

논문 2011-48TC-6-1

# 차세대 무선 스피커 시스템의 전송거리 증대를 위한 MB-OFDM UWB 기술

( MB-OFDM UWB Technology for Increasing Transmission Reach of  
Wireless Speaker Systems )

김도훈\*, 위정욱\*\*, 이현석\*\*, 이충용\*\*\*

( Dohoon Kim, Jungwook Wee, Hyeonseok Lee, and Chungyong Lee )

## 요약

차세대 무선 스피커의 오디오 신호 전송 거리의 증대를 위한 Multi-band orthogonal frequency division multiplexing ultra-wideband (MB-OFDM UWB) 기술을 제안한다. 제안된 기술은 기존의 MB-OFDM UWB 기술을 바탕으로 리드 솔로몬 코딩 기법을 추가하여 간헐적인 랜덤 에러를 완벽하게 보상하여 SNR을 이득을 얻음으로써 전송거리를 개선하였다. 시뮬레이션 환경으로 WPAN 채널모델중 CMI를 사용하였고, 백색잡음과 캐리어 주파수 오프셋, 샘플링 주파수 오프셋을 반영하여 시뮬레이션 환경이 실제 모델의 동작 환경과 유사하도록 설정하여 시뮬레이션의 신뢰를 높였다. 시뮬레이션을 통해서 최대 2dB의 SNR 이득을 얻었고, 이는 수신기의 수신감도를 향상시켜 제안된 시스템은 최대 12.6미터까지 신호 전송이 가능한 것을 확인하였다.

## Abstract

We present the Multi-band orthogonal frequency division multiplexing ultra-wideband (MB-OFDM UWB) technology for increasing the transmission reach of wireless speaker systems. The proposed scheme adopts the Reed-Solomon coding for preventing the random error perfectly and shows the SNR gain in low bit error rate (BER) especially. So, we can increase the maximum reach of MB-OFDM UWB technology since the receiver sensitivity is improved. The simulation environment includes most effects of realistic channel environments such as Additive White Gaussian Noise (AWGN), CMI channel model, Sampling frequency offset (SFO), Carrier frequency offset (CFO) to improve the simulation accuracy. The simulation results show that the proposed scheme can give a maximum 2 dB SNR gain and increase the transmission reach up to 12.6m

**Keywords :** UWB, Reed-Solomon, CFO, SFO

## I. 서론

Ultra-wideband (UWB) 전송방식 중의 하나인 multi-band orthogonal frequency division multiplexing (MB-OFDM) UWB 기술은 낮은 전력으로 초고속 통신을 실현하는 근거리 무선통신기술로서 10m 정도의 근거리에서 수십에서 수백 Mbps 속도로 고속의 영상 데이터를 전송할 수 있다. 최근들어 가정이나 사무실에서

\* 정회원, 연세대학교 전기전자공학부,  
전자부품연구원 통신네트워크센터  
(School of Electrical and Electronic Engineering  
Yonsei University)

\*\* 정회원, 전자부품연구원  
(Korea Electronics Technology Institute)

\*\*\* 정회원, 연세대학교 전기전자공학부  
(School of Electrical and Electronic Engineering  
Yonsei University)

접수일자: 2011년3월4일, 수정완료일: 2011년6월15일

사용되는 무선 스피커 시장이 본격적으로 주목을 받고 있는데, 최근에는 10채널을 넘어서 수십개의 스피커를 지원하는 시스템 개발이 진행되고 있다. 이러한 시스템을 위한 무선 통신 기술중에 기존의 블루투스나 와이파이 기술은 전송 속도나 주파수 간섭의 문제로 인해서 리얼 사운드를 지원하는 무선 스피커에 적용하기에는 한계가 있다. 기존의 UWB기술은 고속의 영상 데이터 전송이 목적이었지만, 전송거리를 늘릴 수 있는 몇 가지의 기술을 추가하면 차세대 무선 스피커 기술로 사용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 차세대 무선 스피커에 적용하기 위해서 리드 솔로몬 코딩을 추가한 MB-OFDM UWB 성능 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 II장에서는 기존의 MB-OFDM UWB 기술에 대해서 설명하고, III장에서는 제안된 MB-OFDM UWB 기술을 보여준다. IV장에서는 제안된 MB-OFDM UWB 기술의 시뮬레이션 결과를 보여주고 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 기존 MB-OFDM UWB 구조

현재 MB-OFDM UWB 표준안은 WiMedia Alliance에서 WiMedia MAC/PHY Specification 1.5까지 발표된 상태이다<sup>[1]</sup>. 이 스펙은 최소 53.3 Mbps에서 최대 1.024 Gbps의 물리계층 속도를 지원하고 있다. 본 기술 표준은 최대 10m 거리까지 데이터를 전송할 수 있기 때문에 근거리의 고속 데이터 전송에 최적화되어 있다. 따라서 약 20m 의 거리까지 오디오 신호를 전송하기 위해서는 표준에서 제시하고 있는 낮은 data rate만 지원해도 고품질의 음성 신호를 전달하는 것은 충분하지만, 전송거리를 늘리기 위한 여러 가지 기법을 추가 해야한다.

그림 1은 기존의 MB-OFDM UWB 송신기 구조를 보여준다. MAC단에서 넘어온 소스 데이터는 스크램블러를 거쳐 컨볼루션 인코더를 통과하고, 인터리빙을 거쳐서 QPSK 매퍼를 통과한다. 128 inverse fast Fourier transform (IFFT)를 거쳐서 변조된 신호는 528MHz DAC로 샘플링된 후 radio frequency (RF) 회로를 거쳐서 전송된다. 헤더데이터는 수신 에러를 최소화하기 위해서 리드솔로몬 코딩을 적용하도록 규정되어 있는데, 수신기를 설계할 때에는 하드웨어의 복잡도 및 설계된 칩의 용도에 따라서 리드솔로몬 디코딩 기능의 탑재 여

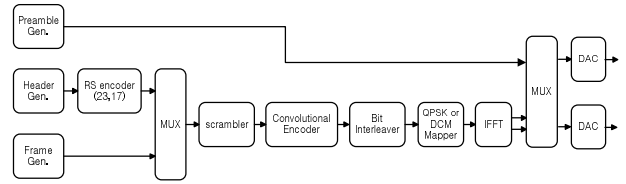


그림 1. MB-OFDM UWB 송신기  
Fig. 1. MB-OFDM UWB transmitter.

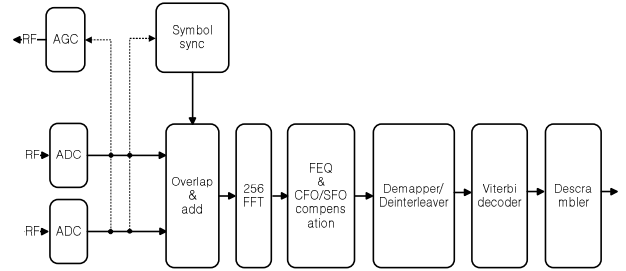


그림 2. MB-OFDM UWB 수신기  
Fig. 2. MB-OFDM UWB receiver.

부를 선택할 수도 있다.

그림 2는 기존의 MB-OFDM UWB 수신기를 보여준다. RF로부터 수신된 신호는 자동이득제어 (AGC) 블록에서 적당한 파워로 제어된 후 OFDM 심볼 동기 블록에서 128-FFT로 입력되기 위한 OFDM 심볼의 시작점을 찾는다. 128-FFT는 신호의 복조 기능을 수행하며, FFT 뒷단에서는 채널 및 주파수 오프셋에 의한 위상 회전을 보상하게 된다. 비터비 디코더는 일반적으로 3 또는 4 bit 소프트 디시전 알고리즘으로 구현되어 코딩 이득을 최대화하고 있다<sup>[2]</sup>.

## III. 제안된 MB-OFDM UWB 구조

기존 UWB스펙에서는 헤더의 안정적인 수신을 위해서 리드솔로몬 코딩을 패킷을 헤더에만 적용하도록 제안하고 있다. 수신부에서는 리드솔로몬 디코딩 알고리즘을 구현하면 헤더 데이터에 대해서는 코딩이득을 얻어서 좀 더 안정적인 헤더 데이터 수신이 가능하다. 하지만, 데이터에는 리드솔로몬 코딩이 적용되지 않기 때문에 에러 발생 확률이 상대적으로 높아진다. 따라서 본 논문에서는 패킷의 데이터에도 리드솔로몬 코딩을 적용하여 그 성능의 향상정도를 시뮬레이션으로 확인하고자 한다. 본 제안은 기존의 UWB 칩을 그대로 활용하면서 펌웨어의 소프트웨어 수정으로 전송거리를 개선할 수 있는 장점이 있다.

그림 3은 제안된 MB-OFDM UWB 송신기 블록도이

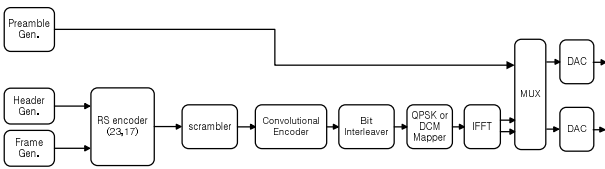


그림 3. 제안된 MB-OFDM UWB 송신기  
Fig. 3. Proposed MB-OFDM UWB transmitter.

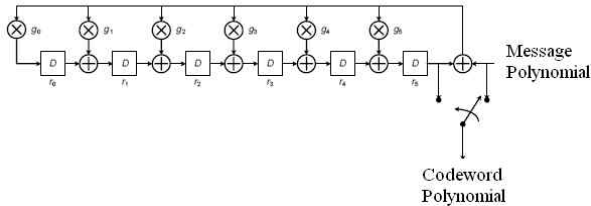


그림 4. 시스터메틱 리드 솔로몬 인코더 블록 구조도  
Fig. 4. Systematic Reed-Solomon encoder block diagram.

다. 제안된 구조는 일반 데이터에도 리드솔로몬코딩을 적용한 방식인데, 실제로는 물리 계층은 기존 시스템과 같으며 펌웨어의 소프트웨어로 데이터를 리드솔로몬 코딩하여 기존 하드웨어는 수정할 필요가 없다. 다만 고속의 데이터 처리가 필요하거나 칩 리비전의 상황이 생기면 리드솔로몬 코더/디코더를 하드웨어로 구현할 수 있다. 제안한 방식은 기존에 스펙에서 정한 (255, 249) 코드를 사용했으며, 실제 구현은 shortening 코드인 (23, 17) 코드를 사용했다. 그림 4는 쉬프트 레지스터를 이용한 시스터메틱 리드 솔로몬 인코더 구조를 보여준다.

#### IV. 시뮬레이션 환경 및 결과

그림 5는 제안된 MB-OFDM UWB기술의 시뮬레이션 환경을 보여준다. 시뮬레이션 환경은 Wireless personal area network (WPAN)용 채널모델중 CM1<sup>[3]</sup>을 사용하였으며 백색잡음(AWGN)이외에 송수신단의 오실레이터(또는 크리스탈)의 주파수 차이에 의한 캐리어 주파수 오프셋과 송신기의 DAC와 수신기의 ADC간

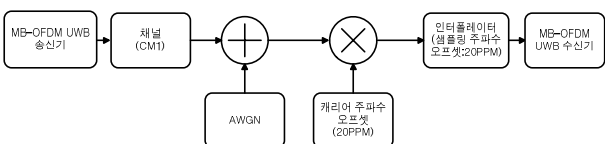


그림 5. 시뮬레이션 환경  
Fig. 5. Simulation environment.

의 샘플링 주파수 오프셋을 적용하였다. 여기서 설명한 대부분의 노이즈와 채널 효과는 쉽게 매트랩에서 구현이 가능하지만, 샘플링 주파수 오프셋은 샘플간의 데이터 값을 계산하는 인터폴레이터가 필요하다.

본 시뮬레이션에는 Farrow가 제안한 Continuously Variable Digital Delay (CVDD) 형태의 디지털 인터폴레이터를 사용하였다<sup>[4]</sup>. 인터폴레이터에서 사용되는 탭수와 차수는 샘플링 주파수와 대역폭에 따른 에러를 최소화할 수 있도록 결정되었다. MB-OFDM UWB의 신호의 대역폭은 264MHz이고, DAC의 샘플링 주파수는 528MHz이다. 이러한 조건에서 Farrow 인터폴레이터는 48개의 탭수와 3차항 구조로 설계되었다.

그림 6은 디자인된 인터폴레이터의 성능을 보여준다. 위상왜곡과 진폭왜곡이 250MHz내에서는 아주작고 그 이상의 주파수에서는 많이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 인터폴레이터의 탭 계수를 추출할 때 유효 대역폭을 250MHz로 설정했기 때문인데, 실제로 사용되는 데이터의 대역폭은 250MHz를 넘지 않고, 그 이상은 가드 캐리어로서 유효 데이터가 아니어서 시스템의 성능에는 전혀 영향이 없다. 대역폭을 넓게 설정할 경우 위상왜곡과 진폭왜곡을 작게 하기 위해서는 탭수나 차수가 너무 커지게 된다. 시뮬레이션에서는 20 parts per million (PPM)의 샘플링 주파수 오프셋 효과를 주기위해서 매 샘플마다 0.00002의 지연딜레이를 누적시켰다. 결과적으로는 5만 샘플이 전송되면 ADC와 DAC의 샘플링 주파수 오프셋에 의해서 1샘플 지연딜레이가 생기게 된다.

그림 7, 8은 MB-OFDM UWB 모뎀의 리드솔로몬

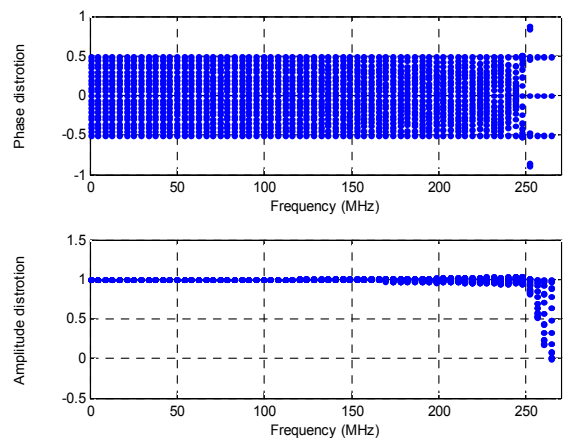


그림 6. 정규화된 위상 왜곡과 진폭 왜곡  
Fig. 6. Normalized phase distortion & Amplitude distortion.

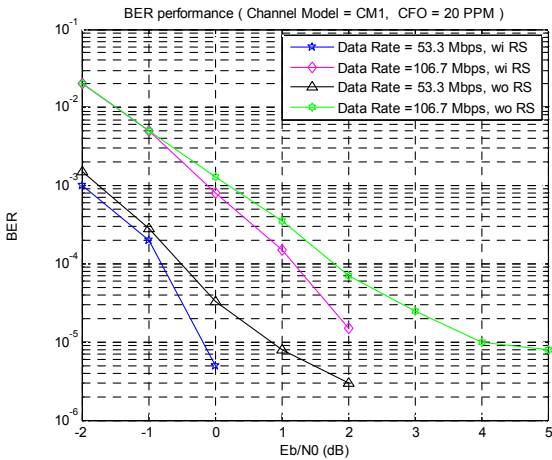


그림 7. BER 실험 결과

Fig. 7. BER simulation result.

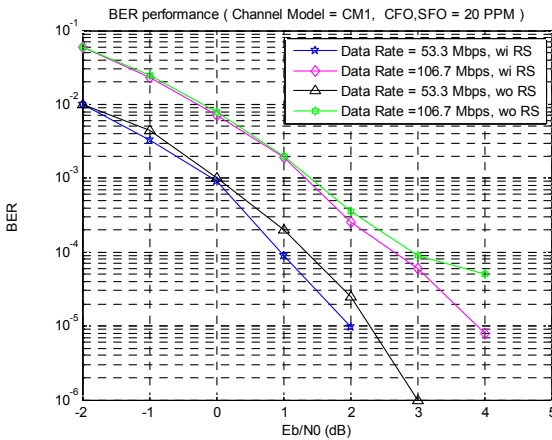


그림 8. BER 실험 결과

Fig. 8. BER simulation result.

코딩의 유무에 따른 bit error rate (BER) 시뮬레이션 결과를 보여준다. CM1의 채널이 사용되었고, 캐리어 주파수 오프셋과 샘플링 주파수 오프셋은 20PPM이 적용되었다.

그림 7은 샘플링 주파수 오프셋이 0일 경우이고, 그림 8은 샘플링 주파수 오프셋이 20 PPM 일때이다. 그림 7을 보면, BER이 좋지 않을 때에는 리드솔로몬 코딩이 적용되더라도 큰 이득이 없지만, BER이  $10^{-5}$  이하가 되면 1~2 dB의 코딩 이득이 생기는 것을 알 수 있다. 특히  $10^{-5}$  이하의 간헐적인 에러는 거의 다 복원된다고 볼 수 있는데, 이는 오디오 신호의 품질을 좋게 하는데 큰 영향을 끼친다.

그림 8의 경우는 그림 7의 경우보다 리드솔로몬 코딩 이득이 크지 않은 결과는 보여주는데, 이는 샘플링 주파수 오프셋을 적용하기 위한 인터폴레이터에서의 위상

과 진폭 왜곡에 따른 것으로 이로 인한 에러가 BER이 작을 때 리드솔로몬 코딩 이득을 상쇄시킨 결과에 따른 것이다.

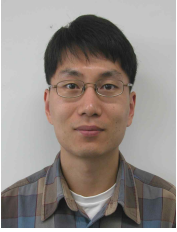
## V. 결론

본 논문에서는 오디오 신호 전송을 위한 MB-OFDM UWB 기술의 시뮬레이션 결과를 소개하였다. 적용한 리드솔로몬 코딩 기술은 오디오 신호의 품질 개선에 많은 기여를 하고 있음을 확인하였고, BER이 낮은 경우에는 최대 2dB의 SNR 개선 효과가 있어서 동일한 송신파워를 기준으로 할 때 코딩 이득만큼의 수신감도를 향상시키게 된다. 따라서 전송거리면서는 26% 거리증대를 예상할 수 있다. 기존의 UWB기술의 최대 전송거리가 10미터이기때문에, 제안된 기술의 최대 전송거리는 12.6미터가 된다.

## 참고 문헌

- [1] Multi-band OFDM Physical Layer Specification, Release 1.5, MBOA, WiMedia Alliance, 2009.
- [2] 이성주, "Multi-band OFDM 시스템용 고속 연판정 비터비 디코더의 효율적인 하드웨어 구조 설계에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제 43권 SD편 제 11 호, pp. 843 - 850, 2006년 11월.
- [3] A. F. Molisch, J. R. Foerster, and M. Pendergrass, "Channel models for ultrawideband personal area networks," IEEE Wireless commun., vol. 10, no. 6, pp. 14-21, Dec. 2003.
- [4] C.W. Farrow, "A continuously variable delay element," in Proc IEEE Int. Symp. Circ. syst., Espoo, Finland, June 1988, vol. 3, pp. 2641-2645.
- [5] H. Meyr, M. Moeneclaey, and S. Fechtel, Digital Communication Receivers, Wiley Interscience, 1998.
- [6] A. Batra et al., "Design of a multiband OFDM system for realistic UWB channel environments," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., vol. 52, no. 9, pp. 2123-2138, Sept. 2004.
- [7] 진용선, 박계완, "MB-OFDM UWB 시스템에서 초기 반송파 주파수 동기의 정확도 향상을 위한 다중 심볼 간격 추정 알고리즘," 전자공학회 논문지, 제 47권 IE편, 제 3 호, 35 - 40쪽, 2010년 9월.

저 자 소 개



김도훈(정회원)  
1998년 POSTECH 전자전기  
공학과 학사 졸업.  
2000년 POSTECH 전자전기  
공학과 석사 졸업.  
2010년~연세대학교 전기전자  
공학부 박사과정.

2005년~현재 KETI 통신네트워크센터  
선임연구원  
<주관심분야 : 통신신호처리, OFDM, UWB>



위정욱(정회원)  
1999년 중앙대학교 전기공학과  
학사 졸업.  
2001년 중앙대학교 전기공학과  
석사 졸업.  
2006년~중앙대학교 전자전기  
공학부 박사과정.

2001년~현재 KETI 모바일단말연구센터  
선임연구원  
<주관심분야 : 디지털 신호처리, 차세대 무선 통  
신 시스템, 디지털 방송 시스템>



이현석(정회원)  
2000년 한양대학교 전자통신·  
전파공학과 학사 졸업.  
2002년 한양대학교 전자통신·  
전파공학과 석사 졸업.  
2006년~한양대학교 전자통신  
박사과정.

2003년~현재 KETI 통신네트워크센터  
선임연구원  
<주관심분야 : 무선통신MAC, 무선보안>



이충용(정회원)  
1987년 연세대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1989년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1995년 Georgia Tech.  
전자공학과 박사 졸업.

1996년~1997년 삼성전자 선임연구원  
1997년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수  
<주관심분야 : 통신 신호처리, MIMO, 협력통신  
시스템>