

방송통신 시스템에서 UWB 전파가 서비스에 미치는 영향에 관한 연구

A Study of Limitation of Service Area by UWB Transmission
Jamming in Broadcasting Communication System

박 노진, 서정대학 정보통신과*

Abstract

In this paper, UWB system did research about effect that interference effect with neighborhood single equipment or group equipment gets in broadcasting communication service. For this, 2.6425GHz SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting) that a special of electric wave interference is near frequency-band including interference of signal by unnecessary radiation level that is radiated in UWB system, and degree of 3.4125GHz broadcasting relay net that is In-band frequency-band and interference effect that get in service analyzed comparison and, modulation of broadcasting relay net and interference measurement equipment used Impulse and OFDM methods. Impulse method was $BER = 1 \times 10^{-4}$ that broadcasting signal reception is possible at 1.4m point because interference effect happens from 2m point in SDMB system, and it was $BER = 1 \times 10^{-4}$ that OFDM method receives interference effect from 0.8m point and broadcasting signal reception is possible at 0.5m point. Also, about Gap-Filler center frequency, In case of space interval more than 0.01m, there was no interference effect. Therefore, for the electric wave of UWB system that is small output applies to system without

interference effect in broadcasting communication service, confirmed that UWB system of OFDM method is less interference effect than UWB system of Impulse method.

Keywords: UWB, DMB, Broadcasting Communication

요 약

본 논문에서는 UWB 시스템이 근처의 단일 장비 또는 집단 장비와의 간섭영향이 방송통신서비스에 미치는 영향에 관한 연구를 하였다. 이를 위해 UWB 시스템에서 방사되는 불요 방사 레벨에 따른 신호의 간섭을 비롯한 전파 간섭 특성이 인접 대역인 2.6425GHz SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting)와, In-band 대역인 3.4125GHz 방송 중계망과 서비스에 미치는 간섭영향의 정도를 비교 분석하였으며, 방송 중계망과 간섭측정 장비의 변조방식은 Impulse 방식과 OFDM 방식을 사용하였다. SDMB 시스템에서 Impulse 방식은 2m 지점에서부터 간섭 영향이 발생하여 1.4m 지점에서 방송 신호 수신 가능한 $BER = 1 \times 10^{-4}$ 이었으며, OFDM 방식은 0.8m 지점에서부터 간섭 영향을 받아 0.5m 지점에서 방송 신호 수신 가능한 $BER = 1 \times 10^{-4}$ 이었다. 또한 Gap-Filler 중심 주파수에 대해서는 0.01m 이상 이격 시는 간섭영향이 없었다. 따라서 소출력인 UWB 시스템의 전파가 방송통신서

비스에 간섭 영향 없이 시스템에 적용하기 위해서는 Impulse 방식의 UWB 시스템보다 OFDM 방식의 UWB 시스템이 간섭 영향이 적다는 것을 확인하였다.

1. 서론

가정 내 디지털 기기를 하나의 네트워크로 통합하는 디지털 홈이 IT 업계의 화두로 등장하고 있는 가운데, 이들 디지털 가전기기가 전송기술로 초 광대역(UWB: Ultra-Wide Band) 통신이 주목 받고 있다. 그러나 현재 협대역(Narrow band)을 기반으로 하는 무선 통신 시스템은 고속의 데이터를 전송하기에는 한계를 가지고 있다[1]. 먼저 협대역 통신시스템의 높은 하드웨어의 복잡성을 들 수 있다. 이런 복잡한 구조는 시스템의 구현 시 많은 비용을 요구한다. 또한 협대역의 사용과 연속적인 정현파를 사용하므로 노이즈에 의한 외부의 간섭이 많은 영향을 받고 고속으로 하기 위해서는 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 높은 변조 방식이 요구된다. 마지막으로 무선 통신 시스템들의 주파수 사용량이 증가함에 따라 심각한 주파수 자원 부족현상이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 무선 통신 시스템으로 부각되기 시작한 것이 UWB(Ultra-Wide Band) 통신 시스템이다. 이 기술은 기존에 블루투스(Bluetooth)나 802.11b, 802.11a 등과 같은 무선 랜등의 기존의 무선 통신 시스템에 비해 월등히 빠른 속도와 데이터 전송 용량을 가지고 있다. 또한 높은 보안성과 다중 사용자들과 주파수를 공유할 수 있고, 다른 기존의 무선 통신 시스템들과의 주파수를 공유할 수 있다는 장점을 가지고 있다[2]. 이와 같은 장점이 있는 반면에 UWB 통신 시스템은 FCC에서 규정하는 송출출력의 제약이 있고 기존의 방식과 다른 3~10GHz 의 방대한 영역의 주파수를 사용하기 때문에 기존의 통신 시스템으로 소개가 된 알고리즘으로는 시스템을 구현하기는 상당한 어려움이 있으며, 타 통신 시스템에 간섭영향도 있다[3]. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.3a와 IEEE

802.15.4b 기반을 두고 있는 UWB 통신 시스템이 잡음수준의 스펙트럼 전력밀도를 이용하지만 500MHz~수 GHz 대역폭을 점유하므로 많은 수의 UWB의 신호가 혼합되어 타 통신에 전파 잡음으로 작용하여 근처 단일장비 또는 부근의 집단장비와의 전파 영향간섭이 미치는 영향에 대해 분석하였다.

본 논문의 전체구성은 I장에서 UWB의 개요를 기술하였고 II장에서는 UWB 통신 시스템의 소개와 표준화 현황, UWB 통신 시스템의 전체 송수신 시스템 구성에 대해서 설명한다. III장에서는 측정기술 및 방법에 대해서 알아보고 IV장에서는 UWB 통신 시스템과 DMB 시스템의 측정을 통한 간섭영향 성능평가 및 비교를 하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. UWB 통신 시스템

UWB(Ultra-Wide Band) 무선통신 기술은 매우 낮은 전력을 사용하여 초 광대역의 주파수 대역으로 디지털 데이터를 전송하는 획기적인 차세대 무선 전송 기술이다. 현재 무선통신 분야에서는 한정된 주파수 자원에 비해 주파수에 대한 수요는 급증하고 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 기존의 통신시스템의 주파수 스펙트럼을 공유함으로써 주파수 자원을 좀더 효율적으로 사용할 수 있는 UWB 통신방식이 관심을 모으고 있다 [4]. UWB의 정의는 기존의협대역 시스템, 광대역 시스템과 구분하기 위해 중심 주파수의 20% 이상의 대역폭을 차지하는 시스템 혹은 500MHz 이상의 대역폭을 갖는 시스템을 UWB시스템이라고 정의 하였다. 주파수 스펙트럼 상에서 동일 출력을 가지는 세가지의 통신시스템의 스펙트럼을 분석해보면 UWB 시스템의 경우 매우 광대역의 주파수 스펙트럼을 가지므로 상대적으로 전력 스펙트럼 밀도는 낮고 대역폭은 높은 시스템이 된다. 그림 1은 시간 축에서 본 UWB 펄스 신호 파형이다.

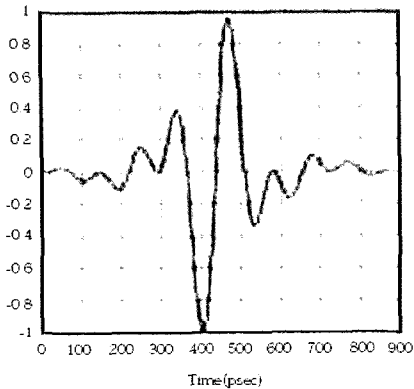
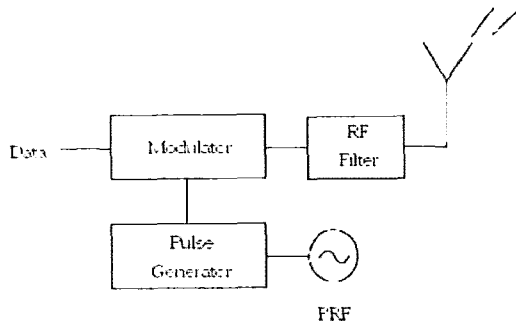
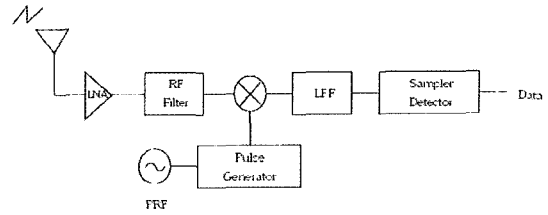


그림 1. 시간 축에서 본 UWB 펄스신호

따라서 UWB 시스템은 그림 1과 같이 기저대역 신호를 반송파에 실어서 데이터를 전송하는 기존의 협대역 통신과는 달리 수 ns 이하의 극히 짧은 기저 대역의 펄스 신호를 사용하여 반송파 사용 없이 데이터를 전송하게 된다. UWB 기기가 밀집할 경우에는 분명 noise 레벨이 상승한다는 것은 확실하다. UWB 기기의 방사 특성은 noise-like하기 때문에 이들 기기가 밀집할 경우에는 noise 신호의 합성 특성과 같이 UWB 기기의 수만큼 noise 레벨도 증가하게 되므로 이때 부근의 서비스에 미치는 영향이 발생하게 된다. 또한 초 광대역을 쓰기 때문에, GPS와 이동통신 네트워크 등에서 사용되는 무선 주파수와 간섭을 일으킬 수 있다. UWB 펄스의 일반적인 송수신 회로 블록을 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2의 impulse radio 송수신 회로에서는 펄스를 규칙적으로 발생시키는 회로 즉, 펄스 발생기(Pulse Generator)가 가장 중요한 요소가 된다.



(a) UWB 송신기



(b) UWB 수신기
그림 2 UWB 송수신기 구조

펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency) 또한 UWB 시스템 구성에서 중요한 요소 중 하나이다. 펄스 반복 주파수란 초당 전송되는 펄스의 개수를 조절하는 주파수로서 주기적으로 펄스가 발생되지 않는 UWB 시스템에서는 일정기간 동안의 평균펄스 발생 주파수를 가리킨다. 펄스 반복 주파수에 따라 펄스 생성기가 펄스를 발생시키고 입력 데이터에 따라 변조된 펄스신호가 필터를 통과한 후 송신 파형으로 전송 된다. 이때 송신 하드웨어를 더욱 간단히 하기 위하여 필터를 사용하지 않을 수도 있다. 이 경우 방사전력 요구 사항을 만족하는 출력 펄스 신호를 펄스 발생기에서 발생시켜야만 한다. 시간축 영역에서 수 나노초에 해당하는 주기를 가지는 UWB 펄스 신호는 주파수 스펙트럼 상에서는 수 기가대역폭의 광대역을 갖기 때문에 기존의 협대역 무선통신 기술과는 비교할 수 없을 정도로 현저히 넓은 주파수 대역폭을 가지는 무선통신 기술이다. Shannon 용량 공식 $C = BW \log^2(1 + SNR)$ 에 따르면 수신신호의 신호대 잡음비(SNR) 보다는 시스템이 가지는 대역폭이 더 큰 영향을 주기 때문에 대역폭이 몇 GHz 대의 초 광대역이라면 이론적으로 1Gbps 이상의 초고속 데이터 전송이 가능하다 [5]. UWB 신호의 적용 범위는 크게 이미징 시스템, 육내 및 휴대용 UWB 시스템, 차량용 레이더 시스템으로 나눌 수 있으며, 홈네트워크 등에서 고려하는 근거리 고속 무선통신의 경우 3GHz~10GHz의 주파수 대역에서 최대 -41.25 dBm/ MHz의 방사 전력 제한을 두었다. 그림 3은 이러한 주파수에 따른 UWB 기기의 출력 특성을 나타내었다. 방사전력을 낮은 레벨로 제한한 것은 타 시스템에의 간섭을 최소화하며, 허가 없

이 사용할 수 있도록 한 것이다[6].

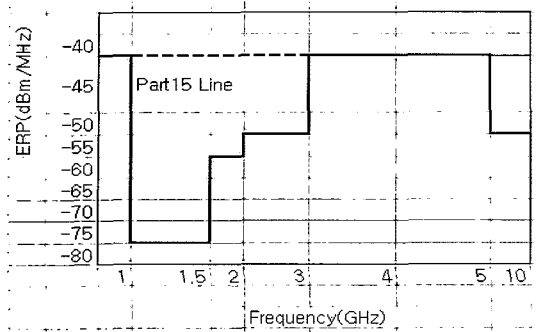


그림 3. UWB 신호에 대한 규격

III. UWB 시스템 측정

3.1 UWB 측정 기술

UWB 시스템의 성능평가를 위해서 UWB 방식에 적합한 측정방식이 요구된다. 주기가 매우 짧은 펄스들의 시간영역 특성을 알아보기 위하여 두 가지의 환경에서의 측정이 요구되는데 첫 번째로 전도측정(Conducted Measurements)을 실시하여 전파의 감쇄요인 없이 수신되는 신호의 시간 영역의 파형을 관측하며, 두 번째로 방사측정(Radiated Measurements)을 실시함으로써 수신기의 특성을 관측할 수 있다. 이 관측을 이용하여 총 첨두 전력과 총 평균전력을 계산할 수 있으며, 측정 장비로는 펄스의 주기가 빠른 만큼 샘플링을 할 수 있는 샘플링 오실로스코프가 필요하다. 이 장비로는 PRR(Pulse Repetition Rate)가 일정한 경우에 사용하며, 일정하지 않은 경우에는 Single-Event Transient Digitizer를 사용한다. 이러한 장비로 얻을 수 있는 것은 총 첨두전력(Total Peak Power)과 총 평균전력(Total Average Power)이다. 따라서 총 첨두전력(Total Peak Power)의 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$power_i = \frac{x_i^2}{50} \quad (1)$$

여기서 x_i 는 전력벡터의 최대 i 번째 값이고,

x_i 는 샘플링 점에서 값 이다. 총 평균전력 (Total Average Power)은 식 (2)와 같다.

$$AveragePower = \frac{1}{pri} * \sum_i \left(\frac{x_i^2}{50} \right) * \Delta t \quad (2)$$

여기서 x_i : i 번째 시간 영역 샘플이고, t : 샘플 간격, pri : 펄스 반복 간격으로 두 펄스사이의 가장 짧은 시간 간격을 수식으로 표현하면, 식 (3)과 같다.

$$P_{ave} = A^2 \left(\frac{t}{T} \right) \quad (3)$$

3.2 주파수 영역 측정

주파수 영역 측정의 경우에서 컨볼루션 대역폭은 RF 주파수 변환기나 측정 장비의 IF 대역에 의해서 제한될 것이다. 측정기는 스펙트럼 분석기라고 가정하고 스펙트럼 분석기 컨볼루션 함수는 기본적으로 IF 필터 형태라고 한다. 만약 IF 대역 곡선이 측정될 스펙트럼보다 좁은 경우라면, 두 함수의 컨볼루션이 거의 입력 스펙트럼 함수와 동일할 것이다[7]. 이러한 경우, 스펙트럼 측정은 분석기의 입력에 인가된 스펙트럼 함수와 동일하다. 즉 측정된 스펙트럼에서 보이는 특징은 IF 필터 폭보다 낮게 분해될 것이다. 필터보다 더 좁은 대역의 특징들은 IF 필터 형태를 발생하기 위해서 컨볼루션 된다. IF 필터링의 폭은 가능한 수신기의 특별 형태로써 같은 대역을 갖는 스펙트럼을 결정할 필요성에 의해서 결정된다. 만약 측정된 스펙트럼이 잡음 형태와 같지 않은 경우, 컨볼루션된 측정된 전력은 $10 \log_{10} (IF \text{ bandwidth})$ 보다 빠른 비율로 변할 것이다. 이러한 경우는 펄스 송신기에 의해서 발생된 스펙트럼의 경우에 발생한다. 펄스폭 t , 펄스 반복 간격 T , 기본 주파수에서 스펙트럼 분석기 첨두치 감지기로 측정된 정규화 된 전압을 A 라 하고, 송신된 전력의 대부분을 포함하는 스펙트럼은 $\frac{1}{T}$ 만큼의 간격을 갖는 선 스펙트럼으로 구성되어 있다면, 전력 계산

은 다음 식을 이용한다. 기본 주파수에서 선 스펙트럼 내에서 측정된 전력은 식 (4)와 같다.

$$P_1 = A^2 \quad (4)$$

또한 이를 단위 데시벨 내 선 전력으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$P_1 = 10 \log_{10} (A^2) \quad (5)$$

따라서 데시벨에서 평균전력은 식 (6)과 같다.

$$P_{ave} = A^2 \left(\frac{t}{T} \right) \quad (6)$$

이 식 (6)은 식 (7)과 같이 확장되며, 여기서 $\left(\frac{t}{T} \right)$ 는 듀티 사이클을 의미한다.

$$\begin{aligned} P_{ave} &= [10 \log_{10} (A^2) - 10 \log_{10} \left(\frac{t}{T} \right)] \\ &= [P_1 - 10 \log_{10} (duty\ cycle)] \quad (7) \end{aligned}$$

침투 전력은 각 펄스 동안에 전송된 에너지에서 비율이다. 그러므로 이는 펄스폭과 펄스 반복 간격 비의 선형 함수이고 침투 전력은 식(8)의 관계식에 의한 평균전력과 선 스펙트럼 전력과 관계가 있다.

$$\begin{aligned} P_{ave} &= [P_{ave} - 10 \log_{10} (duty\ cycle)] \quad (8) \\ &= [P_{ine} - 20 \log_{10} (duty\ cycle)] \end{aligned}$$

또한 측정 대역에서 n 개의 선 스펙트럼들에 대해서, 측정된 침투 전력은 n 에 따라서 변한다.

$$P_{peak} = 10 \log_{10} (nA)^2 = 20 \log_{10} (n) + P_{ine} \quad (9)$$

컨볼루션 대역에서 선 스펙트럼의 수가 대역에 비례하기 때문에 선 스펙트럼에 대해 측정된 대역의 $20 \log_{10}$ 에 따라서 침투 전력이 변한다. 아래

의 그림 4는 PRR 이 일정하며, 펄스폭은 $1\mu s$ 이고 PRR 은 $10KHz$ (펄스 반복 간격은 $100\mu s$)인 UWB 의 송신기의 선 스펙트럼을 나타낸 것이다.

여기서 듀티 사이클은 $10 \log \left(\frac{1}{100} \right) = -20dB$ 이다. 또한 송신기의 침투 출력은 $-20dBm$ 이고 RMS 평균 출력은 $-40dBm$ 이다. 측정된 선 출력은 $-60dBm$ 이다. 식 (7)을 이용하여 RMS 평균 출력을 계산하면 다음과 같이 계산되며, $-60dBm + 20dBm = -40dBm$ 으로 측정된 결과 값과 같다.

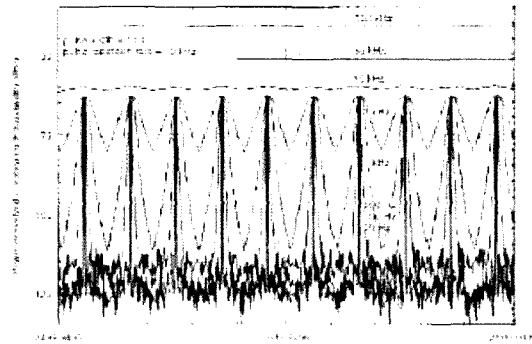


그림 4. PRR이 일정한 UWB 송신기의 선 스펙트럼

IV. 측정 분석

UWB 서비스와 방송중계망 서비스간의 서비스에 미치는 간섭의 영향을 확인한다. UWB 시스템에서 방사되는 불요발사 레벨에 따른 신호간섭을 비롯한 타 통신시스템에 미치는 간섭영향을 측정하기 위해 그림 5와 같이 시스템을 구성하고 다음과 같은 조건으로 측정하여 비교 분석한다. 측정 장소는 성수동 TU미디어(주) 옥상 본관 북편에서 측정하였으며, 간섭측정 UWB 장비의 변조방식은 Impulse 방식과 OFDM 방식을 사용하였다.

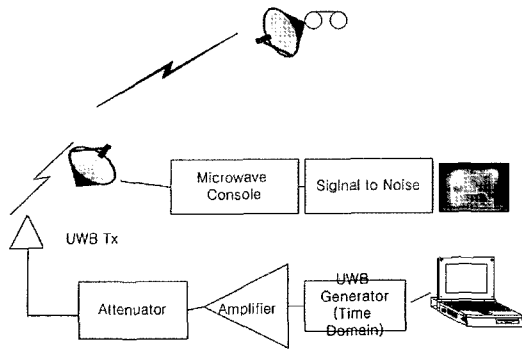


그림 5. 방송중계망 전파간섭측정 구성도

그림 6은 IEEE802.15.3a OFDM 방식의 UWB 출력파형으로 증폭기와 감쇄기를 사용하여 FCC 규격에 맞게 스펙트럼 출력을 조절하였다.

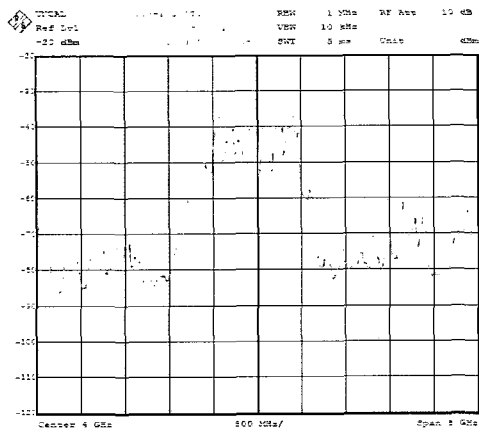


그림 6. OFDM 방식의 UWB 출력파형

방송중계 측정주파수 대역은 3.4125GHz의 주파수 대역으로 설정 하였으며, 그림 7은 위성궤도에서 발사하는 SDMB의 주파수 대역인 2.6425GHz 수신 신호를 측정한 파형으로, 측정 장비의 기준값 이하로 파형이 잡히지는 않았으나 SDMB 단말기에서는 선명하게 화면이 수신 되었 으며 UWB 간섭원에 의하여 영향이 Threshold Level 이상 수신되면 화면이 정지됨을 알 수 있었다.

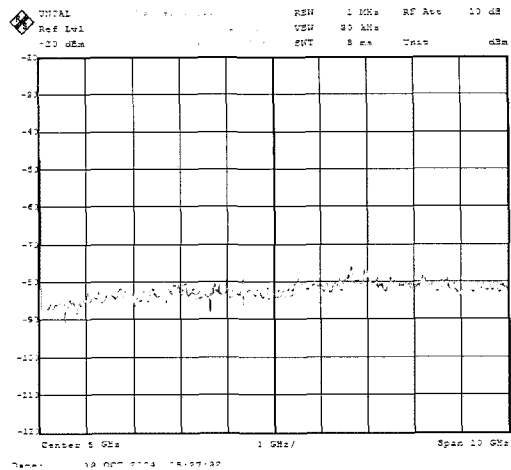


그림 7. SDMB 직접 수신신호

그림 8은 Gap-Filler의 수신레벨은 -70dBm/MHz 신호를 측정 하였으며, 측정 결과 별다른 전파 간섭은 시내에서 수신 지역이므로 위성 직접 수신 레벨보다 약 -25dBm /MHz 정도 높게 나타났다. UWB 출력신호는 -41.25 dBm/MHz와 0dBm으로 방사하여 측정 하였다.

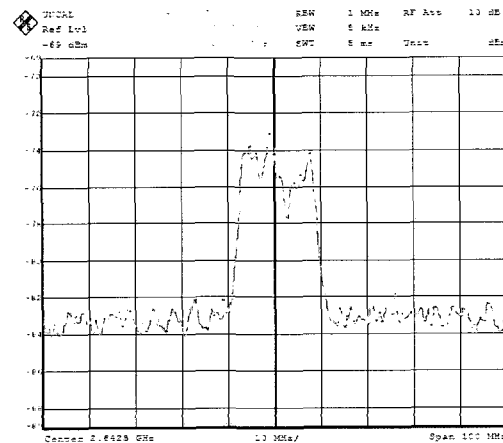


그림 8. SDMB Gap-Filler 수신신호

또한 관악산 방송 중계국에서 발사하는 3.4125GHz 주파수 대역의 LOS(Line Of Sight) 지점인 성수동 TU 미디어(주)옥상 본관 북편에서 측정하였으며 방송중계 서비스의 수신레벨은 -49.3dB, SDMB는 약 -90~ 98dBm 이었다. 그림 9는 방송신호를 수신한 중계망의 접시형 안테나와 UWB 송신 안테나의 거리를 변화시키면서

UWB 전파가 방송 중계망에 간섭이 미치는 영향 정도를 알기 위하여 위성 직접수신 DMB가 UWB 전파 간섭원의 거리에 따른 BER 특성을 Impulse와 OFDM 두 방식을 비교 측정하였다. 이때 SDMB 수신레벨은 -95dBm 이었으며, UWB의 BER은 10^{-7} 이었다.

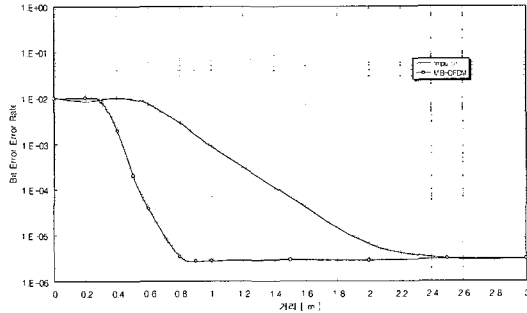


그림 9. 위성직접수신 DMB의 UWB 간섭원의 거리에 따른 BER 특성(no UWB : 10^{-7} 이하, SDMB 수신레벨 : -95dBm)

그림 10은 Gap-Filler 수신 DMB에서 Impulse와 OFDM 방식을 UWB 간섭원의 거리에 따른 BER 특성을 측정하였다. 약 0.01m 이상 이격시 간섭 영향이 없음을 확인하였다.

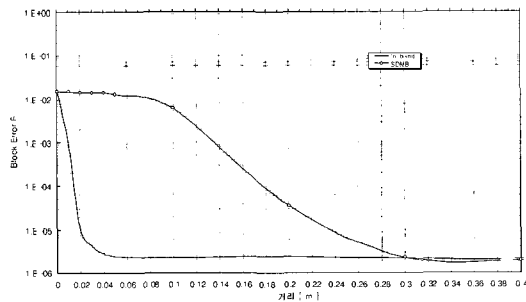


그림 10. Gap-Filler수신 DMB의 UWB 간섭원의 거리에 따른 BER 특성(no UWB: 10^{-7} 이하, Gap-Filler 수신레벨 : -70dBm)

V. 결론

본 논문에서는 최근 무선기술과 수요의 급증으로 인해 부족함을 느끼는 주파수 자원을 효율적

으로 사용하고, UWB 기술개발 및 활성화를 위하여 기존의 무선 서비스와 UWB 기술의 상호 공존을 위한 간섭 영향에 대해 분석하였다. 또한 다른 방송통신 서비스와의 간섭 영향에 대한 평가를 통하여 상호 양립성을 위해 UWB 신호에 영향을 미치는 변수들인 펄스폭, PRF, 펄스의 상승/하강시간 등을 고려하였다. UWB 전파가 방송중계 서비스간의 간섭 영향 정도를 측정하고 방송신호 수신이 가능한 BER 4×10^{-4} 정도에서 OFDM 방식인 UWB 시스템은 0.4m 이상 이격시 간섭 영향이 없었으며, Impulse 방식은 2m 이상 이격시 간섭 영향이 없음을 확인하였다. Gap-Filler 수신 DMB는 간섭 영향이 없음을 확인하였다. 따라서 Impulse 방식을 사용하는 것보다 OFDM 방식을 사용하는 것이 간섭 영향이 적다는 것을 확인하였다. 앞으로의 연구 과제는 UWB 시스템이 다른 방송시스템과의 주파수 대역 공존 및 간섭 문제 해결 등을 고려하여 이용된다면, 현재 가장 무선 업계에 화제가 되고 있는 UWB 통신이 기존의 다른 방송통신과의 양립성에 대해 분명하고 정확한 진단이 될 수 있는 대안을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

[참고문헌]

- [1] William A. Kissick, The temporal and spectral characteristics of ultrawideband signals NTIA special publication 01-383, Jan. 2001.
- [2] Jeyhan Karaoguz, "High-rate wireless personal area networks," IEEE Communications, Dec. 2001.
- [3] FCC (Federal Communications Commission), 02-48 UWB Report & Order, Released 22, Apr. 2002.
- [4] Moe Z. Win and Robert Scholtz, "Impulse Radio: How it works," IEEE Communication Letters, Feb. 1998.
- [5] C.E. Shannon, "A mathematical theory of communication," Bell Labs Tech J. 27, 1948,

p379-423, 623-659.

- [6] FCC (Federal Communications Commission),
*"Revision of Part 15 of the Commission's Rules
Regarding Ultra-Wideband Transmission,"* ET
Docket 98-153, Apr. 2002.

Biography



박 노 진(No-jin Park)

서울신업대학교 매체공학과 공학사
광운대학교 전자통신공학과 공학석사
광운대학교 전자통신공학과 공학박사
현재 : 서정대학 정보통신과 전임강사
<주관심분야> 통신신호처리, 채널코딩,
DMB, WCDMA