

MB-OFDM UWB 시스템에서 DAA 기술 기준 적용을 위한 피 간섭 신호 검출 방안 연구

A Detection Algorithm Study of the Victim Signal for the DAA Regulation in MB-OFDM UWB System

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 MB-OFDM UWB 통신을 수행하지 않는 silent time 동안 MB-OFDM UWB 시스템 수신 구조를 이용하여 국내 DAA 기술 기준에서 정한 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호를 검출하고 피 간섭 신호의 주파수 대역을 추정하는 알고리즘을 제안하는 것이다. 국내 DAA 기술 기준에서는 UWB 기기에서 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호를 검출할 경우, 2초 이내에 회피 동작을 수행하도록 정의하고 있다. 본 논문에서는 UWB 통신 채널 변경을 통한 간섭 회피 동작을 수행하기 위해 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호를 시간 영역 수신 신호 정보를 이용하여 검출하는 피 간섭 신호 검출 알고리즘과 UWB 통신 대역을 유지하면서 피 간섭 신호가 존재하는 대역에서만 송신 출력을 -70 dBm/MHz 이하로 낮추는 tone-nulling 회피 동작을 수행하기 위해 주파수 영역 정보를 이용하여 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 추적하는 알고리즘을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

Abstract

The purpose of this paper is to propose a detection algorithm and a tracking algorithm based on silent time using MB-OFDM UWB(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing Ultra Wide Band) receiver in order to satisfy DAA(Detect And Avoid) regulation of Korea to permit UWB in 3.1~4.8 GHz. In DAA regulation of Korea, if UWB device receives a signal more than -80 dBm/MHz from the victim system during UWB operation, the UWB system should avoid the collision within 2 sec. In this paper, we proposed the detection algorithm to detect the victim signal received by -80 dBm/MHz for the avoidance process that changes the operating UWB frequency to other UWB frequency and the subcarrier tracking algorithm to follow up the subcarrier positions of the victim signal for the tone-nulling avoidance process that decreases the TX power of subcarriers occupied by the victim signal by -70 dBm/MHz. The performance of the detection algorithm and the tracking algorithm suggested in this paper is verified in simulation results considering various conditions.

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

I. 서 론

최근 미국을 제외한 UWB 통신 방식을 허용하고
자 하는 많은 국가들에서는 5 GHz 이하 주파수 대역

「본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. 2009-S-013-0, Wireless Video Area Network 구축을 위한 지능형 WiX 시스템 개발.」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20090814-086

· 수정완료일자 : 2009년 10월 12일

에서 UWB 기기를 사용하기 위한 조건으로 DAA (Detect And Avoid) 기술을 적용할 것을 기술 기준으로 정하고 있다. DAA 기술의 개요는 UWB 통신 기기가 5 GHz 이하 주파수 대역을 사용하기 위해서 기존 혹은 향후 동일 주파수 대역을 사용할 것으로 예상되는 특정 레벨 이상의 타 통신 시스템의 존재 여부를 감지하고, 특정 레벨 이상의 타 통신 방식이 감지된다면 해당 주파수 대역에서 UWB 통신을 중지해야 한다는 것이다. 5 GHz 이하 대역에서 UWB 통신 주파수 대역을 이용할 것으로 예상되는 시스템으로는 현재 유럽에서 활발하게 논의되고 있는 WiMax 시스템과 향후 도입이 예상되는 4G 시스템이 있다^{[1],[2]}.

UWB 운용 주파수 확보를 위한 국제적인 DAA 기술 기준을 만족하기 위해 WiMedia에서는 MB-OFDM UWB 시스템에 적용할 DAA 기술 표준을 연구하고 있다. 현재로서는 유럽의 WiMax 시스템을 보호하기 위한 연구가 가장 활발하게 진행 중이며, 한국에서 제시한 DAA 기술 기준에 대한 사항도 검토 중이다.

DAA는 MB-OFDM UWB 시스템과 동일 주파수를 이용하여 통신을 수행하는 특정 레벨 이상의 피 간섭 신호가 존재하는지 UWB 수신단에서 판단하고, 피간섭 신호가 존재한다고 판단되면 UWB 통신 주파수를 다른 대역으로 옮기든지 동일 주파수 내에서 피간섭 신호가 존재하는 주파수 대역으로의 신호 전송을 차단하는 tone-nulling 방식을 사용하여야 한다. OFDM 전송 방식은 특성상 특정 주파수 대역에 해당하는 subcarrier에 해당하는 신호를 전송하지 않으므로써 쉽게 tone-nulling 회피 방안을 달성할 수 있으며, tone-nulling에 따른 notch depth를 증가시키기 위한 방안들이 연구되고 있다^{[3],[4]}.

국내에서 UWB 시스템에 적용한 DAA 기술 기준은 UWB 수신기에서 -80 dBm/MHz 이상의 타 무선 시스템의 신호를 검출하면, 2초 이내에 UWB 송신 출력력을 -70 dBm/MHz로 낮추거나 사용 주파수 대역을 바꾸도록 하고 있다^[5]. 본 논문에서는 3.1~4.8 GHz 대역에서 UWB를 허용하기 위해 국내에서 제시한 DAA 기술 기준을 만족할 수 있는 특정 신호 레벨의 피 간섭 신호 검출 및 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 MB-OFDM UWB 시스템 수신 구조를 이용하여 추적하는 알고리즘 및 설계 방법을 MB-

OFDM UWB 통신을 수행하지 않는 silent time 기반으로 제시하였다. DAA 기술 기준의 기본은 특정 수신 레벨의 피 간섭 신호를 검출하고, 검출된 피 간섭 신호의 수신 레벨에 따라 적절한 회피 알고리즘을 적용하는 것인데, 이러한 DAA 알고리즘을 효과적으로 구현하기 위해서는 정확한 피 간섭 신호의 수신 신호 레벨 및 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서 MB-OFDM UWB 수신기 구조를 이용하여 새롭게 제시한 시간 영역 수신 신호 정보를 이용한 피 간섭 신호 수신 레벨 검출 알고리즘과 주파수 영역 정보를 이용한 피 간섭 신호 subcarrier 위치 추적 알고리즘은 DAA 알고리즘을 구현함에 있어 피 간섭 신호가 검출된 주파수 대역을 피해 다른 주파수 대역으로 통신 채널을 옮기거나, 피 간섭 신호가 검출된 주파수 대역 내의 subcarrier에 UWB 신호를 전송하지 않는 tone-nulling 등을 수행하는데 필요한 모든 정보를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 MB-OFDM UWB 시스템에 적용하기 위한 DAA 기술을 개발하기 위해 2장에서 국내의 UWB 주파수 할당 현황과 DAA 기술 기준에 대해 간략히 소개하고, MB-OFDM UWB 수신기 구조를 이용하여 silent time 기반 피 간섭 검출 방안에 대한 알고리즘 및 구조를 설명하였다. 3장에서는 2장에서 설계한 피 간섭 신호 검출 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 환경을 설명하고, 4장에서 특정 수신 레벨 이상의 피 간섭 신호 수신 여부와 피 간섭 수신 신호의 subcarrier 위치를 추적하는 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 정리하였다. 그리고, 5장에서는 4장의 시뮬레이션 분석 결과를 토대로 피 간섭 신호 검출 알고리즘 설계에 대한 결론을 논하였다.

II. 국내의 UWB 주파수 할당

2-1 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^[5].

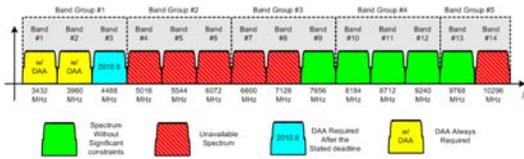


그림 1. 국내의 UWB 주파수 할당
Fig. 1. Frequency allocation of UWB in Korea.

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. 이러한 국내 DAA 기술 기준을 만족하기 위해서는 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호를 검출하여 UWB 통신 채널을 바꾸거나 피 간섭 신호의 subcarrier를 정확하게 추적하여 피 간섭 신호가 존재하는 대역의 송신 출력을 -70 dBm/MHz 이하로 저감할 수 있어야 한다. 다음 절에서 국내 DAA 기술 기준을 만족하기 위해 필요한 특정 수신 레벨 이상의 피 간섭 신호 검출 방안과 피 간섭 신호의 subcarrier를 정확하게 추적할 수 있는 알고리즘에 대한 설계 방법에 대해 설명한다.

2.2 수신 신호 입력 레벨 조절 방안 설계

MB-OFDM UWB 수신 신호 대역폭을 528 MHz로 가정했을 경우, 안테나 수신단을 통해 수신될 수 있는 AWGN 신호, MB-OFDM UWB 신호의 최저 수신 감도 및 한국의 DAA 기술 기준에서 설정한 간섭 회피를 위해 MB-OFDM UWB 시스템이 피 간섭 신호를 검출해야 하는 검출 레벨간의 관계를 도시하면 그림 2와 같다.

그림 2에서 설정한 최소 수신 감도 -80.8 dBm은 MB-OFDM UWB 시스템 규격에서 정의한 기본 전

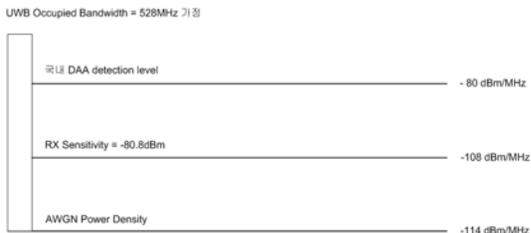


그림 2. 수신 신호들 간의 상대적인 전력 레벨
Fig. 2. Relative power level among the received signals.

표 1. Band group 1의 최소 수신 감도
Table 1. Minimum receiver sensitivities for band group 1.

Data rate(Mb/s)	Minimum receiver sensitivity(dBm)
53.3	-80.8
80	-78.9
106.7	-77.8
160	-75.9
200	-74.5
320	-72.8
400	-71.5
480	-70.4

송 대역인 band group 1에서 53.3 Mbps 모드를 전송할 경우 수신단에서 수신할 수 있는 표 1과 같은 최소 수신 감도를 기준으로 하고 있다^[6].

MB-OFDM UWB 수신단은 -41.3 dBm/MHz로 송신된 신호가 공간 손실과 페이딩을 거쳐 수신단에 수신될 경우, 수신된 전력에 관계없이 ADC에서 수신된 아날로그 정보를 디지털 정보로 변환할 때 최대한 수신 정보를 올바르게 양자화하기 위해 AGC (Auto Gain Control) 알고리즘을 구동하거나, MAC에서 직접 명령문 처리를 통해 RF단의 VGA(Voltage Gain Amplifier) 값을 조절함으로써 수신 신호가 적정 ADC 입력 레벨로 수신되게 한다^[7].

그림 3은 안테나를 통해 수신된 수신 신호가 적정 ADC 입력 레벨 값으로 ADC에 입력되게 하기 위한 RF단에서 수신 신호 전력을 증폭하는 과정을 도시하고 있다. 또한, 그림 4는 그림 3에서 수신 신호를 적정 ADC 입력 레벨로 증폭하기 위해 필요한 VGA 설계 값을 도시하고 있다.

만약 검출하고자 하는 피 간섭 신호의 대역폭이

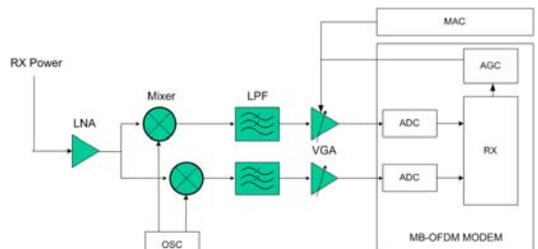


그림 3. VGA 조절 구조
Fig. 3. A structure for VGA control.

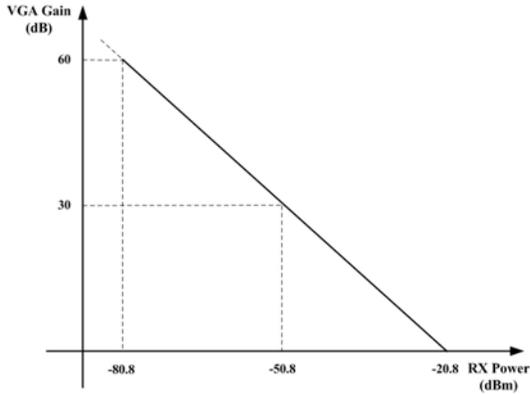


그림 4. VGA 설계 목표
Fig. 4. A design target for VGA.

BW_V MHz라고 가정할 경우, 그림 4와 같은 VGA 설계 값과 그림 3에서 MAC 명령어를 통해 VGA 값을 설정하는 수동 AGC 과정을 이용하여 -80 dBm/MHz의 피 간섭 신호를 ADC 적정 입력 레벨로 수신하기 위해 필요한 VGA 이득 값을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{필요 VGA 이득 값(dB)} \\ = G_0 - 28 + 10 \cdot \log(BW_u/BW_V) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 G_0 는 MB-OFDM UWB 시스템의 최소 수신 감도를 적정 ADC 입력 레벨로 증폭하기 위해 필요한 VGA 이득 값으로 RF VGA 설계 목표에 따라 변화 가능하며, 본 논문에서 검토한 RF VGA 설계 목표에서는 최소 수신 감도 -80.8 dBm이 수신되었을 경우, 적정 ADC 입력 레벨로 증폭하기 위한 값으로 60을 설정하였다. 또한 식 (1)에서 28은 피 간섭 신호 검출 레벨인 -80 dBm/MHz와 MB-OFDM UWB 시스템의 최소 수신 감도 전력 밀도인 -108 dBm/MHz간의 수신 전력 밀도 차이로 피 간섭 신호 검출 레벨에 따라 변화가 가능하다. 그리고, BW_u 는 본 논문에서 528 MHz로 설정한 MB-OFDM UWB 수신 점유 대역폭이며, BW_V 는 피 간섭 수신 신호의 수신 점유 대역폭이다.

예로, $BW_V=10$ MHz라면 -80 dBm/MHz로 수신된 피 간섭 신호의 수신 레벨은 -70 dBm으로 계산된다. 그림 4에서 -80.8 dBm으로 수신된 MB-OFDM UWB 신호를 ADC 적정 입력 레벨로 증폭하기 위해 필요한 VGA Gain 값이 60 dB였으므로, -70 dBm을

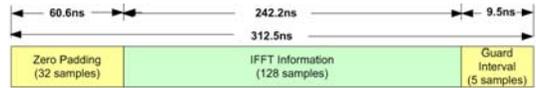


그림 5. MB-OFDM UWB 심볼 구조
Fig. 5. The structure of MB-OFDM UWB symbol.

ADC 적정 입력 레벨로 증폭하기 위해 필요한 VGA Gain 값은 49.2 dB임을 알 수 있고, 이러한 관계는 식 (1)과 같다.

2.3 피 간섭 신호 검출 알고리즘 설계

MB-OFDM UWB 시스템의 OFDM 심볼 구조는 그림 5와 같다⁶⁾.

OFDM 심볼을 구성하고 있는 165 samples들 중 실제로 신호가 전송되는 구간은 128 sample이므로 MB-OFDM UWB 수신단에서 MB-OFDM UWB 신호를 수신하여 초기 동기를 수행한 후 수신 전력을 계산하는 식은 N 개의 OFDM 심볼의 평균을 취할 경우 식 (2)와 같다.

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{128} \sum_{k=0}^{127} (\text{Re}(y_{j,k})^2 + \text{Im}(y_{j,k})^2) \right) \quad (2)$$

본 논문에서 제시하고자 하는 MB-OFDM UWB 수신기를 이용한 피 간섭 신호의 수신 전력 계산 방안은 그림 6과 같은 silent time을 이용한다. 그림 6에서 silent time 반복 시간 t_s 는 한국의 DAA 기술 기준을 만족하기 위해서 2초 이내로 설정되어야 한다.

그림 7은 MB-OFDM UWB 통신을 중단한 silent time에서 MB-OFDM UWB 수신기를 이용하여 피 간섭 신호 유무를 판단하기 위한 알고리즘을 도시한 것이다.

인위적으로 DAA 기술 기준에서 정의한 피 간섭 수신 신호 검출 레벨을 MB-OFDM UWB 시스템의 ADC의 적정 입력 레벨로 수신하기 위한 RF VGA 값을 MAC 명령문을 통해 설정한 후, ADC 뒷단에서

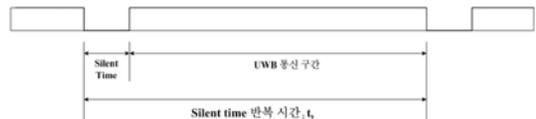


그림 6. DAA 구현을 위한 silent time 할당
Fig. 6. Allocation of silent time for DAA.

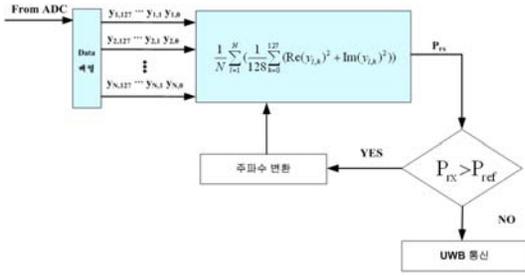


그림 7. 피 간섭 신호 전력 검출 알고리즘 구조
 Fig. 7. An architecture of the algorithm to detect a victim signal power.

수신된 피 간섭 수신 신호 전력을 추정하고 기준 수신 전력과 비교함으로써 DAA 기술 기준에서 정한 특정 레벨 이상의 피 간섭 수신 신호가 존재하는지를 검출할 수 있다.

그림 7에서 DAA 기술 기준에서 정한 검출 레벨 이상의 피 간섭 신호가 검출되지 않는다면, 현재 주파수 대역을 이용하여 MB-OFDM UWB 시스템 통신을 수행한 후, 정해진 시간마다 피 간섭 신호 검출 알고리즘을 수행하면 되고, 만약 검출 레벨 이상의 피 간섭 신호가 검출된다면, tone-nulling 회피 동작을 수행하기 위해 정확한 피 간섭 주파수 위치를 판별하기 위한 피 간섭 신호 subcarrier 위치 추적 알고리즘을 수행하거나, MB-OFDM UWB 시스템 대역 중 피 간섭 신호가 검출된 이외의 UWB 통신 채널을 선정하여 피 간섭 검출 알고리즘을 다시 수행한다.

그림 8은 그림 7에서 피 간섭 신호가 검출되었을 경우, MB-OFDM UWB 수신 구조 중 FFT 모듈을 이용하여 128 FFT subcarrier 내의 피 간섭 신호가 존재

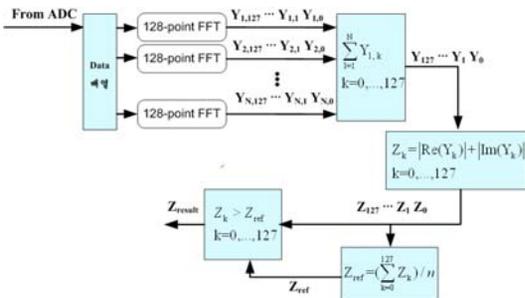


그림 8. 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 추적하기 위한 알고리즘 구조
 Fig. 8. An architecture of algorithm to follow up the subcarrier positions of victim signal.

하는 subcarrier 위치를 추적할 수 있는 알고리즘 구조이다.

그림 7과 같이 silent time기반으로 DAA 기준에서 정한 검출 레벨 이상의 피 간섭 신호가 검출된 후, MB-OFDM UWB 시스템의 128 FFT subcarrier들 중 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier를 추적하기 위해서는 우선, MB-OFDM UWB 수신 구조를 이용하여 \$N\$개의 128 FFT를 수행하고 각 subcarrier별로 합을 구한다. 그리고, 합산된 128 FFT 결과값을 이용하여 각 subcarrier별로 real값과 image값의 절대값의 합인 \$Z_k(k=0, 2, \dots, 127)\$를 구한 후, 식 (3)을 이용하여 subcarrier별 간섭 신호 존재 유무를 판단하는 기준으로 사용할 기준 값인 \$Z_{ref}\$를 계산한다.

$$Z_{ref} = (\sum_{k=0}^{127} Z_k) / n \tag{3}$$

마지막으로, 앞에서 구한 \$Z_k\$와 \$Z_{ref}\$를 128 subcarrier 별로 크기를 비교한 후, 그림 9와 같이 기준 값보다 큰 subcarrier 위치들을 피 간섭 신호 위치로 선정한다.

그림 10은 본 논문에서 제시한 시간 영역 수신 신호 정보를 이용한 피 간섭 신호 수신 레벨 검출 알고리즘과 주파수 영역 정보를 이용한 피 간섭 신호 subcarrier 위치 추적 알고리즘을 이용하여, 피 간섭

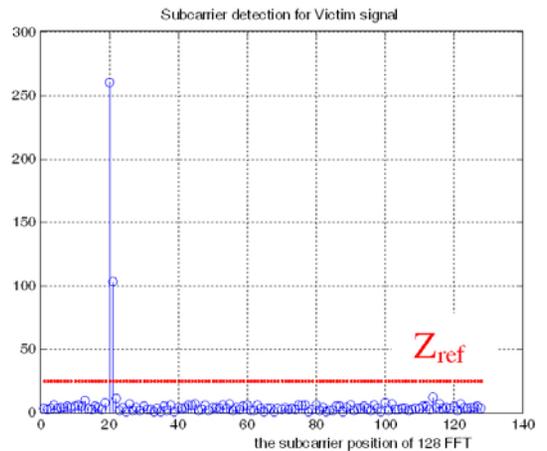


그림 9. Subcarrier 위치 추적 알고리즘의 시뮬레이션 예제
 Fig. 9. A simulation example of the proposed algorithm to follow up the subcarrier position of victim signal.

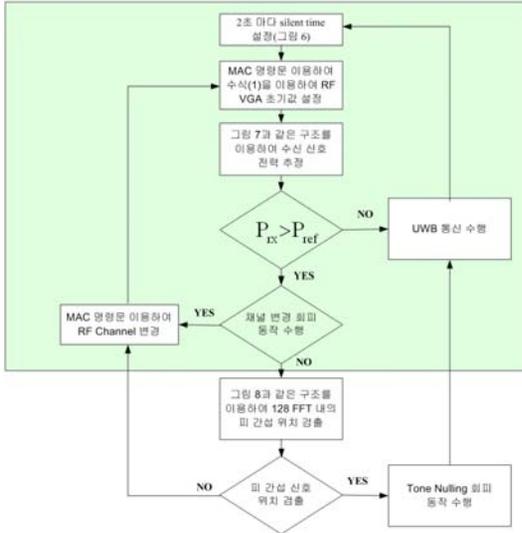


그림 10. 제안된 DAA 알고리즘에 대한 흐름도
Fig. 10. Flow chart for the proposed DAA algorithm.

신호가 검출된 주파수 대역을 피해 다른 주파수 대역으로 MB-OFDM UWB 통신 채널을 옮기거나, 피 간섭 신호가 검출된 주파수 대역 내의 subcarrier에 UWB 신호를 전송하지 않음으로써 피 간섭 신호를 보호할 수 있는 tone-nulling 회피 동작을 수행하는 DAA 흐름도를 보이고 있다.

III. UWB 성능 분석 시뮬레이션

3-1 시뮬레이션 환경

국내 DAA 기술 기준을 고려하여 MB-OFDM UWB 수신기 구조를 이용한 피 간섭 신호 검출 알고리즘 성능 분석을 수행하기 위해 본 논문에서는 그림 11과 같은 시뮬레이션 환경을 사용하였다. MB-OFDM UWB 수신단에서의 각 신호별 상대적인 전력비는 그림 12와 같이 설정하였으며, 시뮬레이션에

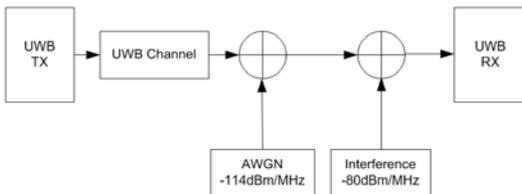


그림 11. 시뮬레이션의 간섭 구조
Fig. 11. The interference structure for simulation.

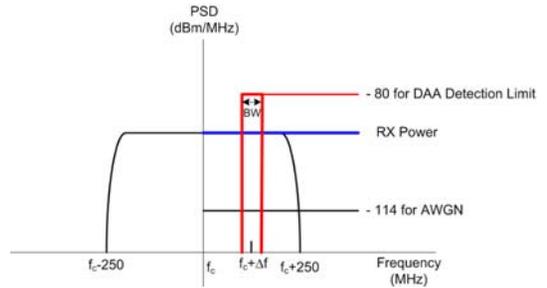


그림 12. 시뮬레이션을 위한 신호별 상대적인 전력비
Fig. 12. Relative PSD(Power Spectrum Density) ratios for simulation.

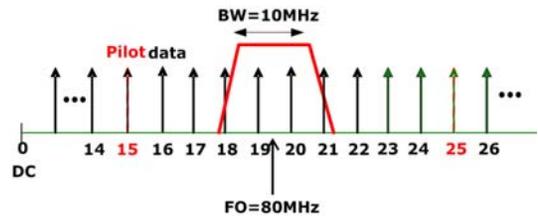


그림 13. MB-OFDM UWB system의 128 FFT 윈도우 내에서 WiMAX 간섭 신호 위치
Fig. 13. Position of WiMAX interference within 128 FFT window of MB-OFDM UWB system.

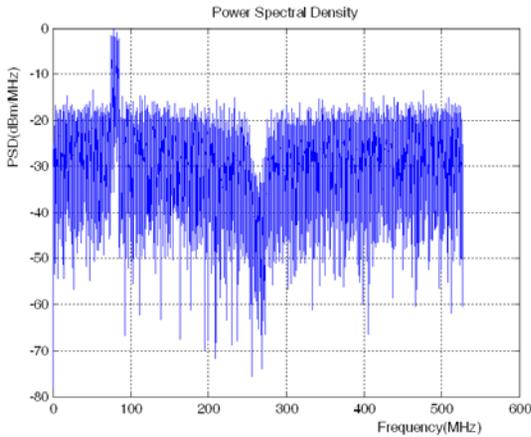
사용된 10 MHz의 점유 주파수 대역폭을 갖는 피 간섭 신호의 주파수 영역 위치는 그림 13과 같이 MB-OFDM UWB 시스템의 128 FFT 윈도우 내에서 sub-carrier 19번과 20번에 걸쳐 존재하도록 피 간섭 신호의 중심 주파수를 80 MHz로 설정하였다.

그림 14(a)는 MB-OFDM UWB 신호와 피 간섭 신호가 동시에 수신될 경우의 수신 PSD를 보이고 있다. 반면, 그림 14(b)는 피 간섭 신호 검출 알고리즘 성능을 검증하기 위해 silent time 동안 UWB 신호를 제거했을 경우의 수신단 PSD를 보이고 있으며, 그림 12에서 보였듯이 피 간섭 신호와 AWGN간의 PSD는 약 34 dB의 차이를 보임을 알 수 있다.

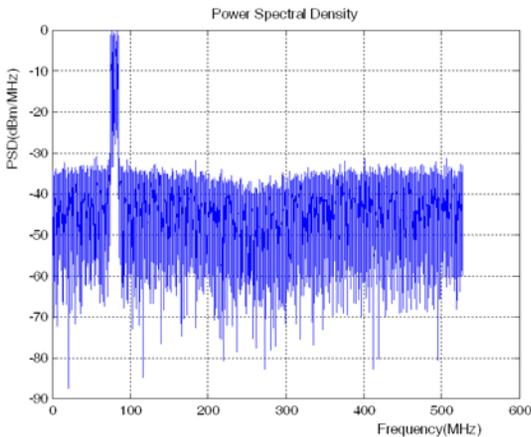
IV. 시뮬레이션 결과

4-1 피 간섭 신호 검출 결과

그림 15는 그림 14(b)와 같은 시뮬레이션 환경에서 그림 7의 피 간섭 신호 검출 알고리즘을 이용하여 구한 반복 회수 N 에 따른 수신 피 간섭 신호 전력의 분산과 피 간섭 수신 신호 전력에 따른 피 간섭



(a) MB-OFDM UWB 신호를 포함한 수신 신호의 전력 스펙트럼 밀도
(a) PSD of the received signal including the MB-OFDM UWB signal

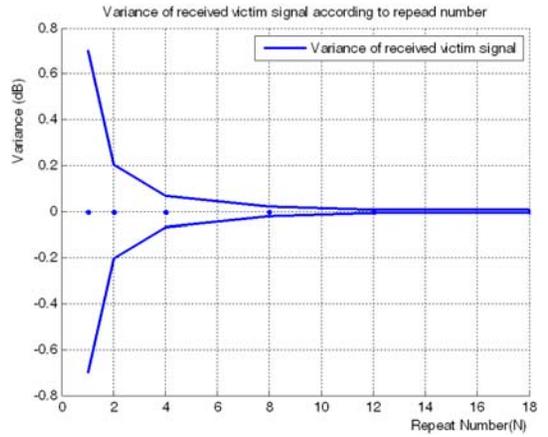


(b) MB-OFDM UWB 신호를 포함하지 않는 수신 신호의 전력 스펙트럼 밀도
(b) PSD of the received signal except the MB-OFDM UWB signal

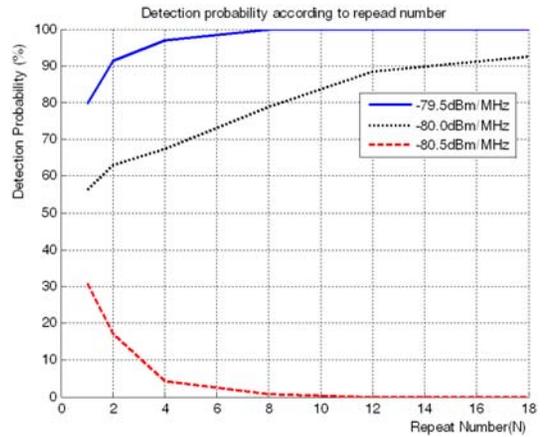
그림 14. 시뮬레이션에 사용된 수신 신호의 전력 스펙트럼 밀도
Fig. 14. PSD of the received signal used in simulation.

신호 검출 확률에 대한 시뮬레이션 결과를 보이고 있다.

피 간섭 신호 검출 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 요약 정리하면 표 2 및 표 3과 같다. 표 2는 수신된 피 간섭 신호 전력의 분산을 계산한 결과를 보이고 있으며, 수신 전력 평가에 사용된 N 에 따라 값의 변동이 크므로 표 3의 피 간섭 신호 검출 성능에 매



(a) 수신된 피 간섭 신호 전력의 분산
(a) Variance of the victim signal power



(b) 특정 수신 검출 레벨에 따른 피 간섭 신호 검출 확률
(b) Detection probability of victim signal according to a specific detection power level

그림 15. 피 간섭 신호 검출 알고리즘 시뮬레이션 결과
Fig. 15. The simulation results of the algorithm to detect a victim signal.

우 증대한 영향을 줄 수 있다. 표 3은 피 간섭 신호 검출 알고리즘 성능 평가에 사용된 OFDM 심볼 개수에 해당하는 N 에 따른 피 간섭 신호 수신 레벨별 피 간섭 신호 검출 확률을 보이고 있다.

표 3에서 N 이 4일 경우 -79.5 dBm/MHz로 수신된 피 간섭 신호는 시뮬레이션 결과 96.8 % 확률로 검출되었고, -80.5 dBm/MHz로 수신된 피 간섭 신호를 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호가 수신된 것으로 잘못 검출할 확률은 4.3 % 정도였다. 따라서,

표 2. N 에 따른 수신 피 간섭 신호 전력의 분산
Table 2. The variance of the victim signal power according to N .

Parameters	Values				
N	1	4	8	12	18
Variance(dB)	0.7058	0.0689	0.0206	0.0089	0.0047

표 3. 특정 수신 검출 레벨에 따른 피 간섭 신호 검출 확률

Table 3. The detection probability of victim signal according to a specific detection power level.

N dBm /MHz	N				
	1	4	8	12	18
-79.5	0.797	0.968	0.999	1.000	1.000
-80	0.564	0.675	0.788	0.885	0.925
-80.5	0.309	0.043	0.007	0	0

본 논문에서 제안된 피 간섭 신호 검출 알고리즘의 시뮬레이션 결과는 N 이 4 이상이면 피 간섭 신호 전력을 추정할 때 ± 0.5 dB 오차에서 95 % 이상의 신뢰도를 보임을 알 수 있다.

4.2 피 간섭 신호 Subcarrier 위치 추적 알고리즘 결과

간섭 회피 방안으로 WiMedia에서 논의 중인 tone-nulling을 위한 방안으로 AIC(Active Interference Cancellation)가 연구되고 있다. OFDM은 전송 특성상 피 간섭 신호가 검출된 subcarrier들을 null로 처리함으로써 그림 16과 같이 피 간섭 신호 전송 대역의 스펙트럼 출력을 낮출 수 있는 기능을 쉽게 구현할 수 있다.

그러나, 그림 16에서 보듯이 피 간섭 신호가 검출된 subcarrier들을 null시키더라도 전송 데이터를 전송하는 다른 subcarrier들의 사이드 러브(side lobe) 때문에 DAA 기술 기준을 만족하기 위해 필요한 깊은 notch depth를 얻지 못한다. 국내 DAA 기준의 경우 피 간섭 신호가 검출될 경우, UWB 송신 출력을 -41.3 dB/MHz에서 -70 dBm/MHz로 낮추어야 하는데, 이러한 출력 저감을 위해 필요한 notch depth는 약 28.7 dB가 필요하다. 단순히 피 간섭 신호 대역의 subcarrier들을 null할 경우, 16개의 subcarrier들을 null

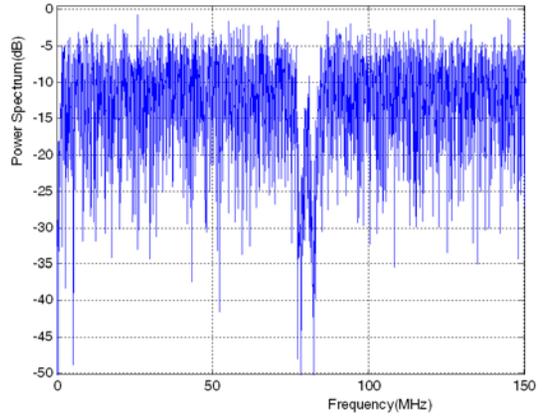


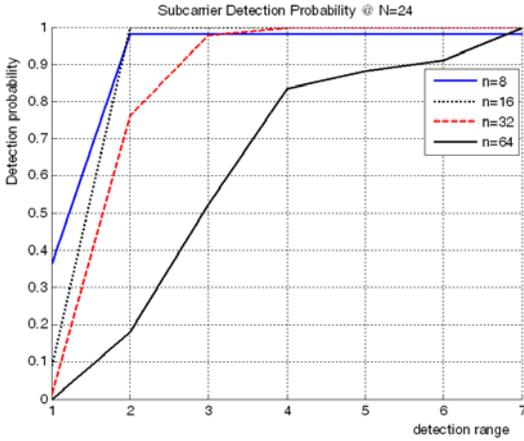
그림 16. Tone-nulling 후의 UWB 전력 스펙트럼 밀도
Fig. 16. UWB PSD after tone-nulling.

시키더라도 얻을 수 있는 notch depth는 약 15 dB 정도에 불과하다^{[3],[4]}. Tone-nulling을 시키고자 하는 대역에 원하는 정도의 notch depth를 구현하기 위한 방안으로 AIC가 연구되고 있으며, 이러한 AIC의 가장 큰 특징은 피하고자 하는 대역의 양 옆에 인접한 subcarrier들에 의한 side lobe 특성들을 제거하기 위한 2개의 subcarrier를 추가하는 것이다. AIC의 단점은 굉장히 높은 계산 복잡도에 있으며, 피하고자 하는 대역폭이 넓을수록 계산 복잡도가 높아지고 notch 성능은 떨어지는 단점이 있다^[4]. 따라서 AIC를 위한 계산 복잡도를 낮추고 원하는 notch depth를 얻기 위해서는 피 간섭 신호 검출 단계에서 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier 위치를 정확하게 검출할 필요가 있다.

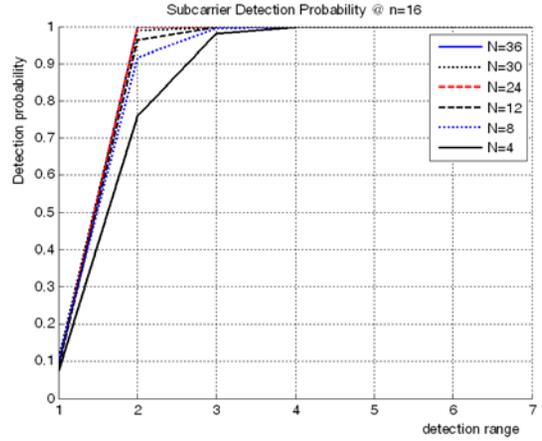
그림 17 및 그림 18에 본 논문에서 제시한 피 간섭 신호가 위치한 subcarrier 위치를 추적하는 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 시뮬레이션 분석 결과로부터 피 간섭 신호 subcarrier 추적 알고리즘의 성능은 시뮬레이션에 사용된 128 FFT의 개수 N 과 피 간섭 신호 subcarrier 위치를 판별하기 위한 기준 값을 구하는데 사용된 n 에 의해 매우 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

n 의 값은 실제 H/W 구현을 용이하게 하기 위해 2의 승수 형태를 고려하였다.

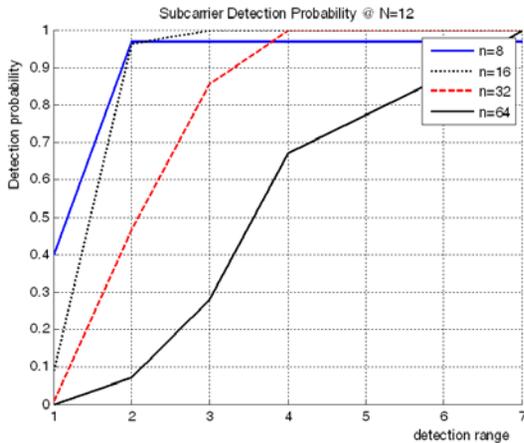
앞 장의 시뮬레이션 환경에서 설명했듯이 시뮬레이션을 통해 검출해야 할 피 간섭 신호의 subcarrier 검출 범위는 2개이다. 그림 17에서 피 간섭 신호가



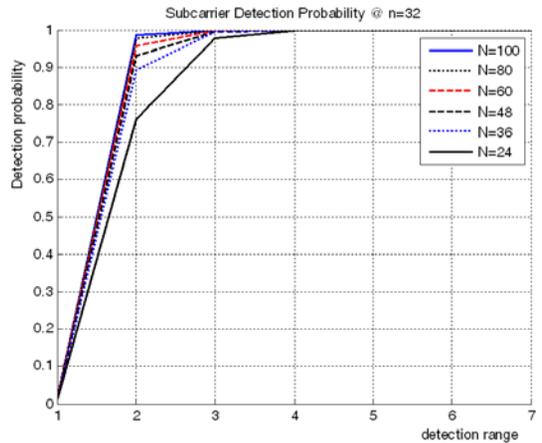
(a) 서브캐리어 검출 활률 @ $N=24$
 (a) Subcarrier detection probability @ $N=24$



(a) 서브캐리어 검출 활률 @ $n=16$
 (a) Subcarrier detection probability @ $n=16$



(b) 서브캐리어 검출 활률 @ $N=12$
 (b) Subcarrier detection probability @ $N=12$



(b) 서브캐리어 검출 활률 @ $n=32$
 (b) Subcarrier detection probability @ $n=32$

그림 17. N 에 따른 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 검출하기 위한 알고리즘의 시뮬레이션 결과
 Fig. 17. The simulation results of the algorithm to detect a subcarrier positions of victim signal according to N .

그림 18. n 에 따른 피 간섭 신호의 subcarrier 위치를 검출하기 위한 알고리즘의 시뮬레이션 결과
 Fig. 18. The simulation results of the algorithm to detect a subcarrier positions of victim signal according to n .

위치한 subcarrier 위치를 추적함에 있어 $n=8$ 인 경우에는 검출해야 할 2개의 subcarrier 중 1개만 검출할 확률이 40% 정도로 커서, tone-nulling에 따라 피 간섭 신호가 존재하는 주파수 대역의 UWB 출력을 -70 dBm/MHz 이하로 낮춰야 하는 국내 DAA 기술 기준을 위반할 가능성이 높으며, $n=64$ 인 경우에는 실제 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier 범위보다 너무 과도한 범위를 피 간섭 신호 범위로 판단함으로써, AIC를 적용하기 위한 계산 복잡도를 높이고, notch

depth 성능도 열화시킬 수 있다. 따라서 피 간섭 신호를 검출하기 위한 기준 값을 정하기 위한 n 은 16 또는 32로 결정하는 것이 정확한 subcarrier 위치를 검출하는데 적합할 것으로 분석되었다.

그림 18은 n 이 16 또는 32일 경우 검출에 사용된 128 FFT의 개수 N 에 따른 피 간섭 신호 subcarrier 위치 추적 범위에 대한 시뮬레이션 결과를 도시하고 있다.

그림 18에서 알 수 있듯이 N 의 개수가 많을수록

표 4. 서브캐리어 검출 확률 요약 @ $n=16$

Table 4. The summary of subcarrier detection probability @ $n=16$.

N \ 검출 범위	4	8	12	24	30
1	0.076	0.107	0.09	0.088	0.111
2	0.759	0.917	0.962	0.998	0.999
3	0.982	0.995	1	1	1

표 5. 서브캐리어 검출 확률 요약 @ $n=32$

Table 5. The summary of subcarrier detection probability @ $n=32$.

N \ 검출 범위	24	36	48	60	80
1	0.013	0.012	0.014	0.016	0.018
2	0.762	0.892	0.932	0.959	0.975
3	0.977	0.995	0.997	0.999	1

실제 피 간섭 신호가 위치하고 있는 subcarrier들의 위치를 정확하게 추적할 수 있음을 확인할 수 있다. 다만, $n=32$ 인 경우에 비해 $n=16$ 일 경우보다 적은 개수의 N 으로 subcarrier 위치 추적 성능이 수렴되지만, 실제 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier보다 적은 범위를 추적할 확률이 $n=32$ 인 경우보다 큼을 알 수 있다.

이러한 n 에 따른 성능 차이는 표 4와 표 5로부터 보다 명확하게 확인할 수 있다. 표 4에서 $n=16$ 인 경우 실제 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier 범위보다 작은 범위를 추적하게 되는 확률이 N 에 따라 7.8 ~ 11.1 % 정도 발생함을 알 수 있다. 이렇게 실제 피 간섭 신호가 존재하는 범위보다 작은 범위의 subcarrier를 추적하게 되면 국내 DAA 기술 기준을 위반할 확률이 높아지므로, 피 간섭 신호를 보호하기 위한 DAA 기술 기준 입장에서는 좋은 선택이라고 할 수 없다. 국내 DAA 기술 기준을 확실하게 만족하기 위해서는 보다 긴 피 간섭 검출 시간이 필요하기는 하지만 $n=32$ 인 알고리즘이 적합하다. $n=32$ 일 경우 $N=48$ 이상이면, 90 % 이상 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier 위치를 정확하게 추적할 수 있으며, subcarrier 범위를 작게 추적할 확률은 2 % 이내로 제한

할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 국내 DAA 기술 기준에 대해 살펴보고, 국내 DAA 기술 기준에서 제시한 -80 dBm/MHz의 피 간섭 수신 신호 검출 방안을 MB-OFDM UWB 수신기 설계를 고려하여 제안하였다.

제안된 피 간섭 신호 검출 알고리즘은 크게 수신된 피 간섭 신호의 시간 영역 정보를 이용하여 수신된 신호 전력이 -80 dBm/MHz 이상인지를 판단하는 알고리즘과 -80 dBm/MHz 이상의 피 간섭 신호가 검출된 후, 피 간섭 신호가 점유하고 있는 subcarrier 위치를 추적할 수 있는 알고리즘으로 구분된다.

이러한 본 논문에서 제시한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 성능검증을 수행하였으며, 시뮬레이션 수행 결과, 본 논문에서 제안한 피 간섭 신호 검출 알고리즘은 10 MHz 대역폭을 갖는 피 간섭 신호에 대해 N 이 4 이상이면 -80 dBm/MHz의 피 간섭 신호 전력을 추정할 때 ± 0.5 dB 오차에서 95 % 이상의 신뢰도를 보였고, 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier를 추적하는 알고리즘은 $n=32$ 로 설정하고, $N=48$ 이상으로 설정할 경우, 피 간섭 신호가 존재하는 subcarrier 위치를 90 % 이상 정확하게 추적할 수 있고, subcarrier 범위를 작게 추적할 확률은 2 % 이내로 제한할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제시한 silent time 기반 DAA 알고리즘은 UWB 통신을 중단한 상태에서 피 간섭 신호를 검출하므로, UWB 통신 시스템의 throughput을 감소시키는 단점이 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 UWB 통신 중에 피 간섭 신호를 검출하는 방향에 대한 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Hirohisa Yamaguchi, "Active interference cancellation technique for MB-OFDM cognitive radio", *34th European Microwave Conference*, vol. 2, pp. 1105-1108, Oct. 2004.
- [4] Shih-Gu Huang, Chien-Hwa Hwang, "Low complexity active interference cancellation for OFDM cognitive radios", *WCNC 2008 Proceedings*, pp. 1279-1283, 2008.
- [5] 전파연구소고시 제2007-22호, "방송·해상·항공·전기통신사업용 외의 기타 업무용 무선 설비의 기술 기준", 2007년 3월.
- [6] A. Batra et al., "Multi-band OFDM physical layer proposal for IEEE 802.15 task group 3a", *IEEE P802.15-03/268r3*, Mar. 2004.
- [7] Cheol-Ho Shin, Sangsung Choi, Hanho Lee, and Jeong-Ki Pack, "A design and performance of 4-parallel MB-OFDM UWB receiver", *IEICE Transactions on Communications*, vol. E90-B, no. 3, pp. 672-675, Mar. 2007.

신 철 호



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

[주 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 (공학석사)
 1999년: University of Wyoming 전기공학과 (공학박사)

2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
 [주 관심분야] Ultra-Wideband 기술, 스펙트럼공학