

# 국내 DAA 기술 기준을 고려한 MB-OFDM UWB 성능 평가

## A Performance Evaluation of MB-OFDM UWB System Considering the Domestic DAA Regulation

신 철 호 · 최 상 성

Cheol-Ho Shin · Sangsung Choi

### 요 약

본 논문의 목적은 3.1~4.8 GHz 대역에서 UWB를 허용하기 위해 국내에서 제시한 DAA 기술 기준을 적용하여 MB-OFDM UWB(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing Ultra Wide Band) 시스템과 피 간섭 신호간의 성능을 평가하는 것이다. DAA 기술 기준에서 정한 피 간섭 신호로는 유럽에서 DAA 적용 시스템으로 검토하고 있는 WiMAX나 국내에 도입될 것으로 예상되는 4G 시스템 등이 있다. MB-OFDM UWB 시스템은 TFC(Time Frequency Code)에 따라 심볼마다 3개 주파수 대역을 호핑하는 TFI(Time Frequency Interleaving) 모드와 하나의 주파수 대역을 선택하여 신호를 전송하는 FFI(Fixed Frequency Interleaving) 모드를 지원한다. 본 논문에서는 호핑 모드에 따른 간섭 영향을 정확하게 분석하기 위해 TFC에 따른 평균 송신 출력 및 동기 구조를 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 결과, 국내 DAA 기술 기준을 적용할 경우, UWB 간섭 신호로부터 WiMAX 통신 시스템은 철저히 보호되는 반면, MB-OFDM UWB 시스템은 DAA 검출 레벨의 간섭 신호에 의해 주파수 다양성 효과를 얻을 수 있는 주파수 호핑 모드에서조차 심각한 성능 저하가 발생하였다.

### Abstract

The purpose of this paper is to analyze the performance of MB-OFDM UWB system when the interference signal that can be WiMAX signal or 4 G system signal is received by detection limit of  $-80$  dBm/MHz proposed in Korea for DAA(Detect And Avoid) to permit UWB in 3.1~4.8 GHz. MB-OFDM UWB system 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. In this paper, we considered the TX average power and the synchronization structure to reflect the effect of frequency hopping according to TFC. Interference analysis results show that the WiMAX system is fenced thoroughly from UWB interference in domestic DAA regulation, but the performance of MB-OFDM UWB system is degraded seriously by an interference signal with the DAA detection limit even in frequency Hopping mode that can get frequency diversity effect.

Key words : MB-OFDM, UWB, DAA, WiMAX, Interference

### I. 서 론

UWB 통신 방식은 아주 넓은 주파수 대역을 사용하는 통신 방식을 의미한다. 미국 FCC(Federal Co-

munications Commission)에서 정의하고 있는 형태로는 중심 주파수 대비 대역폭이 20 % 이상이거나 500 MHz 이상의 주파수 대역폭을 차지하는 통신 방식을 의미한다. 현재 FCC에서는 통신용으로 3.1~

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음[2006-S071-02, 초고속 멀티미디어 전송 UWB 솔루션 개발].」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20080513-063

· 수정완료일자 : 2008년 7월 16일

10.6 GHz 주파수 대역에 대하여 송신 신호 전력의 한계를 규정하고 있다<sup>[1]</sup>. UWB 방식의 신호는 넓은 주파수 대역을 사용할 수 있으므로 주파수 영역에서의 전력 밀도 값을 아주 작은 값으로 할 수 있어 다른 통신 신호가 존재하는 주파수에 중첩되어 사용하더라도 간섭을 거의 주지 않을 수 있다는 점을 이용하고 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<sup>[2]</sup>. 이러한 호핑 패턴의 사용은 송신 전력에 심각한 제한을 받고 있는 UWB 시스템의 대역 별 평균 송신 출력을 높일 수 있는 근거를 제공한다. MB-OFDM 방식에서는 각 전송 OFDM 심볼마다 TF 호핑 패턴에 따라 주파수를 변경해 주어야 하는 점을 제외하면, 기존 OFDM 전송 방식과 마찬가지로 각각의 직교성을 가지는 부반송파에 데이터를 병렬로 고속 전송하는 방식이다.

본 논문에서는 국내에서 3.1~4.8 GHz 대역에서 UWB 시스템과 다른 무선 시스템의 공유를 위해 제시된 DAA 기술 기준에 대해 살펴본다<sup>[3]</sup>. 이러한 DAA 기술 기준은 UWB 통신 시스템의 보호보다는 다른 무선 시스템의 보호가 주 목적이며, UWB 시스템은 간섭을 감수하고라도, 타 무선 시스템에 간섭을 주지 않으면서 동일 주파수대를 이용하여 통신을 하여야 한다. 국내에서 UWB 시스템에 적용한 DAA 기술 기준은 UWB 수신기에서 타 무선 시스템의 신호를 -80 dBm/MHz 이상을 검출하면, 2초 이내에 UWB 송신 출력을 -70 dBm/MHz로 낮추거나 사용 주파수 대역을 바꾸도록 하고 있다. 실제 이러한 국내 DAA 기술 기준이 타 통신 시스템을 보호하는데 적합한지와 이러한 DAA 기술 기준을 만족할 경우 UWB 시스템 성능에 미치는 영향은 어느 정도인지 본 논문에서는 이론 및 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그리고, 본 논문에서는 분석의 객관성을 높이기 위해 MB-OFDM UWB 시스템에서 제시한 TFC에 따른 FFI 모드 및 TFI 모드의 주파수 대역별 실제 적용 가능한 평균 송신 전력을 고려하였으며, DAA 적용 대상 시스템으로는 현재 유럽에서 DAA 기술 기준 적용 대상으로 논의하고 있는 WiMAX 시스템 운용

환경을 고려하였다<sup>[4],[5]</sup>. 또한, MB-OFDM UWB 시스템의 실제 시스템 설계 규격을 반영할 수 있도록 MB-OFDM UWB 시스템에서 제시하고 있는 20 ppm의 주파수 옵셋 및 타이밍 옵셋을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문에서는 MB-OFDM UWB와 타 무선 시스템과의 주파수 공유를 위해 국내에서 제시한 DAA 기술 기준에 의한 UWB 시스템의 성능 평가를 위해 2장에서 MB-OFDM UWB 시스템 전송 방식에 대해 설명하고, 3장에서 국내의 UWB 주파수 할당 현황과 DAA 기술 기준에 대해 소개하였다. 또한, TFC에 따른 MB-OFDM UWB 시스템의 실제 적용 가능한 대역별 평균 송신 전력과 WiMAX의 운용 환경에 따른 송신 출력을 이용하여 국내에서 제시한 DAA 기술 기준이 WiMAX 시스템을 보호하기에 충분한지를 분석하였다. 4장에서는 DAA 기술 기준에 따라 DAA 검출 레벨로 간섭 신호가 수신될 경우 MB-OFDM UWB 시스템의 성능을 평가하기 위해 사용된 파라미터들과 시뮬레이션 조건을 정리하였다. 그리고, 5장에서는 4장에서 제시한 파라미터들을 이용하여 MB-OFDM UWB 시스템에서 제공하고 있는 TFC 별로 DAA 검출 레벨의 간섭 신호가 존재할 경우의 성능 열화 현상에 대해 시뮬레이션을 통해 분석하고, 6장에서 결론을 논하였다.

## II. MB-OFDM UWB 통신 방식

MB-OFDM UWB 시스템의 실제 RF 전송 신호는 식 (1)과 같이 표현된다<sup>[2]</sup>.

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

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 1의 주파수 대역을 이용하여 표 1에 보인 TF 코드들에 따라 전송되며,  $l$ 번째 전송되는 OFDM 심볼의 중심 주파수는 식 (1)에서  $f_l$ 로 표현된다.

MB-OFDM UWB 시스템은 표 1에 보인 TF 코드

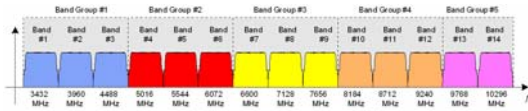


그림 1. MB-OFDM UWB 시스템의 주파수 할당  
Fig. 1. Frequency allocation of MB-OFDM UWB system.

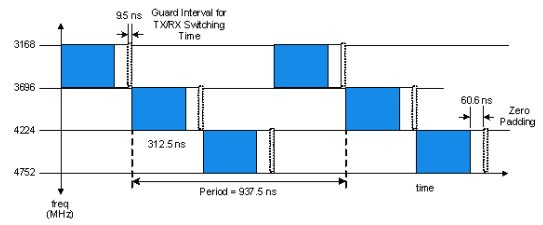
들에 따라, 그림 1의 BandGroup 내에 포함된 3개 주파수 대역을 사용하여 데이터를 전송한다.

그림 1의 BandGroup 내의 주파수들과 표 1의 프리앰블 패턴에 따른 MB-OFDM UWB 시스템의 대표적인 전송 규칙들을 도시하면 그림 2와 같다. 그림 2에서 각 OFDM 심볼은 매 심볼마다 프리앰블 패턴에 따라 BandGroup 내의 3개 주파수들을 호핑하며 전송되거나, 3개 주파수 중 1개의 주파수를 이용하여 데이터를 전송한다. 그림 2의 (a)와 (b) 같이 3개 주파수들을 호핑하며 데이터들 전송하는 모드를 TFI 모드라 하고, 그림 2의 (c)와 같이 3개 주파수 대역 중 하나만을 이용하여 데이터를 전송하는 모드를 FFI 모드라고 한다<sup>[2]</sup>.

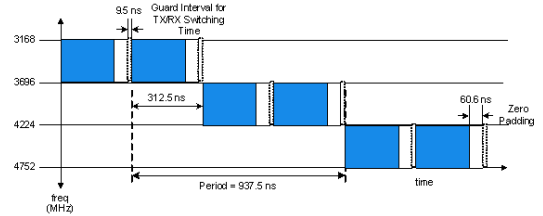
MB-OFDM UWB 시스템은 표 2와 같은 다양한 데이터 전송률 모드들을 제공한다. 표 2에서 53.3 Mbps, 107 Mbps와 200 Mbps 데이터 전송률 모드가 기본 모드이고, 나머지는 옵션 모드들이다. MB-OFDM UWB 시스템은 설계를 용이하게 하기 위해 기본 변조 방식으로 QPSK를 사용하였으며, 다중 경로 페이딩에 취약한 320 Mbps 이상의 옵션 모드에서는 페이딩 영향을 극복하기 위해 DCM(Dual Carrier Modulation)을 적용하였다<sup>[2]</sup>.

표 1. TF 코드들  
Table 1. TF codes.

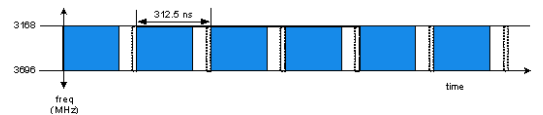
Preamble pattern	TF(Time Frequency) codes					
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	3	1	2	3
2	1	3	2	1	3	2
3	1	1	2	2	3	3
4	1	1	3	3	2	2
5	1	1	1	1	1	1
6	2	2	2	2	2	2
7	3	3	3	3	3	3



(a) TFI 모드(TFC 1)  
(a) TFI mode(TFC 1)



(b) TFI 모드(TFC 3)  
(b) TFI mode(TFC 3)



(c) FFI 모드(TFC 5)  
(c) FFI mode(TFC 5)

그림 2. MB-OFDM UWB 시스템의 전송 규칙  
Fig. 2. The transmitting principle of MB-OFDM UWB system.

표 2. MB-OFDM UWB 시스템의 데이터 전송률  
Table 2. Data rates of MB-OFDM UWB system.

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

\* Default data rate.

본 논문에서는 동일 주파수 대역에서 DAA 검출 레벨로 수신되는 타 무선 시스템에 의한 MB-OFDM

UWB 시스템의 성능 영향을 분석하고자 한다. 이를 위해 기본 모드 중 가장 높은 데이터 전송률 모드인 200 Mbps 모드를 시뮬레이션에 이용하였다. 200 Mbps 모드는 동일 데이터를 2개의 OFDM 심볼을 이용하여 반복 전송함으로써, 특정 주파수 대역에 간섭 신호가 존재할 경우 수신단에서 주파수 다양성 효과를 가질 수 있다. 또한, 시뮬레이션의 정확도를 높이기 위해 페이딩 채널과 TFC에 따른 주파수 호핑에 의한 영향도 고려하였다.

IEEE802.11a(WLAN)와 같은 다른 OFDM 시스템에서는 다중 경로 채널에 의해 야기되는 ISI(Inter-Symbol Interference)를 피하기 위해 유효 OFDM 심볼 마지막 1/4 정도의 샘플들을 전송하고자 하는 OFDM 심볼 앞부분에 반복 전송하는 CP(Cyclic Prefix)를 사용한다. 그러나 송신 출력이 엄격한 제한을 받고 있는 MB-OFDM UWB 시스템은 대역별 평균 송신 출력을 높이기 위해 CP 대신에 32개의 zero들을 전송하며, 128개의 IFFT 출력 샘플 및 채널 스위칭을 위한 5개의 zero들을 포함하여 그림 3과 같이 총 165개의 샘플로 OFDM 심볼을 구성한다<sup>[2]</sup>.

### III. 국내의 UWB 주파수 할당

#### 3-1 국내 UWB 주파수 할당 및 DAA 기술 기준

국내에서는 2006년에 UWB 운용 주파수로 3,100~4,800 MHz, 7,200~10,200 MHz 두 대역을 할당하였으며, 특히 타 무선 통신 시스템들의 보호를 위해 3,100~4,800 MHz 대역에 대해서는 DAA 기술을 적용할 것을 요구하였다<sup>[3]</sup>.

국내에서 설정한 DAA 기술 기준은 UWB 시스템 운용 중에 -80 dBm/MHz 이상의 타 무선국 신호를 감지할 경우, 2초 이내에 -70 dBm/MHz 이하로 저감하거나 2초 이내에 다른 주파수 대역으로 회피할 것을 요구하고 있다. 현재 3,100~4,800 MHz 대역에

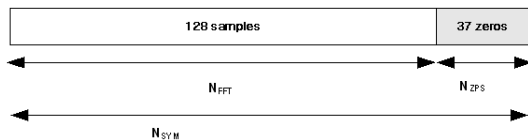


그림 3. MB-OFDM 심볼 구조  
Fig. 3. The structure of MB-OFDM symbol.

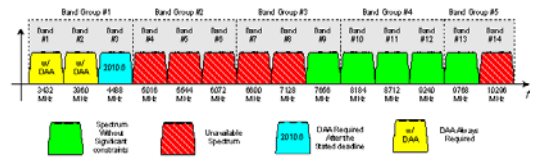


그림 4. 국내의 UWB 주파수 할당  
Fig. 4. Frequency allocation of UWB in Korea.

서 DAA 기술 기준 적용 가능성이 있는 무선 기술로는 4G 통신, WiMax 등이 있으며, 본 논문에서는 유럽에서 DAA 기술 적용 시스템으로 활발하게 연구 중인 WiMAX 시스템을 모델로 간섭원을 고려하였다.

#### 3-2 TFC에 따른 MB-OFDM 대역별 평균 송신 출력

MB-OFDM UWB 시스템의 송신 출력은 시간에 대한 평균으로 계산되므로, 실제 대역별 평균 송신 출력은 TFC에 따라 다르게 설정될 수 있으며, 이러한 대역별 평균 송신 출력 차이는 다음과 같이 계산될 수 있다.

FCC에서 제시한 최대 송신 전력 한계는 -41.3 dBm/MHz이지만, 이는 시간 영역 신호가 연속일 경우의 기준이며, 시간 영역에서 OFDM 심볼간 ZP(Zero Padding)를 사용하고, 주파수 호핑을 사용하는 MB-OFDM 시스템의 경우 시간 영역에서 신호가 존재하지 않는 ZP 구간과 주파수 호핑에 따른 주파수 영역에서의 불연속성을 고려할 때, MB-OFDM UWB 시스템 전송 모드인 TFI 모드와 FFI 모드를 구분하여 그림 5와 같이 각 전송 모드별 평균 송신 PSD (Power Spectrum Density)를 조정할 수 있다.

그림 5에서 FFI 모드는 주파수 호핑을 사용하지 않는 모드로서 ZP에 의한 시간 영역에서의 신호 불연속 특성만 고려하면 된다. 이 경우 총 165개의 OFDM 샘플 중 37개의 ZP가 존재하므로, 이 경우 유효 송신 PSD는 다음과 같이 계산된다.

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

또한, TFI 모드인 경우에는 3개 주파수 대역을 이용한 호핑을 수행하므로, 식 (2)에 추가로  $10 \log(3)$

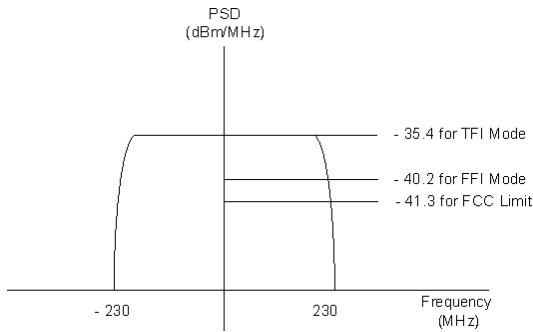


그림 5. 송신 모드에 따른 평균 송신 PSD  
Fig. 5. The average TX PSD according to transmission mode.

을 더하여 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{TFI 모드 유효 송신 PSD} \\
 & = -41.3 \text{ dBm / MHz} + 10 \log(165 / 128) + 10 \log(3) \\
 & = -35.4 \text{ dBm / MHz} \quad (3)
 \end{aligned}$$

### 3-3 MB-OFDM UWB 간섭 신호로부터 WiMAX 시스템이 받는 간섭 영향

국내의 DAA 검출 레벨에 따른 UWB 단말기의 회피 범위를 그림으로 도시하면 그림 6과 같다. 즉, UWB 단말기는 동일 대역을 사용하는 타 통신 시스템으로부터 수신되는 신호의 크기가  $-80 \text{ dBm/MHz}$  이상이면 DAA 기술 기준에 따른 간섭 회피를 해야만 한다. 국내 DAA 기술 기준에서 중요한 점은 UWB와 동일 대역을 사용하는 다른 무선 통신 시스템을 먼저 보호해야 한다는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 DAA 기술 기준 하에서 UWB 단말기에서 다른 무선 통신 수신기에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 타 무선 통신 방식으로 최근 유럽에서 논란이 되고 있는 WiMAX의 운용 환경을 고려하였다.

WiMedia의 연구 결과에 따르면 WiMAX 운용 환경으로 상향 링크와 하향 링크가 있으며<sup>[5]</sup>, 각 링크별 송신 출력은 표 3과 같이 정의되고 있다.

WiMAX의 운용 대역폭은 3.5 MHz에서 10 MHz이며, 본 논문에서는 상호 간섭 영향이 가장 큰 10 MHz의 운용 대역폭을 기준으로 간섭 상황을 비교하였다.

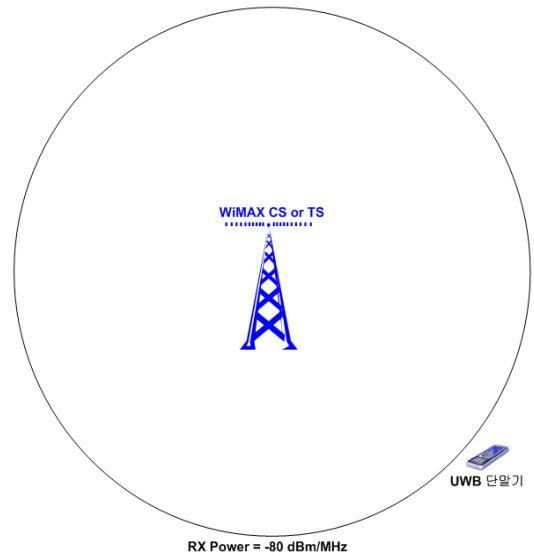


그림 6. 국내 DAA 기술 기준에 따른 UWB 단말기 회피 범위  
Fig. 6. The avoid region of UWB device considering the DAA regulation of Korea.

표 3. WiMAX 송신 출력 파라미터  
Table 3. TX power parameters of WiMAX.

	파라미터		
	방향	최대 송신 출력(dBm)	안테나 이득(dB)
하향 링크	CS(Central Station) to TS(Terminal Station)	35	9
상향 링크	TS(Terminal Station) to CS(Central Station)	20	0

표 4. DAA 기술 기준에 따라 WiMAX 수신기에 수신된 UWB 간섭 신호 전력  
Table 4. Interference signal power received from UWB to WiMAX RX according to DAA regulation.

간섭 상황	파라미터	
	공간 손실(dB)	간섭 신호 전력
CS(Central Station) vs UWB	114 dB	-130.4
TS(Terminal Station) vs UWB	90 dB	-115.4

MB-OFDM UWB 시스템이 TFI 모드에서 운용 중이고, WiMAX의 수신 대역폭이 10 MHz일 경우, 자유 공간 손실을 기준으로 WIMAX의 CS와 TS에 도달되는 MB-OFDM UWB 간섭 신호 전력의 크기는 표 4와 같다.

운용 주파수 대역폭이 10 MHz인 WiMAX TS에서의 수신 잡음 전력은 -104 dBm이므로, 표 4에서 국내 DAA 기술 기준에 따른 MB-OFDM UWB 송신기에서 WiMAX TS 수신단에 도달하는 간섭 전력은 잡음 전력보다 10 dB 이상 낮은 신호임을 알 수 있다. 이러한 수준의 간섭 신호 전력은 특별히 WiMAX의 최소 수신 레벨 및 운용 환경을 고려하지 않더라도 거의 WiMAX 시스템에 간섭 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

다음 절에서는 국내 DAA 기술 기준에 따라 DAA 검출 레벨로 수신되는 간섭 신호가 UWB 신호에 미치는 영향에 대해 시뮬레이션을 통해 살펴보고자 한다.

#### IV. UWB 성능 분석 시뮬레이션

##### 4-1 MB-OFDM UWB 시스템 수신 구조

그림 7에서 보는 바와 같이, MB-OFDM UWB 시스템의 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 프리엠블은 패킷 동기 시퀀스(PS: Packet Synchronization Sequence), 프레임 동기 시퀀스(FS: Frame Synchronization Sequence), 채널 추정 시퀀스(CE: Channel Estimation sequence)와 같이 세 영역으로 구분된다<sup>[2]</sup>.

패킷 동기 시퀀스는 반복적인 21개의 OFDM 심볼들로 구성되며, 심볼 시간 동기, AGC(Automatic Gain Control), 캐리어 주파수 오프셋 추정을 위한 알고리즘 설계에 이용된다. 비슷하게 프레임 동기 시퀀스는

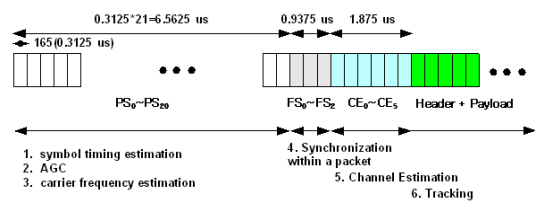


그림 7. MB-OFDM UWB system의 프리엠블 구조  
Fig. 7. Preamble structure of MB-OFDM UWB system.

PS 심볼들과 부호만 다른 반복된 3개의 OFDM 심볼들로 구성되어 있으며, 채널 추정 시퀀스 위치를 추정하기 위한 패킷 내의 동기를 위해 이용된다. 이러한 PS와 FS OFDM 심볼들은 수신단에서 타이밍 동기를 용이하게 수행할 수 있도록 자기 상관 특성이 매우 좋은 시간 영역 신호를 IFFT 단을 거치지 않고 직접 전송한다. 그리고, 그림 7의 프리엠블 마지막에 구성된 채널 추정 시퀀스는 앞의 24개 심볼들과 달리 IFFT단을 통과시킨 6개의 반복된 OFDM 심볼들로 구성되며, 채널 주파수 응답을 추정하기 위해 사용된다. MB-OFDM UWB 시스템의 PDU(PLCP Protocol Data Unit)는 크게 PLCP 프리엠블, PLCP 헤더, PSDU(PLCP Service Data Unit) 3부분으로 구성되며, 본 논문에서는 심볼 시간 추정, 캐리어 주파수 오프셋 복원, 채널 추정 등의 동기 알고리즘은 PLCP 프리엠블을 이용하여 설계하고, 잔류 캐리어 주파수 오프셋과 샘플링 클럭 오프셋을 보정하기 위한 tracking 알고리즘은 PLCP 헤더와 PSDU를 통해 수행되도록 수신기를 설계한 그림 8과 같은 동기 알고리즘 적용 구조를 시뮬레이션에 사용하였다.

##### 4-2 MB-OFDM UWB 채널 모델

IEEE UWB 채널 모델은 전체 패킷 동안 각 경로의 이득 값이 상수로 일정하게 유지되는 블락 페이딩 채널 모델이고, 패킷 간에 적용되는 각 채널 모델들은 서로 독립성을 보장한다<sup>[6],[7]</sup>.

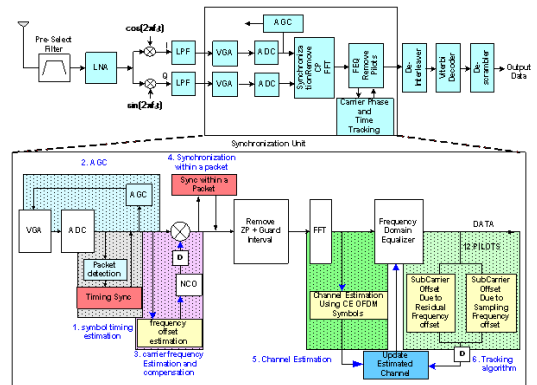


그림 8. MB-OFDM UWB 시스템 수신 동기 구조  
Fig. 8. Synchronization structure of MB-OFDM UWB system.

표 5. UWB 채널 모델

Table 5. UWB channel model.

Channel characteristics	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
Channel measurements	LOS (0~4 m)	NLOS (0~4 m)	NLOS (4~10 m)	Extreme NLOS multi path

IEEE UWB 채널 모델은 수 많은 채널 측정 결과들로부터 도출된 군집 현상에 기반하여 몇 가지 수정을 거친 Saleh-Valenzuela 모델로부터 유도되었다. UWB 채널 모델은 표 5와 같이 채널 특성에 따라 4개 모드로 분류되며<sup>[6]</sup>, 각 채널 모드는 100개의 프로파일로 구성되어 있다.

본 논문에서는 MB-OFDM UWB 시스템의 서비스 반경을 계산하는데 사용되는 기본적인 AWGN 채널 뿐만 아니라, 페이딩 채널에서의 영향도 분석하기 위해 CM 1의 100개 프로파일을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

### 4.3 시뮬레이션 환경

국내 DAA 기술 기준을 고려한 MB-OFDM UWB 시스템의 간섭 성능 분석을 수행하기 위해 본 논문에서는 그림 9와 같이 시뮬레이션 채널 환경과 간섭 신호를 구성하였다. MB-OFDM UWB 수신단에서의 각 신호별 상대적인 전력비는 그림 10과 같이 설정하였으며, MB-OFDM UWB 시스템의 128 FFT 윈도우 내에 10 MHz를 갖는 간섭 신호의 주파수 위치는 그림 11과 같이 동기 알고리즘에 의한 영향을 최소화하기 위해 pilot 신호를 피해서 설정하였다.

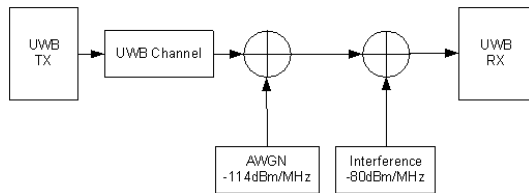


그림 9. 시뮬레이션의 간섭 구조

Fig. 9. The interference structure for simulation.

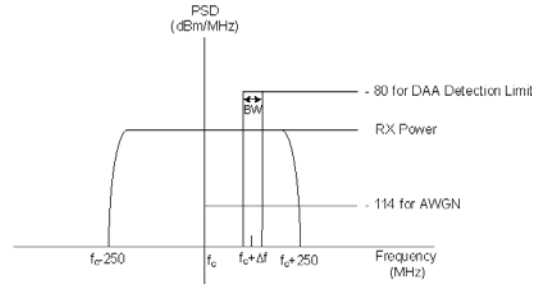


그림 10. 시뮬레이션을 위한 신호별 상대적인 전력비

Fig. 10. Relative PSD(Power Spectrum Density) ratios for simulation.

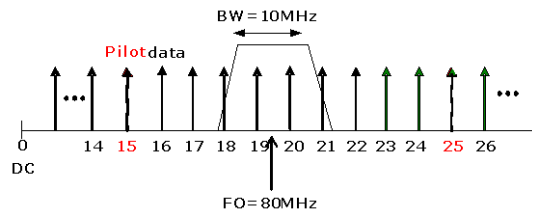


그림 11. MB-OFDM UWB system의 128 FFT 윈도우 내에서 WiMAX 간섭 신호 위치

Fig. 11. Position of WiMAX interference within 128 FFT Window of MB-OFDM UWB system.

### 4.4 시뮬레이션 파라미터

국내 DAA 검출 레벨의 간섭원에 의한 MB-OFDM UWB 시스템의 간섭 성능을 분석하기 위한 파라미터들을 정리하면 표 6과 같다.

표 6에서 보듯이, MB-OFDM UWB 시스템 규격은 데이터 전송율 200 MHz 모드에서 시간 영역 확산(a time spreading factor=2) 동작을 수행한다. 이러한 시간 영역 확산 동작은 동일 정보를 2개의 OFDM 심볼로 다른 주파수 대역을 이용하여 반복해서 전송하기 때문에, TFI 모드에서 3개 주파수 중 1개 주파수에 간섭 신호가 존재할 때에도 시스템 성능에 있어 주파수 다양성 효과를 얻을 수 있는 장점을 제공한다.

## V. 시뮬레이션 결과

모든 시뮬레이션 결과는 1,000개의 패킷을 이용하였으며, 각 패킷은 MB-OFDM UWB 시스템 규격에서 정의하고 있는 8 % PER 성능 분석을 위해, 1,024 byte의 payload 길이로 구성되었다. 그리고, MB-OF-



표 6. 시뮬레이션 파라미터들  
Table 6. Simulation parameters.

	Parameters	Value
MB-OFDM parameter	Data rate	200 Mbps
	Modulation	QPSK
	Convolutional encoder	Rate $R=1/3$ , constraint length $K=7$
	Coding rate	5/8
	Time spreading factor	2
	Payload(Bytes)	1,024
	Carrier frequency offset	20 ppm
	Channel	AWGN, CM1 (Channel mode 1)
Interference parameter	Frequency offset( $\Delta f$ )	80 MHz
	Occupied Bandwidth(BW)	10 MHz

DM UWB 시스템의 수신 동기부 성능을 반영하기 위해 MB-OFDM UWB 규격서에서 제시하고 있는 최대 캐리어 주파수 오프셋 20 ppm을 주파수 오프셋과 샘플링 클럭 오프셋에 적용하였으며, 페이딩 채널에서의 MB-OFDM UWB 시스템 성능은 성능 평가 규격에서 제시한 것처럼, 시뮬레이션에 적용된 100개의 프로파일 중 시뮬레이션 결과가 나쁜 10개 프로파일을 적용한 시뮬레이션 결과는 버리고, 상황이 양호한 90개 프로파일을 이용한 시뮬레이션 결과들만을 평균하여 시스템 성능을 평가하였다<sup>[7]</sup>. UWB 채널 및 TFC에 따른 간섭 신호 영향을 평가한 시뮬레이션 결과는 그림 12 및 그림 13과 같다.

표 7 및 표 8은 간섭이 없는 환경에서 MB-OFDM UWB 시스템의 200 Mbps 데이터 전송률 모드에서

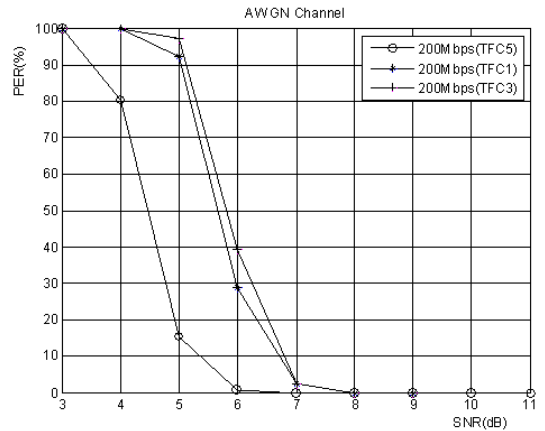
표 7. 간섭 신호가 없는 상황에서의 MB-OFDM UWB PER 성능

Table 7. The summary of simulation results in non-interference condition.

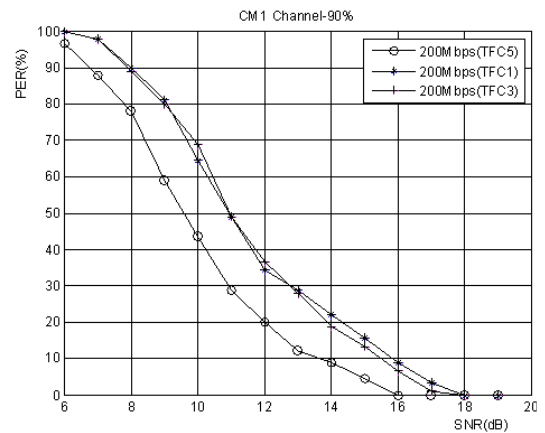
	SNR(dB) for PER 8 %	
	AWGN	CM1(90 %)
TFC 5	5.5	14.2
TFC 1	6.79	16.16
TFC 3	6.85	15.8

채널 환경에 따른 PER 8 %를 얻기 위한 SNR과 자유 공간 전파 환경에서의 서비스 반경을 정리한 결과이다. MB-OFDM UWB 시스템 규격은 AWGN 환경에서 200 Mbps 데이터 전송률 모드의 경우 4 m 정도의 서비스 반경을 권고하고 있다. TFC에 따른 서비스 대역별 평균 송신 출력과 표 8의 시뮬레이션 결과를 이용할 경우, 200 Mbps 데이터 전송률 모드는 AWGN 환경에서 7~11 m 정도의 서비스 반경을 제공할 수 있다.

반면, 국내 DAA 기술 기준상 -80 dBm/MHz의



(a) AWGN 채널 환경  
(a) AWGN channel environment

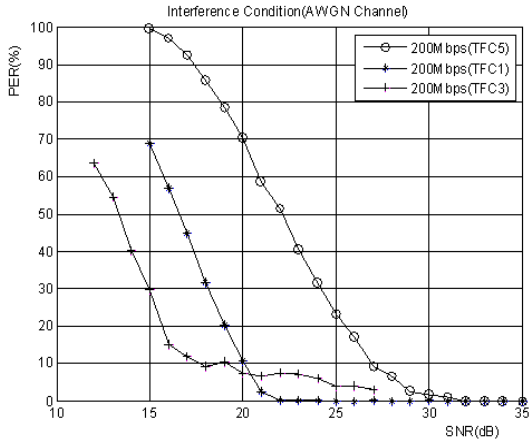


(b) CM 1 페이딩 채널 환경  
(b) CM 1 fading channel environment

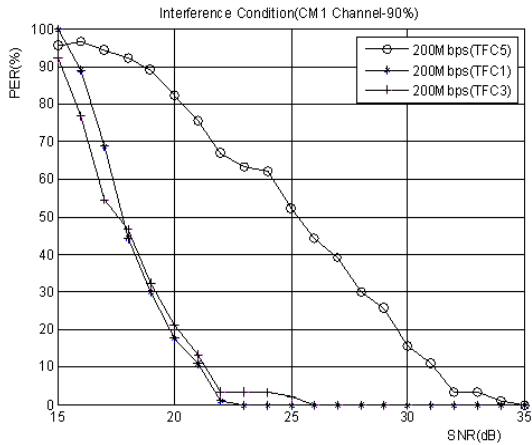
그림 12. 간섭이 없는 환경에서의 MB-OFDM UWB PER 성능 시뮬레이션 결과

Fig. 12. The simulation results in non-interference condition.





(a) AWGN 채널 환경  
(a) AWGN channel environment



(b) CM 1 페이딩 채널 환경  
(b) CM 1 fading channel environment

그림 13. 간섭 환경에서의 MB-OFDM UWB PER 성능 시뮬레이션 결과

Fig. 13. The simulation results in interference condition.

표 8. 간섭 신호가 없는 상황에서의 MB-OFDM UWB 서비스 반경

Table 8. The service radius of MB-OFDM UWB system in non-interference condition.

	서비스 반경(m)	
	AWGN	CM1(90 %)
TFC 5	7.33	2.69
TFC 1	10.98	3.73
TFC 3	10.91	3.89

표 9. WiMAX 간섭 상황에서의 MB-OFDM UWB PER 성능

Table 9. The summary of simulation results in interference condition.

	SNR(dB) for PER 8 %	
	AWGN	CM1(90 %)
TFC 5	27.46	31.4
TFC 1	20.32	21.31
TFC 3	19.86	21.73

표 10. WiMAX 간섭 상황에서의 MB-OFDM UWB 서비스 반경

Table 10. The service radius of MB-OFDM UWB system in interference condition.

	서비스 반경(m)	
	AWGN	CM1(90 %)
TFC 5	0.59	0.37
TFC 1	2.31	2.06
TFC 3	2.44	1.97

간섭 신호 크기를 갖는 10 MHz 대역폭의 간섭 신호가 존재할 경우의 MB-OFDM UWB 시스템 성능을 정리한 결과는 표 9 및 표 10과 같다. 표 8과 표 10의 결과를 비교하면, 국내 DAA 기술 기준을 만족할 경우 AWGN 환경에서 MB-OFDM UWB 시스템의 서비스 반경은 최대 10 m 내외에서 2 m 내외로 대폭 감소됨을 확인할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 실제 MB-OFDM UWB 시스템 전송 환경과 유럽에서 DAA 적용 시스템으로 고려하고 있는 WiMAX 운용 환경을 고려하여 국내에서 설정한 DAA 기술 기준의 영향을 살펴보았다. 검토 결과, 국내 DAA 기술 기준을 적용할 경우, MB-OFDM UWB 시스템으로부터 WiMAX 시스템에 유입되는 간섭 신호는 최악 상황에서도 AWGN 간섭 신호보다 10 dB 이상 낮아서, 이론적으로 거의 WiMAX 성능에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 반면, 시뮬레이션 검토 결과, MB-OFDM UWB 시스템은 DAA 검출 레벨의 간섭 신호에 의해 주파수 다양성 효과를 얻을 수 있는 주파수 호핑 모드에서 조차 심

각한 성능 저하가 발생하였다. 이러한 분석 결과는 DAA 기술 기준 목적 자체가 주로 WiMAX나 4G 시스템을 UWB 간섭으로부터 보호하는 것이긴 하지만, 향후 DAA 기술을 MB-OFDM UWB 시스템에 적용함에 있어 타 무선 시스템의 보호뿐만 아니라, 효과적인 MB-OFDM UWB 시스템의 운용을 위해 검출된 피 간섭 신호 레벨에 따라 데이터 전송률 모드를 변환한다든지, 간섭을 피할 수 없을 경우에는 전송 대역 자체를 회피하는 등 추가적인 고려가 필요함을 보이고 있다.

### 참 고 문 헌

[1] Federal Communications Commission, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems", *FCC 02-48*, Apr. 2002.

[2] A. Batra et al., "Multi-band OFDM physical layer proposal for IEEE 802.15 task group 3a", *IEEE P802.15-03/268r3*, Mar. 2004.

[3] 전파연구소고시 제2007-22호, "방송·해상·항공·전기통신사업용 외의 기타업무용 무선 설비의 기술 기준", 2007년 3월.

[4] TG3#20\_20-A01R0, "Draft report on technical requirements for UWB DAA devices in the bands 3.1~[4.2/4.8] GHz and 8.5~9 GHz", Dec. 2007.

[5] DAA Tiger Team - WiMedia Alliance, "Mitigation techniques: regulatory requirements & technical parameters for Detect And Avoid(DAA); UL detection, DL detection, avoid and for Low Duty Cycle (LDC)", Mar. 2008.

[6] J. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final", *IEEE P802.15-02/368r5-SG3a*, Nov. 2002.

[7] A. Batra, J. Balakrishnan, G. R. Aiello, J. R. Foerster, and 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, Sep. 2004.

### 신 철 호



1994년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
 1996년 2월~현재: 한국전자통신연구원

연구원 선임연구원

[주 관심분야] 무선 채널, 전파전파, 통신이론, 통신 시스템 설계

### 최 상 성

1977년 2월: 한양대학교 무선통신 공학과 (공학사)



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 6월: Ohio University 전기공학과 (이학석사)  
 1999년 University of Wyoming 전기공학과 (공학박사)  
 2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원 근거리무선접속 연구팀장

[주 관심분야] Ultra-Wideband 기술, 스펙트럼공학