

High-Order Stable Notch Filter 기법을 적용한 전력선 통신 시스템 구현

정회원 김 경 석*, 준회원 남 윤 호*, 정회원 김 주 석*

Implementation of Power Line Communication System Applying High-Order Stable Notch filter Scheme

Kyung-Seok Kim* *Regular Member*, Yun-Ho Nam* *Associate Member*,
Joo-Seok Kim* *Regular Member*

요 약

최근 인터넷이 주정보원으로 작용하고 인터넷의 보급이 확산되는 정보화시대에 인터넷망이 닿지 않는 지역의 Last Mile Solution에 적합한 대안으로서 전력선 통신에 관한 연구가 진행되고 있다. 현재 200Mbps PLC 장비가 상용화 되는 등 전력선 통신기술의 발달로 통신 인프라가 구축되지 않은 나라에서는 접근만 뿐만 아니라 백본망 까지 구축하려는 연구가 진행 중이다. 하지만, 전력선 통신은 전력을 전송하도록 설계되었기 때문에 높은 고주파 신호를 보내게 되면 부근의 무선통신 서비스에 영향을 주게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 High-Order Stable Notch Filter를 제안하였다. High-Order Stable Notch Filter는 기존의 필터들이 2차로 구현되었다는 점에 착안하여 4차, 6차, 8차, 10차 등 고차로 구현하였다. 또한, 제안한 High-Order Stable Notch Filter를 적용하여 Notch Filter Emulator를 구현하였다.

Key Words : PLC, Notch Filter, OFDM, DSP, FIR

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 applying a High Performance Notch Filter and using a embedded board.

1. 서 론

최근 인터넷이 주 정보원으로 작용하고, 인터넷의 보급이 폭발적으로 확산되는 정보화 시대에 전력선 통신이 인터넷 망이 미치지 않는 Last Mile Solution

에 가장 적합한 서비스로 주목을 받으면서 연구가 진행되고 있다. 전력선 통신(Power Line Communication: PLC)은 우리 주위에 광범위하게 설치되어 있는 전력선을 통신 매체로 활용하는 통신 방식이다. 최근에는 전력선 통신 기술의 발전으로 200Mbps PLC

* 본 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

* 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과(kjs7205@naver.com)

논문번호 : KICS2010-12-588, 접수일자 : 2010년 12월 7일, 최종논문접수일자 : 2010년 12월 21일

장비가 상용화되는 등 전력선을 이용한 고속통신이 가능하게 됐다. 전력선은 현재 전 세계적으로 60% 이상의 대부분의 주거지에 설치되어 있기 때문에 고속의 전력선 통신을 이용하여 별도의 인터넷 접근을 실현하는 접근용 회선을 부설하지 않고 광대역 서비스의 제공이 가능하다. 최근에는 전력선 통신 기술의 발달로 동남아시아나 아프리카처럼 통신용 기간 시설이 제대로 구축되지 않은 나라에서는 전력선을 통신 매체로 이용하여 접근망(access network) 뿐만 아니라 백본망(backbone network)까지 구축하려는 연구가 진행 중에 있다^{1,2)}. 하지만, 전력선 통신에 이용되는 전력선은 통신용 배선이 아닌 전력을 실어 나르는 배선이기 때문에 60Hz의 전력을 기본으로 전송하도록 설계되었다는 단점이 존재한다. 따라서 고주파를 전송하다 보면 표피효과(Skin Effect)에 의해 발생하는 전자파의 누설로 부근의 무선통신 시스템까지 영향을 받게 된다. 현재 전력선 통신에서 사용하는 주파수 대역인 80MHz 이하 대역의 일차 이용자(ITU-R 에서 국제적으로 할당)인 항공과 방송, 아마추어무선, 전파 천문, 해상 안전/조난통신 등이 전력선 통신의 활성화를 반대하는 이유는 이러한 간섭에 대한 우려 때문이다. 이러한 이유로 전력선 통신 시스템과 주변의 무선 통신 서비스 간의 간섭을 줄이기 위한 기술로 Notch Filter에 대한 연구가 진행되고 있다³⁾. Notch Filter는 특정 주파수에서 급격히 감쇠하는 특징을 가지는 필터로 전력선 통신 대역과 주변의 무선 통신 서비스 대역간의 간섭을 일으킬 때 간섭을 일으키는 해당 채널 또는 대역을 제거하기 위한 목적으로 사용된다.

본 논문에서는 기존의 Notch Filter들의 성능을 분석해 본 결과 ETSI 기준인 -23dB를 만족시키지 못해 사용화에 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자, 기존의 Notch Filter의 성능을 향상시키는 기법을 제안하고자 한다. 2장에서는 Notch Filter의 특성과 기존의 Notch Filter에 대하여 언급하였으며, 3장에서는 High-Order Stable Notch Filter 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 High-Order Stable Notch Filter를 구현하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 5장에서는 새롭게 제안한 High-Order Stable Notch Filter를 기반으로 Notch Filter Emulator를 구현하였다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 전력선 통신에서의 Notch Filter 알고리즘

Notch Filter는 주로 송전선에 의해 발생하는 60Hz 잡음을 제거하는데 사용되며, 특정 주파수에서 급격히

표 1. Notch Filter 특성

항목	특성
PSD Level 차	Notch 적용 주파수 대역과 23dB이상 차이를 갖도록 설계.
Filter 계수	성능 및 EMC 조율 위해 동작하는 최소 Notch 대역폭 15개.
Notch 대역폭	최소 Notch 대역폭 10kHz(ITU-R의 주파수 할당에 근거).
Total Notch 대역폭	동작하는 모든 Notch Filter의 합 HF Band(3~30MHz)의 5%.

감쇠하는 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 ETSI 표준을 기준으로 Notch Filter 알고리즘을 설계하여 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인하였다. 유럽 전력선 통신 표준인 ETSI TS 102 447 V1.1.1에서 제시한 Notch Filter의 특성은 표 1과 같다. ETSI에서 제시한 Notch Filter의 특성을 보면 Notch Filter는 Notch Filter가 적용되는 주파수 대역과 적용되지 않는 주파수 대역과의 PSD 레벨 차이가 최소 23dB 이상 차이가 나도록 규정하고 있다. 본 논문에서는 효과적인 간섭제거를 위해 Notch Filter의 제거 성능에 중점을 두고 High-Order Stable Notch filter를 설계하였고 그 성능을 확인하였다. 전력선 통신과 주변 무선 통신 서비스와의 간섭을 효과적으로 제거하기 위해 복잡도가 낮고 리플이 없어서 주변신호의 왜곡을 최소화시킬 수 있는 IIR Notch Filter를 선택하였다. 다음은 자주 사용되는 Notch Filter 알고리즘에 관한 내용이다.

2.1 격자형 Notch Filter

식 (1)은 격자형 Notch Filter의 전달함수이다⁴⁾.

$$\begin{aligned}
 H(z) &= \frac{(1 - re^{jw_0}z^{-1})(1 - re^{-jw_0}z^{-1})}{(1 - \alpha re^{jw_0}z^{-1})(1 - \alpha re^{-jw_0}z^{-1})} \\
 &= \frac{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}}{1 - 2\alpha r\cos(w_0)z^{-1} + \alpha^2 r^2z^{-2}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)에서 α 값은 Slope 계수, r 값은 Pole의 크기, w_0 값은 Notch Filter 중심주파수를 의미한다. α 값이 감소할수록 Filter 성능이 향상되며 Notch되는 주파수 대역폭도 증가한다. r 값을 살펴보면 r 값이 1에 가까울수록 제대로 된 Notch Filter 모형이 나타나지만, r 값이 감소할수록 제대로 된 Notch Filter의 모형이 나타나지 않는다. 또한, 위식은 차수가 2인 2차 Notch Filter임을 확인할 수 있다.

2.2 Stable Notch Filter

식 (2)은 Stable Notch Filter의 전달함수이다⁵⁾.

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

식(2)에서 w_N 은 Pole/Zero의 Angle값으로 Notch Filter의 중심주파수에 의해 영향을 받고, r 은 Pole/Zero의 Radius값을 나타내며 Filter Bandwidth의 영향을 받는다. 식 (1), (2)를 보면 기존의 격자형 Notch Filter와 Stable Notch Filter 알고리즘 모두 2차 Notch Filter임을 확인할 수 있다.

2.3 격자형 Notch Filter와 Stable Notch Filter 성능 분석

2차 Notch Filter인 격자형 Notch Filter와 Stable Notch Filter를 구현하여 그 성능을 확인해 보았다.

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

그림 1은 360kHz 대역폭 제거를 위하여 3단으로 구현한 격자형 Notch Filter이다. 그림 2는 360kHz 대역폭 제거를 위하여 3단으로 구현한 Stable Notch Filter이다. 그림 1, 2를 보면 2차 Notch Filter인 격자형 Notch Filter와 Stable Notch Filter의 경우 제거 성능이 ETSI 규정인 -23dB에 미치지 못하여 효과적인 간섭 채널 제거를 위해 사용하기에는 어려움이 있다. 따라서 ETSI 기준을 만족하는 고성능의 Notch Filter가 필요하다.

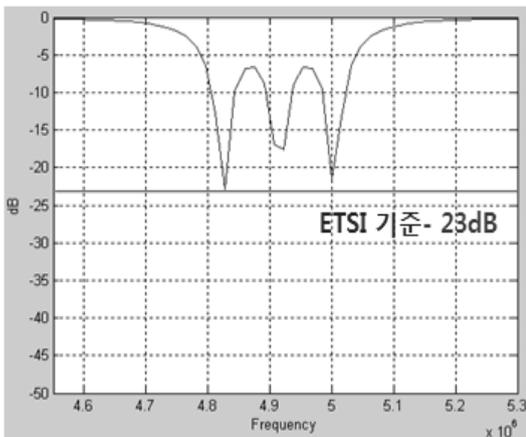


그림 1. 360kHz 대역폭 제거를 위한 격자형 Notch Filter

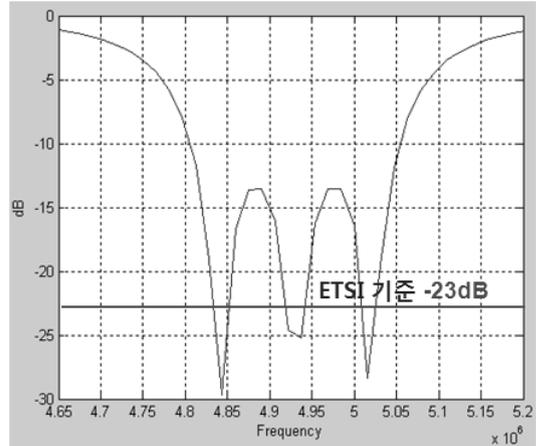


그림 2. 360kHz 대역폭 제거를 위한 Stable Notch Filter

III. 전력선 통신 시스템을 위한 High-Order Stable Notch Filter 제안

그림 3은 차수에 따른 Butterworth Filter의 성능을 비교한 그림이다⁶⁾. 차수(N)가 증가할수록 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 차수에 따른 FIR Notch Filter의 성능을 비교한 그림이다⁷⁾. 161차 FIR Notch Filter가 37차 FIR Notch Filter에 비하여 0.05 정도 성능이 향상되었다. 이는 Log Scale을 기준으로 -26dB에 해당하는 수치이다. 이처럼 Filter의 성능이 차수가 증가할수록 향상되는 점에 중점을 두어 본 논문에서는 기존의 2차 IIR Notch Filter의 차수를 증가시켜 High-Order Stable Notch Filter를 제안하여 설계하고, 그 성능을 확인해 보았다. High-Order Stable Notch Filter의 전달함수는 기존의 2차 Notch Filter인 Stable Notch Filter의 전달함수를 이용하여

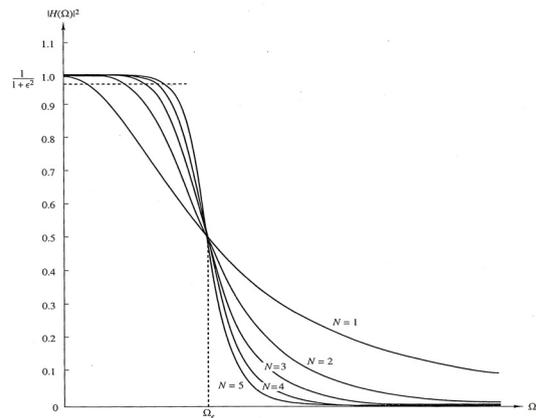


그림 3. 차수에 따른 Butterworth Filter 성능 비교

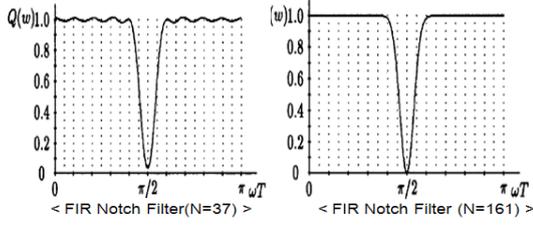


그림 4. 차수에 따른 FIR Notch Filter 성능 비교

나타낼 수 있다.

4차 Notch Filter의 전달함수는 식 (3)와 같다.

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

식(3)을 풀어서 나타내면 식(4)와 같다.

$$H(z) = \frac{1 - 4\cos(w_0)z^{-1} + (2 + 4\cos^2(w_0))z^{-2}}{1 - 4r\cos(w_0)z^{-1} + r^2(2 + 4\cos^2(w_0))z^{-2} - 4\cos(w_0)z^{-3} + z^{-4}} \quad (4)$$

6차 Notch Filter의 전달함수는 식 (5)와 같다.

$$H(z) = \left(\frac{1 - 2\cos(w_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}} \right)^3 \quad (5)$$

식(5)를 풀어서 나타내면 식(6)과 같다.

$$H(z) = \frac{1 - 6\cos(w_0)z^{-1} + (3 + 12\cos^2(w_0))z^{-2}}{1 - 6r\cos(w_0)z^{-1} + r^2(3 + 12\cos^2(w_0))z^{-2} + (-12\cos(w_0) - 8\cos^3(w_0))z^{-3} + r^3(-12\cos(w_0) - 8\cos^3(w_0))z^{-3} + (3 + 12\cos^2(w_0))z^{-4} - 6\cos(w_0)z^{-5} + z^{-6}} \quad (6)$$

8차 Notch Filter의 전달함수는 식 (7)과 같다.

$$H(z) = \left(\frac{1 - 2\cos(w_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}} \right)^4 \quad (7)$$

식(7)을 풀어서 나타내면 식(8)과 같다.

$$H(z) = \frac{1 - 8\cos(w_0)z^{-1} + (4 + 24\cos^2(w_0))z^{-2}}{1 - 8r\cos(w_0)z^{-1} + r^2(4 + 24\cos^2(w_0))z^{-2} + (-24\cos(w_0) - 32\cos^3(w_0))z^{-3} + r^3(-24\cos(w_0) - 32\cos^3(w_0))z^{-3} + (6 + 48\cos^2(w_0) + 16\cos^4(w_0))z^{-4} + r^4(6 + 48\cos^2(w_0) + 16\cos^4(w_0))z^{-4} + (-24\cos(w_0) - 32\cos^3(w_0))z^{-5} + r^5(-24\cos(w_0) - 32\cos^3(w_0))z^{-5} + (4 + 24\cos^2(w_0))z^{-6} - 8\cos(w_0)z^{-7} + z^{-8}} \quad (8)$$

10차 Notch Filter의 전달함수는 식 (9)과 같다.

$$H(z) = \left(\frac{1 - 2\cos(w_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos(w_0)z^{-1} + r^2z^{-2}} \right)^5 \quad (9)$$

2차인 Stable Notch Filter를 각각 제곱, 세제곱, 네 제곱, 다섯제곱하여 4차, 6차, 8차, 10차의 Notch Filter를 구현하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

4.1 시뮬레이션 환경

전력선 통신 환경에서의 High-Order Stable Notch Filter를 적용한 Notch Filter Emulator 구현 과정에서 실제 광대역 전력선 통신에서 사용되는 변복조 방식을 고려하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 현재 전세계적으로 사용되고 있는 전력선 통신에서의 변복조 방식은 OFDM 방식이다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 신호를 기반으로 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 현재 국내에서 전력선 통신에 할당되어 있는 대역인 2~30MHz 대역을 적용하여 전력선 신호를 구성하였고, ETSI에 배정되어 있는 HF Broadcasting Band를 적용하여 간섭 채널을 구성하였다.

Notch Filter Emulator 구현에서 사용한 OFDM 신호의 세부 Parameter는 표 2와 같다. 본 논문에서는 총 28MHz 대역, 2k(2048) FFT size의 전력선 통신 시스템 환경을 구성하였다.

표 3은 ETSI TS 105 578 V1.1.19에 배정되어 있는 HF Broadcasting Band이다. 표 3에 의하면 전력선

표 2. 전력선 통신 시스템의 파라미터

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 3. ETSI의 HF Broadcasting Band

CH	From(kHz)	To(kHz)	Bandwidth(kHz)
1	2300	2498	198
2	3200	3400	200
3	3900	4000	100
4	4550	4650	100
5	4750	5110	360
6	5750	6200	450
7	7100	7700	600
8	9300	9950	650
9	11550	12100	550
10	13550	13900	350
11	15050	15850	800
12	17400	17950	550
13	18900	19020	120
14	21450	21850	400
15	25670	26100	430

통신할당 대역인 2~30MHz 대역 내 간섭으로 작용하는 HF Broadcasting Band는 총 15개의 채널로 구성되어 있다. 간섭 채널은 2.3MHz~26.1MHz의 대역에서 존재하며 그 대역폭은 최소 100kHz에서 최대 800kHz까지 다양하다. 이렇게 다양한 간섭채널의 대역폭을 고려하여 본 논문에서는 여러 개의 Notch Filter를 각각의 채널 대역폭에 맞게 합산하는 방식으로 Notch Filter를 설계하였다. 그 기준 대역폭을 500kHz로 설정하여 7단, 15단 Notch Filter를 각각 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 5는 Notch Filter 설계 흐름도이다. 제거하고자 하는 간섭 채널 정보를 알고 있다는 가정 하에 간섭 채널 개수를 입력하고 채널 개수만큼 채널 주파수 정보를 입력 받게 된다. 입력된 채널 주파수 정보는 유효 채널 조건과 비교하게 된다. 유효 채널 조건은 현재 2~30MHz의 주파수 대역에서 시뮬레이션을 진행하였으니 그 주파수 대역 안의 채널 주파수 정보를 입력하여야 하며, 최소 100kHz에서 최대 800kHz의 채널 대역을 유효 조건으로 설정하였다. 입력된 주파수 정보가 유효 채널 조건을 만족하면 채널 대역폭에

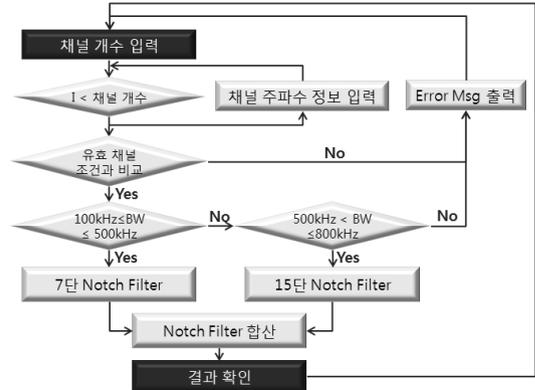


그림 5. Notch Filter 설계 흐름도

따라 Notch Filter의 단수를 조절하여 Notch Filter를 연산하고 그 결과를 합산하여 Notch Filter 설계를 완료한다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

High-Order Stable Notch Filter의 성능을 알아보기 위하여 제시한 15개의 간섭 채널 상에서 시뮬레이션을 진행하였다. 동일한 환경에서 성능을 확인해 보기자 대역폭이 360kHz인 5번 채널과 800kHz인 11번 채널에서 4차, 6차, 8차, 10차 Stable Notch Filter를 구현하였다.

그림 6은 360kHz의 대역폭을 가지는 5번 채널 제거를 위한 4차, 6차 Stable Notch Filter이며, 채널 대

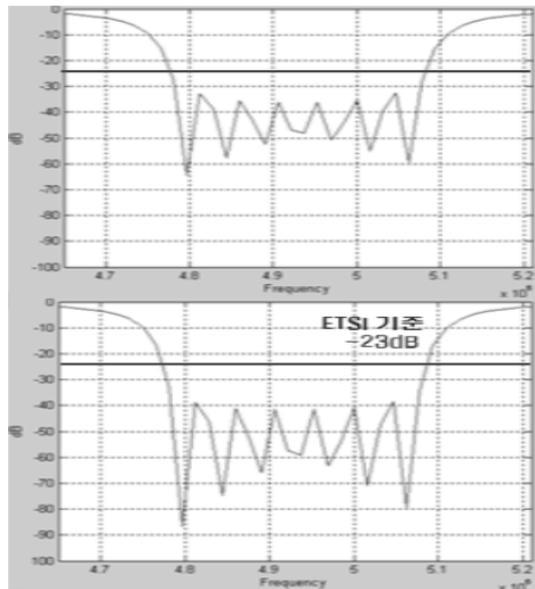


그림 6. 4차 Notch Filter와 6차 Notch Filter의 성능 비교 (360kHz 대역폭)

역폭이 500kHz 이하이므로 7단으로 구현하였다. 왼쪽이 4차 Stable Notch Filter, 오른쪽이 6차 Stable Notch Filter이다. 그림 7은 5번 채널 제거를 위한 8차, 10차 Stable Notch Filter이며, 채널 대역폭이 500kHz 이하이므로 7단으로 구현하였다. 왼쪽이 8차 Stable Notch Filter, 오른쪽이 10차 Stable Notch Filter이다. 그림 8은 800kHz의 대역폭을 가지는 11번

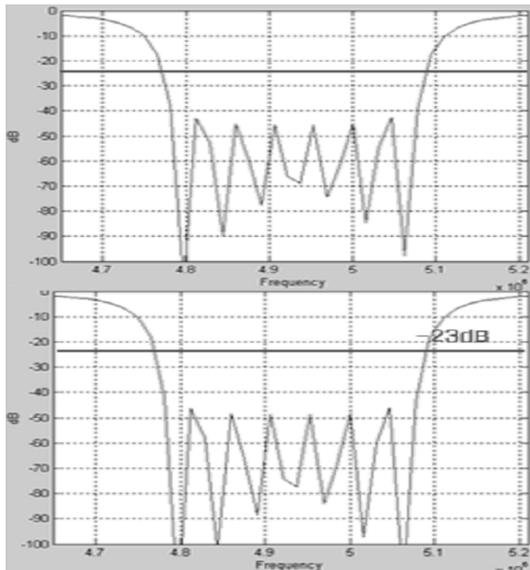


그림 7. 8차 Notch Filter와 10차 Notch Filter의 성능 비교 (360kHz 대역폭)

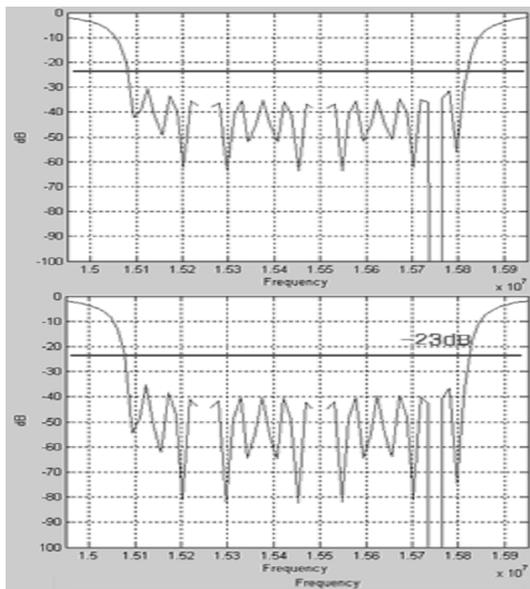


그림 8. 4차 Notch Filter와 6차 Notch Filter의 성능 비교 (800kHz 대역폭)

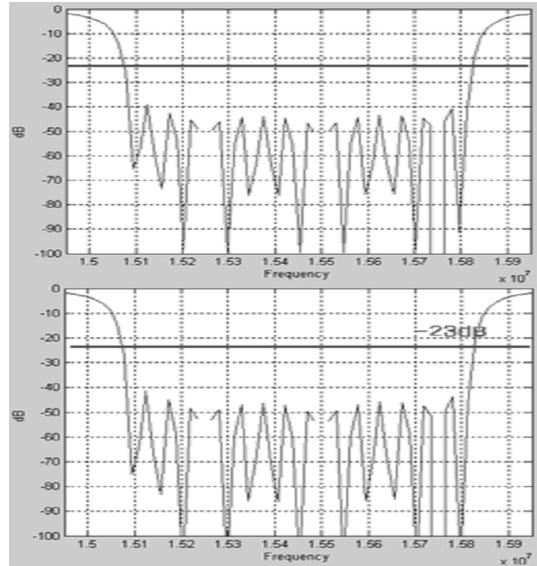


그림 9. 8차 Notch Filter와 10차 Notch Filter의 성능 비교 (800kHz 대역폭)

채널 제거를 위한 4차, 6차 Stable Notch Filter이며, 채널 대역폭이 800kHz를 초과하므로 15단으로 구현하였다. 그림 9는 11번 채널 제거를 위한 8차, 10차 Stable Notch Filter이며, 채널 대역폭이 800kHz를 초과하므로 15단으로 구현하였다.

5번, 11번 채널 상에서 시뮬레이션을 수행한 결과 4차에서 10차까지 Notch Filter의 차수가 증가할수록 성능도 향상되는 것을 확인할 수 있다. 차수가 한 단계 증가할수록 Notch Filter의 성능도 최소 성능을 기준으로 약 5dB 만큼 향상되었다.

V. High-Order Stable Notch Filter를 적용한 Notch Filter Emulator 구현

5장에서는 효율적인 간섭 제거를 위해 설계한 High-Order Stable Notch Filter를 적용하여 Notch Filter Emulator를 구현하였다. High-Order Stable Notch Filter 중 가장 성능이 우수한 10차 Notch Filter를 적용하여 Embedded Board 상에서 Notch Filter Emulator를 구현하였다.

5.1 구성 환경

Notch Filter Emulator 구현에 사용한 Embedded Board의 구성은 그림 10과 같다.

Emulator 구현에는 TORNADO-PX/DDC4G Board를 사용하였다. TORNADO-PX/DDC 4G Board는 2

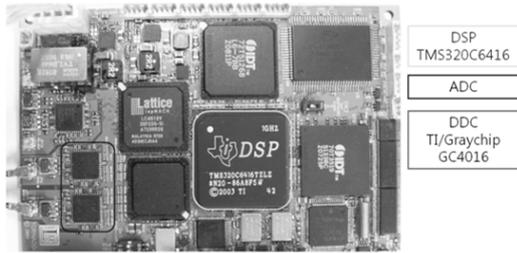


그림 10. Notch Filter Emulator 구현에 사용한 Embedded Board

개 채널의 RF 장비와 ADC, DSP, DDC(Digital Down Converter) 등으로 구성되어 있다. TORNADO-PX/DDC 4G Board에서 사용하는 DSP Chip은 Texas Instruments 사의 TMS320C6416 Model이다. TMS 320C6416 Model은 1GHz로 동작하며 Flash Memory는 1M bytes이고, SDRAM은 16M Bytes 네 개로 구성되어 총 64M bytes까지 사용이 가능하다⁸⁾.

5.2 실행 결과 분석

전력선 통신 환경에서 표 2에서 제시한 Parameter를 적용하여 간섭신호가 존재하지 않는다는 가정 하에 발생시킨 OFDM 신호는 그림 11과 같다. OFDM 신호는 표 2의 Parameter를 적용하여 발생시켰다.

ETSI에서 제시한 HF Broadcasting Band를 간섭 채널로 설정하여 Notch Filter Emulator를 실행시키고 그 결과를 분석해 보았다. 대역폭이 360kHz인 5번 채널에 간섭 신호가 존재한다는 가정 하에 해당 채널에 High-Order Stable Notch Filter를 적용하여 Emulator 실행 결과를 확인해 보았다. 그림 12는 360kHz 대역폭의 간섭 신호 제거를 위해 설계한 High-Order Stable Notch Filter이다. 성능이 가장 좋은 10차로 구현하였으며, 대역폭이 500kHz이하이므로 7단 Notch Filter를 적용하였다. 그림 13은 발생시킨 OFDM 신호의 5번 채널에 High-Order Stable Notch Filter를

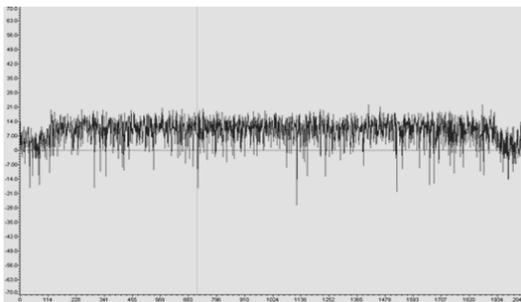


그림 11. OFDM 신호(Type I)

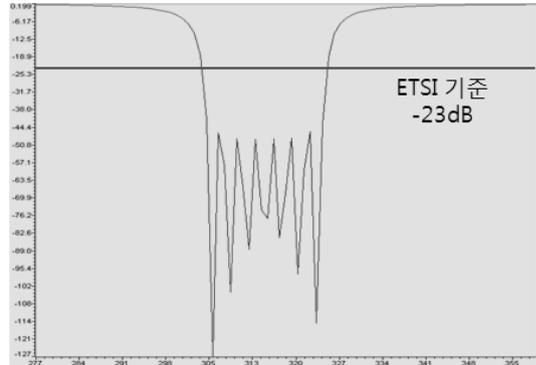


그림 12. 360kHz 대역폭의 간섭 신호 제거를 위한 High-Order Stable Notch Filter

적용하여 간섭 신호를 제거한 결과이다.

대역폭이 650kHz인 8번 채널에 간섭 신호가 존재한다는 가정 하에 Emulator 실행 결과를 확인해 보았다. 그림 14는 650kHz 대역폭의 간섭 신호 제거를 위해 설계한 High-Order Stable Notch Filter이다. 성능이 가장 좋은 10차로 구현하였으며, 대역폭이 500kHz를 초과하므로 15단으로 구성하였다. 그림 15는 발생시킨 OFDM 신호의 8번 채널에 High-Order Stable

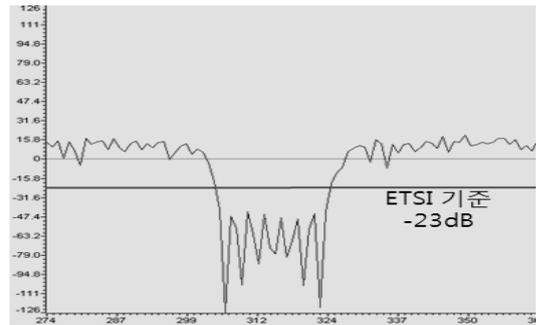


그림 13. 간섭 신호 제거 결과(5번 채널)

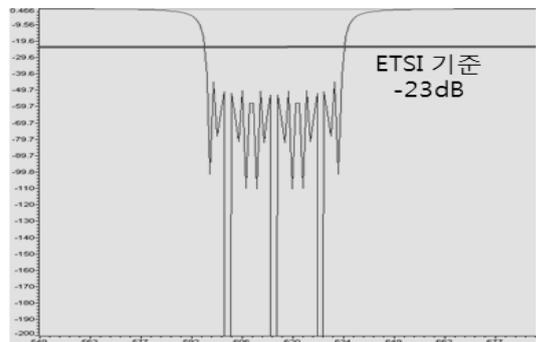


그림 14. 650kHz 대역폭의 간섭 신호 제거를 위한 High-Order Stable Notch Filter

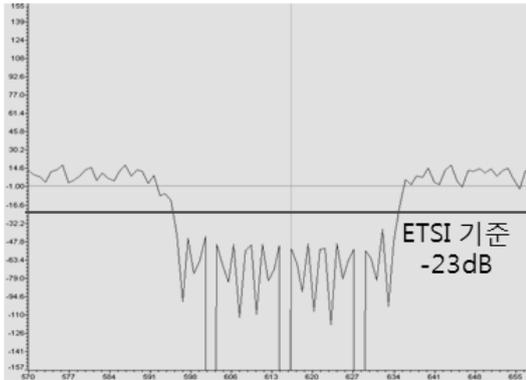


그림 15. 간섭 신호 제거 결과(8번 채널)

Notch Filter를 적용하여 간섭 신호를 제거한 결과이다.

ETSI에서 제시한 5번, 8번 채널에서 Notch Filter Emulator를 실행한 결과, 주변의 무선 통신 서비스와 간섭을 일으키는 해당 주파수 대역의 신호가 효과적으로 제거되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 각 채널에 적용된 High-Order Stable Notch Filter의 제거 성능이 최소 성능을 기준으로 약 -50dB를 나타내고 있어 ETSI 기준인 -23dB를 만족하는 것을 확인할 수 있다.

표 4는 DSP 상에서 Stable Notch Filter와 High-Order Stable Notch Filter 알고리즘의 연산량을 비교한 결과이다. 같은 환경에서 연산량을 측정하기 위해 각 Filter는 1단을 적용하였다. 측정 결과를 보면 Stable Notch Filter의 경우 150.80ms가 소요되었고, High-Order Stable Notch Filter의 경우 167.01ms가 소요되어 큰 차이를 보이지 않았다.

표 4. 기존 및 제안한 Notch Filter들의 연산량 비교

Filter 종류	소요 시간
Stable Notch Filter	150.80ms
High-Order Stable Notch Filter	167.01ms

VI. 결 론

본 논문에서는 전력선 통신 환경 상에서 주변의 무선 통신 서비스와의 간섭을 효과적으로 제거하기 위한 방안에 대하여 기술하였다. 주변 무선 서비스와 간섭을 일으키는 대역의 신호를 효과적으로 제거하기 위해 본 논문에서는 High-Order Stable Notch Filter를 제안하였다. 기존의 Notch Filter의 경우 전력선 통신 시스템과 주변 무선 서비스와의 간섭을 효과적으로 제거하기에는 성능이 떨어지는 단점이 있다. 이러한

문제점을 해결하고자 기존의 Notch Filter 들이 2차로 구현되었다는 점에 착안하여, 본 논문에서는 Notch Filter의 차수를 증가시켜 High-Order Stable Notch Filter를 제안하였고, 이를 적용하여 Notch Filter Emulator를 구현하였다. High-Order Stable Notch Filter의 성능을 분석해본 결과 4차에서 10차까지 차수가 증가할수록 약 5dB의 성능이 향상되었고, 4차, 6차, 8차, 10차 모두 ETSI 규정인 -23dB를 만족시켰다. 이렇게 제안한 High-Order Stable Notch Filter를 적용하여 Notch Filter Emuator.를 구현하였다. 현재 국내에 활용되어있는 2-30MHz 대역과 현재 전 세계적으로 전력선 통신의 변복조 방식으로 사용하고 있는 OFDM 방식을 적용하여 전력선 통신 환경을 구성하였다. 또한 간섭채널로는 ETSI에서 제시한 HF Broadcasting Band를 적용하여 Notch Filter Emulator를 구현하였다. Notch Filter Emulator를 실행한 결과, 주변 무선 서비스와의 간섭이 효과적으로 제거되는 것을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 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).
- [2] A. Majumder and J.Caffery, "Power Line Communications", IEEE Potentials, Vol.23, Issue4, pp.4-8, Oct.-Nov. 2004.
- [3] 이현소, 이영환, 장동원, 김경석, "OFDM 기반 전력선 통신을 위한 Notch Filter 설계", 한국콘텐츠학회 논문지, 제9권, 제3호, Mar, 2009
- [4] 최준원, 양윤기, 조남익, "DS-확산대역 시스템에서 격자형 IIR 노치필터를 이용한 협대역 간섭신호 제거 알고리즘", 한국통신학회논문지, Vol.26, No.4B, Apr, 2001.
- [5] 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).
- [6] John G.Proakis and Dimitris G.Manolakis, Digital Signal Processing, 4th Edition, Prentice-Hall, 2007.
- [7] Miroslav Vlcek and Ladislav Jires, "Fast Design Algorithm for FIR Notch Filter", IEEE Transaction on circuit and systems, Vol.51,

No.3, Mar, 2004, pp.297-300.

- [8] Dahnoun, Naim, Digital Signal Processing Implementation Using the TMS320C6000 DSP Platform, Prentice Hall, 2000.

김 경 석 (Kyung-Seok Kim)

정회원



1989년 1월~1998년 12월 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원

1999년 1월~2002년 3월 University of Surrey(영국) 전기전자공학과(공학박사)

2002년 2월~2004년 8월 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원

2004년 9월~2005년 2월 전북대학교 생체정보공학부 전임강사

2005년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 부교수
<관심분야> 전파시스템, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB, 디지털 라디오, 전력선 시스템

남 윤 호 (Yun-Ho Nam)

준회원



2009년 2월 충북대학교 정보통신공학과 학사

2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과 석사과정

<관심분야> 전력선 통신, Spectrum Sensing

김 주 석 (Joo-Seok Kim)

정회원



2007년 2월 충북대학교 정보통신공학과 학사

2009년 2월 충북대학교 전파공학과 공학석사

2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과 박사과정

<관심분야> Cross Layer, Scheduling, CR, WLAN, 디지털 라디오