

스펙트럼 센싱 기반 전력선 통신 시스템 구현

Implementation of PLC System based on Spectrum Sensing Function

이현소*, 남윤호*, 홍무현*, 장동원**, 이영환**, 김경석*
충북대학교 전자공학과*, 한국전자통신연구원**

Hyun-So Lee(hyunso.lee@gmail.com)*, Yun-Ho Nam(nyh1982@hotmail.com)*,
Moo-Hyun Hong(kevinhong83@naver.com)*, Dong-Won Jang(dwjang@etri.re.kr)**,
Young-Hwan Lee(yhwan@etri.re.kr)**, Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)*

요약

인터넷 서비스가 주 정보원으로 작용하는 정보화 시대에 인터넷 망이 닿지 않는 지역에 인터넷 서비스를 제공하기 위해 전력선 통신이 이루어지고 있다. 하지만, 전력선은 통신 선로가 아니므로 통신 신호의 흐름에 따라 방사되는 전파가 발생하고, 그 전파는 기존에 그 대역을 사용하는 무선 통신 서비스와 간섭이 발생하게 된다. 본 논문에서는 전력선 통신과 무선 통신 서비스의 상호 간섭을 줄이기 위해 스펙트럼 센싱 기술과 Notch Filter 적용 방안을 제안하였다. 스펙트럼 센싱은 주변의 허가된 무선국을 보호하기 위해 주변 무선 환경을 탐색하여 빈 주파수 대역을 찾아 임시적으로 주파수 대역을 사용할 수 있도록 하는 Cognitive Radio(CR)기술의 핵심 기술이다. 또한, 각각의 스펙트럼 센싱 모듈과 Notch Filter의 기능들을 임베디드 보드를 통하여 구현하였다.

■ 중심어 : | 스펙트럼 센싱 | Cognitive Radio | 전력선 통신 | 노치 필터 |

Abstract

Today, Internet service is a most important Information Source. So, the Power Line Communication has been achieved to offer Internet service to Last-Mile area. But, Power Line is not suitable for communication, So, electromagnetic wave is generated from Power Line during flow of communication information. And the electromagnetic wave is interfered with Wireless Communication Service using the same frequency range. In this paper, the Notch Filter and the Spectrum Sensing technology are proposed to reduction of interference between Power Line Communication and Wireless Communication Service. The Spectrum Sensing technology is the core technology of the Cognitive Radio (CR) system. CR is the technology that temporarily allocates the frequency bandwidth by scanning surrounding wireless environments to keep licensed terminals and search the unused frequency bandwidth. The proposed emulator is implemented with Spectrum Sensing and Notch Filter system using Embedded Board.

■ keyword : | Spectrum Sensing | Cognitive Radio | Power Line Communication | Notch Filter |

1. 서론

전력선 통신(Power Line Communication, PLC)은

PLT(Power Line Carrier, Mains Communication, Power Line Telecom) 또는 PLN(Power Line Networking)으로도 불리며 전력을 실어 나르는 도체에

* 본 연구는 한국방송통신위원회 안전한 전자파환경 조성 연구과제로 수행되었습니다.

접수번호 : #091007-001

접수일자 : 2009년 10월 07일

심사완료일 : 2009년 11월 06일

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

데이터를 전송시키는 통신 시스템이다. 그러나 전력선 통신에 이용되는 전력선은 기본적으로 60Hz의 전력을 전송하도록 설계되었으므로 이보다 높은 고주파 신호를 전송하게 되면 표피효과(Skin Effect)로 인하여 전파가 방사되어 부근의 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다. 그러므로 현재 전력선 통신에서 사용하는 주파수 대역(80MHz 이하)의 일차 이용자(ITU-R에서 국제적으로 할당)는 간섭에 대한 우려 때문에 전력선 통신의 활성화를 반대하고 있다[1][2]. 현재 전력선 통신에는 허용 전류 기준치가 규정되어 있지만, 전류 기준치만으로는 간섭을 완벽히 제거할 수 없으므로 별도의 간섭 대역 제거 시스템의 필요성이 대두되고 있다[3]. 무선 통신 서비스의 간섭을 최소화하는 기술로는 Notch Filter가 주로 사용되고 있다.

하지만, 전력선 통신에 할당된 주파수 대역과 무선 서비스에 할당된 주파수 대역의 간섭이 발생하는 대역을 모두 제거하면 전력선 통신의 주파수 활용도 및 전송 속도의 효율성이 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전력선 통신의 간섭 제거와 접목되어야 하는 것이 전력선 통신의 주파수 대역에 간섭으로 작용할 수 있는 무선 서비스 주파수 대역의 신호 유무를 판단하는 센싱 알고리즘이다. 센싱 알고리즘은 통신 단말기 혹은 네트워크가 지능화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황을 인지하여 이러한 요구 및 상황에 적합하도록 주어진 무선 자원을 최적으로 활용하는 제반 기술을 의미하는 CR(Cognitive Radio)의 주요 기술로 해당 주파수 대역의 신호 유무 및 신호의 형태를 검출하는 역할을 한다[4]. 본 논문에서는 전력선 통신 환경에서의 효율적인 간섭 및 노이즈 제거를 위한 Spectrum Sensing과 Notch Filter 기술 적용 방안을 제안하였다. 또한 임베디드 보드에서 Spectrum Sensing 알고리즘과 Notch Filter 기능을 구현하였다.

II. 전력선 통신 기술

1. 전력선 통신

과거 홈 네트워크 기반의 전력선 통신에 할당된 가용

주파수 대역은 9kHz~450kHz로 9.6kbps 정도의 전송속도를 갖고 있었다. 하지만, 통신 신호의 전송을 위해 광대역의 주파수 대역을 필요로 하게 되었고, 광대역 전력선 통신을 허용한 국가들의 경우 대부분 2~30MHz의 대역을 사용 가능하게 할당하고 있다. 2~30MHz 대역은 최저 10Mbps에서 여러 모뎀을 동시 연결할 경우에도 40Mbps의 안정적인 속도를 유지할 수 있다. [그림 1]은 전력선 통신의 주파수 대역 특성에 대한 그림이다.

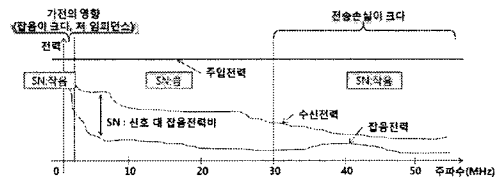


그림 1. 전력선 통신 사용 대역의 신호 대 잡음비

기존의 10~450kHz의 경우 기존 가전제품의 영향으로 인해 잡음이 크고 저 임피던스의 특성을 갖고 있다. 2~30MHz의 대역은 주입 전력에 비해 수신 전력은 높고 잡음 전력은 낮아서 잡음 정도가 적다. 하지만, 현재 고속 전력선 통신을 위해 확장한 30~80MHz의 대역은 주입 전력에 비해 수신 전력은 낮게 나타나며, 잡음 전력 정도는 2~30MHz 대역과 거의 동일하게 나타나 전송 손실이 크며, 잡음 정도도 크게 나타난다. 이러한 전력선 통신상의 잡음을 제거하기 위한 기술이 Notch Filter이다.

2. 전력선 통신에서의 Notch Filter

Notch Filter는 특정의 주파수에서 급격한 감쇠 특성을 가지며, 보통 송전선에 의해 유도되는 60Hz 잡음을 제거하는데 사용된다. 본 논문에서는 Digital Notch Filter 중 IIR Notch Filter를 적용하였다.

IIR Notch Filter의 전달함수는 식 (1)과 같다[5].

$$H(z) = \frac{1 - 2\cos(w_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}} \quad (1)$$

여기에서 w_0 는 Notch Frequency, r 은 Notch 깊이와

관련이 있다. w_b 와 r 은 Notch Filter의 주파수 응답 특성을 조절할 수 있는 변수로 작용한다.

III. Cognitive Radio 기반 스펙트럼 센싱 기술

1. 스펙트럼 센싱 기술

스펙트럼 센싱 기술은 스펙트럼 환경을 인지하여 통신 가능한 주파수를 지능적으로 검출하고, 이를 이용하여 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 통신하는 지능형 무선 통신 기술을 말한다. 스펙트럼 센싱 기술의 가장 간단한 기법은 Periodogram Method 이다. 이 후 Periodogram Method에 윈도우의 변화를 준 Modified Periodogram Method로 발전 하였다. 이 후 Welch에 의해 제안된 기법이 Welch's Method 이다.

본 논문에서는 Modified Periodogram Method와 Welch's Method를 적용하였다.

1.1 Modified Periodogram Method

Modified Periodogram Method는 근본적으로 입력 신호에 대한 DFT(Discrete Fourier Transform)이며, 윈도우의 적용을 통한 신호 검출의 용이성을 높인 기술이다[6]. 이 기법의 스펙트럼은 식 (2), (3)과 같으며,

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

$$U = \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |x(n)|^2 \quad (3)$$

식 (3)의 U 는 윈도우 함수를 일반화한 값으로 선택하는 윈도우에 독립적이다.

1.2 Welch's Method

이 기법은 1967년 P.D.Welch의 논문에서 언급되었으며, PSD를 근간으로 한다[7]. [그림 2]는 Modified Periodogram Method와 Welch's Method를 비교하여

나타낸 것이다.

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

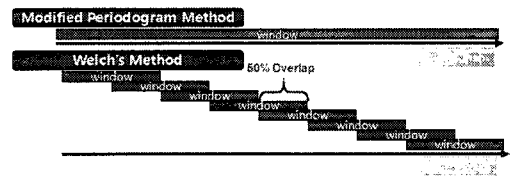


그림 2. Periodogram Method와 Welch Method의 비교

IV. 전력선 통신 환경에서 간섭 신호 제거를 위한 Notch Filter 구현

광대역 전력선 통신을 위한 Notch Filter 모의실험을 위해서는 광대역 전력선 통신에 사용되는 변복조 방식을 고려하여 시스템을 구성하여야 한다. 현재 세계적으로 전력선 통신에 사용하는 변복조 방식은 OFDM 방식을 채택하고 있다. 이에 본 논문에서는 OFDM 신호를 기반으로 하여 간섭 신호를 제거하기에 알맞은 Notch Filter 설계 방식을 제안하였다.

1. 전력선 통신 시스템

전력선 신호는 현재 국내에 할당되어있는 2~30MHz 대역을 사용하였으며, 간섭으로 작용하는 채널은 ETSI TS 105 578 V1.1.19에 배정되어 있는 HF Broadcasting Band를 적용하여 구성하였다.

[표 1]에서 Type I, II, III은 전력선 신호의 대역폭에 따라 나누어진다.

본 논문에서는 2~30MHz 대역으로 총 28MHz 대역을 적용하므로, Type I을 선정하였다. 각 Type은 10MHz, 20MHz, 30MHz을 전력선 사용 대역폭으로 규정하고,

그에 따라 System clock, IDFT interval, Cyclic prefix, Symbol interval등이 변화한다. 본 논문에서는 Type I에 규정된 내용을 기반으로 2k(2048)의 FFT size를 모의실험에 적용하였다.

표 1. OFDM 기반 전력선통신 시스템의 세부 Parameter

Parameter	Type I	Type II	Type III
System Clock(MHz)	40	26.6	13.3
Subcarrier No(Carrier)	1536	1536	1536
IDFT interval (Sample)	2048	2048	2048
IDFT interval(us)	51.2	76.8	153.6
Cyclic prefix(Sample)	800	532	268
Cyclic prefix(us)	20	19.95	20.1
Symbol interval(Sample)	2848	2580	2316
Symbol interval(us)	71.2	96.75	173.7

Type I : 30MHz Signal Bandwidth
 Type II : 20MHz Signal Bandwidth
 Type III : 10MHz Signal Bandwidth

ETSI에서 제시한 2~30MHz 대역 내의 전력선 통신 상에서 간섭으로 작용하는 HF Broadcasting Band는 총 15개의 채널로 구성되어 있다[8]. 간섭 신호 대역은 2~26MHz 까지 존재하며 간섭 신호의 대역폭은 최소 100kHz부터 최대 800kHz까지 분포하고 있다.

각 채널의 대역폭에 알맞은 Notch Filter의 설계를 위해, [그림 3]에서 Notch Filter의 스펙트럼을 통해 확인해 보았다.

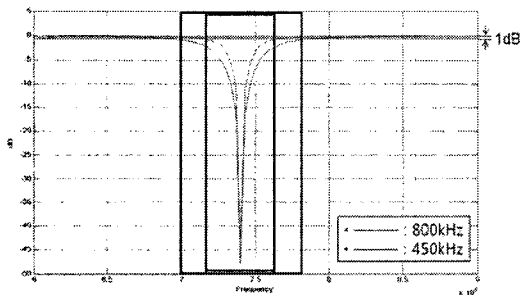


그림 3. 간섭 채널 대역폭에 따른 Notch Filter 비교

각 450kHz와 800kHz의 대역폭을 제거 가능한 Notch Filter를 설계하였다. Notch Filter의 통과대역 리플은

필터 설계에서 가장 엄격한 스펙으로 규정 되어있는 1dB로 설정하였다. 통과대역 리플을 크게 할수록 제거 대역부분의 필터 기울기가 크게 나타나 필터의 성능을 높일 수 있다.

800kHz 대역 제거 Notch Filter에 비해, 450kHz 대역 제거 Notch Filter의 경우가 Cutoff Slope가 가파르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. -15dBm까지는 800kHz Notch Filter가 450kHz Notch Filter보다 더 넓은 부분의 신호를 제거할 수 있는 것처럼 보이지만, 그 이하 레벨로는 제거 대역의 차이가 불분명하게 나타난다. 즉, 블록으로 표시된 안쪽의 신호가 모두 제거되어야 하지만, [그림 3]의 형태로 Notch Filter를 적용한다면, 제거해야 하는 채널 구간을 모두 제거할 수 없을 것으로 보인다.

본 논문에서는 이러한 상황을 고려하여 한 개의 채널 대역폭을 여러 개의 Notch Filter를 합산하여 제거하도록 하는 방법으로 각 채널 대역폭에 알맞게 필터의 단수를 조절하고, 그 Slope 계수 또한 조정하는 방식을 제안하였다.

2. 모의실험 및 분석

모의실험을 위한 시스템은 우선 ETSI 규정에 따라 Type I에 맞추어 OFDM 신호를 발생시키고 ETSI에서

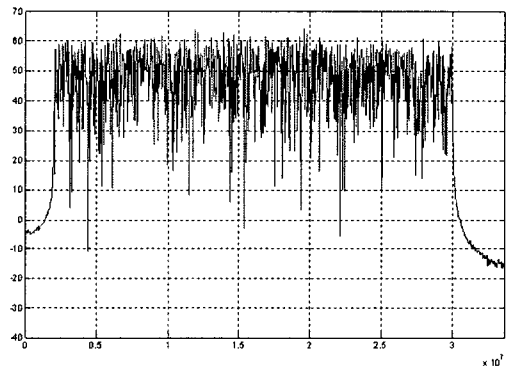


그림 4. OFDM 신호 발생 결과

제시한 HF Broadcasting Band의 채널을 선정한다.

현재 고속 전력선 통신은 2~30MHz 대역을 할당하여

사용하고 있다. 향후 80MHz 대역까지 확장될 것이나, 본 논문에서는 현재 할당되어 있는 2~30MHz 대역의 OFDM 신호를 발생하였다. 2~30MHz의 OFDM 신호를 발생시킨 결과는 [그림 4]와 같다.

무선 통신 시스템의 경우, 한 번에 여러 채널 대역이 사용되는 형태를 지니게 된다. 여러 채널 대역이 동시에 간섭을 발생시킬 때, 그 간섭을 제어하는 것이 본 모의실험의 목적이므로, ETSI HF Broadcasting Band의 15개 채널 중 100kHz, 360kHz, 800kHz 대역의 신호를 선정하여 동시에 제거하는 형태로 실험을 진행하였다. 간섭으로 작용하는 채널들을 제거한 결과는 [그림 5]와 같다.

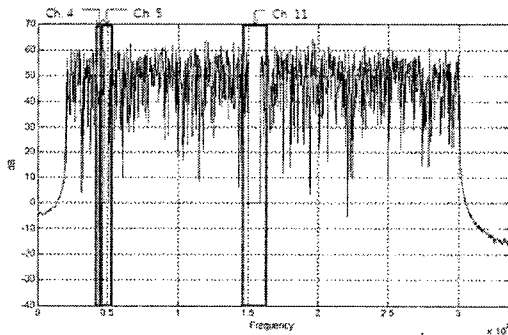


그림 5. 100, 360, 800kHz 대역폭 간섭 신호 제거 결과

블록으로 표시된 부분이 채널에 해당하는 신호를 제거한 부분이다. 평균적인 신호보다 약 40dB 가량 신호를 낮추었다. 이렇게 신호가 제거된 부분에는 데이터를 신지 않고 신호를 전송하게 된다.

이렇게 채널 대역을 제거한 통신 신호가 전력선의 특성상 잡음의 영향을 받을 것을 고려하여 AWGN을 인가하여 발생한 잡음을 Notch Filter를 통하여 제거한다.

V. 임베디드 보드에서 스펙트럼 센싱을 적용한 전력선 통신 시스템 구현

1. 스펙트럼 센싱 시스템 환경

스펙트럼 센싱을 적용한 전력선 통신 모듈 구현을 위해 구성된 전체 실험 환경은 [그림 6]과 같다. 간섭 신호로 작용할 신호를 발생시키는 Signal Generator, 스펙트럼 센싱을 적용한 전력선 통신 모듈이 탑재된 임베디드 보드, 그리고 보드를 제어할 PC로 구성되어 있다.

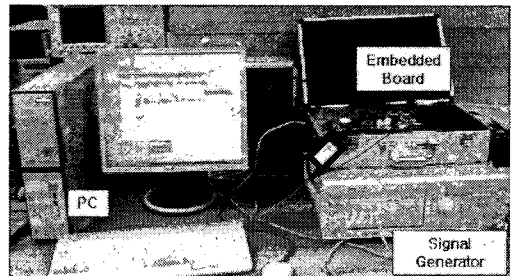


그림 6. 전체 시스템 환경

[그림 7]은 스펙트럼 센싱을 적용한 전력선 통신 모듈을 위한 임베디드 보드의 구성이다. 보드는 입력되는 신호를 받아들이는 RF, 센싱 알고리즘 수행 및 전력선 통신을 위한 OFDM 신호 발생과 Notch Filter를 설계하는 DSP, 보드를 제어하는 Linux가 탑재된 ARM, 그리고 ARM과 DSP 사이의 공유 메모리를 제공하는 FPGA로 구성되어 있다. DSP 프로세서는 Texas Instruments의 TMS320C6416으로 1GHz의 속도로 동작을 하며 1M bytes의 Flash Memory와 최대 16 M Bytes의 SDRAM을 4개 포함 한다.

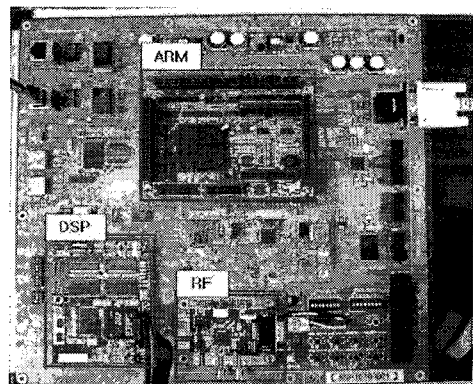


그림 7. 스펙트럼 센싱 기반 전력선 통신 모듈이 탑재된 임베디드 보드

[그림 8]은 DSP에서의 스펙트럼 센싱 기반 전력선 통신 모듈의 전체 시스템 기능 흐름도이다.

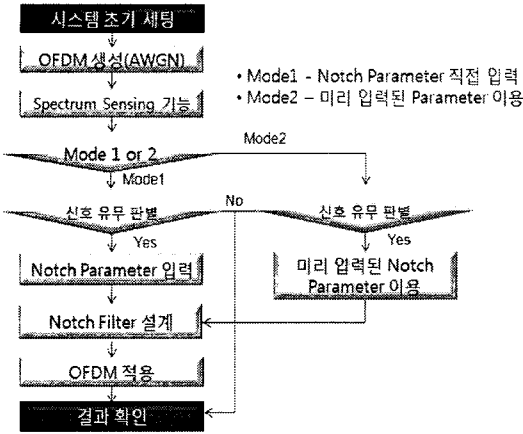


그림 8. 전체 시스템 기능 흐름도

Signal Generator 세팅 등 시스템 초기 세팅이 끝나면, 전력선 통신을 위한 OFDM 신호를 생성하고, 원하는 간섭 채널 부분의 신호를 제거한 송신부와 잡음이 섞인 수신부를 고려하여 AWGN을 추가한 후, 스펙트럼 센싱 기능을 수행한다. 스펙트럼 센싱 기능에서 신호가 있는 것으로 판별되면 Notch Filter를 설계하게 된다. 본 논문에서는 두 가지 방법을 고려하여 모듈을 구현하였는데, Mode 1은 설계를 원하는 Notch Parameter를 직접 입력하는 방법이고, Mode 2는 일정 메모리에 미리 입력해놓은 Notch Parameter를 적용하여 Notch Filter를 설계하는 방법이다. Mode를 선택하여 Notch Filter가 설계되면 잡음이 섞인 OFDM에 적용하여 그 결과를 확인하게 된다.

[그림 9]는 스펙트럼 센싱을 위한 임베디드 보드에서 수행하는 알고리즘의 흐름도이다.

[그림 9]에서 보는 것과 같이 DSP 프로세서는 FPGA에 존재하는 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 Method를 적용하였다.

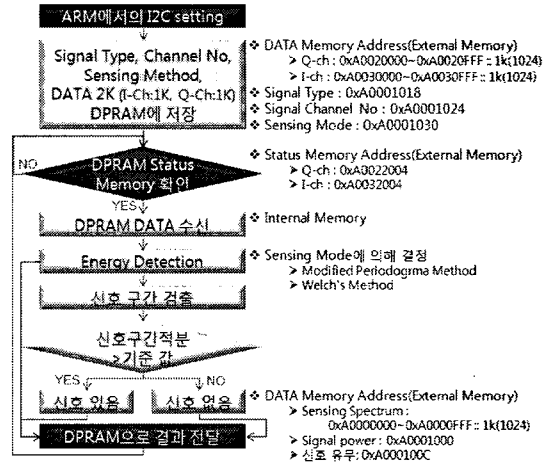


그림 9. DSP에서의 스펙트럼 센싱 모듈의 작업 순서도

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, 센싱된 신호의 스펙트럼 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. 시스템 실행 결과 분석

시스템 실행 결과를 분석하기 위해 Signal Generator에서 간섭 신호로 작용할 입력 신호를 발생시키지 않은 RF off 상태일 때의 최종 OFDM 결과와 Signal Generator에서 간섭 신호로 작용할 입력 신호를 발생시킨 RF on 상태일 때의 최종 OFDM 결과를 확인하여 그 성능을 확인하였다. AWGN은 10dB를 인가하였다.

[그림 10]은 Signal Generator를 통한 간섭 신호가 입력되지 않을 때의 최종 스펙트럼을 나타낸다. 간섭 신호가 없으면 스펙트럼 센싱 결과에서 신호가 없는 것으로 판정되기 때문에 Notch Filter 설계가 이루어지지 않으며, 간섭 신호 구간이 제거되지 않아 OFDM 스펙트

림이 그대로 결과로 출력되게 된다.

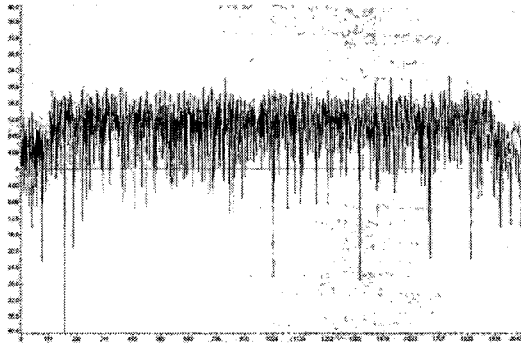


그림 10. 간섭 신호가 입력되지 않을 경우의 최종 결과

[그림 11- 13]은 간섭 신호가 입력될 때의 결과를 나타낸다. 간섭 신호는 ETSI 기준 HF Broadcasting Channel을 적용하였다. 간섭 신호는 최소 100kHz에서 최대 800kHz까지 분포하고 있으며, 총 15개 채널로 구성되어 있다. 본 논문에서는 최소 대역폭인 100kHz, 중간 대역폭인 400kHz와 최대 대역폭인 800kHz의 간섭 신호를 발생하여 그 결과를 확인하였다. [그림 11]은 ETSI 기준 간섭 신호 대역폭이 100kHz인 간섭 신호 채널을 제거한 결과이다. 전체 신호 대역폭이 30MHz에 달하기 때문에 제거 대역폭인 100kHz가 확실히 보이지 않으나 붉은 선 안에 나타난 부분이 100kHz 대역을 제거한 부분이다.

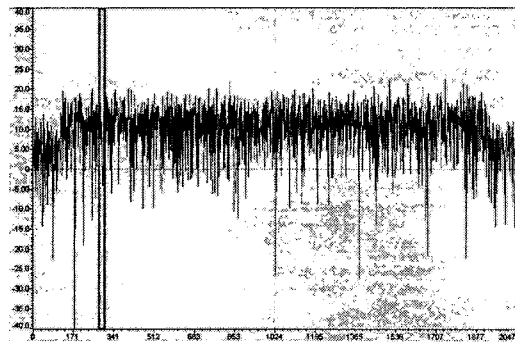


그림 11. 100kHz 대역폭의 간섭 신호를 제거한 결과

[그림 12]는 ETSI 기준 대역폭이 400kHz인 간섭 신

호 채널을 제거한 결과이다. 100kHz와 달리 간섭 신호 대역폭이 제거된 부분을 확인할 수 있다.

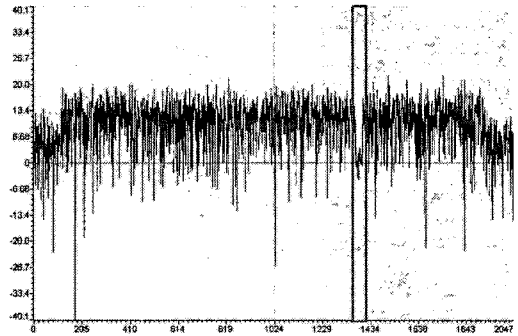


그림 12. 400kHz 대역폭의 간섭 신호를 제거한 결과

[그림 13]은 대역폭이 800kHz 인 간섭 신호 채널을 제거한 결과이다.

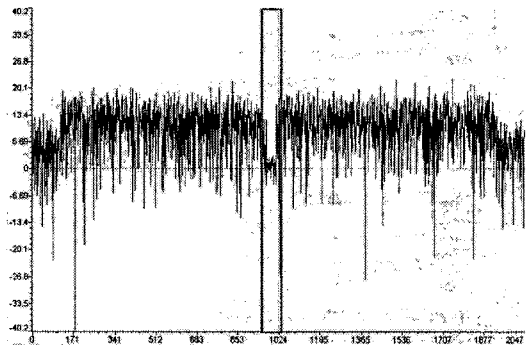


그림 13. 800kHz 대역폭의 간섭 신호를 제거한 결과

하지만, IIR Notch Filter의 특성상 균일한 제거 레벨을 갖는 Notch Filter의 설계가 어렵다. 각 채널 대역폭 및 중심 주파수, 그리고 해당 샘플의 주파수에 따라 변동하는 Notch Filter의 레벨을 안정화 시키는 연구가 필요할 것으로 고려된다.

IV. 결론

본 논문에서는 전력선 통신 시스템에서 해당 주파수 대역을 효율적으로 사용하기 위한 목적으로 스펙트럼

센싱을 적용한 전력선 통신 모듈을 구현하였다. 임베디드 기반의 스펙트럼 센싱 기능 및 IIR Notch Filter 설계 기능을 구현하여 그 결과를 분석하였다. 구현된 시스템은 향후 전력선 통신 시스템 환경에서 주변의 무선 통신 시스템을 인식하여 간섭을 끼치지 않게 하는 한계 내에서 인터넷 서비스를 제공하는데 그 목적이 있다. 즉, 구현한 스펙트럼 센싱 기반 전력선 통신 모듈은 신호 발생기를 통하여 발생된 신호를 센싱 알고리즘을 통하여 분석, 신호 유무를 판정하여 해당 대역에 알맞은 Notch Filter를 설계, OFDM 신호에 적용하는 것이 가능함을 보였다. 스펙트럼 센싱 기술과 전력선 통신을 위한 간섭 및 노이즈 제어 기술이 융합된다면, 전력선 통신 및 무선 통신의 효율적인 주파수 관리가 이루어질 수 있을 것이다.

of unequally spaced data," *Astrophysics and Space Science* 39, pp.447-462, 1976.

- [7] 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, pp.70-73, 1967(6).
- [8] ETSI TS 102 578 v1.1.19, "PowerLine Telecommunications(PLT): Coexistence between PLT Modems and Short Wave Radio broadcasting services," 2008(2).

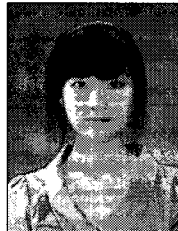
참고 문헌

- [1] 장동원, 이영환, "전력선을 이용한 유비쿼터스 고속 데이터 통신 연구", *주간기술동향 통권*, 1367호, 2008(10).
- [2] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, and Y. Javad, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," *IEEE Communications Magazine*, pp.34-40, 2003(4).
- [3] A. Majumder and J. Caffery, "Power Line Communications," *IEEE Potentials*, Vol.23, Issue 4, pp.4-8, 2004.
- [4] 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, 2004(11).
- [5] R. Punalard, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Modified Adaptive IIR Notch Filter Based on Direct Frequency Estimation Algorithm," *IEEE Communication System Conference*, pp.1-4, 2006(10).
- [6] N. R. Lomb, "Least-squares frequency analysis

저자 소개

이 현 소(Hyun-So Lee)

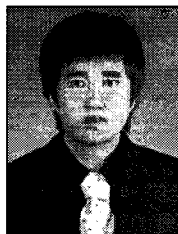
준회원



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

남 윤 호(Yun-Ho Nam)

준회원



- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
 - 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
- <관심분야> : 전력선 통신, Spectrum Sensing

홍 무 현(Moo-Hyun Hong)

준회원



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

장 동 원(Dong-Won Jang)

정회원



- 1983년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공과(공학사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 전파공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 충남대학교 전파공학과 박사과정 수료

• 1989년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 <관심분야> : 전파시스템, 통신시스템, 디지털신호처리, 프로토콜 공학

이 영 환(Young-Hwan Lee)

정회원



- 1984년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업(학사)
- 1986년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(석사)
- 2007년 2월 : 한국정보통신대학교 전자공학부 졸업(공학박사)

• 1989년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 <관심분야> : 전자장해석, 이동통신안테나, 무선설비 기술기준

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 (공학박사)

사)

- 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