다. 신호구간과 잡음구간의 레벨 차이는 Modified Periodogram Method보다 적게 나타나지만 신호의 불규칙함이 적어 안정적인 형태를 나타내므로 잡음 및 페이딩 환경에서의 센싱 성능은 Modified Periodogram Method보다 우수하다고 할 수 있다.

다. Short Time Fourier Transform 적용 결과

[그림 5]은 DVB-H 신호에 STFT를 적용한 결과이다.

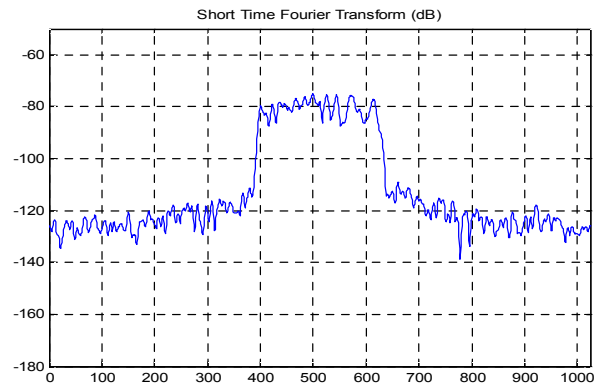


그림 5. STFT의 스펙트럼 센싱 결과

주파수 도메인에서 신호구간의 평균 레벨은 -80dBm이고 잡음구간의 평균 레벨은 -121dBm으로 41dB의 레벨 차를 보이며,

이 값은 Welch's Method 보다 크게 나타난다. 또한, 신호 구간과 잡음 구간의 레벨 차가 비슷하게 나타난 Modified Periodogram Method보다 안정적인 스펙트럼을 나타냄을 확인 가능하며, 윈도우의 차이만을 둔 채 동일한 중첩 정도를 적용한 Welch's Method와는 레벨 차뿐만 아니라, 신호 구간에 나타나는 불규칙하게 낮아지는 부분 또한 보정이 되어 안정적인 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

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.

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 가능하다. 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 안정적인 스펙트럼을 보이며, 신호 구간의 레벨과 잡음 구간의 레벨 차이도 Welch's Method 에 비해 크게 나타나, 비교한 센싱 알고리즘 중 가장 좋은 성능을 보인다. 이렇게 Short Time Fourier Transform을 적용하여 스펙트럼 센싱의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

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

[3] 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).

[4] Tomazic, S. Znidar, S. "A fast recursive STFT algorithm" Electrotechnical Conference, 1996. MELECON '96., 8th Mediterranean, vol.2 pp.1025 - 1028 13-16 May 1996

[5] http://www.dsprelated.com/dspbooks/sasp/STFT_Kaiser_Window_Beta_10.html

[6] Thomas, G. Flores, B.C. Jae Sok-Son "SAR sidelobe apodization using the Kaiser window" mage Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference on vol1 pp.709 - 712 10-13 Sept. 2000

[7] J.P.Marques de Sa "A Note on The Kaiser window" FEUP/DEEC, pp.1 - 8 Oct. 17, 2003

[8] Yuan-Pei Lin Vaidyanathan, P.P "A Kaiser window approach for the design of prototype filters of cosine modulated filterbanks" Signal Processing Letters, IEEE, Volume 5, Issue 6, Page(s):132 - 134 June 1998