논문 2010-3-21

전력선 통신 시스템을 위한 고성능 Notch Filter 알고리즘 구현

Implementation of a High Performance Notch Filter Algorithm for Power Line Communication System

남윤호*, 장동원**, 김경석***

Yun-Ho Nam, Dong-Won Jang, Kyung-Seok Kim

요 약 전력선은 이미 전 세계적으로 60% 이상의 주거지에 설치되어 있기 때문에 고속의 전력선 통신을 이용하여 인터넷 액세스를 실현하는 새로운 액세스용 회선을 부설하지 않고 광대역 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 이유로 정보화 시대에 인터넷 망이 닿지 않는 Last Mile Solution에 가장 적합한 서비스로서 전력선 통신에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하지만, 전력선은 통신 선로가 아니고 전력을 전송하도록 설계되었기 때문에 전자파의 누설로 부근의 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 기존의 무선 통신 서비스와 전력선 통신과의 간섭을 줄이기위하여 기존의 Notch Filter보다 성능 면에서 우수한 고성능 Notch Filter 알고리즘을 제안하였다. 또한, 고성능 Notch Filter를 적용하여 임베디드 보드를 통한 Notch Filter Emulator를 구현하였다.

Abstract As Power Line has been already installed over 60% of a residential area all over the world, Broadband Service has been possible using high-speed PLC(Power Line Communication) without new access line installed for Internet access. Because of such reason, PLC is researched as the most suitable service for Last Mile Solution. But, Power Line is designed for transmitting electric power, so peripheral Wireless Communication System is affected by a leak of electric wave. In this paper, we propose a High Performance Notch Filter algorithm in comparison with a existing notch filter for reduction of interference between existing Wireless Communication Service and Power Line Service. In addition, we implement the Notch Filter emulator appling a High Performance Notch Filter and using a embedded board.

Key Words: Power Line Communication, Notch Filter

Ⅰ. 서 론

최근 세계적으로 인터넷의 보급이 폭발적으로 진행되고, 인터넷이 주 정보원으로 작용하는 정보화 시대에 인터넷 망이 닿지 않는 Last Mile Solution에 가장 적합한서비스로서 전력선 통신에 대한 연구가 이루어지고 있다.

전력선 통신(Power Line Communication: PLC)은 전력을 실어 나르는 도체에 데이터를 전송시키는 통신시스템이다. 최근에 200Mbps PLC 장비가 상용화되는 등 전력선 통신 기술의 발달로 전력선을 이용한 고속통신이 가능해 졌다. 그러나 전력선 통신에 이용되는 전력선은 통신을 위해 설계된 배선이 아니기 때문에 기본적으로 60Hz의 전력을 전송하도록 설계되었다. 따라서 높은 고주파 신호를 전송하게 되면 표피효과(Skin Effect)로 인한 전자파의 누설로 부근의 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다. 현재 전력선 통신에서 사용하는 주파수 대역

^{*}준회원, 충북대학교 전자정보대학 전파통신공학과

^{**}정회원, 한국전자통신연구원

^{***}정회원, 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과 접수일자 2010.04.14 수정일자 2010.06.07

(80MHz 이하)의 일차 이용자(ITU-R 에서 국제적으로 할당)인 항공과 해상의 안전/조난통신, 방송, 아마추어무선, 전파 천문 등은 이러한 간섭에 대한 우려 때문에 전력선 통신의 활성화를 반대하는 입장이다. 현재 전력선 통신에는 허용 가능한 전류 기준치가 규정되어 있지만, 이러한 기준만으로는 주변신호와의 간섭을 완벽하게 제거할 수 없으므로 별도의 주파수 대역 제거 시스템의 필요성이 대두되고 있다^[11].

전력선은 이미 전 세계적으로 60% 이상의 주거지에 설치되어 있기 때문에 고속 PLC로 인터넷 액세스를 실현하는 새로운 액세스용 회선을 부설하지 않고 광대역서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 200Mbps PLC 장비가 상용화되는 등 PLC 기술이 성장함에 따라, 동남아시아나 아프리카와 같이 통신 인프라가 구축되지 않은 나라에서는 전력선을 통신 수단으로 활용하여 접근망(access network) 뿐만 아니라 백본망(backbone network)까지 구축하려는 연구가 진행 중이다^{[2][3]}.

또한, 최근 전력선 통신 기술의 발달로 전력선을 이용한 고속 통신이 가능해 지면서 고속 전력선 통신을 위한 표준화 제정이 진행 중이다. ITU에서는 현재 80MHz까지 전력선 통신을 사용하기 위한 관련 권고 작성이 진행 중이며 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), OPERA(Open PLC European Research Alliance), CEPCA(Consumer Electronics Powerline Communications Alliance)와 같은 표준화 기관에서는 국제적인 전력선 통신 표준화 작업을 수행하고 있다^[4].

하지만, PLC는 전력을 공급하기 위해 설계된 전력선을 매체로 통신하기 때문에 높은 부하와 간섭현상, 잡음, 신호 감쇄 현상 등의 환경을 극복하고, 제한된 전송 전력을 통해 데이터를 전달해야 하는 단점이 존재하며, 이러한 누설전파로 인한 어려움을 해결하기 위한 연구도 함께 진행되고 있다.

Notch Filter는 특정의 주파수에서 급격한 감쇠특성을 가지고 있는 필터이다. 불필요한 주파수 성분을 제거할 목적으로 주로 사용된다. 또한, 무선 통신 서비스의 간섭을 최소화하는 기술로도 많이 사용되고 있다. 전력선 통신 기술과 기존의 무선 통신 서비스 간의 간섭을 줄이기기 위한 기술로 Notch Filter를 선정하여 관련 연구를 진행하였다. 본 논문에서는 간섭 신호를 보다 효과적으로 제거할 수 있는 고성능 Notch Filter를 설계하여 시뮬레

이션을 통해 결과를 확인하고, 그 결과를 기반으로 Embedded Board 상에서 Notch Filter Emulator를 구현하였다. Ⅱ장에서는 전력선 통신에서의 Notch Filter 알고리즘에 관한 내용을 기술하였으며, Ⅲ장에서는 전력선 통신 시스템을 위한 고성능의 Notch Filter를 제안하였다. Ⅳ장에서는 시뮬레이션 결과를 언급하였으며, Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 전력선 통신에서의 Notch Filter 알고리즘

Notch Filter는 특정의 주파수에서 급격한 감쇠 특성을 가지며, 주로 송전선에 의해 발생하는 60Hz 잡음을 제거하는데 사용된다. 본 논문에서는 ETSI 표준을 기준으로 Notch Filter 알고리즘을 설계 및 구현하였다. 유럽 전력선 통신 표준인 ETSI TS 102 447 V1.1.1에서 제시한 Notch Filter의 특성은 그림 1과 같다.



그림 1. Notch Filter 특성 Fig 1. Characteristic of Notch Filter

Notch Filter의 특성을 보면 Notch Filter는 Notch되지 않는 주파수 대역과 Notch되는 주파수 대역 사이의 레벨차이가 적어도 23dB 이상이 되도록 규정하고 있다. 본 논문에서는 간섭이 일어나는 주파수 대역을 제거하기 위하여 Notch Filter의 제거 성능에 중점을 두고 Filter를 설계하였다. 효과적으로 전력선 통신과 주변 무선 통신 서비스와의 간섭을 줄이기 위해 복잡도가 낮고 리플이 없어서 주변신호의 왜곡을 최소화 시킬 수 있는 IIR Notch Filter를 선택하였다. 다음은 자주 사용되는 Notch Filter 알고리즘에 관한 내용이다.

1. 격자형 Notch Filter

격자형 Notch Filter의 전달함수는 식 (1)과 같다^[5].

$$H(z) = \frac{(1 - re^{jw_0}z^{-1})(1 - re^{-jw_0}z^{-1})}{(1 - \alpha re^{jw_0}z^{-1})(1 - \alpha re^{-jw_0}z^{-1})}$$

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

$$(1)$$

식 (1)을 격자 필터 구조에 기초하여 나타내면 식 (2) 와 같다.

$$H(z) = \frac{1 + (k_0 - k_0 k_1) z^{-1} + k_1 z^{-2}}{1 + (\alpha_0 - \alpha_0 \alpha_1) z^{-1} + \alpha_1 z^{-2}}$$
(2)

여기에서 α_1 은 Notch 폭, k_1 은 Notch 깊이와 관련이 있다. 이렇게 두 파라미터는 Notch Filter의 주파수 응답 특성을 조절할 수 있는 변수로 작용한다.

2. Stable Notch Filter Stable Notch Filter의 전달함수는 식 (3)과 같다^[6]

$$H(z) = \frac{1 - 2\cos(w_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}}$$
(3)

여기에서 W_N 은 Pole/Zero의 Angle값으로 Notch 되는 중심주파수의 영향을 받고, r은 Pole/Zero의 Radius값으로 Filter Bandwidth의 영향을 받는다. IIR Notch Filter를 위해서는 Pole과 Zero의 값 또한 중요한 Parameter가 되는데, 본 논문에서는 IIR Notch Filter를 위한 식에 일반적인 Pole과 Zero를 구하는 연산식을 포함하여, r을 Pole과 Zero로 변환하여 적용하였다. Pole과 Zero를 위한 연산식은 식(4)와 같다.

Zeros :
$$e^{\pm jw_N}$$
, Poles : $re^{\pm jw_N}$ (4)

Ⅲ. 전력선 통신 시스템을 위한 고성능의 Notch Filter 제안

기존의 격자형 Notch Filter와 Stable Notch Filter의 경우 제거 성능이 ETSI 규정에 미치지 못해 전력선 통신에서의 간섭 채널 제거를 위해 사용하기에는 문제가 있다.

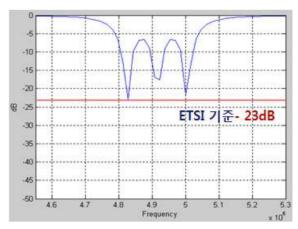


그림 2. 360kHz 대역폭 제거를 위한 격자형 Notch Filter Fig 2. Grid-pattern Notch Filter for Removal of 360kHz bandwidth

그림 2는 360kHz 대역폭 제거를 위하여 3단으로 구현 한 격자형 Notch Filter이다.

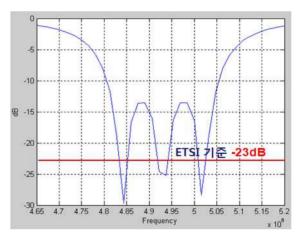


그림 3. 360kHz 대역폭 제거를 위한 Stable Notch Filter

Fig 3. Stable Notch Filter for Removal of 360kHz bandwidth

그림 3은 360kHz 대역폭 제거를 위하여 3단으로 구현한 Stable Notch Filter이다. 제거 성능이 ETSI 기준인 -23dB에 크게 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 효과적인 간섭 채널 제거를 위해서 ETSI 기준을 만족하는 고성능의 Notch Filter가 필요하다.

기존의 Notch Filter가 2차로 구현된 점에 중점을 두어 새롭게 제안한 Notch Filter는 성능 향상을 위해 4차로 설계하였다. ETSI 기준을 만족하는 고성능의 4차 Notch Filter를 구현하고자 Double Notch Filter의 전달함수에 변형을 가하여 고성능의 Notch Filter를 제안하였다. Double Notch Filter는 2개의 Single Notch Filter를 동시에 설계하도록 제안된 Notch Filter이며 전달함수는 식(5)와 같다^[7].

$$H(z) = \frac{1 + r_z(a_1 + a_2)z^{-1} + r_z^2(2 + a_1a_2)z^{-2}}{1 + r_p(a_1 + a_2)z^{-1} + r_p^2(2 + a_1a_2)z^{-2}}$$
(5)
$$\frac{+ r_z^3(a_1 + a_2)z^{-3} + r_z^4z^{-4}}{+ r_p^3(a_1 + a_2)z^{-3} + r_p^4z^{-4}}$$

Double Notch Filter의 전달함수를 보면 a_i 에 각각의 주파수를 적용하도록 되어있으나, 본 논문에서는 동일한 중심 주파수를 w를 a_1 과 a_2 에 대입하여 Double Notch Filter를 4차 Notch Filter의 식으로 변환하였다. 또한, 대부분의 Notch Filter는 Zero의 크기를 1로 규정하고 있으므로 이를 적용하여 고성능 Notch Filter의 전달함수를 표현하면 식 (6)과 같다.

$$H(z) = \frac{1 + 2r_z a z^{-1} + r_z^2 (2 + a^2) z^{-2}}{1 + 2r_p a z^{-1} + r_p^2 (2 + a^2) z^{-2}}$$

$$\frac{+ 2r_z^3 a z^{-3} + r_z^4 z^{-4}}{+ 2r_p^3 a z^{-3} + r_p^4 z^{-4}}$$
(6)

고성능 Notch Filter에도 Stable Filter에서 적용하였 던 Pole, Zero에 관한 연산식을 추가하여 Filter를 구현하 였다.

IV. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 환경

전력선 통신 환경에서 고성능 Notch Filter를 적용한 Notch Filter Emulator 구현을 위해, 실제 광대역 전력선 통신에 사용되는 변복조 방식을 고려하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 현재 전 세계적으로 OFDM 방식을 전력선 통신에 사용되는 변복조 방식으로 채택하고 있다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 신호를 기반으로 전력선 통신 환경에서 주변 무선 서비스와의 간섭을 줄이기 위한 Notch Filter를 설계하였다. 현재 국내에 할당되어있는 2~30MHz 대역을 사용하여 전력선 신호를 구성하였

고, ETSI에 배정되어 있는 HF Broadcasting Band를 적용하여 간섭 채널을 구성하였다.

표 1. 전력선 통신 시스템의 파라미터 Table 1. Parameters of PLC System

Parameter	Value
System Clock(MHz)	40
Subcarrier No(Carrier)	1536
IDFT interval (Sample)	2048
IDFT interval(us)	51.2
Cyclic prefix(Sample)	800
Cyclic prefix(us)	20
Symbol interval(Sample)	2848
Symbol interval(us)	71.2

표 1은 Notch Filter Emulator 구현에서 전력선 신호로 사용한 OFDM 신호의 세부 Parameter이다. 본 논문에서는 총 28MHz 대역을 적용하여 2k(2048)의 FFT size의 전력선 통신 시스템을 구성하였다.

ETSI에 의하면 전력선 통신의 사용 대역인 2~30MHz 대역 내 간섭으로 작용하는 HF Broadcasting Band는 총 15개의 채널로 구성되어 있다^[8]. 2.3MHz에서 26.1MHz까지 다양한 주파수 대역에서 간섭채널이 존재하며 대역폭은 최소 100kHz부터 최대 800kHz까지 분포한다. 이러한 상황을 고려하여, 본 논문에서는 여러 개의 Notch Filter를 합산하여 한 개의 채널 대역폭을 제거하도록 하는 방법을 채택하였다. 각 채널의 대역폭에 알맞게 합산하는 Filter의 단수를 조절하였으며, 그 기준 대역폭을 500kHz로 설정하여 7단. 15단 Notch Filter를 각각 적용하였다.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

위에서 제시한 15개의 간섭 채널 상에서 3장에서 제 안한 고성능 Notch Filter를 구현하여 그 제거 성능을 확 인해 보았다. 고성능 Notch Filter의 성능을 비교하기 위 해 격자형 Notch Filter보다 성능이 우수한 Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter를 동일한 채널 환경 상에서 설계하였다.

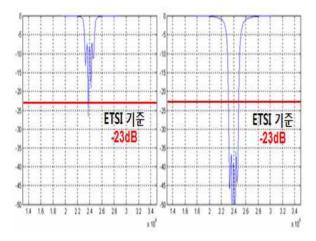


그림 4. Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter의 성능 비교(198kHz 대역폭)

Fig 4. Performance Comparison of a High Performance Notch Filter and a Stable Notch Filter(198kHz bandwidth)

그림 4는 채널 대역폭이 198kHz인 1번 채널을 제거하기 위한 Notch Filter이다. 대역폭이 500kHz 이하이므로 7단으로 구성하였으며 왼쪽이 Stable Notch Filter, 오른쪽이 고성능 Notch Filter이다.

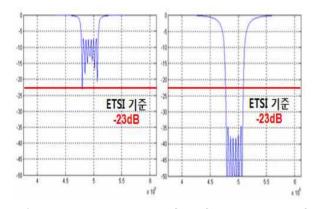


그림 5. Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter의 성능 비교(360kHz 대역폭)

Fig 5. Performance Comparison of a High Performance Notch Filter and a Stable Notch Filter(360kHz bandwidth)

그림 5는 채널 대역폭이 360kHz인 5번 채널 상에서 Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter의 성능을 비교한 결과이다. 대역폭이 500kHz 이하이므로 7단 Notch Filter로 구성하였다.

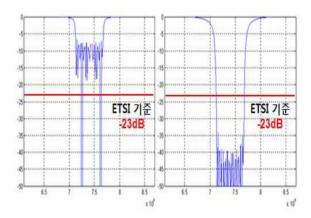


그림 6. Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter의 성능 비교(600kHz 대역폭)

Fig 6. Performance Comparison of a High Performance Notch Filter and a Stable Notch Filter(600kHz bandwidth)

그림 6은 채널 대역폭이 600kHz인 7번 채널 상에서 성능을 비교한 결과이다. 대역폭이 500kHz를 초과하므 로 15단 Notch Filter로 구성하였다.

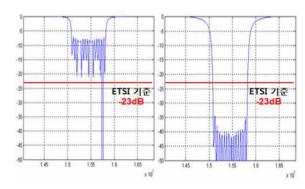


그림 7. Stable Notch Filter와 고성능 Notch Filter의 성능 비교(800kHz 대역폭)

Fig 7. Performance Comparison of a High Performance Notch Filter and a Stable Notch Filter(800kHz bandwidth)

그림 7은 채널 대역폭이 800kHz인 11번 채널 상에서 성능을 비교한 결과이다. 대역폭이 500kHz를 초과하므 로 15단 Notch Filter로 구성하였다.

각 채널 상에서 시뮬레이션을 수행하여 Notch Filter 의 성능을 확인한 결과, 최소 성능을 기준으로 Stable Notch Filter에 비해 고성능 Notch Filter의 성능이 약 30dB 정도 높음을 확인할 수 있다.

3. 고성능 Notch Filter를 적용한 Notch Filter Emulator 구현

본 논문에서 구현하고 성능을 검증한 고성능 Notch Filter를 적용하여 Notch Filter Emulator를 구현해 보았다. 그림 8은 Notch Filter Emulator 구현을 위한 Embedded Board의 구성이다.



그림 8. Notch Filter Emulator 구현에 사용한 Embedded Board

Fig 8. Embedded Board used by Notch Filter Emulator Implementation

Emulator 구현에 사용한 Embedded Board는 TORNADO-PX/DDC4G이다. TORNADO-PX/DDC 4G Board의 RF 장비는 2개의 Channel (Ch_A, Ch_B)로 구성되어 있으며, 각각의 신호는 Control Register를 이용하여 제어할 수 있다. 사용된 DSP Chip은 Texas Instruments 사의 TMS320C6416 Model이며, 1GHz로 동작한다. Flash Memory는 1M bytes이고, SDRAM은 16M Bytes 네 개로 구성되어 총 64M bytes까지 사용이가능하다^[9].

표 1에서 제시한 Parameter를 적용하여 OFDM 신호를 발생시킨 결과는 그림 9와 같다.

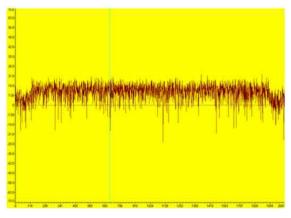


그림 9. OFDM 신호(Type I) Fig 9. OFDM Signal(Type I)

대역폭이 800kHz인 11번 채널에 간섭 신호가 존재한다고 가정 하고, 해당 채널에 고성능 Notch Filter를 적용하여 Emulator의 실행 결과를 분석해 보았다. 간섭 신호를 제거하기 위한 15단 Notch Filter를 설계하고 해당채널을 제거하였다. 그림 10은 800kHz 대역폭의 간섭 신호를 제거하기 위한 고성능 Notch Filter이다. 최저 제거레벨이 -40dB로 그림 1을 통해 언급한 ETSI 기준인-23dB를 만족한다.

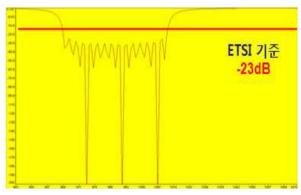


그림 10. 간섭 신호 제거를 위한 고성능 Notch Filter (800kHz 대역폭)

Fig 10. A High Performance Notch Filter for Removal of Interference Signal(800kHz Bandwidth)

그림 11은 대역폭이 800kHz인 11번 채널에 Notch Filter를 적용하여 간섭 채널을 제거한 결과이다.

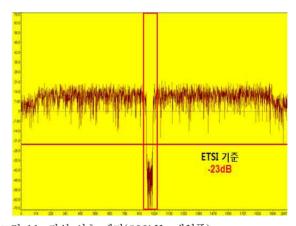


그림 11. 간섭 신호 제거(800kHz 대역폭)
Fig 11. Removal of Interference Signal(800kHz Bandwidth)

이번에는 대역폭이 430kHz인 15번 채널에 간섭 신호 가 존재한다고 가정 하고 해당 채널에 고성능 Notch Filter를 적용해 보았다. 대역폭이 430kHz인 15번 채널의 간섭 신호를 제거하기 위한 7단 Notch Filter를 설계하고 해당 채널을 제거하였다.

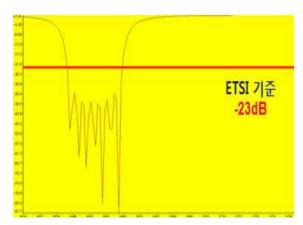


그림 12. 간섭 신호 제거를 위한 고성능 Notch Filter (430kHz 대역폭)

Fig 12. A High Performance Notch Filter for Removal of Interference Signal(430kHz Bandwidth)

그림 12는 430kHz 대역폭의 간섭 신호를 제거하기 위한 고성능 Notch Filter이다.

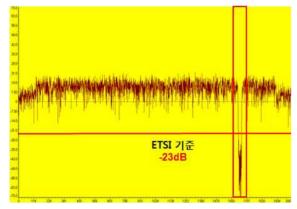


그림 13. 간섭 신호 제거(430Hz 대역폭) Fig 13. Removal of Interference Signal(430kHz Bandwidth)

그림 13은 대역폭이 430kHz인 15번 채널에 고성능 Notch Filter를 적용하여 간섭 채널을 제거한 결과이다.

Emulator을 실행하여 OFDM 기반의 전력선 통신 신호에 Notch Filter를 적용한 결과, 주변의 무선 통신 서비스와 간섭을 일으키는 해당 주파수 대역의 신호가 효과적으로 제거되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 고성능 Notch Filter의 제거 성능이 최소 -40dB 이상의 성능을 보여 ETSI 기준인 -23dB를 만족하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 전력선 통신의 문제점인 전파 누설로 인해 발생하는 기존 무선 서비스와의 간섭을 줄이기 위 한 연구를 진행하였다. 간섭을 일으키는 주파수 대역의 신호를 효과적으로 제거하기 위해 고성능 Notch Filter 알고리즘을 제안하였고, 이를 적용하여 전력선 통신을 위한 Notch Filter Emulator를 구현하였다. 기존의 Notch Filter의 경우 전력선 통신 시스템의 간섭을 효율적으로 제거하기에는 성능이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 성 능 문제를 보완하고자, 동시에 2개의 Single Notch Filter 를 설계하도록 제안된 Double Notch Filter의 전달함수 를 변환하여 고성능의 Notch Filter 알고리즘을 제안하였 다. 기존의 많은 Notch Filter들이 2차로 구현된 점에 중 점을 두어 새롭게 제안한 Notch Filter는 성능 향상을 위 해 4차로 설계하였다. 또한, 국내에 할당되어있는 2~30MHz의 주파수 대역과 전력선 통신에 사용되는 변 복조 방식인 OFDM 방식을 채택하여 전력선 통신 환경 을 구성하였고, ETSI에 배정되어 있는 HF Broadcasting Band를 간섭 채널로 적용하여 Emulator를 구현하였다. Emulator 실행 결과 주변의 무선 통신 서비 스와 간섭을 일으키는 해당 주파수 대역의 신호가 제거 되는 것을 확인할 수 있다.

참고문 헌

- [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] 강영석, "전력선통신 동향과 상용화 전망", 한국전 자파학회지, 제15권, 제4호, 2004(10).
- [5] 최준원, 양윤기, 조남익, "DS-확산대역 시스템에 서 격자형 IIR 노치필터를 이용한 협대역 간섭신

- 호 제거 알고리듬", 한국통신학회논문지, Vol.26, No.4B, 2001(4).
- [6] Chien-Cheng Tseng, "Stable IIR Notch Filter Design with Optimal Pole Placement," IEEE Transaction on signal processing, Vol.49, No.11, pp. 2673–2681, 2001(11).
- [7] Joe F. Chicharo, Tung sang Ng, "Gradient –Based Adaptive IIR Notch Filtering for Frequency Estimation," IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 38, pp. 769–777, 1990(5).
- [8] ETSI TS 102 578 v1.1.19, "PowerLine Telecommunications(PLT): Coexistence between PLT Modems and Short Wave Radio broadcasting services," 2008(2).
- [9] Dahnoun, Naim, "Digital Signal Processing Implementation Using the TMS320C6000 DSP Platform," Prentice Hall, 2000.

※ 본 연구는 한국방송통신위원회 "안전한 전자파환경 조성 연구과제"로 수행된 연구결과의 일부를 게재한 것임.

저자 소개

남 유 호(준회원)



- 공학사
- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공 학과 졸업(공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파 통신공학과 석사과정
- <주관심분야> : 전력선 통신, Spectrum Sensing

장 동 원(정회원)



- 공학박사
- 1983년 2월: 한국항공대학교 항공통 신공과(공학사)
- 2002년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 충남대학교 전파공학과 박사과정 수료
- 1989년 2월 ~ 현재: 한국전자통신연구원 책임연구원 <주관심분야>: 전파시스템, 통신시스템, 디지틀신호처리, 프로토콜 공학

김 경 석(정회원)



- 공학박사
- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전 자통신연구원 무선통신연구단 선임 연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자 공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자

통신연구원 이동통신연구단 책임연구원

- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전 임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수 <주관심분야 : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB>