

논문 2010-471E-2-10

# DBO-CSS 시스템에서 성능과 복잡도의 효율성을 고려한 이중 대역 필터링 방법

(Dual-Band Filtering Method Considering to Efficiency of Performance  
and Complexity in DBO-CSS System)

정진두\*, 진용선\*\*, 정정화\*\*\*

(Jin-Doo Jeong, Yong-Sun Jin, and Jong-Wha Chong)

## 요약

본 논문은 저대역과 고대역 신호를 번갈아 전송하는 DBO-CSS 시스템에 최적화된 이중 대역 필터링 방법을 제안한다. 전체 신호 대역을 통과시키는 기존의 채널 필터링은 이웃하는 부대역(sub-band)의 초과 잡음이 수신되는 다른 부대역의 신호에 더해지는 문제를 발생시킨다. 본 논문에서 제안하는 이중 대역 필터링 방법은 하드웨어 복잡도의 증가 없이 기존 채널 필터링 방법에서의 성능 저하를 극복할 수 있다. 제안된 방법은 저대역과 고대역 신호가 번갈아 수신되는 DBO-CSS 신호에 대응되는 두 개의 필터에 기반하므로 이웃하는 부대역에서의 잡음 신호를 배제할 수 있다. 시뮬레이션 결과, 제안된 방법은 기존 필터링 방법보다 약 2.5 dB의 성능 향상을 가질 수 있음을 볼 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we propose a dual-band filtering method optimized to DBO-CSS systems which are alternatively transmitted in low and high bands. The conventional channel filter which passes entire signal bandwidth causes a problem that excessive noise in neighboring sub-band is added while one of signals in two sub-bands is received. The dual-band filtering proposed in this paper can overcome the performance degradation in the conventional filtering method without increase of hardware complexity. The proposed method is based on two filters to be matched with DBO-CSS signals receiving alternatively and can exclude the undesired noise in neighboring sub-band. Simulation results for the proposed method show better performance about 2.5dB than the conventional one.

**Keywords :** DBO (Differential Bi Orthogonal), CSS (Chirp Spread Spectrum), Channel Filtering, Matched Filtering, Dual-band Filtering

## I. 서론

IEEE 802.15.4은 근거리 무선 통신 네트워크인 WPAN(Wireless Personal Area Network)에 대한 저전

력 센서 장치용 물리 계층에 대한 국제 표준 기술을 연구하는 그룹 또는 그 기술을 나타낸다. IEEE 802.15.4에 관련된 대표 기술이 바로 근거리 무선 통신 시스템인 지그비(Zigbee)이다. 2005년부터 IEEE 802.15.4 표준 그룹에서는 지그비 기술에 위치 추정 기능을 업그레이드하는 시스템에 대한 연구를 진행해 왔는데, IEEE 802.15.4a 표준 그룹에서는 IR-UWB(Impulse-Radio Ultra Wide Band)와 DBO-CSS(Differential Bi Orthogonal Chirp Spread Spectrum)을 국제 표준 기술로 채택하였다<sup>[1~3]</sup>. 이중 DBO-CSS 시스템은 낮은 복

\* 학생회원, 한양대학교 전자통신전파공학부  
(Hanyang University)

\*\* 정회원, 국제대학교 정보통신과  
(Kookje University)

\*\*\* 정회원, 한양대학교 융합전자공학부  
(Hanyang University)

접수일자: 2010년2월24일, 수정완료일: 2010년6월7일

잡도와 칩 신호 (Chirp Signal)의 대역 확산 (Spread Spectrum)에 기반한 정확도 높은 위치 추정 기능으로 차세대 USN (Ubiquitous Sensor Network)용 센서 방식으로 주목받고 있는 기술 중 하나이다.

본 논문은 시간상에서 저대역과 고대역 신호가 번갈아가면서 송신되는 DBO-CSS 신호의 특성에 기반한 이중 대역 필터링 (Dual-band Filtering) 방법을 제안한다. 사용하는 전체 대역을 통과 대역으로 삼아 통과시키는 기존 채널 필터링 (Channel Filtering) 방식과 달리, 제안하는 이중 대역 채널 필터링 방법은 번갈아 수신되는 저대역, 고대역 신호에 맞추어 필요 대역에서만 필터링이 적용되어 이웃하는 부대역에서의 잡음 영향을 제거할 수 있다. 이렇게 함으로써 기존 채널 필터링 방식을 갖는 DBO-CSS보다 향상된 성능을 가질 수 있다.

만약 일반 필터링 기법이 아니라 송신 신호에 정합된 정합 필터링 (Matched Filtering) 방식이 적용된다면 가장 좋은 수신 성능을 얻을 수 있다. 하지만, 정합 필터링 방법은 송신 신호와의 정합을 위해 높은 필터 차수와 정확한 필터 계수를 요구하여 하드웨어 복잡도가 높아진다.

그러므로, 하드웨어 복잡도는 기존 채널 필터링 방식과 유사하면서도 채널 필터링 방식보다 향상된 성능을 가질 수 있는 이중 대역 필터링 방식은 DBO-CSS 방식의 하드웨어와 성능의 효율성을 고려한 필터링 방식이라 할 수 있다.

## II. DBO-CSS 시스템 및 신호 특성

IEEE 802.15.4a 표준 그룹에서 채택한 표준 기술 중 하나인 DBO-CSS 기술은 칩 신호의 대역 확산에 기반한다. DBO-CSS 시스템에서 데이터를 송신하는 과정에 대한 개요는 다음과 같다<sup>[1-2]</sup>. 우선 송신 데이터를 심볼화하여 Bi-Orthogonal 코드에 맵핑(Mapping)시킨다. 이것은 채널 코딩으로 Bi-Orthogonal 코딩이 사용됨을 뜻한다. 맵핑된 심볼은 데이터 전송률에 따라 BPSK (Binary Phase Shift Keying)와 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)의 2가지 모드로 위상 변조된다. 그리고, 위상 변조된 신호는 SOP (Simultaneously Operating Piconet) 특성을 고려한 칩 신호를 통해 대역 확산되어 RF 모듈을 통해 송신된다. 이 때, DBO-CSS 시스템에서는 서로 다른 특성을 갖는 칩 신호의 조합을 통해 4 개의 SOP를 지원한다. 그림 1은 DBO-CSS 시

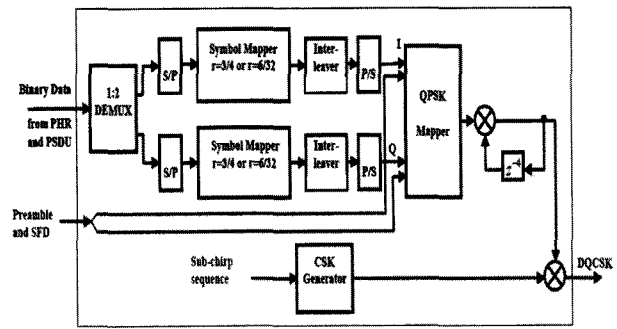


그림 1. DBO-CSS 송신기 블록도  
Fig. 1. Block Diagram of DBO-CSS Transmitter.

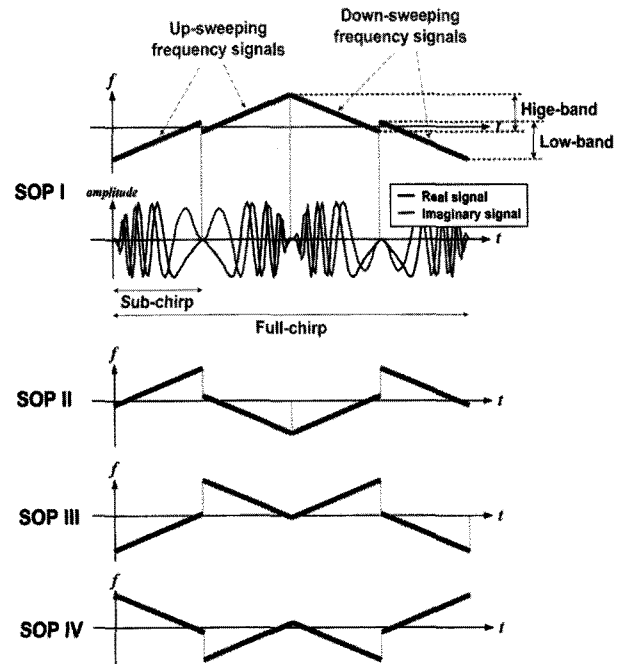


그림 2. 시간-주파수 도표로 본 DBO-CSS 시스템의 풀-칩 신호  
Fig. 2. Full-Chirp Signal of DBO-CSS System from Time-Frequency Diagram.

스템에 대한 송신 블록도를 보여준다.

그림 2는 4개의 SOP를 지원하는 DBO-CSS 시스템에서 대역 확산용으로 사용되는 풀-칩 (Full-Chirp) 신호를 보여준다. 칩 신호는 시간에 따라 주파수가 변하는데, 주파수가 변하는 방향이 증가하는 방향이면 업-칩 (Up 또는 Up-Sweep Chirp), 감소하는 방향이면 다운-칩 (Down 또는 Down-Sweep Chirp)이라고 한다.

DBO-CSS 신호는 주파수 대역 측면에서 기저대역의 중심 주파수가 서로 다른 부대역, 즉 저대역과 고대역으로 구성된다. DBO-CSS 시스템에서 SOP를 위해서 사용하는 서로 다른 특성의 칩 신호의 조합이란 업-다운 칩 신호와 저대역-고대역의 조합을 말한다. 다시 말

해, 저대역에 업-칩과 다운-칩, 고대역에 업-칩과 다운-칩을 적용시켜 부-칩 (Sub-Chirp) 신호를 만들고, 다시 4 개의 부-칩 신호를 피코넷 (Piconet) 사이의 간섭이 최소화되도록 조합하여 폴-칩을 생성한다. 이렇게 생성된 4가지 폴-칩 신호를 통해 서로 다른 4개의 피코넷을 구별할 수 있는 것이다.

### III. DBO-CSS 시스템용 이중 대역 필터링 방법

#### 1. DBO-CSS 신호를 고려한 이중 대역 필터링

DBO-CSS 시스템처럼 저대역과 고대역의 두 가지 부 대역 신호로 구성된 시스템에 대해 일반적인 채널 필터링 방법을 적용한다면 저대역과 고대역에서의 잡음 모두가 함께 수신된다. 반면, 고대역 신호가 수신될 때는 고대역 필터가, 저대역 신호가 수신될 때는 저대역 필터가 적용된다면 이웃하는 대역 (고대역 신호가 수신될 때는 저대역)에서의 잡음은 제거될 수 있다. 이것이 이중 대역 필터링의 기본 개념이다.

그림 3은 일반적인 채널 필터링과 제안하는 이중 대역 필터링 방법에 대한 신호와 잡음 (Noise)의 전력 스펙트럼

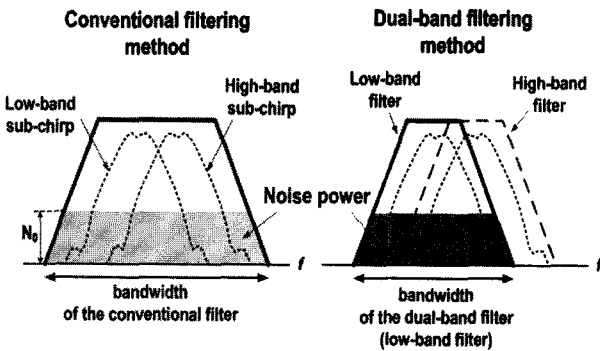


그림 3. 기존 채널 필터링과 이중 대역 필터링에 대한 신호와 잡음 전력 스펙트럼

Fig. 3. Signal and Noise Power Spectrum for Conventional Channel Filtering and Dual-band Filtering.

펙트럼 (Power Spectrum)을 보여준다. 이중 대역 필터링 방법에서는 이웃하는 대역에서의 잡음이 제거될 수 있어 수신되는 잡음 전력이 기존 채널 필터링 방법에서 보다 작음을 그림 3에서 볼 수 있다.

이중 대역 필터링이 적용되기 위해서는 고대역과 저대역 신호가 각각 어느 순간에 수신되는지를 수신기가 알고 있어야 한다. 그림 2에서 보여지듯이 DBO-CSS용 폴-칩 신호는 4개의 부-칩 신호들로 구성된다. 이 때, 4개의 부-칩 신호들은 저대역과 고대역 신호들이 번갈아가면서 전송됨을 볼 수 있다. 이것은 수신기에서 프리엠블 (Preamble) 신호를 통해 피코넷 번호 (Piconet Index) 검출과 초기 심볼 타이밍 동기 (Initial Symbol-Timing Synchronization)이 이루어진다면 저대역과 고대역 부-칩 신호가 수신되는 번갈아가 수신되는 순서를 알 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로, DBO-CSS 시스템에서는 이중 대역 필터링을 통해 이웃하는 대역에서의 잡음을 억제하여 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

만약 필터를 통해 수신되는 잡음 전력을 추정할 수 있다면, 다음 식으로 SNR (Signal-to-Noise Ratio)의 향상 정도를 계산할 수 있다.

$$SNR_{improvement} [dB] = 10 \times \log_{10} \frac{P_{Noise, Conv}}{P_{Noise, Dual}} \quad (1)$$

식 (1)에서  $P_{Noise, Conv}$  는 기존 채널 필터링을 통해 수신되는 잡음 전력을,  $P_{Noise, Dual}$  는 이중 대역 필터링을 통해 수신되는 잡음 전력을 나타낸다. 일반적으로 필터를 통해 수신되는 잡음 전력은 필터의 대역폭에 비례한다. 그러므로, DBO-CSS 시스템에 대한 필터의 대역폭을 고려한 후에 식 (1)을 통해 SNR 향상 정도를 구할 수 있다. DBO-CSS 시스템에 대한 시스템 사양은 각 부대역의 대역폭은 7 MHz, 저대역과 고대역의 겹침은 0.7 MHz 라고 기술하고 있다<sup>[1]</sup>. 그러므로, 채널 필터링에 대한 필터의 대역폭은 13.3 MHz, 이중 대역 필터

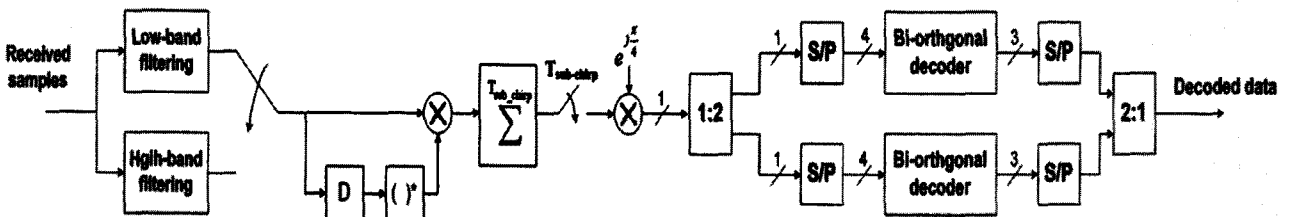


그림 4. 이중 대역 필터링이 적용된 DBO-CSS 수신기 구조

Fig. 4. Receiver Structure of DBO-CSS Adopting Dual-band Filtering.

링에 대한 필터의 대역폭은 7 MHz가 된다. 이 값들을 식 (1)에 적용하면, 제안하는 이중 대역 필터링 방법은 기존 채널 필터링 방법에 비해 2.78 dB의 SNR 향상을 가짐을 확인할 수 있다.

그림 4는 제안한 이중 대역 필터링 방법을 DBO-CSS 시스템에 적용한 수신기 구조를 보여준다. 프리엠블 신호를 통해 피코넷 번호 검출과 초기 심볼 타이밍 동기가 적절하게 이루어졌다면, DBO-CSS 시스템은 수신 신호에 대해 부-칩 신호 길이마다 고대역과 저대역을 번갈아 가면서 필터링을 수행한다. 그 후, 차동 검출 (Differential Detection) 및 디스프레딩 (Despreading)을 통해 심볼이 검출된다. 마지막으로, Bi-Orthogonal 디코더를 통해 채널 디코딩 (Channel Decoding)을 수행한다.

2. 이중 대역 필터링 방법의 효율성

본 절에서는 제안한 DBO-CSS 시스템용 이중 대역 필터링 방법의 효율성에 대해 기존 채널 필터링 방법 및 정합 필터링 방법과 비교한다.

우선, 본 논문에서는 제안한 이중 대역 필터링 방법과 기존 채널 필터링에 대해 하드웨어 복잡도가 유사할 때 성능은 어떻게 차이 나는지에 대해 기술한다. 하드웨어 복잡도를 유사하게 설정하기 위해서는 이중 대역 필터링에 대한 필터 형식과 차수를 설정하여야 한다.

DBO-CSS 시스템에 대한 채널 필터와 이중 대역 필터는 IEEE 802.15.4a 국제 표준에 기술된 시스템 사양을 만족하도록 설계되어야 한다. 그림 2에서 보여지는 DBO-CSS 시스템의 송신 신호는 롤-오프 (Roll-off) 요소가 0.15인 Raised-Cosine 원도우가 적용된 칩 신호이다. Raised-Cosine 필터는 통신 시스템에서 잡음 제거용으로 일반적으로 고려되는 필터 중에 하나이다<sup>[4-5]</sup>. 그러므로, DBO-CSS 수신부에서도 롤-오프 요소가 0.15인 Raised-Cosine 필터가 잡음 제거용 수신 필터로써 고려될 수 있다.

제안한 이중 대역 필터링에서의 필터 차수, 즉 필터 탭 크기를 구하기 위해, 본 논문은 그림 5에서 보여지는 것과 같은 제안한 구조에 대해 필터 탭 크기에 따른 BER (Bit Error Rate) 성능에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5의 시뮬레이션은 Eb/N0 가 10 dB인 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 하에서 Raised-Cosine 필터가 적용되었을 때의 결과이다. 그림 5의 시뮬레이션 결과, 11 탭 이상의 필터에 의해서는

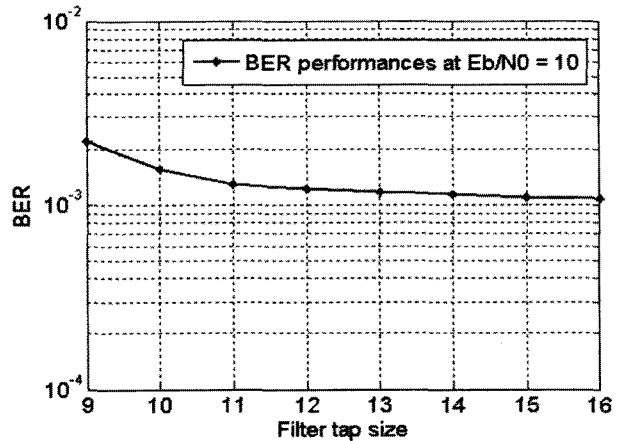


그림 5. 필터 탭에 따른 이중 대역 필터링의 BER 성능  
Fig. 5. BER Performance of Dual-band Filtering on Filter-tap Size.

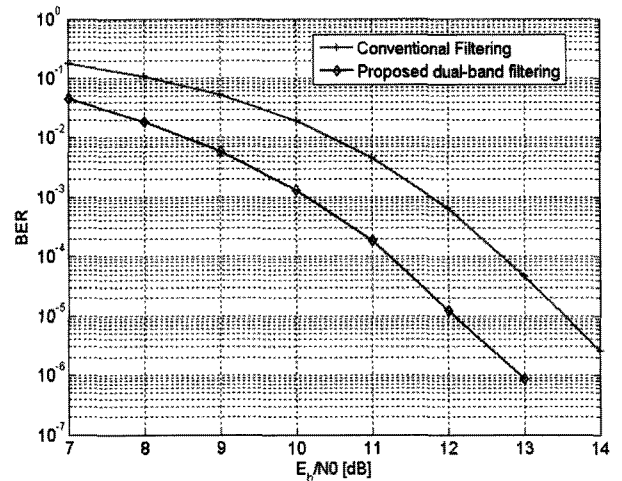


그림 6. 기존 채널 필터링과 제안 이중 대역 필터링에 대한 BER 성능  
Fig. 6. BER Performance for Conventional Channel Filtering and Proposed Dual-band Filtering.

성능 향상이 포함됨을 볼 수 있다. 이것은 제안하는 이중 대역 필터링에 대한 필터의 탭 크기는 '11'이 적당함을 의미한다. 이중 대역 필터링에서는 저대역, 고대역에 각각 사용되는 2개의 필터가 필요하므로, 이에 해당되는 하드웨어 복잡도를 갖는 채널 필터 필터는 23 탭의 Raised-Cosine 필터가 해당된다.

그림 6은 23 탭 필터를 사용한 채널 필터링 방법과 2개의 11 탭 필터를 사용한 이중 대역 필터링 방법에 대한 성능 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 제안한 이중 대역 필터링 방법의 성능은 기존 채널 필터링 방법보다 BER = 10<sup>-5</sup>에서 약 1.6 dB 향상되었음을 그림 6의 시뮬레이션 결과로부터 볼 수 있다.

시뮬레이션에 의해 구해진 SNR의 향상 결과는 앞

절에서 계산한 SNR의 향상 결과보다 작다. 이것은 일반 Raised-Cosine 필터가 AWGN 잡음 뿐만 아니라 수신 신호 성분의 일부를 필터링하기 때문에 발생한다. 이러한 문제를 극복하는 방법 중 하나는 수신 필터로 정합 필터를 사용하는 것이다. 정합 필터는 송신하는 신호의 샘플들을 계수로 사용하기 때문에 신호를 왜곡시키지 않고 잡음을 제거할 수 있기 때문이다. 하지만, 정합 필터는 큰 필터 탭 크기와 정확한 필터 계수를 요구하여 하드웨어 복잡도가 크다.

제안한 이중 대역 필터링과 정합 필터의 하드웨어 복잡도를 비교하기 위해서는 먼저 시스템 클럭을 설정해야 한다. 정합 필터에 대한 탭 크기는 송신 신호의 심볼당 샘플 수와 관련되고 이것은 다시 시스템 클럭과 연관되기 때문이다. WPAN 국제 표준 그룹에서 채택한 IEEE 802.15.4a DBO-CSS 시스템은 IEEE 802.15.4 지그비 시스템에 대한 선택적 물리 계층 (Alternative Physical-layer)이다. 그러므로, DBO-CSS 시스템은 이미 개발·검증된 지그비의 시스템 클럭인 32 MHz를 바탕으로 설계되는 것이 타당하다고 볼 수 있다.

DBO-CSS 시스템의 부-칩 심볼 길이는 1.1875 us 이므로<sup>[1]</sup>, 32 MHz의 주파수로 샘플링하면 한 부-칩은 총 38개의 샘플 구성된다. 이것은 한 부-칩 신호에 대한 정합 필터의 탭 크기가 '38'임을 뜻한다. 게다가, 그림 2에서 보여지듯이, DBO-CSS 시스템에서 발생할 수 있는 부-칩 신호의 가지수는 총 4개이다 (저대역에서 업-칩, 다운-칩 그리고 고대역에서 업-칩, 다운-칩). 그러므로, DBO-CSS 수신부에 정합 필터를 적용하기 위해서는 38 탭 필터가 총 4개가 필요함을 뜻한다. 이것은, 동일한 해상도의 필터 계수에 대해, 2개의 11 탭 필터로 구성되는 이중 대역 필터링 방법보다 약 7배의 하드웨어 복잡도가 요구함을 뜻한다.

이상의 검토 결과, 제안한 이중 대역 필터링 방법은 정합 필터보다 효율적인 하드웨어 구조를 가지면서도 채널 필터의 저하된 성능을 향상시킬 수 있다는 장점을 가짐을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 낮은 하드웨어 복잡도를 가지면서도 채널 필터링의 저하된 성능을 향상시킬 수 있는 DBO-CSS 시스템용 이중 대역 필터링 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 저대역과 고대역 신호가 번갈아

전송되는 DBO-CSS 신호의 특성을 이용하여 수신 신호를 부-칩 신호 간격으로 번갈아 가면서 선택적으로 필터링하는 방식에 기반한다. 이웃하는 부대역에서의 초과 잡음으로 인해 성능 저하를 보이는 기존 채널 필터링 방법에 비해, 제안된 이중 대역 필터링 방법을 적용하면 이웃하는 부대역에서의 잡음 영향을 제거하여 약 1.6 dB의 성능 향상을 얻을 수 있음을 시뮬레이션 결과로부터 볼 수 있었다. 게다가, 하드웨어 복잡도 면에서 제안하는 방식은 정합 필터링 방법보다는 약 7배의 효율성을 가짐을 확인하였다. 그러므로, 제안한 이중 대역 필터링 방법은 정합 필터보다 효율적인 하드웨어 구조를 가지면서도 채널 필터의 저하된 성능을 향상시킬 수 있는 방법이라 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] IEEE P802.15.4a<sup>TM</sup>/D7, January 2007.
- [2] 윤상훈, 정정화, "새로운 DBO-CSS 수신기 구조," 전자공학회논문지, 제44권 TC편, 제4호, 59-64쪽, 2007년 4월
- [3] 권대길, 조진웅, 임승욱, 이장연, 이현석, 원윤재, "개인 무선네트워크에서 CSS 방식과 RSSI를 이용한 거리측정에 관한 연구," 2008년도 대한전자공학회 하계종합학술대회논문집, 제31권, 제1호, 321-322쪽, 2008년 8월
- [4] Vesa Valimäki and Timo I. Laakso, "Suppression of Transients in Variable Recursive Digital Filters with a Novel and Efficient Cancellation Method," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 46, no. 12, pp. 3408-3414, December 1998.
- [5] Lo Presti, "FIR Design of Raised-cosine Filters," Proc. EUROCON88, pp. 146-149, 1988.

저 자 소 개



정 진 두(학생회원)  
 1998년 한양대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2000년 한양대학교 전자통신전파  
 공학부 석사 졸업.  
 <주관심분야 : 디지털통신, 신호  
 처리>



진 용 선(정회원)  
 1978년 한양대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1991년 한양대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2001년 한양대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

1978년~1979년 전자통신연구원 연구원  
 1980년~1987년 LG전자연구소 선임연구원  
 1988년~1996년 Texas Instrument 연구소  
 책임연구원

1997년~현재 국제대학 정보통신과 교수  
 <주관심분야 : 디지털통신시스템, 정보통신, 신호  
 처리>



정 정 화(정회원)  
 1975년 한양대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1977년 한양대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2004년 와세다대학교 전자통신  
 공학과 박사 졸업.

1981년~현재 한양대학교 융합전자공학부 교수  
 <주관심분야 : 통신, CAD, 영상처리, 반도체>