

논문 2010-3-6

Digital Down Converter 시스템과 스펙트럼 센싱 기법 연동 방안

Linkage between Digital Down Converter System and Spectrum Sensing Method

홍무현*, 문기탁*, 김주석**, 김경석**

Moo-Hyun Hong, Ki-Tak Moon, Ju-Seok Kim, Kyung-Seok Kim

요 약 무선통신 시스템마다 다르게 적용되는 주파수를 해당 통신 규격에 따라 변환하는 기술인 DDC(Digital Down Converter)는 향후 통신 기술 발달을 위해 필요한 기술로 무선 통신 및 SDR(Software Defined Radio) 시스템에서 필수적인 구성 요소로 인식되고 있다. 또한, 주파수 자원 부족 현상으로 인해 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 효율적인 통신 환경을 구성하는 스펙트럼 센싱에 대한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 DDC 시스템을 구성하는 CIC(Cascaded Integrator Comb) 필터, WDF(Wave Digital Filter), SRC(Sample Rate Conversion)의 각 모듈을 세부적으로 분석하였으며, 주파수의 사용 효율을 높이기 위해 DDC 시스템과 스펙트럼 센싱을 효과적으로 연동하는 방안을 제안하고 모의실험에서 검증하였다. 모의실험결과 DDC 시스템의 각 모듈에 스펙트럼 센싱 기능을 적용하여 성능 및 복잡도의 결과를 도출하여 제안한 시스템의 결과를 확인하였다.

Abstract DDC(Digital Down Converter) is a conversion technology to decimate to a lower sampling rate and DDC for the future development of communications technology has the necessary skills. So, it has been recognized in the wireless and the SDR(Software Defined Radio) system as essential components. In addition, research is underway on spectrum sensing for efficient communications environment due to the shortage of frequency resources. In this paper, the DDC systems were analyzed for CIC(Cascaded Integrator Comb) Filter, WDF(Wave Digital Filter), SRC(Sample Rate Conversion) each module. Moreover, we proposed a linkage effectively between DDC system and Spectrum Sensing for improve the efficiency of use of frequency by computer simulations. The simulation results of the DDC system was applied to the spectrum sensing capabilities. Also, performance and complexity of the results were derived and proposed system was the result of the check.

Key Words : SDR, Multirate DSP, DDC, 스펙트럼 센싱, Cognitive Radio

I. 서 론

현재의 개인 이동통신 시스템은 세계적으로 다양한 표준이 존재하고 각 국가마다 사용하는 여러 종류의 무선 프로토콜로 인하여 국제적인 로밍(roaming) 서비스가

완전하게 이루어지고 않고 있다.

결국 일부 지역의 서로 다른 무선 인터페이스와 호환성이 보장되지 않는 접속 프로토콜의 사용으로 인하여 로밍이 매우 어렵고, 각 지역에 따라 독립적인 송수신 시스템을 요구한다. 이는 2세대와 3세대만의 문제가 아니라 현재 사용되는 3.5세대에서도 대두되고 있는 문제이다. 따라서 다양한 무선 통신 시스템을 하드웨어의 변경

*준회원, 충북대학교 전자정보대학 전파통신공학과

**정회원, 충북대학교 정보통신공학과

접수일자 2010.04.06 수정일자 2010.05.28

이나 교체 없이 소프트웨어의 변환을 통한 다양한 통신 방식의 취합을 위한 SDR(Software Defined Radio) 기술의 사용 및 연구가 중요한 문제로 부각되고 있다^[1]. SDR 기술의 상용화를 위하여 연구되어야 하는 구성 요소 중 통신 시스템마다 다르게 적용되는 주파수를 해당 통신 규격에 따라 변환하는 기술인 DDC(Digital Down Converter)는 그 중요성이 더욱 대두되고 있다. DDC는 특정 주파수로의 변환을 목적으로 하며, 향후 통신 기술 발달을 위해 필요한 기술로, 현재 레이더, 수중 음파 탐지기, 무선 통신 및 SDR 시스템에서 필수적인 구성 요소로 인식되고 있으며, 각 시스템에 효율적인 DDC 시스템이 연구되고 있다^[2].

또한, 주파수 자원 부족 현상이 심화되면서 유연한 전파 관리 체계의 도입을 목적으로 연구되는 CR(Cognitive Radio)의 주요 기술인 스펙트럼 센싱 기술도 자원 활용의 효율성을 극대화 할 수 있는 기술로 각광받고 있다^[3]. 스펙트럼 센싱은 해당 주파수 대역의 신호 유무 및 신호의 형태를 지능적으로 검출하고 이를 이용하여 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 통신하는 지능형 무선 통신 기술을 말한다.

본 논문에서는 DDC 시스템을 정의하고 시스템을 구성하는 각 모듈들을 분석하였으며, 주파수의 사용 효율을 높이기 위해 DDC 시스템과 스펙트럼 센싱 기능을 효과적으로 통합하는 방안을 제안하고 이를 모의실험을 통해 확인하였다.

II. Digital Down Converter 기술

무선 통신 시스템에서 임의의 신호를 입력받아 소프트웨어적인 재구성을 통해 특정 규격이나 특정 목적의 통신 송수신 시스템으로 변경하여 제공할 경우가 발생한다. 이 경우 디지털 신호의 주파수를 변환하기 위하여 DDC 시스템을 사용한다. 그림 1은 DDC 시스템의 구조를 간단하게 나타낸 것이다^[4].

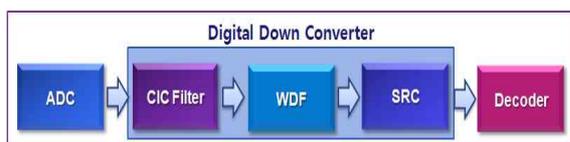


그림 1. DDC 기반 수신시스템
Fig. 1. DDC Based Receiver System

DDC는 여러 개의 필터 및 decimator, interpolator로 구성되며, 안테나를 통해 수신된 임의의 신호가 RF와 ADC를 통과 후의 신호 처리 과정을 나타낸 Digital Front-End 과정을 나타내는데 크게 CIC(Cascaded Integrator Comb) 필터, WDF(Wave Digital Filter), SRC(Sampling Rate Conversion)의 일련의 과정을 통하여 최종적으로 특정 규격의 신호로 변환시켜 쓸 수 있다.

1. CIC(Cascaded Integrator Comb) 필터

CIC(Cascaded Integrator Comb) 필터는 FIR 필터에 기초를 두는 저역 통과 필터로써 interpolation과 decimation을 수행 한다^[5]. CIC 필터는 integrator 필터부와 comb 필터 부로 구성되고 CIC 필터의 주파수 응답은 integrator 필터와 comb 필터의 주파수 응답의 곱으로 표시된다.

Integrator 필터는 직렬로 연결된 N개의 integrator로 이루어지며 식(1)의 전달함수를 갖는다.

$$H_I(z) = \left(\frac{1}{DM} \frac{1}{1-z^{-1}} \right)^N \quad (1)$$

식(1)에서 M은 decimation factor로 M을 증가시키면 main lobe부분의 성능이 향상되고, 차수 N을 증가시키면 저지대역의 특성을 향상시켜 저지대역의 감쇠특성이 향상된다. 또한, D는 comb 필터에서의 차동 지연을 나타내는 factor로 M factor처럼 증가할수록 main lobe의 성능이 향상 된다.

Comb 필터 부는 식(2)의 전달함수를 갖는다.

$$H_C(z) = (1 - z^{-DM})^N \quad (2)$$

그러므로 CIC 필터의 전체 전달 함수는 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$H_{CIC}(z) = \left(\frac{1}{DM} \frac{1-z^{DM}}{1-z^{-1}} \right)^N \quad (3)$$

여기에서 D factor값은 대부분 1로 설정해 주기 때문에 다시 정리해 보면 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$H_{CIC}(z) = \left(\frac{1}{M} \frac{1 - z^M}{1 - z^{-1}} \right)^N \quad (4)$$

2. WDF(Wave Digital Filter)

WDF는 Half-band 필터로 decimation의 수행과 CIC 필터의 보상을 위해 사용되는 IIR 필터의 한 형태이다. WDF는 복중단 무손실 회로망을 웨이브 개념으로 이용하여 디지털 영역으로 변환해서 얻어지며 필터 계수 및 필터 내부 신호들의 양자화에 대해서 좋은 동작특성 갖고 있기 때문에 많이 이용되고 있다^[6].

Half-band 필터의 주파수 응답 $G(z)$ 는 식(5)와 식(6)을 만족하고 식(7)과 식(8)을 만족할 경우 식(9)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$1 - \delta_p \leq |G(e^{j\omega})| \leq 1, \quad 0 \leq \omega \leq \omega_p \quad (5)$$

$$|G(e^{j\omega})| \leq \delta_s, \quad \omega_s \leq \omega \leq \pi \quad (6)$$

그리고 다음 조건을 만족한다.

$$\omega_p + \omega_s = \pi \quad (7)$$

$$(1 - 2\delta_p)^2 + \delta_s^2 = 1 \quad (8)$$

이 식은 다음과 같이 표현된다.

$$G(z) = \frac{1}{2} [A_0(z)^2 + z^{-1} A_1(z)^2] \quad (9)$$

식(9)의 $A_0[z]$ 와 $A_1[z]$ 는 all-pass 필터의 크기(magnitude)이고, 식(8)의 δ_p 와 δ_s 는 통과대역(passband)과 저지대역(stopband) 리플이다. 또한, 식(7)의 ω_p 와 ω_s 는 통과대역과 저지대역의 정상적인 주파수이다.

$G(e^{j\omega})$ 는 Half-band frequency인 $\pi/2$ 를 기준으로 서로 대칭을 이룬다. 또한, 이 필터는 서로 보완하는 필터인 $H_1(z)$ 를 가진다. $H_1(z)$ 는 고역 통과 필터로써 전달 함수는 식(10)과 같다.

$$H_1(z) = \frac{1}{2} [A_0(z^2) - z^{-1} A_1(z^2)] \quad (10)$$

그림 2는 식(9)와 식(10)을 기반으로 하여 Half-band IIR필터를 구현한 것이다^[7].

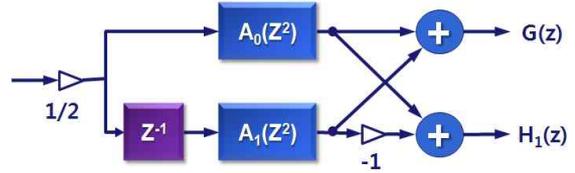


그림 2. IIR Half-band필터의 구현
Fig. 2. Block of IIR Half-band Filter

아날로그 필터를 기반으로 하여 디지털 필터로 변환할 시에는 Bilinear transformation을 이용한다.

$$\Psi = \tanh\left(\frac{pT}{2}\right) = \frac{e^{pT} - 1}{e^{pT} + 1} = \frac{z - 1}{z + 1} \quad (11)$$

식(11)에서 $\Psi = j\Phi$ 는 라플라스 평면의 허수부에 존재하는 변수, $z = e^{pT}$ 는 z 평면의 단위원 상에 존재하는 z 변수이고, Φ 와 p 는 각각 실제의 아날로그 및 디지털 주파수이며 T 는 표본화 주기이다.

3. SRC(Sampling Rate Conversion)

샘플링 주파수를 변경할 수 있게 하는 시스템을 SRC(Sampling Rate Conversion)라고 하는데 이것은 어떤 신호를 주어진 sampling rate에서 다른 sampling rate로 변환하는 것을 말한다^[8]. 이 SRC는 interpolation과 decimation으로 구성이 된다.

이상적인 저역 통과 필터는 interpolation과 decimation 양쪽에 대한 필터링 동작을 결합해야 하므로 식(12)처럼 이상적인 주파수 응답 특성을 가져야 한다.

$$H(\omega_v) = \begin{cases} L, & 0 \leq |\omega_v| \leq \min(\pi/M, \pi/L) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

Interpolation 수행 후 출력 $v(k)$ 는 식(13)과 같고,

$$v(k) = \begin{cases} x(k/L), & k = 0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

저역 통과 필터 통과 후 출력 $\omega(l)$ 은 식(14)와 같다.

$$\omega(l) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} v(k)h(l-k) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(l-kL) \quad (14)$$

마지막으로 SRC의 최종 출력 $y(m)$ 은 저역통과 필터의 출력 $\omega(l)$ 을 decimation factor M 으로 decimation 해서 얻을 수 있다.

최종적으로 SRC의 최종 출력은 식(15)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$y(m) = \omega(mM) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(mM-kL) \quad (15)$$

III. 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. 스펙트럼 센싱 기술 중 Periodogram Method는 스펙트럼을 가장 간단하게 검출할 수 있고, 윈도우의 변화를 이용해 Modified Periodogram Method와 Welch's Method 기법이 제안되었다^[3].

본 논문에서는 위의 세 가지 방법 중 기준에 성능이 가장 좋게 검증된 Welch's Method를 적용하였다.

1. Welch's Method

이 기법은 1967년 P.D.Welch의 논문에서 언급되었으며, PSD를 근간으로 한다^[9]. 그림 3은 Modified Periodogram Method와 Welch's Method의 차이점인 윈도우의 적용을 비교하여 나타낸 것이다.

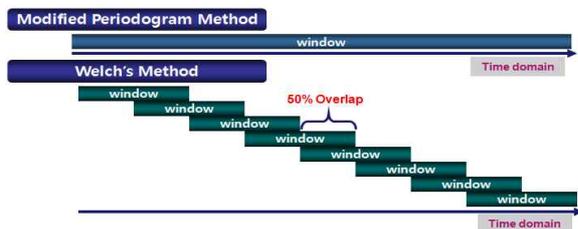


그림 3. Periodogram Method와 Welch Method의 비교

Fig. 3. Comparison of Periodogram Method and Welch's Method

시계열에서 신호를 세그먼트 단위로 나누어 각각의 세그먼트들을 Modified Periodogram Method의 식을 이용하여 계산한다.

이 기법의 스펙트럼은 식(16), 식(17)와 같으며,

$$\widehat{P}_{xx}(f) = \frac{|X_L(f)|^2}{f_s L U} \quad (16)$$

$$U = \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |\omega(n)|^2 \quad (17)$$

식(17)의 U 는 윈도우 함수를 일반화한 값으로 선택하는 윈도우에 독립적이다.

조건이 주어지지 않을 경우 신호를 8개의 세그먼트로 나누고 각각은 50%씩 중첩이 되도록 계산한다. 단, 윈도우에 대한 조건이 없을 경우 기본 윈도우로 해밍 윈도우를 사용한다.

IV. DDC(Digital Down Converter) 환경에서의 스펙트럼 센싱 기술 적용 분석

1. 제안한 시스템 구성

DDC 시스템은 향후 통신 기술의 발달을 위해 필요한 기술이며, 해당 기술과 스펙트럼 센싱 기술을 접목함으로써 주파수의 활용도 및 여러 통신 시스템을 통합할 수 있는 기술적 제반이 갖추어 질 수 있을 것이다. 본 논문에서는 차세대 무선통신 기술인 무선인지(Cognitive Radio) 환경에서 필수적으로 필요로 하는 DDC 기술과 스펙트럼 센싱 기술을 연동한 시스템을 제안하여 분석하고자 한다.

그림 4는 본 논문에서 제안한 DDC 시스템에 스펙트럼 센싱 기술을 적용한 그림이다.

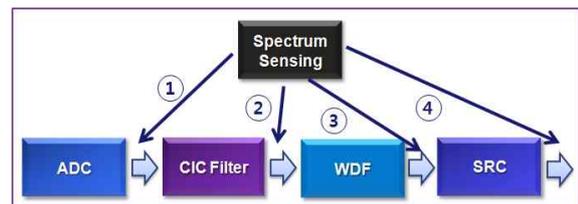


그림 4. 스펙트럼 센싱 기술을 적용한 DDC 시스템
Fig. 4. Using Spectrum Sensing DDC System

DDC 시스템은 그림 1에서 제시한 일반적인 구조 형태로써 기존 DDC 시스템에 스펙트럼 센싱 기술의 연동 시 전체 복잡도(complexity)를 줄이고자 구성도의 필터 각 단계에 스펙트럼 센싱 기술을 적용하여 제안하였고, 전체 시스템의 성능 및 복잡도를 분석하고자 한다.

2. 모의실험 및 분석

그림 4에서 스펙트럼 센싱 기술을 DDC 시스템의 모듈인 CIC 필터, WDF, SRC에 각각 적용하여, 성능 및 효율을 확인하는 형태로 모의실험을 진행하였다. 본 논문에서의 입력신호는 WPAN 계열의 OFDM 신호를 적용하였다. 해당 입력신호의 구체적인 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 입력 신호 파라미터
Table 1. Input signal Parameters

Signal	Parameter	Value
WPAN-OFDM	Bandwidth	5 MHz
	Modulation	QPSK
	FFT Size	1024
	Number of Samples	4096
	AWGN	0 dB

그림 5은 그림 4에서 ①지점에서의 스펙트럼 센싱 결과이다.

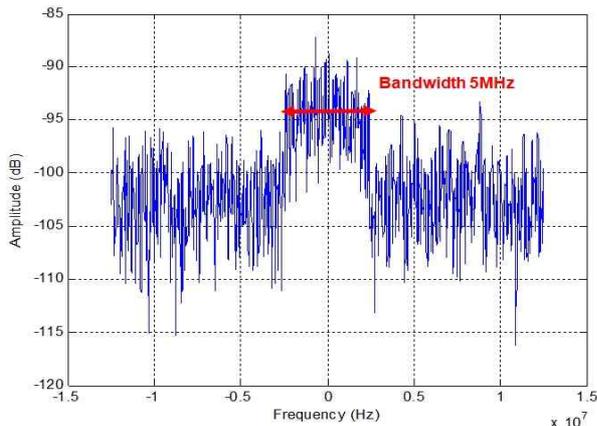


그림 5. CIC 필터 전 스펙트럼 센싱 결과
Fig. 5. Spectrum Sensing Results of CIC filters ago

분석 결과 잡음 레벨은 -103.12dB, 신호 레벨은 -94.52dB로 약 8.41dB의 차이를 보임을 알 수 있다. 적용된 CIC 필터의 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. CIC 필터의 세부 파라미터
Table 2. Details of CIC filter Parameters

Delay	차수	Decimation Factor
1	2	4

그림 6은 표 2의 파라미터로 설계한 CIC 필터의 전달 함수이다.

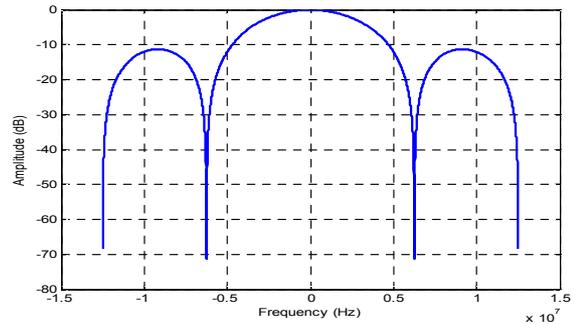


그림 6. CIC 필터의 전달함수
Fig. 6. CIC filter's transfer function

CIC 필터는 2장에서 설명한 것처럼, decimation factor를 증가시키면 CIC 필터의 통과대역이 좁아지기 때문에 입력신호에 맞게 decimation factor를 조절하여 통과대역을 만들 수 있다. 본 논문에서는 WPAN-OFDM 신호 (Band Width : 5MHz)를 이용하였는데 적용된 CIC 필터에서 decimation factor는 최대 4까지 적용할 수 있다. 만일 decimation factor가 4를 넘어갈 경우에는 통과 대역이 좁아져 신호 잘림 현상이 발생한다.

그림 7은 CIC 필터를 통과하여 스펙트럼 센싱한 결과이다. 즉, 그림 4에서 ②지점에서의 스펙트럼 센싱 결과이다.

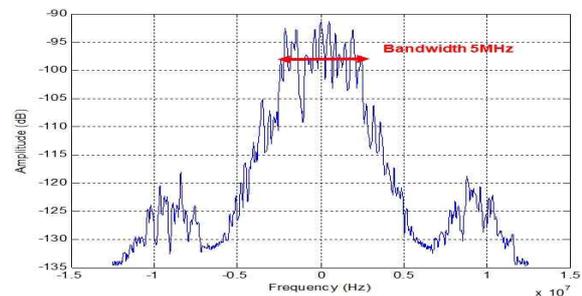


그림 7. CIC 필터 적용 후 스펙트럼 센싱 결과
Fig. 7. Spectrum Sensing Results of after CIC filters

Decimation factor가 4인 CIC 필터를 적용하여 일부 잡음을 제거하였고, 그림 5보다 샘플 수가 4배 줄어 1024 개의 샘플 수를 확인하였고, 잡음 레벨은 -124.58dBm이고 신호 레벨은 -97.56dbm으로 약 27.02dB의 차이를 보였다.

적용된 WDF의 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. WDF의 세부 파라미터
Table 3. Details of WDF Parameters

저지대역 감쇠	차수	Decimation Factor
36dB	5	2

그림 8은 표 3의 파라미터로 설계한 WDF의 전달함수이다.

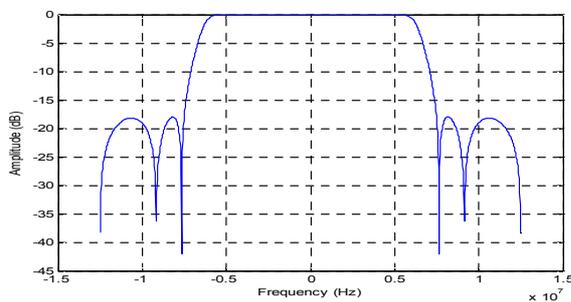


그림 8. WDF의 전달함수
Fig. 8. WDF's transfer function

그림 8의 WDF는 샘플 레이트(sample rate)을 2배 낮춰주기 위해 사용하는 필터로 CIC 필터의 처짐현상(droop)을 보상하기 위해 사용되었다.

그림 9은 WDF를 통과하여 스펙트럼 센싱한 결과이다. 즉, 그림 4에서 ③지점에서의 스펙트럼 센싱 결과이다.

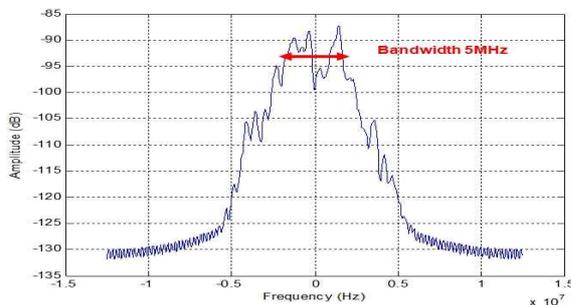


그림 9. WDF 적용 후 스펙트럼 센싱 결과
Fig. 9. Spectrum Sensing Results of after WDF

해당 신호에 WDF를 적용하여 일부 잡음을 제거하였고, decimation factor를 2로 정해 주었기 때문에 1024 샘플의 그림 7의 스펙트럼보다 샘플 수가 2배로 줄어 512 샘플이 되는 것을 확인 하였다. 따라서 스펙트럼 센싱 기술을 적용해 검출된 스펙트럼이 샘플 수가 적기 때문에 스펙트럼의 개형이 비교적 단순하다. 잡음 레벨은 -123.84dBm이고, 신호 레벨은 -95.12dBm으로 약 28.69dB의 신호-잡음 차를 확인하였고, 이 지점에서 스펙트럼 센싱 기술의 적용이 효율적일 것이다.

그림 10은 SRC를 통과하여 스펙트럼 센싱한 결과이다. 즉, 그림 4에서 ④지점에서의 스펙트럼 센싱 결과이다.

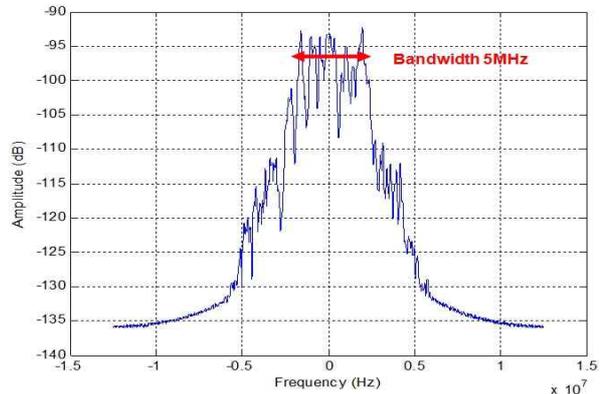


그림 10. SRC 적용 후 스펙트럼 센싱 결과
Fig. 10. Spectrum Sensing Results of after SRC

그림 10은 SRC를 수행한 결과로 512의 샘플을 interpolation factor는 7, decimation factor는 3으로 적용하여 1195 샘플이 되는 것을 확인하였다. 또한, DDC 시스템을 이용하여 특정 주파수의 원하는 샘플 레이트(sample rate)로 변환한 최종 스펙트럼이다. 잡음 레벨은 -129.03dBm이고, 신호 레벨은 -99.23dBm으로 약 29.8dB의 잡음-신호 레벨차를 확인하였다. 이 지점에서 잡음-신호 레벨의 차이가 가장 크게 나기 때문에 스펙트럼 센싱 알고리즘의 적용이 가장 효율적일 수 있으나, ③지점에서의 샘플 보다 많기 때문에 복잡도 측면은 비효율적일 것이다.

표 4는 위에서 수행한 시뮬레이션 결과를 토대로 DDC에서의 스펙트럼 센싱 알고리즘의 적용과 샘플 수, 신호 레벨과 잡음 레벨의 차이를 비교한 내용이다.

표 4. 스펙트럼 센싱 기술 적용에 따른 샘플 수, decimation factor, 잡음 및 신호 레벨 차
 Table 4. Spectrum sensing technology based on the Number of samples, Decimation factor, the difference between noise and signal levels

스펙트럼 센싱 적용	샘플 수	Interpolation Factor	Decimation Factor	잡음 레벨	신호 레벨	신호-잡음 차
① Before CIC Filter	4096	-	4	-102.93 dBm	-94.52 dBm	8.41 dB
② Before WDF	1024	-	2	-124.58 dBm	-97.56 dBm	27.02 dB
③ Before SRC	512	7	3	-123.84 dBm	-95.15 dBm	28.69 dB
④ After SRC	1195	-	-	-129.03 dB	-99.23 dB	29.8 dB

앞의 그림 4에서 스펙트럼 센싱 기술을 적용하기 위해 선정된 ①~④의 위치에서 잡음 레벨과 신호 레벨, 잡음과 신호의 레벨 차를 나타내었고, 각 필터의 interpolation factor와 decimation factor의 적용에 따른 샘플 수를 나타냈다. 이 결과를 통해 DDC 시스템 설계에 스펙트럼 센싱의 적용을 고려할 때, DDC 시스템의 하부 구성에 스펙트럼 센싱 기술을 적용 할 경우 복잡도가 낮아져 효율적인 스펙트럼 센싱 기술이 적용된 DDC 시스템을 구성 할 수 있게 될 것이다.

표 4에서 보면 스펙트럼 센싱 기술을 적용할 가장 효율적인 필터의 부분은 ③지점이다. 이것은 입력된 신호가 CIC 필터, WDF를 거치며 decimation을 수행하여 샘플 수가 가장 적고, 신호 레벨과 잡음 레벨의 차이가 크게 나타났기 때문이다. ②지점과 ④지점 또한 신호 레벨과 잡음 레벨의 차이가 크게 나타났다. 하지만 WDF의 decimation을 수행하기 전이기 때문에 샘플 수가 비교적 많고, SRC에서 유리수 배의 샘플 레이트를 만들어 주기 위해 interpolation을 수행하기 때문에 샘플 수가 많다. 이 때문에 ③지점에서의 스펙트럼 센싱의 적용이 가장 효율적으로 분석되었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 DDC 시스템 환경에서 스펙트럼의 효율성을 위한 스펙트럼 센싱 기술 적용 방안을 제안하였다.

DDC 시스템의 각 단계 스펙트럼 센싱 기술을 적용하며 샘플 수와 복잡도의 관계 및 신호 레벨과 잡음 레벨의

차이 등을 분석을 통해 DDC 시스템의 하부에 스펙트럼 센싱 기술의 적용이 효율적임을 확인하였다.

더불어 CIC필터의 decimation factor의 조절을 통하여 기존 DDC 시스템과 스펙트럼 센싱 기술의 성능을 높일 수 있을 것이다. 다시 말하면, decimation factor에 따라 통과대역이 좁아지는 특성을 이용하여 스펙트럼 센싱 기술의 성능 및 효율 면에서의 상승효과를 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이원철, "멀티모드용 SDR 기반 디지털 IF 기술", 한국통신학회지(정보통신) 제 19권 11호, 2002. 11
- [2] Feiteng Luo, Weidong Chen, "An Economical TDM Design of Multichannel Digital Down Converter", Signal Processing 2008, ICSP 2008, 9th International Conference on 26-29 Oct. 2008
- [3] 이현소, 김경석, "IEEE 802.22 WRAN 기반 스펙트럼 센싱 모듈 구현", 한국콘텐츠학회논문지 제9권 제3호, 2009.3
- [4] E2R II White Paper, "RF Transceiver Architecture for Cognitive Radio User Equipment ", End to End Reconfigurability II White Paper, 2007.06
- [5] Dolecek G.J., Carmona J.D, "A New Cascaded Modified CIC-Cosine Decimation Filter", Circuits and Systems 2005, ISCAS 2005, IEEE International Symposium on, 23-26 May 2005
- [6] 김상민 외4, "디지털 영역에서 파이프라인 가능한 제자형 웨이브 디지털 필터구조의 유도", 대한 통신학회 논문지 제23권 9호, 1998.09
- [7] S.A. Samada,*, A.Hussaina, D.Isab, "Wave digital filters with minimum multiplier for discrete Hilbert transformer realization" ScienceDirect, Sinal Processing 86(2006)3761-3768, 2006.04
- [8] John G.Proakis, Dimitris G. Manolakis, "DIGITAL SIGNAL PROCESSING-Principles, Algorithms, and Applications", Pearson Prentice hall, 2007
- [9] 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, Volume AU-15 (June 1967), pages 70-73.

[10] Tianqi Wang, “Sample Rate Conversion Technology in Software Defined Radio”, IEEE CCECE/CCGEL, Ottawa, 2006.05

저자 소개

홍 무 현(준회원)



- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
- <주관심분야 : Multi-rate DSP, SDR, Spectrum Sensing>

문 기 탁(준회원)



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

김 주 석(준회원)



- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년 2월 : 충북대학교 전파공학과 대학원(공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원(박사 과정)
- <주관심분야 : Cross Layer, Scheduling, CR, WLAN>

김 경 석(정회원)



- 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
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB>