

전력선 통신 환경에서 무선 간섭 신호를 제거하기 위한 Notch Filter Emulator 구현

장동원^{*}, 이영환^{**}, 이현소^{***}, 김경석^{****}

요 약

인터넷 서비스가 주 정보원으로 작용하는 정보화 시대에 인터넷 망이 닿지 않는 지역에 인터넷 서비스를 제공하기 위해 전력선 통신이 이루어지고 있다. 고속의 통신 서비스를 제공하기 위하여 현재 30MHz까지 할당된 주파수 대역을 80MHz로 확대하려는 연구도 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 Notch Filter를 제안하였고, TI사의 TMS320C6416T DSP 보드를 이용하여 Emulator를 구현하였다.

Implementation of Notch Filter Emulator for Wireless Interference Signal Cancellation under Power Line Communication Environment

Dong Won Jang^{*}, Young Hwan Lee^{**}, Hyun So Lee^{***}, Kyung Seok Kim^{****}

ABSTRACT

Today is the Information age which Internet service acts a most important Information Source. So the Power Line Communication has been achieved to offer Internet service for Last-Mile area. And Research is achieved to frequency range from 30MHz to 80MHz for High-speed communication service. But, Power Line is not suitable for communication, So, electric wave is generated from flow of communication information. And the electric wave is interfered with Wireless Communication Service using the same frequency range. In this paper, a Notch Filter for reduce of interference between Power Line Communication and Wireless Communication Service is proposed. The proposed emulator is developed using TMS320C6416T DSP board of Texas Instruments.

Key words: PLC(전력선 통신), Notch Filter(노치 필터), TMS320C6416(TMS320C6416), Interference Signal Cancellation(간섭 신호 제거)

1. 서 론

인터넷 서비스가 주 정보원으로 작용하는 정보화

시대에 인터넷 망이 닿지 않는 Last Mile Solution으로 전력선 통신이 주목받고 있다. 전력선 통신(Power Line Communication: PLC)은 전력을 실어

* 교신저자(Corresponding Author): 장동원, 주소: 대전광역시 유성구 가정로 138번(305-700), 전화: 042)860-6828, FAX: 042-860-5199, E-mail: dwjang@etri.re.kr
접수일: 2009년 1월 15일, 수정일: 2009년 6월 9일
완료일: 2009년 7월 2일

^{*} 한국전자통신연구원 책임연구원

^{**} 한국전자통신연구원 표준연구센터 책임연구원
(E-mail: yhwang@etri.re.kr)

^{***} 준회원, 충북대학교 전자공학과 석사과정
(E-mail: hyunso.lee@gmail.com)

^{****} 정회원, 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과 부교수
(E-mail: kseokkim@cbnu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 전자방송산업기반조성사업의 일환으로 수행되었음(08-기반-17, 안전한 전자파환경 조성)

나르는 도체에 데이터를 전송시키는 통신시스템이다. 전력선은 이미 전 세계적으로 60% 이상의 주거지에 설치되어 있기 때문에 고속 PLC를 통해 새로운 액세스용 회선을 부설하지 않고 광대역 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다[1,2]. 또한, 최근 전력선 통신 기술은 매우 발전되어서 200Mbps 정도의 고속 통신을 할 수 있게 되었다. 그러나 전력선 통신에 이용되는 전력선은 기본적으로 60Hz의 전력을 전송하도록 설계되었으므로 이보다 높은 고주파 신호를 보내게 되면 표피효과(Skin Effect)로 인하여 전파가 방사되어 부근의 무선통신 시스템에 영향을 주게 된다[3]. PLC는 유선통신으로 그 매체가 전력선이므로 신호의 누설로 다른 무선 설비에 영향을 줄 가능성이 있으며, PLC가 점유하는 대역은 전파관련법에 따라 전파이용설비로 정해져 있다[4]. 전력선은 비대칭 디지털 가입자 회선(ADSL)처럼 단일 목적에 단일 기기로 이루어지는 통신선이 아니라 다양한 기기들이 접속되어 있어 회선의 잡음 수준이 굉장히 높고 신호가 왜곡되는 현상 때문에 데이터 통신 회선으로는 부적합하다는 한계를 지니고 있다. 그리하여, 과거에는 누설 전계 허용치를 규제함으로써 무선 서비스와의 간섭을 피하는 방식을 채택하였다[5].

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 [6]. 또한 세계 여러 국가에서는 기존 무선통신 서비스에 간섭을 최소화 할 수 있는 기술 기준을 제정해서 주파수 대역을 공유해서 사용할 수 있도록 하고 있다. 이러한 간섭 신호 제거 방법으로 Notch Filter에 대한 연구가 이루어지고 있다[7].

Notch Filter는 극한의 Cutoff Slope를 갖는 LPF(Low Pass Filter)와 HPF(High Pass Filter)의 결합으로 구성되며 특정의 주파수에서 급격한 감쇠 특성을 가지고 있는 필터이다. Notch Filter를 통하여 특정 주파수에 포함된 잡음을 제거할 경우, 잡음 외의 다른 부분에는 거의 영향이 없어 전력선 통신에 적용할 경우 다른 대역에는 영향을 주지 않고 간섭이 발생하는 부분만을 제거할 수 있게 된다.

본 논문에서는 전력선 통신과 기존 무선 통신 서비스를 위한 Notch Filter에 대해 연구하였으며, 두 시스템 상호간의 간섭을 줄이기 위해 전력선 통신에서 무선 통신 서비스 사용 대역의 신호를 제거하여 전송하는 방식을 제안하였다. 제안한 방법을 통해 전력선 통신과 기존 무선 통신 서비스간의 간섭을 제거할 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문의 2장에서는 Notch Filter를 적용할 전력선 통신의 환경과 Notch Filter에 대해 알아본다. 3장에서는 전력선 통신 환경에 알맞은 Notch Filter를 설계하여 그 시뮬레이션 결과를 확인하고, 4장에서는 3장의 결과를 기반으로 TI사의 TMS320C6416T DSK board를 통해 Notch Filter Emulator를 구현하였다. 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 전력선 통신 기술

기본적인 전력선 통신 방법은 가정에서 사용하는 전력선에 고주파 변조신호를 중첩시켜서 실현하는 방식이다. 60Hz의 전원 신호에 통신 신호를 중첩시켜 송신하여 통신이 이루어진다.

2.1 전력선 통신의 반송 방식

과거 홈 네트워크 기반의 전력선 통신에 할당된 가용 주파수 대역은 10kHz~450kHz로 9.6kbps 정도의 전송속도를 갖고 있었다. 현재 광대역 전력선 통신을 허용한 국가들은 대부분 2~30MHz의 대역을 할당하고 있다. 2~30MHz 대역은 최저 10Mbps에서 여러 모뎀을 동시 연결할 경우에도 40Mbps(이론적으로는 200Mbps)의 안정적인 속도를 유지할 수 있다.

기존의 9~450kHz의 경우 기존 가전제품의 영향으로 인해 잡음이 크고 저 임피던스의 특성을 갖는다. 2~30MHz 대역의 경우에는 주입 전력에 비해 수신 전력은 높고 잡음 전력은 낮아서 잡음 정도가 적다. 하지만, 고속 전력선 통신을 위해 확장한 30~80MHz 대역은 주입 전력에 비해 수신 전력은 낮게 나타나며, 잡음 전력 정도는 높게 나타나 전송 손실이 큰 단점이 있다.

그림 1은 전력선 통신의 가용 주파수 대역에 대해 나타낸 그림이다. 이러한 전력선 통신상의 잡음을 제거하기 위한 기술이 Notch Filter이다.

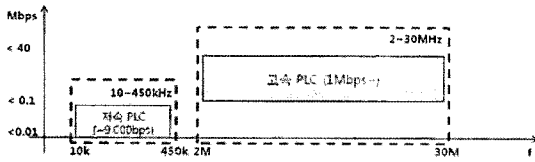


그림 1. 전력선 통신 가용 주파수 대역

2.2 전력선 통신에서의 Notch Filter

Notch Filter는 특정의 주파수에서 급격한 감쇠 특성을 가지고 있는 필터로써, 보통 송전선에 의해 유도되는 60Hz 잡음을 제거하는데 사용되어 왔다. 본 논문에서는 Digital Notch Filter 중 IIR Notch Filter를 적용하였다.

일반적으로 2차 FIR Notch Filter의 경우에 전달함수는 분자다항식만으로 표현되고 영점이 켈레복소수 관계가 있으므로 전달함수를 식 (1)과 같이 표현 가능하다. 이 때, 설계 변수는 α 와 w_0 이다[8,9].

$$H(z) = (1 - \alpha e^{jw_0} z^{-1})(1 - \alpha e^{-jw_0} z^{-1}) \tag{1}$$

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

Notch 폭을 구하기 위하여 w_0 을 기준으로 주파수 오프셋을 포함하여 전달함수를 구하면 식 (2)와 같다.

$$H(e^{j(w_0 + \delta w)}) = (1 - \alpha e^{jw_0} e^{-j(w_0 + \delta w)}) \times (1 - \alpha e^{-jw_0} e^{j(w_0 + \delta w)}) \tag{2}$$

$$= 1 - 2\alpha \cos(\delta w) + \alpha^2$$

위 식 (1), 식 (2)에서 알 수 있듯이, 각 설계 변수 α 와 w_0 는 Notch 깊이뿐만 아니라 폭에도 영향을 미치게 된다.

IIR Notch Filter의 전달함수를 식 (3)과 같다.

$$H(z) = \frac{(1 - r e^{jw_0} z^{-1})(1 - r e^{-jw_0} z^{-1})}{(1 - \alpha r e^{jw_0} z^{-1})(1 - \alpha r e^{-jw_0} z^{-1})} \tag{3}$$

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

식 (3)을 격자 필터 구조에 기초하여 나타내면 식 (4)와 같다.

$$H(z) = \frac{1 + (k_0 - k_0 k_1) z^{-1} + k_1 z^{-2}}{1 + (\alpha_0 - \alpha_0 \alpha_1) z^{-1} + \alpha_1 z^{-2}} \tag{4}$$

이 전달함수가 Notch Filter의 전달함수가 되기 위해서는 식 (5)와 식 (6)을 만족해야 한다.

$$\alpha_0 (1 + \alpha_1) = \alpha k_0 (1 + k_1) \tag{5}$$

$$\alpha_1 = \alpha^2 k_1 \tag{6}$$

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[10].

그림 2는 FIR Notch Filter와 IIR Notch Filter의 주파수 응답을 비교한 결과이다.

본 논문에서는 시뮬레이션 가능한 Notch Filter 표준 규격을 정하기 위해, 유럽 전력선 통신 표준인 ETSI TS 102 447 V1.1.1과 ETSI TS 102 578 V1.1.19에서의 Notch Filter 부분을 분석하였다.

그림 3은 ETSI 표준에서 제시한 Notch Filter의 특성에 대한 내용이다. Notch Filter는 Notch되지 않은 주파수 대역과 적어도 23dB 이상의 레벨 차를 갖도록 규정하고 있으며, 최소 Notch 가능 Bandwidth는 10kHz로 정해져 있다. PLT 성능과 EMC의 효과적 조율을 위해 동시에 동작할 수 있는 최소한의 Notch Filter는 15개로, 이 동작 가능한 Notch Filter의 합이 Notch Bandwidth가 된다.

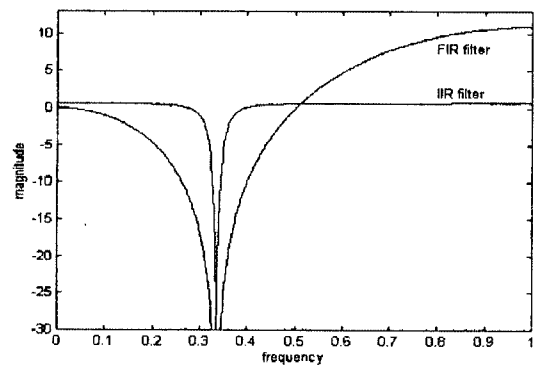


그림 2. FIR Notch Filter와 IIR Notch Filter의 주파수 응답

<p>◆ Notch Filter에서의 PSD Level 지</p> <p>Notch 되지 않은 주파수 대역과 적어도 23dB 이상 차이를 갖도록 설계.</p>	<p>◆ Notch Filter의 최소 Notch Width</p> <p>최소 Notch 가능 넓이는 10kHz (ITU-R Radio Regulation의 주파수 할당에 의해)</p>
<p>◆ 프로그래밍 될 수 있는 Notch의 수</p> <p>PLT 성능과 EMC를 효과적으로 조율하기 위해 동시에 동작할 수 있는 최소한의 Notch는 약 15개.</p>	<p>◆ 총 Notched Bandwidth의 최소값</p> <p>동작 가능한 모든 notch들의 합으로 규정됨. HF band(3MHz ~ 30MHz)의 5%를 최소로 규정.</p>

그림 3. Notch Filter 특성

3. 전력선 통신에서 간섭 신호 제거를 위한 Notch Filter 설계

본 논문에서 Notch Filter Emulator를 구현하기 전, 제한한 Notch Filter의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션 툴을 이용하여 Notch Filter의 적용 결과와 그 성능을 분석하였다.

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 Filter설계하는 방법을 제안하였다.

3.1 Notch Filter 적용을 위한 전력선 통신 시스템

시스템은 크게 신호 발생부와 채널 제거부로 나누어지는데, 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.

Type I, II, III은 전력선 신호의 대역폭에 따라 나누어진다. 본 논문에서는 2~30MHz 대역으로 총 28MHz 대역을 적용하므로, Type I 을 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 시뮬레이션에 적용하였다.

OFDM 기반 전력선 통신 시스템의 세부 파라미터는 표 1과 같다. ETSI에서 2~30MHz 대역 내의 전력선 통신 환경에서 간섭으로 작용하는 HF Broadcasting Band는 총 15개의 채널로 구성되어 있다. 간섭 채널은 2.3MHz에서 26.1MHz까지 존재한다. 대역폭은 최소 100kHz부터 최대 800kHz까지 분포하고 있다. 본 논문에서 적용한 간섭 채널에 대한 내용은 표 2에서 확인할 수 있다.

이렇게 간섭 채널의 대역폭 등의 정보가 균일하지 않으므로 이러한 정보를 고려하여 Notch Filter를 구성하여야 한다.

표 1. OFDM 기반 전력선 통신 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

표 2. 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

3.2 시뮬레이션 시스템 구성

본 논문에서는 기존 무선 서비스가 사용하는 채널을 선정하여 해당 채널의 신호를 제거한 후, 그 부분에는 통신 신호를 실어 보내지 않는 방식을 택하였다. 시뮬레이션 시스템 흐름도는 그림 4와 같다.

우선 ETSI 규정에 따라 Type I에 맞추어 OFDM 신호를 발생시키고, 표 2의 간섭 채널들 중 제거하고자 하는 채널을 선정한 후, 그 부분의 신호를 제거하여 데이터를 실지 않은 채 전송한다. 잡음의 영향을 고려하기 위해 AWGN을 추가하여 발생하는 잡음부분에 Notch Filter를 적용하여 스펙트럼으로 결과를 확인한다.

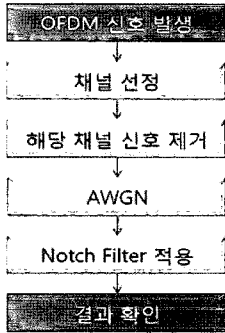


그림 4. 시스템 흐름도

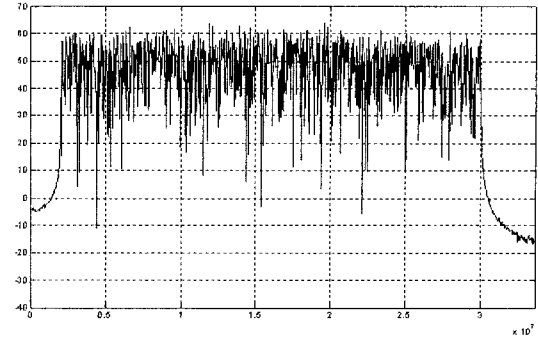


그림 5. OFDM 신호 발생 결과

Notch Filter의 경우, 좁은 대역의 잡음을 제거하기 위한 필터로서 그 동작 범위가 매우 좁아, 하나의 필터를 적용하여 채널 구간을 모두 제거할 수 없으므로, 제거해야 하는 간섭 채널을 모두 제거하기 위해 한 개의 채널 대역폭에 알맞게 단수 및 제거 대역폭을 조절한 여러 개의 Notch Filter를 합산하여 적용하는 방식을 제안하였다.

3.3 OFDM 신호 발생 및 간섭 채널 선정

현재 고속 전력선 통신은 2~30MHz 대역을 할당하여 사용하고 있다. 향후 80MHz 대역까지 확장될 것이나, 본 논문에서는 2~30MHz 대역의 파라미터 연산 후 OFDM 신호를 발생하였다.

OFDM의 대역 효율은 83.2%로 하였고, FFT size는 표 1에 따라 2048로 정하였다. 대역 효율에 따라 유효 부 반송파를 정하였고, 유효 대역폭과 유효 부 반송파를 통해 각 샘플의 간격을 연산하였다.

표 3의 파라미터를 통해 OFDM 신호를 발생시킨 결과는 그림 5와 같다.

시뮬레이션에서 사용되고 있는 간섭 채널을 선정하여 해당 채널에 해당하는 대역폭을 제거하려면 각 샘플간의 간격을 알아야 해당 채널의 대역폭을 제거

할 수 있기 때문에 간섭으로 작용하는 채널 파라미터의 연산이 필요하다. 표 3에서 구한 샘플 간격을 바탕으로 각 채널 정보에 해당하는 샘플 구간을 연산한 결과는 표 4와 같다.

OFDM 신호에 적용시킬 Notch Filter 연산을 위해 적절한 간섭 채널을 선정하였다. 선정된 채널은 4번 채널, 5번 채널과 11번 채널로 4번 채널은 100kHz의 좁은 대역폭을 사용하고, 5번 채널은 최소 대역폭인 100kHz와 최대 대역폭인 800kHz의 중간인 360kHz의 대역폭을 사용하며, 11번 채널은 최대인 800kHz의 대역폭을 사용한다. 또한, 4번 채널과 5번 채널은 채널 간격이 100kHz로 필터 사용 시 두 채널에 간섭이 있을 것으로 예상된다.

표 4. 간섭으로 작용하는 채널 Parameter

CH	From(kHz)	To(kHz)	Bw(kHz)	Samples
1	2300	2498	198	140~152
2	3200	3400	200	195~207
3	3900	4000	100	237~243
4	4550	4650	100	277~283
5	4750	5110	360	289~311
6	5750	6200	450	350~377
7	7100	7700	600	432~469
8	9300	9950	650	566~606
9	11550	12100	550	703~736
10	13550	13900	350	825~846
11	15050	15850	800	916~965
12	17400	17950	550	1059~1092
13	18900	19020	120	1150~1157
14	21450	21850	400	1305~1330
15	25670	26100	430	1562~1588

표 3. OFDM Parameter

Parameter	Value
전체 대역폭	33.65MHz
유효 대역폭	28MHz
FFT size	2048
유효 부 반송파	1706
샘플 간격	16.432kHz

3.4 간섭 채널 제거 결과 스펙트럼 분석

무선 통신 시스템의 경우, 한 번에 여러 채널 대역이 사용되는 형태를 지니게 되므로, 위에서 선정한 4번, 5번과 11번 채널이 사용되고 있다는 전제 하에 선정한 채널들을 동시에 제거하는 형태로 시뮬레이션을 진행하였다.

간섭으로 작용하는 채널들을 제거한 결과는 그림 6, 그림 7과 같다.

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. 채널이 제거된 부분 좌, 우에 별도로 표시된 부분은 샘플 간격 16.432kHz에 해당하는 부분으로써, 이 부분은 차후에 FFT size를 조정함으로써 제어 가능하다. 이렇게 채널 대역을 제거한 통신 신호가 전력선의 특성상 잡음의 영향을 받을 것을 고려하여 SNR을 10dB로 한 AWGN 신호를 추가하여 발생한 잡음을 해당 잡음 구간에 맞게 설계한 Notch Filter를 적용하여 제거하였다.

그림 8은 4번 채널 제거를 위한 Notch Filter의 모습을 나타낸 결과이다.

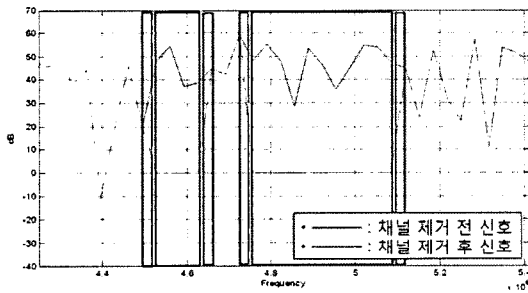


그림 6. 4번, 5번 채널 신호 제거 결과

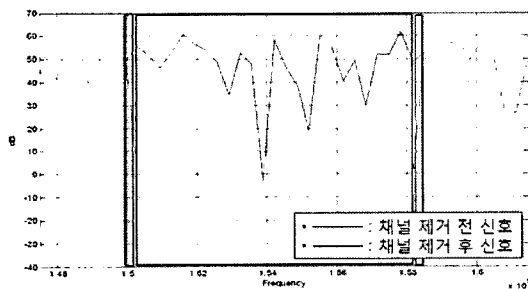


그림 7. 11번 채널 신호 제거 결과

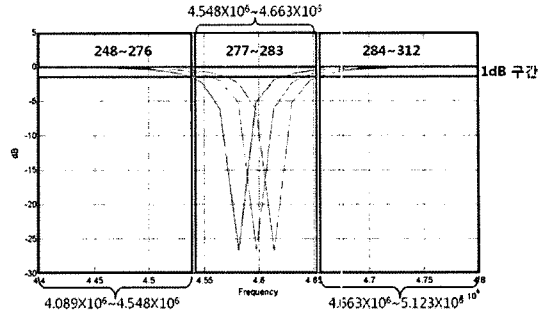


그림 8. 4번 채널 제거를 위한 Notch Filter

앞에서 설명하였듯이 하나의 필터로는 해당 채널 대역을 제거하는데 무리가 있으므로, 3개의 필터를 중첩하여 채널을 제거하는데 적용하였다. 하나의 필터는 총 42.728kHz 구간을 필터링 가능하며, 제거 레벨은 각 -27dB 가량이다. 이러한 Notch Filter를 20kHz 간격으로 배치하여 해당 구간에 적용한다. 좌, 우에 표시된 구간은 앞에서 설정한 통과대역 리플 1dB 구간이다. 5번 채널에 적용되는 Notch Filter는 위의 4번 채널의 Notch Filter의 연산 방식 중 필터의 간격과 제거 대역폭을 조절하여 연산 가능하다. 4번, 5번 채널과 같이 간섭 채널의 대역폭이 좁은 경우는 3단 Notch Filter를 적용하여 잡음 제거가 가능하지만, 11번 채널과 같이 간섭 채널의 대역폭이 넓은 경우에는 3단 Notch Filter로는 잡음 제거가 불가능하다. 그리하여 본 논문에서는 간섭 채널의 대역폭에 따라 Notch Filter의 단수 등 필터 특성을 조절하는 방법을 제안하였다. 11번 채널과 같이 넓은 대역폭을 갖는 부분은 단수를 증가시켜 잡음을 제거하는 방식을 택하였다.

그림 9는 11번 채널의 잡음을 제거하기 위한 Notch Filter이다.

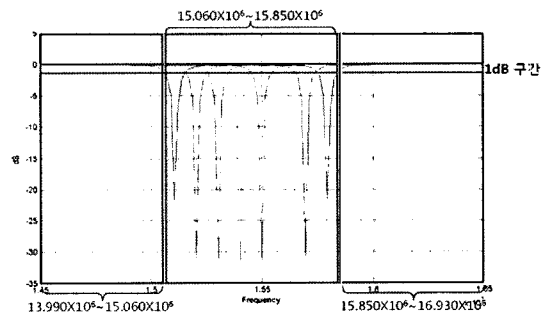


그림 9. 11번 채널 제거를 위한 Notch Filter

Notch Filter 하나가 총 100kHz 구간을 필터링하도록 하였으며, 그 제거 레벨은 약 -32dB이다. 이러한 Notch Filter를 100kHz 간격으로 배치하여 15.060~15.850MHz 까지 총 790kHz 대역을 제거 가능하다. 이렇게 각 간섭 채널에 알맞게 설계된 Notch Filter를 AWGN이 섞인 OFDM 신호에 적용한 결과는 그림 10, 그림 11과 같다.

그림 10, 그림 11을 통해 잡음이 섞여있던 신호에 비해 불규칙하게 나타난 채널 제거 구간의 잡음들이 제거된 것을 확인할 수 있다.

3.5 Notch Filter 적용 시뮬레이션 결과 BER 분석

앞에서는 Notch Filter와 OFDM 신호의 스펙트럼을 중심으로 그 성능을 분석하였으나, 통신 시스템에서 스펙트럼을 통한 성능 확인에는 한계가 있다. 그리하여 본 논문에서는 BER로써 Notch Filter의 성능을 확인하였다. BER 확인을 위한 시스템 흐름은 그림 12와 같다.

우선, OFDM 신호를 발생한 후, 간섭 채널을 선정하여 해당 채널의 신호를 제거하는 부분까지는 Time Domain 상에서 이루어지며, Frequency

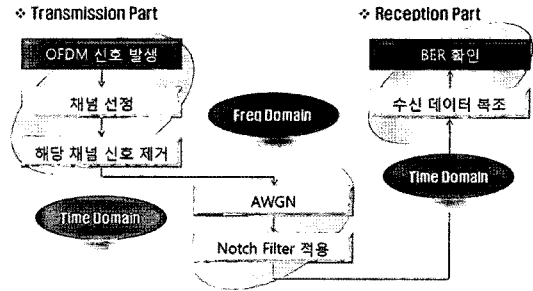


그림 12. BER 확인을 위한 시스템 흐름도

Domain으로 변환하여 AWGN을 추가하여 Notch Filter를 적용하고, 다시 Time Domain 상에서 수신 데이터를 복조하여 송신부와 수신부의 데이터를 비교, BER을 연산하는 방식을 적용하였다. 데이터 비교를 위하여 간섭 채널 선정 후, 해당 채널의 신호를 제거하여 AWGN을 추가하여 그대로 복조한 BER과 AWGN 추가 후 Notch Filter를 적용하여 복조한 BER을 비교하도록 하였다.

그림 12와 같은 시스템으로 구해진 각 채널의 BER은 그림 13과 같다. 4번 채널의 BER 그래프 확인 결과, SNR이 12dB 이상이 되면 Notch Filter를 적용한 경우의 BER 성능이 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 5번 채널도 유사한 BER을 보인다.

그림 14의 그래프에서 보면 SNR 18dB까지 Notch Filter를 적용한 방식의 BER이 적용하지 않은 방식에 비해 성능이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 SNR이 18dB 이상이 되면 Notch Filter를 적용한 방식에서는 더 이상 Error bit가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. Notch Filter를 적용할 경우, 발생 잡음을 제거하는 대신에 주변 대역에 영향을 주게 되는데, Notch Filter의 사용 용도가 채널 구간

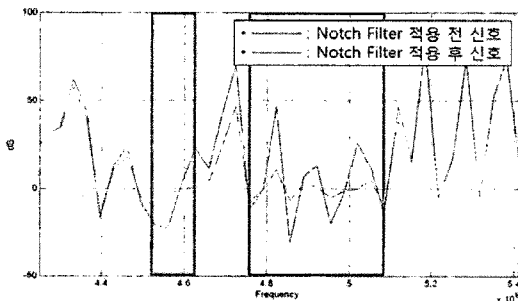


그림 10. 4번, 5번 채널의 Notch Filter 적용 결과

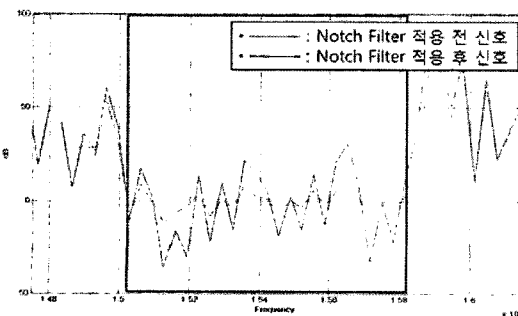


그림 11. 11번 채널의 8단 Notch Filter 적용 결과

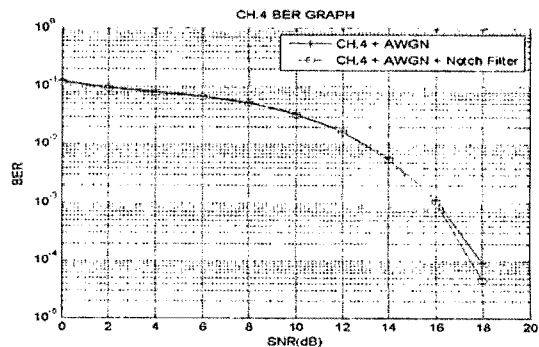


그림 13. 4번 채널의 BER 그래프

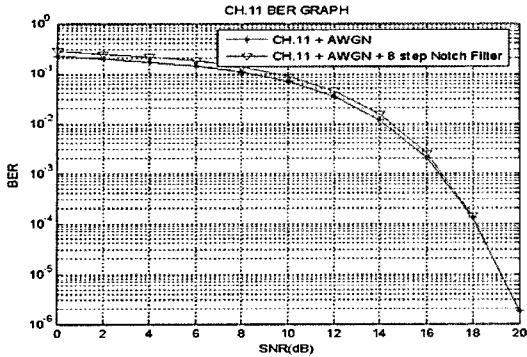


그림 14. 11번 채널의 Notch Filter 적용 BER 그래프

의 잡음을 효과적으로 제거하는데 목적을 두고 있으므로 대역폭이 넓은 채널의 경우, 현재와 같이 확장된 Notch Filter를 적용하는 것이 효과적이라 볼 수 있다.

이렇게 제안한 Notch Filter의 적용 방안을 통해 그 성능을 확인하였고, 이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 DSP board를 통하여 Notch Filter Emulator를 구현하였다.

4. DSP Board를 이용한 Notch Filter Emulator 구현

앞 장에서 시뮬레이션을 통해 설계하고 검증한 Notch Filter를 DSP System board를 이용하여 Emulator를 구현하고자 한다. 시뮬레이션에서는 전력선 통신과 동일한 OFDM 신호를 발생시켜 그 신호에 Notch Filter를 적용하여 신호 전송 시 발생하는 잡음 제거에 어느 정도 효과를 나타내는지 BER 그래프 성능을 확인하였다. Emulator에서는 검증된 Notch Filter를 활용하여 예시로 적용한 ETSI의 간섭 채널뿐만 아니라, 국내의 무선 시스템 채널에서도 적용이 가능하도록 구현하는 것을 목적으로 하였다.

4.1 하드웨어 구성

Notch Filter Emulator의 구조는 그림 15와 같다. Emulator에 사용된 DSP Board는 Texas Instruments 사의 TMS320C6416T DSP Board이며, 1GHz로 동작한다. Flash Memory는 1M bytes이며, SDRAM은 16M bytes 네 개로 구성되어 총 64M bytes까지 확장이 가능하다[11].

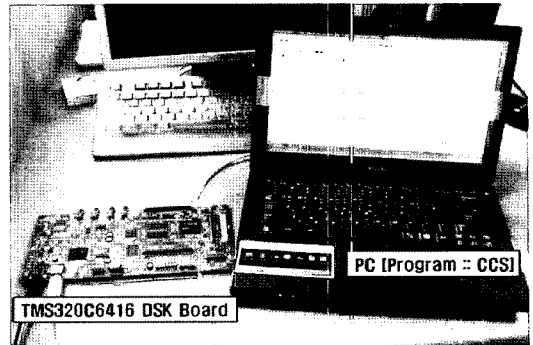


그림 15. Notch Filter Emulator 구조

4.2 Emulator 흐름도

본 논문에서 구현한 Emulator는 채널 개수와 채널 정보를 입력받아 그 기반으로 실행되도록 하였다. 이는 차후에 전력선 통신에서 무선 서비스에 사용되고 있는 채널 정보를 Sensing할 수 있는 기술이 도입될 경우, Spectrum Sensing Module과 연동이 가능하도록 하기 위한 것이다. 그림 16은 Notch Filter Emulator System의 흐름도를 나타낸다.

우선 제거할 간섭 채널의 정보를 알고 있다는 가정 하에 제거하고자 하는 채널 개수와 채널 주파수 정보를 입력하게 된다. Emulator에서는 입력 받은 채널 정보에 따라 그에 알맞은 Notch Filter단수와 대역폭을 설정하여 입력받은 채널 개수만큼 Notch Filter를 연산하고, 그 결과를 합산하면 프로그램이 완료된다. 결과를 확인한 후, 계속 프로그램을 진행시키면 초기 채널 개수를 입력받는 부분으로 돌아가게 된다. 제거하는 채널은 최소 1개부터 입력 가능하

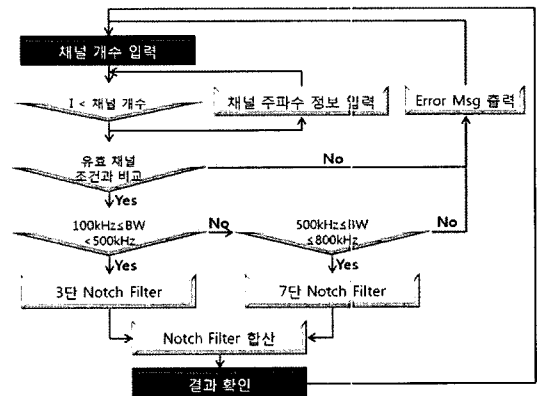


그림 16. Notch Filter Emulator system 흐름도

며, 제거되는 개수는 주파수 범위가 서로 중복되지 않는 한도 내에서 계속 확장 가능하다. 또한, 연산은 Hz 단위까지 연산 가능하다.

4.3 Emulator 실행 결과

Emulator의 결과를 확인하기 위해, Simulation으로 검증하였던 4번, 5번, 11번 채널에 대해 프로그램을 실행하였다. DSP System Board를 통해 구현된 Notch Filter Emulator를 실행한 화면은 그림 17과 같다.

맨 위는 제거하고자 하는 채널의 개수이고, 채널 개수를 입력하면 채널 대역폭의 최소값과 최대값, 전체 신호의 시작과 끝 주파수, 입력 데이터의 단위를 안내해주는 주의 문구를 출력한다. 그 이후에 각 채널에 대한 정보를 입력하게 되는데, 간섭 채널의 시작 주파수와 끝 주파수를 Hz 단위로 입력하게 된다.

그 후 프로그램의 실행이 완료되면, 각 채널의 Sample 범위를 출력한다. 이렇게 프로그램이 실행되면 그 결과를 제공되는 GUI를 통하여 확인 가능하다. 4번, 5번, 11번 간섭 채널에 대하여 프로그램을 실행한 결과는 그림 18, 그림 19와 같다.

채널 4번은 4550 ~ 4650kHz, 채널 5번은 4750 ~ 5110kHz, 채널 11번은 15050 ~ 15850kHz 대역을 사용한다. 그림 18에서 보면 4번과 5번 채널은 인접하여 있으므로 그 결과가 좌측의 스펙트럼에서 나타나고, 11번 채널은 우측에서 나타난다. 그림 18에서 나타난 Linear scale 스펙트럼을 Log scale로 나타낸 결과는 그림 19와 같다.

각 간섭 채널 제거를 위해 설계된 Notch Filter의 결과는 각각 -17dB ~ -48dB까지 그 제거 레벨이 다양하게 나타난다. 그 이유는 각 Notch Filter마다 필터 중심 주파수 및 필터 계수가 다르게 입력되는데,

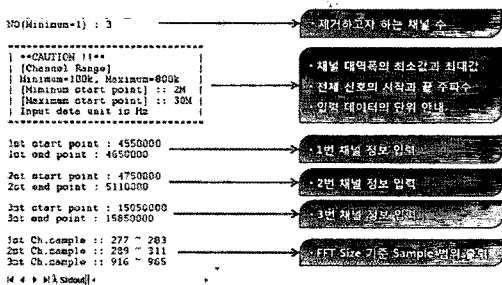


그림 17. Notch Filter Emulator 실행 결과 화면

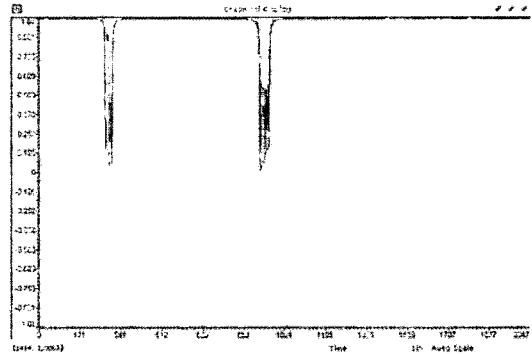


그림 18. Emulator 실행 결과 Linear Scale 스펙트럼

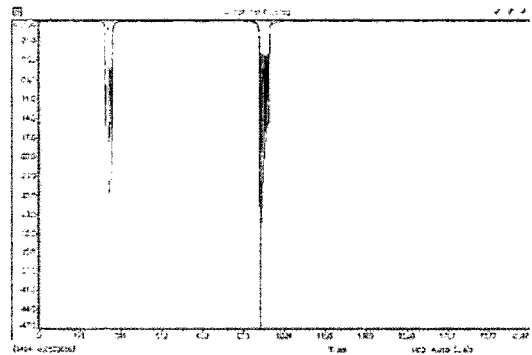


그림 19. Emulator 실행 결과 dB Scale 스펙트럼

그 파라미터에 따라 자동 연산되도록 되어있기에 발생하는 결과이다. 또한, 각 샘플의 간격이 16.432kHz로 소수부 연산이 포함되어있어, 그로인해 발생하는 Linear scale의 미세한 변화에도 dB scale은 매우 민감하게 반응한다. 이러한 결과는 FFT size를 변화시켜 샘플 간격을 좁게 하여 최적화 된 값을 연산하도록 하면 해결 가능하다.

위에서 Notch Filter Emulator를 구현하였는데, 그 결과를 Emulator와 동일한 환경으로 구성한 Simulation 결과와 비교하였다. 비교한 화면은 4번, 5번 채널과 11번 채널을 분리, 확대하여 나타내었다.

그림 20, 그림 21에서 볼 수 있듯, 두 결과가 동일하게 나타났으며, 각 간섭 채널의 대역폭에 알맞게 필터 대역폭 및 단수를 조절하여 결과를 연산함을 확인 가능하다.

앞에서 범위가 적절할 경우, 제거 채널 개수는 계속 확장이 가능함을 언급하였다. 그에 대한 내용을 Emulator를 실행하여 확인하였다. 그림 22는 표 2의 ETSI 기준 채널 정보인 15개 채널을 동시에 적용한

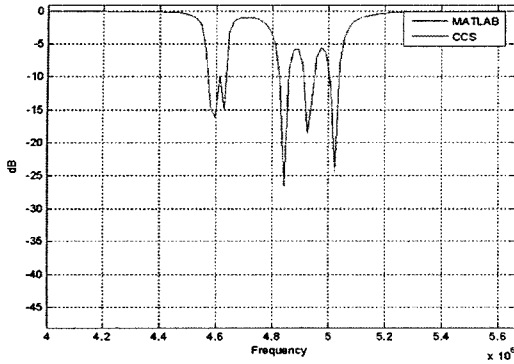


그림 20. 채널 4번, 5번의 Emulator와 Simulation 결과 비교

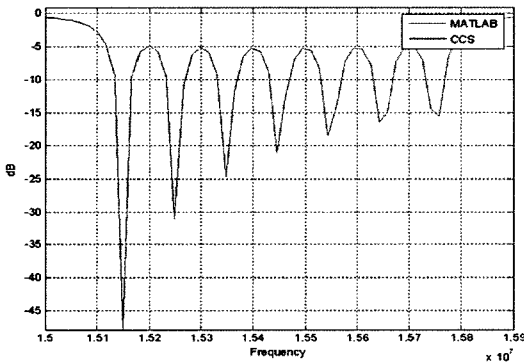


그림 21. 채널 11번의 Emulator와 Simulation 결과 비교

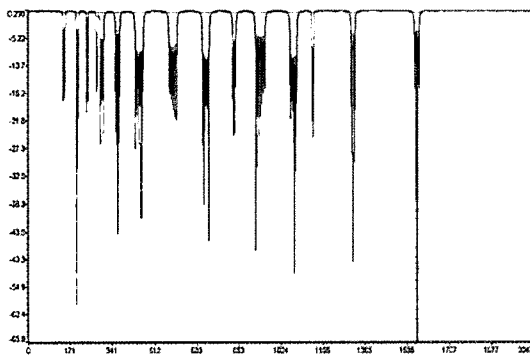


그림 22. ETSI 기준 15개 채널 Notch Filter 연산 결과

화면이다. 결과 화면은 dB scale로 나타내었다. 그림 22에서 볼 수 있듯이, 제거 레벨은 -17dB ~ -65dB로 나타나며, 한번에 15개 채널에 대한 Notch Filter가 설계 가능하며, 각 채널 대역폭에 알맞은 단수와 각 필터의 대역폭을 선택하여 연산이 이루어진다.

제거 레벨은 필터의 중심주파수와 대역폭의 조합, 그리고 해당 샘플의 주파수에 따라 달라진다. 향후,

각 필터의 성능을 평균화 시키는 연구가 필요할 것으로 고려된다.

5. 결 론

본 논문에서는 고속 전력선 통신과 기존 무선 서비스와의 간섭을 제거하기 위해 기존 무선 서비스가 사용하는 대역의 신호를 효과적으로 제거하기 위한 Notch Filter 설계 방식을 제안하였다. 또한, 제안된 방식을 적용하여 스펙트럼을 통해 결과를 확인하고 BER로써 성능을 확인하였으며, 그 결과를 기반으로 TI사의 TMS320C6416T DSP Board를 통해 Notch Filter Emulator를 구현하였다. 시뮬레이션은 현재 고속 전력선 통신에 할당된 주파수 대역인 2~30MHz와 변조방식인 OFDM을 적용하여 진행하였으며, 간섭 신호로 작용하는 무선 서비스의 사용 주파수 대역을 선택한 후, 그 부분의 신호를 제거하여 전력선 통신 신호를 전송하여 일차적인 간섭을 줄이고, 통신 선로로 사용되는 전력선의 높은 부하와 간섭현상, 가변하는 임피던스와 신호 감쇠 현상 등에 의해 발생하는 잡음을 Notch Filter로 제거하여 이차적인 간섭을 제거하는 방식으로 채널의 대역폭과 각 채널의 간격에 따라 Notch Filter의 단수 및 제거 대역폭을 조절하는 방식을 제안하였다. 그리고 그 결과를 스펙트럼으로 확인하였고, BER 성능 또한 Notch Filter를 적용한 결과가 좋게 나타남을 확인하였다.

Notch Filter Emulator는 향후 무선 통신 서비스가 사용하고 있는 대역을 감지할 수 있는 기술인 Spectrum Sensing 기술에 대한 연구가 이루어질 경우를 고려하여 Spectrum Sensing Module과의 연동이 가능하도록 구성하였고, 입력되는 채널 대역폭을 고려하여 Notch Filter의 대역폭과 단수를 자동적으로 선정하여 연산하도록 하였다. 그리고 그 결과를 스펙트럼으로 확인하였으며, 채널의 범위가 겹치지 않는 한도 내에서 확장이 가능함 또한 확인하였다. 전력선 통신에 본 논문에서 제안한 방법을 적용한다면 무선 시스템과 전력선 통신 사이의 간섭을 동적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Niovi Pavlidou, A.J. Han Vinck, and Javad

Yazdani, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," *IEEE Communications Magazine*, pp. 34-40, Apr, 2003.

[2] A. Majumder and J.Caffery, "Power Line Communications," *IEEE Potentials*, Vol.23, Issue 4, pp. 4-8, Oct.-Nov. 2004.

[3] 장동원, 이영환, "전력선을 이용한 유비쿼터스 고속 데이터 통신 연구," *주간기술동향 통권*, 1367호, Oct, 2008.

[4] Gilbert Held, "Understanding Braodband Over Power Line," Auerbach Publication, May. 2006.

[5] 정영화, "전력선통신기술 표준화 동향," *전자공학회지*, 제20권, 제 1호, Jan, 2003.

[6] 강영석, "전력선통신 동향과 상용화 전망," *한국전자과학회지*, 제 15권, 제 4호, Oct, 2004.

[7] 김철, 100kHz~1MHz 대역용 전력선 통신 Filter 개발에 관한 연구, (주)플레넷, Dec, 2001.

[8] Miroslav Vcek, Pavel Zahradnik, "Fast Analytical Design Algorithms for FIR Notch Filters," *IEEE Transactions on circuit and systems*, Vol.51, No.3, pp. 608-623, Mar. 2004.

[9] 임덕원, 이진우, 박찬식, 황동환, 이상정, "GPS 수신기 간섭 제거를 위한 적응 IIR 노치필터 설계," *전자공학회 논문지*, 제 44권, SC편, 제3호, May, 2007.

[10] 최준원, 양윤기, 조남익, "DS-확산대역 시스템에서 격자형 IIR 노치필터를 이용한 협대역 간섭신호 제거 알고리즘," *한국통신학회논문지*, Vol.26, No.4B, Apr, 2001.

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



장 동 원

1983년 한국항공대학교 항공통신공과 학사
 2002년 충남대학교 전파공학과 석사
 2005년 충남대학교 전파공학과 박사
 1989년 2월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

관심분야 : 전파시스템, 통신시스템, 디지털신호처리, 프로토콜 공학



이 영 환

1984년 숭실대학교 전자공학과 학사
 1986년 광운대학교 전자공학과 석사
 2007년 한국정보통신대학교 전자공학부 박사

1989년~현재 한국전자통신연구원 표준연구센터 책임연구원
 관심분야 : 전자장해석, 이동통신안테나, 무선설비 기술 기준



이 현 소

2008년 충북대학교 정보통신공학과 학사
 2008년 3월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정
 관심분야 : Cognitive Radio, 전자파신호 복원, 전력선 통신



김 경 석

1989년~1998년 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
 2002년 University of Surrey (영국) 전기전자공학과 박사

2002년~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임 연구원
 2004년~2005년 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 2005년~현재 충북대학교 전자정보대학 정보통신공학과 부교수
 관심분야 : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, DSA, UWB