

# SFBC를 적용한 MB-OFDM UWB 시스템 성능 분석

허 주, 장경희

인하대학교 정보통신대학원  
전화 : 032-860-8422

## Performance Analysis of SFBC MB-OFDM UWB System

Joo Heo and KyungHi Chang

The Graduate School of Information Technology & Telecommunications  
Inha University  
E-mail : khchang@inha.ac.kr

### Abstract

This paper describes and analyzes the performance of MB-OFDM (Multi-Band OFDM) technology that is suggested as one of standards in IEEE 802.15 TG3a for uwb application. Also the performance of newly proposed SFBC MB-OFDM scheme is compared with that of conventional MB-OFDM system in this paper. Simulation results show that SFBC MB-OFDM system outperforms conventional MB-OFDM system about 1.5dB Eb/No at target BER of  $10^{-4}$ .

### I. 서론

UWB(Ultra-WideBand) 무선 전송 기술은 매우 넓은 주파수 대역에 미약한 전파를 사용하여 신호를 전송함으로써 동일한 주파수 대역을 사용하고 있는 무선 장치들과 간섭없이 주파수 대역을 공유할 수 있으며, 100Mbps 에서 1Gbps 의 초고속 전송 속도를 제공하면서도 전력 소모량은 기존의 휴대폰과 무선랜 전력 소모량의 1/10 수준밖에 안되는 장점이 있어 새로운 무선 전송 기술로 급부상하고 있다.

이에 따라 IEEE 802.15 TG 3a 에서는 기존의 IEEE 802.15.3 MAC 을 활용하면서 UWB 기반의 물리 계층을 갖는 고속의 WPAN 을 위한 Alternate PHY 를 정의하기 위하여 최근에 활발하게 표준화 작업이 진행되고 있으며, 그 중 주요 IT 업체들이 참여한 MBOA(Multi-Band OFDM Alliance) 에서 제안된 MB-OFDM 이 유력한 표준화 후보로 거론되고 있다. MB-OFDM 시스템은 기본적으로 OFDM 기반 시스템이기 때문에 다중 경로 지연에 대한 ISI(Intersymbol Interference)를 효과적으로 제거할 수 있으며, 2.4GHz/5GHz 의 비면허대역을 사용하는 Bluetooth 및 무선랜에 의한 간섭에 쉽게 대처할 수 있는 장점이 있다 [1].

본 논문에서는 MB-OFDM 시스템의 성능을 분석하고, 기존의 MB-OFDM 시스템에 SFBC 기법을

적용하여 전체적인 시스템의 성능을 향상시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2 장에서는 MB-OFDM 시스템을 요약하고 3 장에서는 MIMO 기술이 적용된 MB-OFDM UWB 시스템의 송,수신단 구조에 대해 제안하며 4 장에서는 MB-OFDM UWB 시스템의 성능과 SFBC 기법이 적용된 MB-OFDM 시스템의 성능을 비교 분석한다.

### II. MB-OFDM 시스템

그림 1 은 MB-OFDM UWB 시스템의 기저대역 모델의 구조를 나타낸다. 기본적인 MB-OFDM 시스템은 스크램블러와 디스크램블러, 킨블루션 인코더와 viterbi 디코더, 그리고 인터리버와 디인터리버, 그리고 OFDM 변조기와 복조기로 구성된다.

표 1. MB-OFDM 의 물리계층 파라미터

Parameters	Values
System Bandwidth	528Mhz
Data Subcarriers	100
Defined Pilot Carrier	12
Guard Carriers	10
Virtual Carriers	6
Subcarrier Frequency Spacing	4.125Mhz
Sampling Period	1.89ns
IFFT/FFT Period	242.42ns
Zero Padded Prefix duration	60.61ns
Guard Interval Duration	9.47ns
Symbol Interval	312.5ns
Modulation	QPSK
FEC	Convolutional Code (Punctured Code)

\* 본 연구는 대학 IT 연구센터 (인하 UWB-RC) 육성, 지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

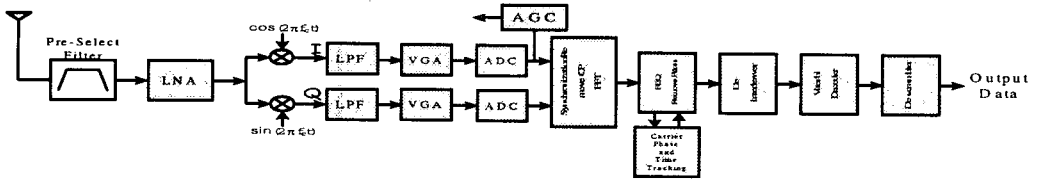


그림 1. MB-OFDM UWB 모델의 구조

기본적인 MB-OFDM 시스템의 물리계층 사양은 표 1 과 같다. MB-OFDM 의 변조방식은 QPSK 만을 사용하지만 부호화율과 주파수/시간영역 확산을 통하여 55, 80, 110, 160, 200, 320, 480Mbps 의 여러 가지의 전송률을 지원할 수 있으며 각각의 전송률에 대한 사양을 표 2 에 정리한다.

표 2. MB-OFDM 시스템의 전송률

Data Rate	55	80	110	160	200	320	480
Code Rate	11/32	1/2	11/32	1/2	5/8	1/2	3/4
Frequency Spreading	Yes		No				
Time Spreading	Yes			No			
Overall Spreading Gain	4		2			1	
Coded bits per OFDM Symbol	100		200				
Modulation	QPSK						
Mandatory/Optional	M	O	M	O	M	O	O

주파수 영역 확산 기법은 DC 부반송파를 중심으로 복소대칭시켜 각 부반송파에 변조된 심볼을 배치한다. 이러한 방식으로 주파수 영역 확산을 할 경우, 시간 영역에서 실수 신호만으로 구성되기 때문에 RF 단의 하드웨어를 1/2 로 줄일 수 있다. 또한 시간 영역 확산 기법은 시간 영역에서 하나의 OFDM 심볼을 두 번 반복하여 전송하는 방식으로 반복되는 두 심볼이 다른 대역으로 도약하여 전송됨으로서 다이버시티 이득을 극대화시킬 수 있다. 기존의 OFDM 시스템과는 달리 중심 주파수가 호핑하기 때문에 주파수 합성기의 안정화를 위해 OFDM 심볼 뒷부분에 0 을 9.47ns 동안 삽입한다. 이러한 대역간의 스위칭은 표 3 에 주어진 TFC 에 따라 정해진 호핑 패턴에 따라 채널 1 을 할당받게 되면 {1 2 3 1 2 3}으로, 채널 2 를 할당받으면 {1 3 2 1 3}

표 3. Time-Frequency Code

Channel Number	Mode I: Length 6					
1	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2
3	1	1	2	2	3	3
4	1	1	3	3	2	2

2) 등으로 주파수 대역의 변경이 이루어진다 [2].

### III. SFBC 를 적용한 MB-OFDM 시스템 모델링

본 논문에서는 SFBC (Space-Frequency Block Code)를 적용한 MB-OFDM UWB 시스템을 제안한다. 아래의 그림 2 는 본 논문에서 제안한 SFBC 가 적용된 MIMO MB-OFDM 시스템의 송신단 구조를 나타낸다. 기존의 MB-OFDM 과 다른 점이 있다면 송신단 측에 2 개의 안테나를 사용하였다는 것과 공간 신호처리 이득을 얻기 위해서 SFBC 인코더가 Time/Frequency Spreading 의 뒷부분에 배치되어 있다는 점이다. 아래의 그림 3 은 SFBC 가 적용된 MIMO MB-OFDM 시스템의 수신단에 해당한다. 기존의 MB-OFDM 시스템과의 다른 점은 SFBC 인코딩을 복원하기 위한 Space-Frequency 디코더가 존재한다는 것이다. 위의 방법에 의해서 전송될 신호를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

우선 OFDM 데이터 심볼  $X(n)$  은 SF 인코더에 의하여 다음의 식 (1), (2)와 같이 두 개의 벡터로 코딩된다.

$$X_1(n)=[X_0(n) -X_1^*(n) \dots X_{N-2}(n)-X_{N-1}^*(n)]^T \quad (1)$$

$$X_2(n)=[X_1(n) X_0^*(n) \dots X_{N-1}(n) X_{N-2}^*(n)]^T \quad (2)$$

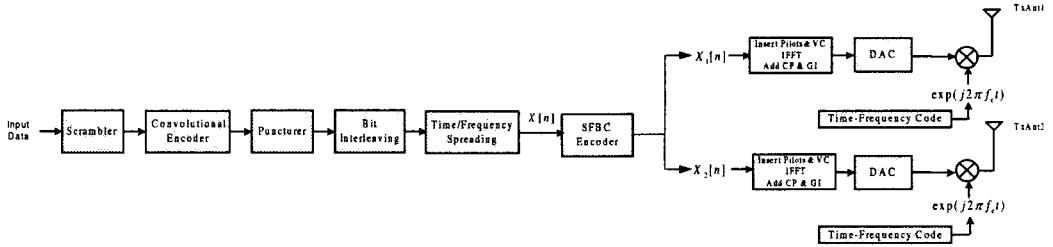


그림 2. 제안된 MIMO MB-OFDM UWB 시스템의 송신단 구조

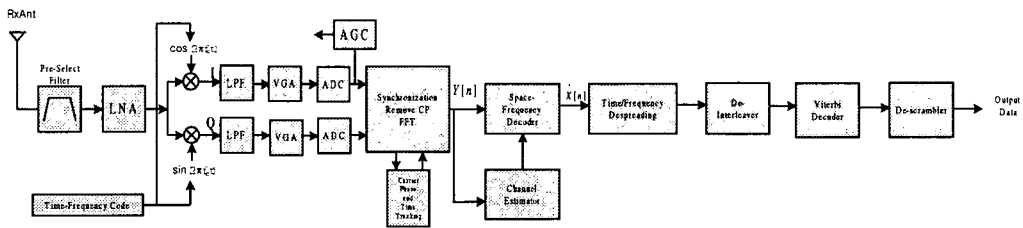


그림 3. 제안된 MIMO MB-OFDM UWB 시스템의 수신단 구조

시간  $n$  에서  $X_1(n)$ 은 송신 안테나 1에서 전송되며  $X_2(n)$ 는 송신 안테나 2로 전송된다. SF 인코더의 동작은 홀수와 짝수 Poly-phase Component 벡터로서 표현 가능하다.  $X_e(n)$ 와  $X_o(n)$ 를  $N/2$  길이의 다음과 같은 벡터로 정의한다.

$$X_e(n) = [X_0(n) \ X_2(n) \ \dots \ X_{N-4}(n) \ X_{N-2}(n)]^T \quad (3)$$

$$X_o(n) = [X_1(n) \ X_3(n) \ \dots \ X_{N-3}(n) \ X_{N-1}(n)]^T \quad (4)$$

이와 유사하게  $X_{1e}(n)$ ,  $X_{1o}(n)$ ,  $X_{2e}(n)$ ,  $X_{2o}(n)$ 를  $X_1(n)$ 과  $X_2(n)$ 의 even, odd 성분이라고 정의한다. 그러면  $X_1(n)$ 과  $X_2(n)$ 는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$X_{1e}(n) = X_e(n), \ X_{1o}(n) = -X_o^*(n) \quad (5)$$

$$X_{2e}(n) = X_o(n), \ X_{2o}(n) = X_e^*(n) \quad (6)$$

따라서 등가 SFBC 전송행렬은 다음과 같다.

$$M = \begin{pmatrix} X_e & X_o \\ -X_o^* & X_e^* \end{pmatrix} \quad (7)$$

또한 각각의 송신 안테나에서 전송되는 데이터들이 겪는 채널의 임펄스 응답  $h_1(n)$ 과  $h_2(n)$ 의 DFT의 행렬을 각각  $\Lambda_1(n)$ 과  $\Lambda_2(n)$ 라고 정의하자. 그러면 수신 안테나에서 받는 신호를 아래의 식 (8) ~ (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y(n) = \Lambda_1(n)X_1(n) + \Lambda_2(n)X_2(n) + Z(n) \quad (8)$$

$$Y_e(n) = \Lambda_{1,e}(n)X_{1,e}(n) + \Lambda_{2,e}(n)X_{2,e}(n) + Z_e(n) \quad (9)$$

$$Y_o(n) = \Lambda_{1,o}(n)X_{1,o}(n) + \Lambda_{2,o}(n)X_{2,o}(n) + Z_o(n) \quad (10)$$

만약 수신측에서 채널의 응답을 정확히 알아낼 수 있다고 가정하면, SF 디코더는 아래와 식 (11)과 (12)의 방법으로 원래의 신호를 복원한다.

$$\hat{X}_e(n) = \Lambda_{1,e}^*(n)Y_e(n) + \Lambda_{2,o}(n)Y_o^*(n) \quad (11)$$

$$\hat{X}_o(n) = \Lambda_{2,e}^*(n)Y_e(n) - \Lambda_{1,o}(n)Y_o^*(n) \quad (12)$$

위와 같은 방식을 사용하는 SFBC의 다이버서티 이득을 분석하기 위해서 식 (3), (4)를 식 (9), (10)에 대입하면 아래의 식 (13), (14) 같이 된다.

$$Y_e(n) = \Lambda_{1,e}(n)X_e(n) + \Lambda_{2,e}(n)X_o(n) + Z_e(n) \quad (13)$$

$$Y_o(n) = -\Lambda_{1,o}(n)X_o^*(n) + \Lambda_{2,o}(n)X_e^*(n) + Z_o(n) \quad (14)$$

만약 인접 서브캐리어의 채널 이득이 거의 변함없다고 가정하면, 아래와 같이 나타낼 수 있으며,

$$\Lambda_{1,e}(n) \approx \Lambda_{1,o}(n) \quad \Lambda_{2,e}(n) \approx \Lambda_{2,o}(n) \quad (15)$$

따라서  $\hat{X}_e(n)$ 와  $\hat{X}_o(n)$ 는 아래의 식 (16), (17)과 같다. 아래의 식으로부터, SFBC 기법을 사용하면, Optimal 2 Branch MRC와 동일한 성능을 보인다는

$$\hat{X}_e(n) = (|\Lambda_{1,e}|^2 + |\Lambda_{2,e}|^2)X_e + \Lambda_{1,e}^*Z_e + \Lambda_{2,e}Z_o^* \quad (16)$$

$$\hat{X}_o(n) = (|\Lambda_{1,o}|^2 + |\Lambda_{2,o}|^2)X_o + \Lambda_{1,e}Z_e - \Lambda_{1,o}Z_o^* \quad (17)$$

것을 알 수 있다 [3].

#### IV. MB-OFDM 시스템의 성능 분석

이번 절에서는 Conventional MB-OFDM 시스템과 SFBC 가 적용된 MB-OFDM 시스템의 성능을 비교 분석한다. 본 논문에서는 MB-OFDM 시스템의 성능 평가를 위하여 주파수 호핑을 고려한 SG3a UWB 채널 [4]을 재모델링하였다. 그리고 시간 영역 확산 및 주파수 영역 확산 기법으로부터 다이버시티 이득을 얻기 위해서 MRC (Maximum Ratio Combining)를 사용하였다 [5]. 그림 4 는 Perfect Channel Estimation 이라는 가정하에 CM3 에서 각각의 Mandatory Data Rate 에 대한 시뮬레이션 결과이다. 또한 그림 5 는 CM3 에서 Mandatory Data Rate 에 대하여 채널 추정용 심벌을 사용하여 Zero

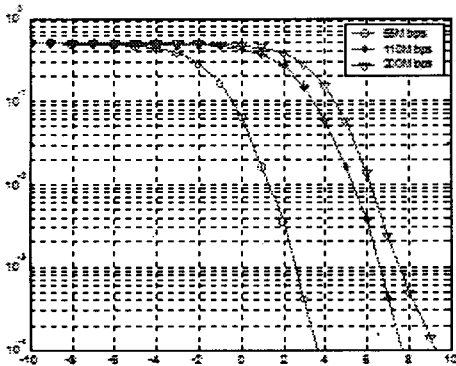


그림 4. CM3 에서 Perfect Channel Estimation 인 경우, Mandatory Data Rate 의 BER 성능 곡선

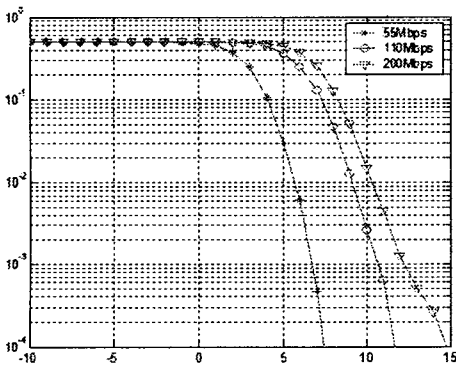


그림 5. CM3 에서 Zero Forcing Channel Estimation 인 경우, Mandatory Data Rate 의 BER 성능 곡선

Forcing · Channel Estimation 을 수행한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 4 의 Perfect Channel Estimation 인 경우의 BER 성능곡선과 비교해보면 약 3dB 정도 성능이 열화되었음을 알 수 있다.

그림 6 은 Perfect Channel Estimation 이라는 가정하에 CM3 에서 110Mbps 의 전송률을 지원하는 기본적인 MB-OFDM 시스템과 SFBC

MB-OFDM 시스템의 BER 성능 곡선을 나타낸다. SFBC 기법을 사용하면 기본적으로 2 branch MRC 의 다이버시티를 얻을 수 있으며, 2 심벌의 단순 평균으로 시간 영역 확산 다이버시티 이득 또한 얻을 수 있어, 기존의 MB-OFDM 시스템에 비해  $10^{-4}$  BER 에서 약 1.5dB 성능 개선이 있음을 알 수 있다.

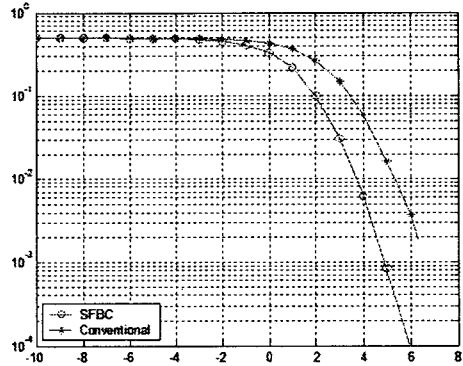


그림 6. SFBC MB-OFDM 시스템과 Conventional MB-OFDM 시스템의 성능 비교

#### V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3a 의 표준안으로서 제안된 MB-OFDM 시스템의 성능 분석을 위하여, CM3 채널 상황 하에서 Perfect Channel Estimation 과 Practical Channel Estimation, 각 경우에 대한 성능을 비교하였다. 또한 CM3 채널 상황 하에서 110Mbps 데이터 전송률인 경우에 SFBC MB-OFDM 시스템과 기존의 MB-OFDM 시스템의 성능을 비교하였다. SFBC 를 사용할 경우, 기존의 MB-OFDM 시스템에 비해  $10^{-4}$  BER 에서 1.5dB 정도 Eb/No 성능을 향상시킬 수 있다.

#### References

- [1] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [2] Anuj Batra et al., Texas Instruments et al., *Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a*, IEEE P802.15-03/268r2, Nov. 2003.
- [3] K. F. Lee and D. B. Williams, "A Space-Frequency Transmitter Diversity Technique for OFDM Systems", in Proc. IEEE GLOBECOM' 00, Dec. 2000, vol. 3, pp. 1473-1477.
- [4] Jeff Foerster, Sub-committee Chair, *Channel Modeling Sub-committee Report*, IEEE P802.15-02/490r1-SG3a, Feb. 2003.
- [5] 박경원, 석원균, 김동환, 조용수, "MB-OFDM 기술 및 동기화기법", SK-Telecom. Review, 제 14 권 2 호, pp. 202-215, Apr. 2004.