

# 다중 경로 채널에서의 MB-OFDM UWB 시스템 링크 마진 분석

신 철 호<sup>†</sup> · 최 상 성<sup>\*\*</sup> · 백 정 기<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문은 구현에 사용된 동기알고리즘에 의한 구현손실과 다중경로 페이딩을 고려하여 MB-OFDM UWB(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing Ultra Wide Band) 시스템 수신기 링크 마진(link margin)을 시뮬레이션을 통해 정량적으로 분석하였다. MB-OFDM UWB시스템은 CP(Cyclic Prefix)대신에 ZP(Zero padding)를 사용하고 심볼마다 3개 주파수 대역을 호핑(Hopping)하는 TFI(Time Frequency Interleaving)모드와 하나의 주파수 대역을 선택하여 신호를 전송하는 FFI(Fixed Frequency Interleaving)모드를 지원한다. 이러한 MB-OFDM UWB 시스템의 특징은 기존 연속적인 신호를 전송하는 OFDM 시스템들에 비해 평균전력은 동일하지만 유효송신출력 측면에서 더 높은 전력 방사를 가능하게 하는 장점이 있다. 본 논문에서 수행한 시뮬레이션 결과를 이용한 링크마진 계산 결과 200Mbps 모드에서 4m 서비스 반경을 보장하기 위해서는 TFI 모드 구현이 필수적이며, 480Mbps모드의 실질적인 서비스 반경은 가시거리가 확보되는 다중경로 환경에서 1-2m정도 일 것으로 분석되었다.

키워드 : 다중대역 OFDM 방식 초광대역 통신방식, 구현손실, 링크마진.

## An analysis of link margin for MB-OFDM UWB system in multi-path channel

Cheol-Ho Shin<sup>†</sup> · Sang-sung Choi<sup>\*\*</sup> · Jeong-ki pack<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

This paper investigates the link margin of MB-OFDM UWB system quantitatively. Various simulations are performed considering the implementation loss by imperfect synchronization unit and the effect of multi-path fading channels. MB-OFDM UWB system uses ZP (Zero Padding) instead of CP(Cyclic Prefix) and supports two transmission modes; one is TFI(Time Frequency Interleaving) mode that transmits OFDM symbols using different carrier frequency from symbol to symbol according to Time Frequency(TF) codes, the other is FFI (Fixed Frequency Interleaving) mode that transmits OFDM symbols using a specific carrier frequency. The advantage of ZP and TFI is to be able to increase the transmitting power effectively compared to the existed OFDM systems that transmit the signal continuously at the same average transmitting power. From the analysis results of link margin, to guarantee the service range of 4m in 200Mbps mode, TFI mode must necessarily be implemented and the service range of 480Mbps mode is estimated about 1-2m in the line-of-sight multi-path channel (CM1).

Key Words : MB-OFDM UWB, Implementation Loss, Link Margin

## 1. 서 론

초광대역(UWB: Ultra Wideband) 통신 방식은 아주 넓은 주파수 대역을 사용하는 통신 방식을 의미한다. 미국 FCC(Federal Communications Commission)에서 정의하고 있는 형태로는 중심주파수 대비 대역폭이 20%이상 이거나 500MHz 이상의 주파수 대역폭을 차지하는 통신방식을 의미

한다. 현재 FCC에서는 통신용으로 3.1~10.6GHz 주파수 대역에 대하여 송신 신호 전력의 한계를 -41.3dBm/MHz로 규정하고 있다. MB-OFDM 기술은 FCC에서 제시한 송신 신호 전력 규정을 만족하고, 전력 소모를 최소화 하면서 다중 SOP(Simultaneous Operating Piconet)를 제공하기 위해 TF(Time Frequency) 호핑 패턴을 이용한다[1]. MB-OFDM UWB 방식에서는 각 전송 OFDM 심볼마다 TF(Time Frequency) 호핑 패턴에 따라 주파수를 변경해 주어야 하는 점을 제외하면 기존 OFDM 전송방식과 마찬가지로 각각의 직교성을 가지는 부반송파에 데이터를 병렬로 고속 전송하는

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국전자통신 연구원 선임연구원

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 무선 홈네트워크연구팀장

<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 충남대학교 전자공학과 교수

논문접수 : 2006년 8월 28일, 심사완료 : 2006년 9월 6일

방식이다. MB-OFDM UWB 시스템은 최대 480Mbps 데이터를 전송할 수 있기 때문에 무선 개인영역통신망(WPAN: Wireless Personal Area Network)에 매우 적합하며, 현재 세계 각국에서는 UWB 시스템을 이용하여 무선 USB와 무선 1394와 같은 응용분야를 개발하고 있다.

본 논문에서는 MB-OFDM UWB 시스템의 통신방식에 대해 2장에서 간략하게 설명하고, 3장에서 OFDM 방식 시스템을 설계함에 있어 고려해야 할 구현손실을 계산하기 위한 동기구조를 포함한 수신기 구조를 설명한다. 그리고, 시스템 성능 평가를 위해 고려해야 할 UWB 채널 모델에 대해 4장에서 설명하고, 5장에서 MB-OFDM UWB 시스템의 링크마진 설계를 위해 필요한 TFI모드와 FFI모드에서의 송신출력 계산 방법을 포함한 링크마진 설계 방안을 설명한다. 또한, 6장에서 구현 손실 및 다중경로 페이딩을 포함한 시스템 성능 시뮬레이션 결과와 링크마진 계산 방법을 이용하여 데이터 전송률 모드에 따른 채널 환경에 따른 링크마진 값을 분석하고 7장에서 결론을 논하고자 한다.

## 2. MB-OFDM UWB 통신 방식

MB-OFDM UWB 시스템의 실제 RF 전송 신호는 식 (1)과 같이 표현된다[1].

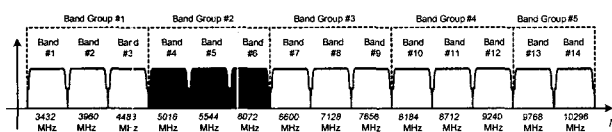
$$r_{RF}(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{l=0}^{N-1} r_l(t - lT_{SYM}) \exp(j2\pi f_l t) \right\} \quad (1)$$

여기서,  $\text{Re}(\cdot)$ 는 복소 값의 실수 부분을 표현하며,  $r_l(t)$ 는  $l$  번째 OFDM 심볼의 복소 기저 신호이다. 그리고  $N$ 은 전송되는 OFDM 심볼 개수이며,  $T_{SYM}$ 은 심볼 간격이다.

MB-OFDM UWB 시스템에서 OFDM 심볼들은 (그림 1)의 주파수 대역을 이용하여 <표 1>에 보인 TF코드들에 따라 전송되며,  $l$  번째 전송되는 OFDM 심볼의 중심주파수는 식 (1)에서  $f_l$ 로 표현된다.

본 논문에서는 <표 1>에 보인 TF 코드들에 따라, 기본 주파수 대역인 (그림 1)의 BandGroup #1에 포함된 3개 주파수 대역을 사용하는 MB-OFDM UWB 시스템을 설계할 경우의 링크마진을 계산하였다.

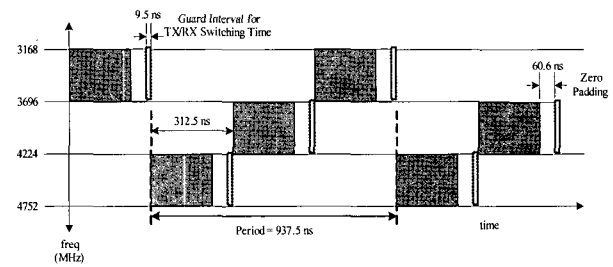
(그림 1)의 BandGroup #1의 주파수들과 <표 1>의 프리앰블 패턴 2에 따른 MB-OFDM UWB 시스템의 전송 규칙을 도시하면 (그림 2)와 같다. (그림 2)에서 각 OFDM 심볼은 매 심볼마다 프리앰블 패턴 2에 따라 BandGroup #1의 3개 주파수들을 호핑하며 전송된다.



(그림 1) MB-OFDM UWB 시스템의 주파수 할당

<표 1> TF코드들

Preamble pattern	TF(Time Frequency) Codes					
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
5	1	1	1	1	1	1
6	2	2	2	2	2	2
7	3	3	3	3	3	3

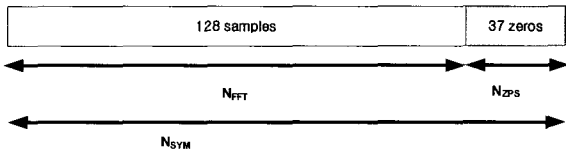


(그림 2) MB-OFDM UWB 시스템의 전송 규칙

MB-OFDM UWB 시스템은 <표 2>와 같은 다양한 데이터 전송률 모드들을 제공한다. <표 2>에서 53.3Mbps, 107Mbps와 200Mbps 데이터 전송률 모드가 기본 모드이고, 나머지는 옵션 모드들이다. MB-OFDM UWB 시스템 설계를 용이하게 하기 위해 기본 변조 방식으로 QPSK를 사용하였으며, 다중경로 페이딩에 취약한 320Mbps 이상의 옵션 모드에서는 페이딩 영향을 극복하기 위해 DCM(Dual Carrier Modulation)을 적용하였다. 본 논문에서는 시스템 링크마진을 계산하기 위해 기본 모드 중 가장 높은 데이터 전송률 모드인 200Mbps모드와 옵션 모드 중 가장 높은 데이터 전송률 모드인 480Mbps모드에 대한 성능 분석 시뮬레이션을 수행하고 페이딩 채널과 수신 동기 구조에 의한 구현 손실을 고려한 링크마진 설계를 하였다.

<표 2> MB-OFDM UWB system의 데이터 전송률

Data rate (Mbps)	Modulation	Coding Rate	Frequency Spreading factor	Time Spreading factor	Overall Spreading gain
53.3*	QPSK	1/3	2	2	4
80	QPSK	1/2	2	2	4
107*	QPSK	1/3	1	2	2
160	QPSK	1/2	1	2	2
200*	QPSK	5/8	1	2	2
320	DCM	1/2	1	1	1
400	DCM	5/8	1	1	1
480	DCM	3/4	1	1	1



(그림 3) MB-OFDM 심볼 구조

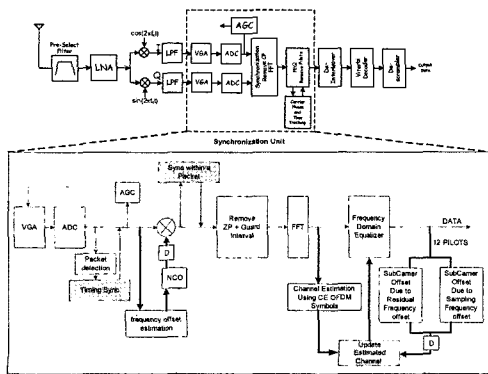
IEEE802.11a(WLAN)와 같은 다른 OFDM 시스템에서는 다중경로 채널에 의해 야기되는 ISI(Inter-Symbol Interference)를 피하기 위해 유효 OFDM 심볼 마지막 1/4정도의 샘플들을 전송하고자 하는 OFDM 심볼 앞부분에 반복 전송하는 CP(Cyclic Prefix)를 사용한다. 그러나 송신 출력에 엄격한 제한을 받고 있는 MB-OFDM UWB 시스템은 유효송신출력을 높이기 위해 CP대신에 32개의 zero들을 전송하며, 128개의 IFFT 출력 샘플 및 채널 스위칭을 위한 5개의 zero들을 포함하여 (그림 3)과 같이 총 165개의 샘플로 OFDM 심볼을 구성한다.

### 3. MB-OFDM UWB 시스템 수신기 구조

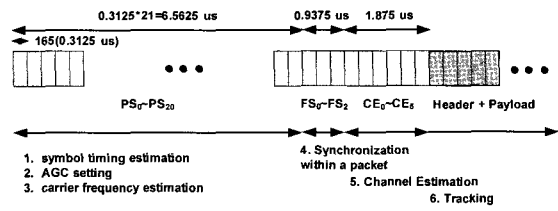
MB-OFDM UWB 시스템의 수신기는 동기 구조를 포함하여 (그림 4)와 같이 구성된다[1, 2].

무선 환경에서 신호를 올바르게 수신하기 위한 다양한 동기 알고리즘이 설계되어야 하며, 이러한 알고리즘들은 주로 패킷의 시작 위치와 송수신기 간의 주파수 오프셋 및 샘플링 클럭 오프셋을 추정하고 보정하기 위한 것이다[3-7]. MB-OFDM UWB 시스템의 패킷은 크게 초기 동기에 필요한 프리앰블, 전송에 필요한 각종 정보를 포함하고 있는 헤더 및 실제 전송하고자 하는 데이터 부분으로 구성된다[1].

초기 패킷의 시작위치를 추적하기 위한 시간 동기, 송수신기간의 LO(Local Oscillator) 오프셋에 의한 캐리어 주파수 오프셋 추정 및 초기 위상 및 채널 응답을 추적하기 위한 채널 추정 알고리즘들은 프리앰블 구조를 이용하고, 잔류 주파수 오프셋과 샘플링 타이밍 오프셋을 추적하기 위한 추적 알고리즘은 헤더와 전송 데이터 심볼들을 통해 수행되도록 시스템을 설계하였으며, 구체적인 패킷 내부의 각 OFDM 심볼의 역할은 (그림 5)와 같이 설계하였다[2].



(그림 4) MB-OFDM UWB 시스템 수신기 구조



(그림 5) MB-OFDM UWB 시스템 프리앰블 구성

본 논문에서는 제안된 동기 구조에 의한 구현 손실을 분석하기 위해 AGC 알고리즘을 제외한 모든 동기 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

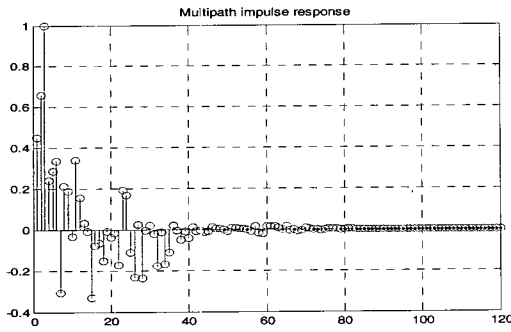
### 4. UWB 채널 모델

MB-OFDM UWB 시스템은 500MHz 이상의 주파수 대역폭을 이용하여 신호를 전송하는 광대역 전송 시스템이기 때문에 이러한 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 광대역 채널 모델이 필요하다. IEEE 802.15.3a에서는 기존 광대역 채널 모델인 Saleh-Valenzuela 모델을 약간 수정하여 UWB 시스템 규격 성능 평가를 위해 수 많은 실측 자료를 근거로 클러스터링(Clustering) 현상에 기반한 UWB 채널 모델을 제시하였다[8]. 이러한 IEEE UWB 채널 모델은 블락 페이딩 채널로서 동일 패킷 내에서 채널 모델은 변화하지 않으며, 채널 프로파일들은 패킷 사이에 독립적이라고 가정하였다. UWB 채널 모델은 서비스 반경 및 채널 환경을 고려하여 <표 3>에서 제시한 것과 같은 4가지 채널 모드로 구분되었다. IEEE는 UWB 시스템 성능 평가를 위해 4가지 채널 모드 별로 대표적인 100개의 프로파일들을 제시하였으며, 본 논문에서는 데이터 전송률 모드의 서비스 반경을 고려하여 채널 모드 1(CM1)부터 채널모드 3(CM3)까지를 시스템 성능 분석을 위해 사용하였다.

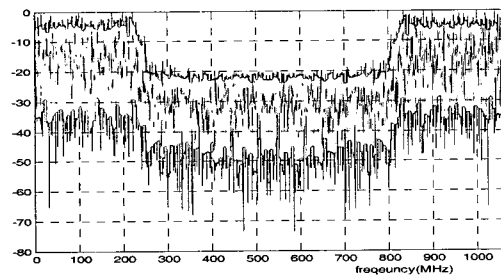
(그림 6)은 시뮬레이션에 사용된 프로파일의 예를 보이고 있고, (그림 7)은 SNR(Signal to Noise Ratio) 10dB 상황에서 AWGN 채널만 통과시킨 MB-OFDM UWB 신호의 PSD(Power Spectral Density)와 AWGN 및 다중경로 페이딩을 통과시킨 신호의 PSD를 도시하고 있다. (그림 7)(b)로부터 MB-OFDM UWB 시스템 수신신호가 초 광대역 시스템 특성인 주파수 대역별로 선택적 다중경로 페이딩을 겪고 있음을 알 수 있다.

<표 3> UWB 채널 모델 특징

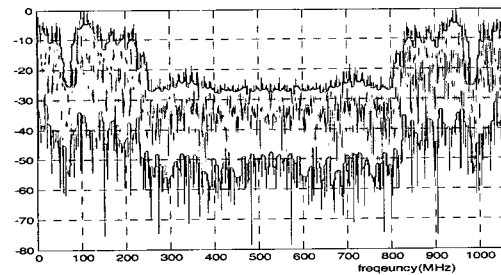
채널 특징	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Mean excess delay(nsec)	4.9	9.4	13.8	26.8
RMS delay(nsec)	5	8	14	26
채널 환경 (서비스 반경)	가시거리 (0-4m)	비가시거리 (0-4m)	비가시거리 (4-10m)	극단적인 비가시거리



(그림 6) UWB 채널 프로파일



(a) AWGN 채널만 통과



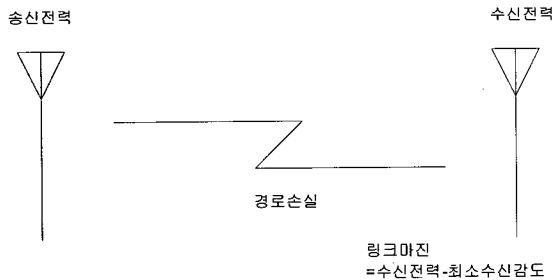
(b) AWGN과 다중경로 페이딩 채널 통과

(그림 7) MB-OFDM UWB 수신 신호의 PSD (SNR=10dB)

5. 링크 마진 설계 방법

보통 시스템 링크 마진은 (그림 8)에서 보듯 수신전력과 최소수신감도를 알면 구할 수 있다.

여기서, MB-OFDM UWB 시스템의 링크 마진을 계산하



(그림 8) 링크마진 설계 개념도

<표 4> MB-OFDM UWB 시스템 링크 마진 설계를 위한 가정들

구 분	가 정
채널모델	AWGN
송신안테나 이득(dBi)	0
수신안테나 이득(dBi)	0
요구 PER(%)	8
요구 데이터 길이(byte)	1024
요구 서비스 반경(m) (Free space distance)	110Mbps = 10 200Mbps = 4 480Mbps = 특정거리(?)

기 위한 기본적인 가정은 다음 <표 4>와 같다.

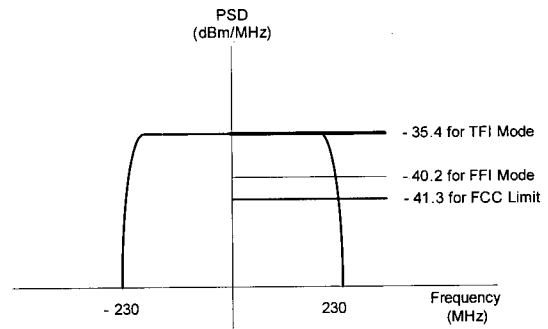
본 논문에서는 위 가정에 따른 기본적인 링크 마진을 계산하고, 실제 서비스 반경 분석을 위해 UWB 채널 모델을 적용한 채널 모델 별 링크 마진을 추가로 계산하여 좀 더 실질적인 링크 마진 값을 제시하고자 하였다. 링크 마진 설계에 필요한 기본적인 파라미터들을 정리하면 다음과 같다.

5.1 유효송신출력

FCC에서 제시한 최대 송신전력 한계는 -41.3dBm/Mhz이지만, 이는 시간영역 신호가 연속일 경우의 기준이며, 시간영역에서 OFDM 심볼간 ZP(Zero Padding)를 사용하고, 주파수 호핑을 사용하는 MB-OFDM 시스템의 경우 시간영역에서 신호가 존재하지 않는 ZP구간과 주파수 호핑에 따른 주파수 영역에서의 불연속성을 고려할 때 MB-OFDM UWB 시스템 전송 모드인 TFI모드와 FFI모드를 구분하여 (그림 9)와 같이 각 전송 모드 별 유효 송신 PSD를 조정할 수 있다.

(그림 9)에서 FFI모드는 주파수 호핑을 사용하지 않는 모드로서 ZP에 의한 시간영역에서의 신호 불연속 특성만 고려하면 된다. 이 경우 총 165개의 OFDM 샘플 중 37개의 ZP가 존재하므로, 이 경우 유효 송신 PSD는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 &\text{FFI모드 유효 송신 PSD} \\
 &= -41.3\text{dBm} / \text{Mhz} + 10 \log(165 / 128) \\
 &= -40.2\text{dBm} / \text{MHz}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$



(그림 9) 송신모드에 따른 유효 송신 PSD

<표 5> 전송 모드별 유효송신출력

구분	유효 송신출력(dBm)	수식
TFI 모드	-8.4	$-35.4 + 10 \log(500)$
FFI 모드	-13.2	$-40.2 + 10 \log(500)$

또한, TFI 모드인 경우에는 3개 주파수 대역을 이용한 호핑을 수행하므로, (2)에 추가로  $10 \log(3)$ 을 더하여 계산하면 된다.

MB-OFDM UWB 시스템 송신 대역폭을 FCC 기준인 500MHz라고 가정할 경우, 전송 모드 별 유효송신출력은 <표 5>와 같다.

5.2 수신 전력

무선 시스템에서 수신 전력은 송신전력과 두 송·수신기 간의 경로 손실을 계산하면 된다.

먼저, 링크 마진 계산을 위한 경로 손실은 자유공간 손실 모델을 적용하며, 계산 수식은 <표 6>과 같다.

<표 6> 경로 손실 계산

구분	경로손실(dB)
경로손실 (1m 지점)	$L_1 = 20 \log_{10}(4\pi f_c / c)$ 여기서, $f_c$ : Carrier frequency(Hz), $c = 3 \times 10^8$ m/s
전체경로손실 (1m 이상)	$L_2 = L_1 + 20 \log_{10}(d)$ 여기서, d=경로길이(m)

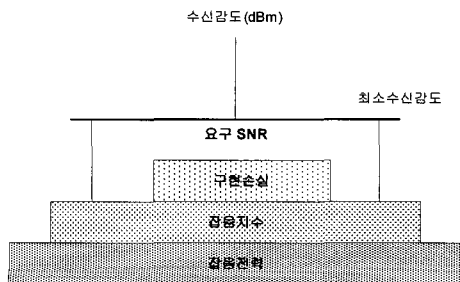
따라서, 수신전력은 다음과 같이 계산 가능하다.

<표 7> 수신전력

구분	평균 수신 전력
TFI 모드	$-8.4 - L_1$
FFI 모드	$-13.2 - L_1$

5.3 최소 수신 감도

MB-OFDM UWB 시스템에서 최소 수신 감도는 데이터 전송률 모드들에 대한 AWGN에서의 최소 요구 평균 수신 전력으로 정의되며, 이를 계산하기 위해서는 (그림 10)과 같은 다양한 파라미터가 필요하다.



(그림 10) 최소 수신 감도 계산

5.3.1 전체잡음 전력

잡음 대역폭을 500MHz라고 할 경우, 전체 잡음 전력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{전체잡음전력(dBm)} \\ = -114 \text{dBm} / \text{Mhz} + 10 \log(500) = -87 \end{aligned}$$

5.3.2 잡음지수(Noise Figure : NF)

MB-OFDM UWB 시스템에서 제시하고 있는 기준 NF는 6.6dB이다.

5.3.3 요구 SNR

동기구조에 의한 구현손실 및 UWB 채널모델에 따른 데이터 전송률 모드 별 요구 SNR는 다음 장에서 시뮬레이션을 통해 도출한다.

6. 시뮬레이션 결과를 이용한 링크마진 계산

본 논문에서는 송수신 규격을 충실히 반영하여, 송수신 과정에서 나타나는 주파수오프셋, 타이밍오프셋 및 초기 위상 오프셋이 있을 경우 이를 극복하기 위한 동기알고리즘에 의한 구현 손실을 포함한 요구 SNR을 시뮬레이션을 통해 구하고 이를 이용하여 UWB 채널 모델에 따른 링크마진을 계산하였다. PER(Packet Error Rate) 8% 성능 평가를 위해 본 논문에서는 최소 500개의 패킷을 시뮬레이션에 이용하였으며, 특히, 다중경로 채널 모델 시뮬레이션을 위해 각 채널 모델 별로 IEEE에서 제시한 100개의 프로파일 중 성능이 열악한 10개를 제외한 90개 프로파일을 이용하여 PER을 계산하였다<sup>[9]</sup>. 또한, MB-OFDM UWB 시스템 규격에서 허용할 수 있는 40ppm의 최대 캐리어 주파수 오프셋을 3장에서 제시된 동기 구조를 검증하기 위해 시뮬레이션에 사용하였다.

6.1 데이터 전송률 모드 별 요구 SNR 계산

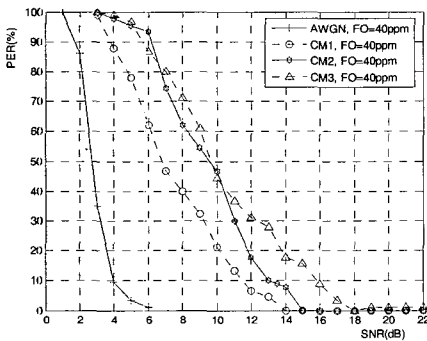
MB-OFDM UWB 시스템 규격에 의해 200Mbps 데이터 전송률 모드의 요구 SNR를 계산하기 위한 시뮬레이션 파라미터들을 정리하면 <표 8>과 같다.

<표 8> 200Mbps 데이터 전송률 모드를 위한 시뮬레이션 파라미터들

Parameters	Value
Data rate (Mbps)	200
Modulation	QPSK
Convolutional encoder	Rate R=1/3, constraint length K=7
Coding rate	5/8
Time spreading factor	2
Payload(Bytes)	1024
Carrier frequency offset (ppm)	40
Channel environments	AWGN, CM 1, CM 2, CM 3

<표 8>에서 보듯, MB-OFDM UWB 시스템 규격은 데이터 전송률 200 MHz 모드에서 시간 영역 확산(time spreading factor = 2) 동작을 수행한다. 이러한 시간 영역 확산동작은 동일 정보를 2개의 OFDM 심볼로 다른 주파수 대역을 이용하여 반복해서 전송하며, 이러한 송신 구조는 시스템 성능에 있어 주파수 다양성 효과를 얻을 수 있는 장점을 제공한다. AWGN 채널과 IEEE에서 제시한 다중경로 채널모델(CM1-CM3)들을 적용한 시뮬레이션 결과는 그림 (11)과 같으며, PER 8%에 해당하는 각 채널 모델 별 요구 SNR는 <표 9>와 같다.

본 논문에서는 MB-OFDM UWB 시스템의 기본 데이터 전송률 모드 중 가장 높은 데이터 전송률 모드인 200Mbps 모드와 더불어 최대 데이터 전송률 모드인 480Mbps 모드에 대해서도 시뮬레이션을 통해 요구 SNR을 도출하였다. 특히, 480Mbps 모드는 1-2m사이의 매우 가까운 거리에서 사용될 것이므로, 시뮬레이션에서는 가시거리가 확보되었을 경우의 다중경로 모델인 CM1만을 고려하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터와 시뮬레이션 결과는 다음 <표 10>, (그림 12) 및 <표 11>과 같다.



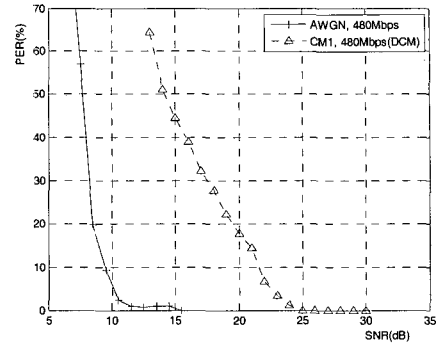
(그림 11) 채널 모델에 따른 PER 시뮬레이션 결과 (200Mbps 모드)

<표 9> 200Mbps 데이터 전송률의 링크마진 계산을 위한 요구 SNR

Channel Environments	SNR(Signal to Noise Ratio) for PER 8%(dB)
AWGN	4.25
CM 1	11.8
CM 2	13.9
CM 3	16.16

<표 10> 480Mbps 데이터 전송률 모드를 위한 시뮬레이션 파라미터들

Parameters	Value
Data rate (Mbps)	480
Modulation	DCM
Convolutional encoder	Rate R=1/3, constraint length K=7
Coding rate	3/4
Payload(Bytes)	1024
Carrier frequency offset (ppm)	40
Channel environments	AWGN, CM 1



(그림 12) 채널 모드에 따른 PER 시뮬레이션 결과 (480Mbps 모드)

<표 11> 480Mbps 데이터 전송률의 링크마진 계산을 위한 요구 SNR

Channel Environments	SNR(Signal to Noise Ratio) for PER 8% (dB)
AWGN	9.7
CM 1	21.8

6.2 데이터 전송률 모드 별 링크마진 계산

200Mbps 모드의 목표 서비스 반경은 4m이며 링크 마진도 4m기준으로 계산된다. 전송 캐리어 주파수를 기본 주파수 대역의 중앙값인 3960MHz로 가정하고 AWGN채널에서 TFI모드와 FFI모드에 대한 링크마진을 계산하면 <표 12>와 같다.

AWGN 채널 환경에서 계산한 <표 12>의 링크마진과 <표 9>에서 시뮬레이션으로 구한 UWB 다중 경로 채널 모델 별 요구 SNR를 이용하여 다중경로채널을 고려한 실질적인 링크마진을 계산하면 <표 13>과 같다.

<표 12> AWGN채널 환경에서의 링크 마진 계산 (데이터 전송률 = 200Mbps)

구분	전송 모드	
	TFI	FFI
평균송신전력(dBm)	-8.4	-13.2
전송주파수(MHz)	3960	3960
4m에서의 전체경로손실(dB)	56.4	56.4
평균수신전력(dBm)	-64.8	-69.6
잡음전력(dBm)	-87	-87
Noise Figure(dB)	6.6	6.6
요구 SNR(dB)	4.25	4.25
최소수신전력(dBm)	-76.15	-76.15
링크마진(dB)	11.35	6.55

<표 13> 다중 경로 채널을 고려한 링크 마진 (데이터 전송률 = 200Mbps), unit : dB

구분	전송 모드	
	TFI	FFI
AWGN	11.35	6.55
CM 1	3.8	-1.0
CM 2	1.7	-3.1
CM 3	-0.56	-5.36

<표 14> AWGN채널 환경에서의 링크 마진 계산  
(데이터 전송률 = 480Mbps)

구분	전송 모드	
	TFI	FFI
평균송신전력(dBm)	-8.4	-13.2
전송주파수(MHz)	3960	3960
1m에서의 전체경로손실(dB)	44.4	44.4
평균수신전력(dBm)	-52.8	-57.6
잡음전력(dBm)	-87	-87
Noise Figure(dB)	6.6	6.6
요구 SNR(dB)	9.7	9.7
최소수신전력(dBm)	-70.7	-70.7
링크마진(dB)	17.9	13.1

<표 15> 다중 경로 채널을 고려한 링크 마진  
(데이터 전송률 = 480Mbps), unit : dB

구분	전송 모드	
	TFI	FFI
AWGN	17.9	13.1
CM 1	5.8	1.0

동일한 방법으로, 480Mbps 데이터 전송률 모드에 대한 채널 모델 별 링크마진을 계산하면 <표 14>와 <표 15>와 같이 정리할 수 있다. 여기서, 링크마진을 계산하기 위한 서비스 반경은 1m로 가정되었다.

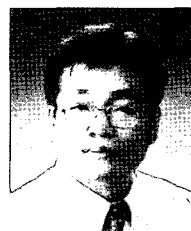
### 7. 결 론

본 논문에서는 MB-OFDM UWB 시스템의 전송규격 및 페이딩을 고려한 실질적인 서비스 반경을 예측하기 위한 링크마진을 시뮬레이션 결과를 이용하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 이용한 링크마진 분석 결과 200Mbps 모드에서 4m 서비스 반경을 보장하기 위해서는 TFI 모드 구현이 필수적이며, 주파수 호핑을 사용하지 않는 FFI 모드일 경우에는 가시거리 채널 모델인 CM1에서조차 4m 서비스 반경 확보가 어려울 것으로 분석되었다. 그리고, 480Mbps모드 경우에는 FFI 모드일 경우 CM1에서 약 1m정도의 서비스가 가능하고, TFI모드일 경우에는 2m 근방까지 서비스가 가능할 것으로 분석되었다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Batra et al., "Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a", *IEEE P802.15-03/268r3*, March 2004.  
 [2] 신철호, 이한호, 최상성, 백정기, '4 병렬 동기 구조를 이용한 MB-OFDM UWB 수신기 설계 및 평가', *한국전자과학회논문지*, Vol.16, No.11, pp.1075-1085, Nov., 2005.  
 [3] P. H. Moose, "A Technique for Orthogonal Frequency

Division Multiplexing Frequency Offset Correction", *IEEE Transactions on Communications*, Vol.42, pp.2908-2914, Oct., 1994.  
 [4] A. Miaouidakis, A. Koukourgiannis, G. Kalivas, "Carrier Frequency Offset Estimation and Correction for HiperLan/2 WLANs", *Seventh International Symposium on Computers and Communications(ISC'02)*, pp.693-698, July, 2002.  
 [5] J-J. Van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson, P. O. Börjesson, "On Channel Estimation in OFDM Systems," *IEEE 45th Vehicular Technology Conference(VTC)*, Vol.2, pp.257-261, 22-28 July, 1995.  
 [6] M. Speth, S. A. Fechtel, G. Fock, H. Meyr, "Optimum Receiver Design for Wireless Broad-Band Systems Using OFDM-Part I", *IEEE Transactions on Communications*, Vol.47, pp.1668-1677, Nov., 1999.  
 [7] M. Zhao, P. Qiu, J. Tang, "Sampling Rate Conversion and Symbol Timing for OFDM Software Receiver", *IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions*, Vol. 1, pp.114-118, July, 2002.  
 [8] Jeff Foerster, "Channel Modeling Sub-committee Report Final," *IEEE P802.15-02/368r5-SG3a*, Nov., 2002.  
 [9] A. Batra, J. Balakrishnan, G. R. Aiello, J. R. Foerster, A. Dabak, "Design of Multiband OFDM System for Realistic UWB Channel Environment," *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques*, Vol. 52, No.9, pp. 2123-2138, Sept., 2004.



### 신 철 호

1994년 2월 전남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년 2월 전남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 2월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

관심분야: 무선 채널, 전파전파, 통신이론, 통신 시스템 설계



### 최 상 성

1977년 2월 한양대학교, 무선통신공학과  
(공학사)

1979년 2월 고려대학교, 전자공학과  
(공학석사)

1991년 6월 Ohio University, 전기공학과  
(이학석사)

1999년 University of Wyoming, 전기공학과(공학박사)

2000년 11월~현재 한국전자통신연구원 무선 홈네트워크  
연구팀장

관심분야: Ultra-Wideband 기술, 스펙트럼공학



### 백 정 기

1978년 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 Virginia Tech.(공학석사)

1988년 Virginia Tech.(공학박사)

1978년 3월~1983년 2월 국방과학연구소

1988년 10월~1989년 2월 한국전자통신  
연구원

1989년 3월~1995년 2월 동아대학교 전자공학과 부교수

1995년 2월~현재 충남대학교 전파공학과 교수

관심분야: 전자파 전파 및 산란, UWB 채널, 전자파 생체영향