

OFDM 기반의 UWB 통신시스템 성능 분석

유 승 수, 김 선 용
 건국대학교 전자공학과
 전화 : 02-450-3463

Performance Analysis of UWB Communication System Based on OFDM

Seung Soo Yoo, Sun Yong Kim
 Dept. of Electronic Engineering, Konkuk University
 E-mail : kimsy@konkuk.ac.kr

Abstract

본 논문은 UWB (UltraWide Band) 통신시스템에 대한 이해와 더불어 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Modulation) 기반의 UWB 통신 시스템에 대해 가정된 매개변수를 이용하여 시스템을 설계하고, 설계된 시스템에 대한 모의실험을 통한 분석에 대해 기술한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서 UWB의 표준화를 위해 제시한 수정된 S-V (Saleh-Velenzuela) 모형을 기반으로 한 채널 모형에 대한 설명과 기존에 연구된 OFDM 전송 기술에 대한 개요 및 장단점을 소개하고 이를 바탕으로 UWB 통신 시스템에 OFDM 전송 기술을 적용하기 위한 적절한 매개변수를 도출한다. 그리고 도출된 매개변수를 바탕으로 OFDM 전송 기술의 모의실험을 수행하고, 모의 실험 결과를 통해 OFDM을 적용한 UWB 통신 시스템의 성능을 분석하였다.

무선 기술을 민수용으로 허가하면서 Time Domain, XtremeSpectrum, Aether Wire & Location, Pulse-Link 등의 미국 업체 및 많은 연구기관을 중심으로 표준화 및 상업화가 진행되고 있으며, 현재 UWB 무선 기술은 미국 연방 통신위원회의 UWB 스펙트럼 방사 규정에 의해 그림 1과 같이 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 통신하는 기존 방식에서 간단한 변복조 방식을 사용하여 통신하는 방식으로 표준화가 진행되고 있다 [1].

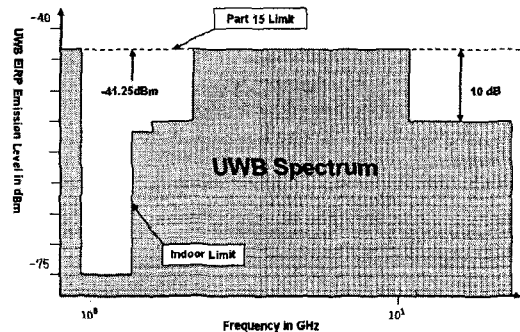


그림1. UWB 스펙트럼 방사 규정

I. 서론

UWB 무선 기술은 무선 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 짧은 펄스를 사용하여 수 GHz의 넓은 주파수 대역의 낮은 전력으로 통신하는 기술로서 잡음과 같은 낮은 전력 스펙트럼 특성을 보이므로 기존의 무선 통신 시스템과 같이 특정 주파수 대역을 사용하지 않고도 통신이 가능하다. 따라서 UWB 무선 기술은 향후 발생할 수 있는 무선 시스템의 주파수 포화를 해결할 수 있는 방안의 하나로 제시되고 있으며, 2002년 2월 미국 연방 통신위원회가 제한적으로 UWB

따라서 향후 UWB 무선 기술에서 넓은 주파수 대역의 몇 개의 채널을 효과적으로 사용하여 통신할 수 있는 방식에 대한 연구가 활발히 이루어질 것으로 전망되며 이러한 연구 가운데 효과적인 통신 방식의 하나로서 기존에 많은 무선 통신 분야에서 연구되어오던 OFDM 전송 기술을 UWB 통신 시스템에 적용하는 연구가 필요하다고 생각된다.

II. UWB 채널 모형

UWB의 채널 모형은 실내에서의 다중 경로 전파를 고려한 모형으로서, IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서는 수정된 S-V 모형을 바탕으로 한 실내 UWB 무선 통신 시스템의 채널을 제시하고 있다.

수정된 S-V 모형은 실내의 다중 경로 페이딩 현상을 고려한 모형으로서 채널 임펄스 응답의 전체적인 개형이 시간에 대해 지수적으로 수렴하는 형태를 갖고 있다 [2].

모형화된 채널 모형의 이산 시간 임펄스 응답은 식 (1)과 같다.

$$h(t) = S \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \alpha_{i,j} \delta(t - T_i - \tau_{j,i}), \quad (1)$$

여기서 $\alpha_{i,j}$ 은 i 번째 클러스터 (Cluster) j 번째 레이 (Ray) 경로 이득 계수이며, T_i 은 i 번째 클러스터의 지연이고, $\tau_{j,i}$ 은 i 번째 클러스터 도착 시간의 j 번째 다중 경로 성분의 이며, S 는 로그 노말 섀도잉을 (Log Normal Shadowing) 각각 나타낸다.

그리고 식 (1)과 같은 이산 시간 임펄스 응답을 기초로하여 UWB 채널을 명시적으로 나타내기 위해 앞서 언급한 $T_i, \tau_{j,i}$ 과 더불어 클러스터의 도착율을 Λ , 그리고 레이 도착율을 λ 라고 정의하였으며, 이 정의를 바탕으로 식 (2)와 같이 클러스터와 레이 도착시간에 대한 분포를 가정하였다.

$$\begin{aligned} \tau_{0,i} &= 0, \\ p(T_i | T_{i-1}) &= \Lambda \exp(-\Lambda(T_i - T_{i-1})), \\ p(\tau_{j,i} | \tau_{(j-1),i}) &= \lambda \exp(-\lambda(\tau_{j,i} - \tau_{(j-1),i})), \\ j > 0, i > 0. \end{aligned} \quad (2)$$

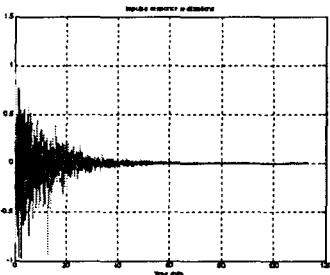


그림2. CM1의 채널 임펄스 응답 형태

이를 바탕으로 그림 3과 같은 채널 모형을 제시하고 있으며, 표준화 위원회에서는 4m-LOS (Line of Sight), 4m-NLOS (Non Line of Sight), 10m-NLOS, 10m-Extrem NLOS 환경으로 모형화된 채널 모형을

각각 CM1~CM4로 명명하여 UWB 통신 시스템 표준화에 사용하고 있다 [3][4].

III. OFDM 전송기술

OFDM 전송 기술은 부 채널을 사용한 전송 기술 가운데 하나로서 부 채널의 수만큼 전송주기가 증가하여 멀티 미디어 데이터와 같이 높은 전송율이 요구되는 데이터 전송에 적합한 전송 기술이다.

또한, 광대역 전송 시에 나타나는 심볼간 간섭이 다수 존재하는 주파수 선택적 채널이 심볼간 간섭이 없는 주파수 비선택적 채널로 근사화되기 때문에 간단한 단일 탭 등화기를 사용하여 다중 경로 환경으로 인한 심볼간 간섭을 보상해줄 수 있으며, 이와 같은 OFDM 신호의 등가 이산시간 기저대역 신호는 송신단에서는 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) 연산을 통해서 유도된 결과와 동일하며, 수신단에서는 DFT 연산을 통해서 유도된 결과와 동일하여 IFFT와 (Inverse Fast Fourier Transform) FFT 기능을 내장하고 있는 DSP를 (Digital Signal Processor) 사용하여 쉽게 구현할 수 있다 [5].

OFDM 송신단에서의 시간 영역 OFDM 심볼은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(j2\pi k \Delta_F t). \quad (3)$$

여기서 Δ_F 는 시간영역에서의 유효 심볼길이의 역수이며, X_k 는 k 번째 부반송파에 실리는 주파수 영역의 값, N 은 부반송파의 수를 각각 나타낸다. 이때 시간 영역에서의 OFDM 심볼은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} H_k X_k \exp(j2\pi(\Delta_F k + \Delta_f)t). \quad (4)$$

여기서 Δ_f 는 주파수 옵셋을 나타내고, H_k 는 k 번째 부반송파에서 무선 채널의 전달함수를 나타낸다. 이때 수식 (4)로부터 ADC를 (Analog Digital Converter) 통하여 표본화된 수신 심볼을 식 (5)와 같이 유도할 수 있다.

$$y_m = y(t) |_{t=(m+\delta)\tau}, \quad (5)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} H_k X_k \exp(j2\pi \frac{(m+\delta)(k+\epsilon)}{N}).$$

여기서, δ 는 표준화 주기에 대하여 정규화된 타이밍 옵셋 값을 나타내고, ϵ 은 부 채널의 대역폭에 대한 정규화된 주파수 옵셋을 나타낸다.

이러한 OFDM 전송 기술은 부 채널을 사용하여 데이터를 전송하게 되므로 부 채널 사이의 직교성이 파괴되는 경우 채널간 간섭이 발생하여 비트 에러율이 크게 증가되는데, 이러한 직교성 파괴의 원인은 수신 단에서 심볼 동기화 및 부 채널의 주파수 동기가 이루어지지 않은 경우와 OFDM 심볼의 시간 영역 신호의 PAR이 (Peak to Average Ratio) 단일 채널을 사용하는 방식보다 크게 나타나는 경우, 그리고 채널의 특성이 송수신기의 상대적 이동이 원인이 되어 OFDM 심볼 주기내에서 변화하는 경우이다. 따라서 OFDM 전송 기술의 경우 부 채널 사이의 직교성을 유지에 주안점을 두고 시스템을 설계해야한다 [5][6].

IV. OFDM의 매개변수를 이용한 UWB 통신 시스템 설계

OFDM 전송기술을 이용한 통신 시스템 설계를 위해서는 해당 시스템에서 모형화된 채널의 실효 지연 확산에 (RMS Delay Spread) 대한 고려가 필요하다 [5]. 표 1은 앞장에서 언급한 UWB 통신 시스템의 표준화를 위해 사용되고 있는 채널 모형의 실효 지연 확산 값이다.

채널 모형	실효 지연 확산 [nsec]
CM 1	5.28
CM 2	8.03
CM 3	14.28
CM 4	25

표 1. UWB 통신 시스템의 채널 모형에 대한 실효 지연 확산 [4].

OFDM 전송 기술에서는 보호 구간을 적용함으로써 각 심볼간 간섭과 채널간 간섭을 줄일 수 있다. 이 보호 구간의 길이는 실효 지연 확산 값을 사용하여 결정하며, 일반적으로 실효 지연 확산 값의 2배~4배 정도의 주기를 사용하는데 본 논문에서는 짧은 임펄스를 사용하여 통신을 수행하는 UWB 통신 시스템의 특성을 고려하여 실효 지연 확산 값의 2배를 보호 구간으로 설정하였으며, 이로부터 심볼 구간을 보호구간의 5배와 10배 값으로 설정하여, 각각을 사례 1과 사례 2로 나누어 각각 설계하였다. 또한 채널 모형에 따른 데이터 전송율은 IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서 제시하는 채널별 전송율인 CM1, CM2에서는 200Mbps, CM3, CM4에서는 110Mbps를 각각 적용하였으며, 이에 따른 적절한 심볼 당 비트 전송율을 설정하기위해 변조 방식은 QPSK와 (Quadrature Phase Shift Keying) 16-QAM을 (16-Quadrature Amplitude

Modulation) 고려하였으며, 전방 오류 정정을 위해 부호율 1/2의 길쌈 부호를 (Convolution Code) 고려하였다.

이상의 실효 지연 확산 값과 전송율을 바탕으로 유도된 보호구간과 심볼구간, 그리고 각 심볼간 전송율을 유도하였으며, 이를 이용하여 각 부 채널의 대역폭과 수를 결정하였다. 이를 사용하여 각 매개 변수 설정에 따라 UWB 주파수 대역에서의 채널을 할당할 수 있는데 본 논문에서는 여러 매개 변수 설정 가운데 그림 3, 그림 4와 같이 2가지의 사례를 통해 OFDM 전송 기술을 적용한 UWB 통신 시스템의 성능을 분석하였다.

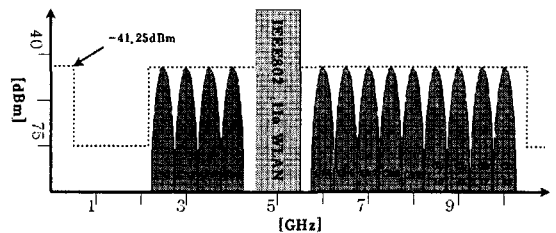


그림3. UWB 채널 할당 사례 1

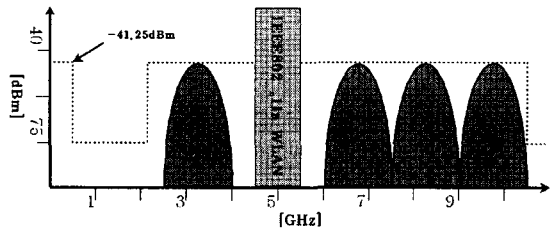


그림4. UWB 채널 할당 사례 2

그림 3의 사례 1은 실효 지연 확산 값의 2배의 보호구간과 보호구간의 5배 심볼구간, CM1에서의 전송율 200Mbps, QPSK변조와 1/2 부호율, 그리고 64개의 OFDM 심볼의 부 채널을 고려했을 때 설계된 UWB 채널 할당 사례이다. 채널은 모두 13개를 할당하였으며, 5GHz 주변 대역은 이미 표준화가 완료된 IEEE 802.11a WLAN에서 사용하는 대역이므로 제외하였다.

그림 4의 사례 2는 실효 지연 확산 값의 2배의 보호구간과 보호구간의 10배 심볼구간, CM1에서의 전송율 200Mbps, 16-QAM변조와 1/2 부호율, 그리고 32개의 OFDM 심볼의 부 채널을 고려했을 때 설계된 UWB 채널 할당 사례이다. 채널은 모두 4개를 할당하였으며, 사례 1과 마찬가지로 5GHz 주변 대역은 제외하였다.

V. 모의 실험 및 결과

모의 실험은 그림 3과 그림 4에서 보인 사례 1과

사례 2에 대해서 각각 수행하였으며, 보호구간은 주파수 옵셋을 억제하기에 충분히 적용되었다고 가정하였으며, 채널은 급변하지 않는 것으로 가정하였고, 송수신기의 이동은 없다고 가정하였다. 그리고 FFT/IFFT 적용에 따른 비트 전송율과 FFT/IFFT 길이에 따른 차이는 FFT/IFFT의 몇 개의 입력을 0으로 채워, 부채널을 2의 승수의 값으로 갖는 OFDM 전송 시스템의 각 심볼당 비트 전송율을 일정하게 유지하였다.

이상의 가정을 바탕으로한 모의 실험의 결과는 그림 5와 같다.

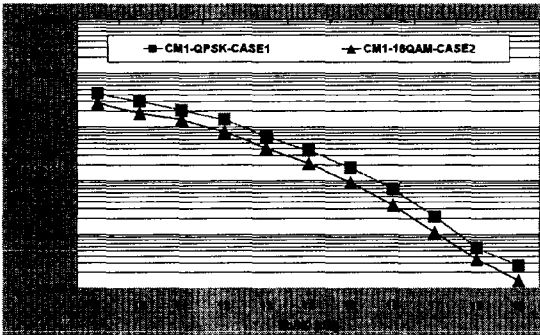


그림5. 모의 실험 결과

모의 실험 결과는 사례 1에서 QPSK 변조와 1/2 길쌈 코드를 CM1에서 적용한 것과 사례 2에서 16-QAM 변조와 1/2 길쌈 코드를 CM1에서 적용한 결과를 보였으며, 그림 5와 같은 신호대 잡음비에 따른 비트 에러율의 결과가 도출되었다.

VI. 결론

본 논문에서는 OFDM 전송 기술을 적용한 UWB 통신 시스템의 성능을 분석하기 위해 현재 표준화가 진행중인 UWB 통신 시스템의 채널 모형을 분석하고, OFDM에 대한 기본적인 개념을 바탕으로 OFDM 전송기술을 적용하기 위한 매개 변수를 도출하였으며, 이를 2가지의 사례로 나누어서 모의 실험을 통해 분석하였다.

그러나 본 논문의 모의 실험에서는 주파수 옵셋을 고려하지 않은 모의 실험을 수행하여 주파수 옵셋이 시스템의 성능에 많은 영향을 미치는 실제 OFDM 전송 기술의 UWB 통신 시스템 적용에는 많은 무리가 있다고 생각되며, 더불어 제한된 방사 전력에 대한 고려 및 최대 전력에 대한 평균 전력 비등 실제 구현에 근접한 몇가지 매개 변수를 추가적으로 고려해야 한다고 생각한다. 현재는 이를 반영한 OFDM 전송 기술을 적용한 UWB 통신 시스템의 성능 분석을 수행하고 있

다. 그리고 5GHz 대역의 IEEE802.11a WLAN 시스템과의 간섭과 1GHz 전후 대역의 GPS 시스템과의 간섭에 대한 영향과 사례로 제시한 2가지 경우와 같은 다채널에서의 각 채널의 다중화 처리를 위한 연구도 함께 수행되어야 한다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-041-D00380).

참고문헌

- [1] 이형수, 김재명, "UWB 무선기술 및 규제 동향," 한국통신학회지, 제 20권, 제 2호, pp. 13-21, 2003년 2월.
- [2] A.A. Saleh and R.A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Comm.* vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [3] J.R. Foerster, "The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," *Proc. IEEE 53rd VTC*, pp 1176-1180, Greece, May 2001.
- [4] J.R. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," *IEEE P802.15-02/368r5-SG3a*, Nov. 2002.
- [5] R.V. Nee and R. Prasad, *OFDM For Wireless Multimedia Communications*, Artech House, Boston-London, 2000.
- [6] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Wireless Communications*, Artech House, Boston-London, 2002.