

OFDM 전송 방식의 모뎀 구현에 관한 연구

김제완, 안도람, 이동욱
동국대학교 전기공학과
전화 : 02-2267-6967 / 핸드폰 : 016-265-0121

A Study on the Implementation of OFDM Modem

Jae-Wan Kim, Do-Rang Ahn, Dong-Wook Lee
Dept. of Electrical Engineering Dongguk Univ.
E-mail : bohemian@dgu.edu

Abstract

In this paper, we implement the OFDM Modem which is based on IEEE 802.11a high-speed wireless LAN standard's Physical Layer. We design each functional block based on Standard's PHY parameters and simulate them by using MaxplusII. The OFDM Modem is implemented using FLEX™ FPGA.

방식이 제안되었다. OFDM 전송 방식은 다중의 직교 부반송파를 이용하여 데이터를 병렬로 전송하고 각 부채널에서 간단한 단일 탭 등화기로 채널의 왜곡을 보상하기 때문에 고속 멀티미디어 데이터 전송 시스템에 적합한 방식으로 최근 여러 분야에 적용되고 있다.[2]

본 논문에서는 5GHz 대역에서의 무선 LAN 표준인 IEEE802.11a에서 제안한 물리계층(Physical Layer: PHY)[3]의 주요 파라미터를 기반으로 OFDM 방식의 모뎀의 주요 구성 부분을 설계하고 구현하였다.

I. 서론

현재 대용량의 무선 멀티미디어 통신과 인터넷 서비스에 대한 사용자의 요구 증가에 따라 3세대 이후의 이동통신 시스템은 2Mbps 이상의 고속 인터넷과 광대역 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 하고 있으며 90년대 초반 이후 900MHz, 2.4GHz, 5GHz ISM(Industrial, Scientific & Medical)대역에서의 서비스를 위해 등장한 무선 LAN(Wireless Local Area Network) 시스템 역시 고속 전송률을 제공하기 위해 새로운 표준들을 제시하고있다.[1] 이와 같은 대용량 및 고속 무선 멀티미디어 서비스를 실현하기 위해서는 기존의 단일 반송파를 이용한 전송 방식이 갖는 페이딩, 심볼간 간섭, 주파수 재사용 그리고 다중경로 등의 문제점들을 해결해야 한다. 이에 대한 대안으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

II. OFDM 개요

2.1 OFDM 전송 방식의 개요

OFDM의 기본원리는 고속 전송률을 갖는 데이터열을 낮은 전송률을 갖는 많은 수의 데이터열로 나누고 이들을 다수의 부반송파를 사용하여 동시에 전송하는 것이다. 낮은 전송률을 갖는 부반송파의 심볼 구간은 증가하게 되므로 다중경로 지연확산에 의해 발생하는 시간상에서의 상대적인 신호분산이 감소한다. 모든 OFDM 심볼 사이에 채널의 지연확산보다 긴 보호구간(Guard Interval)을 삽입하여 심볼간 간섭(Inter Symbol Interference)을 제거할 수 있다. 또한, 보호구간에 OFDM 신호의 일부를 복사하여 심볼의 시작부분에 배치하면 OFDM 심볼은 순환적으로 확장되어 부반송파 사이의 간섭(Inter Carrier Interference)을 피할

수 있다.[4] 그림 1은 기본적인 OFDM 방식의 송신기와 수신기 구조를 나타낸다.

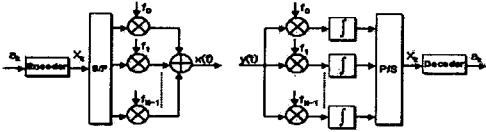


그림 1. 기본적인 OFDM 방식의 송·수신기 구조

2.2 IEEE802.11a 물리계층의 주요 파라미터
OFDM 전송 방식을 사용하는 IEEE802.11a에서는 5GHz 대역의 무선 LAN의 물리계층을 규정하고 있다.

표 1. IEEE802.11a 물리계층 주요 파라미터

Parameter	Value
전송률	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps (6, 12, 24Mbps are mandatory)
변조 방식	BPSK, QPSK, 16-QAM 64-QAM OFDM
오류정정 부호	길쌈 부호/ 비터비 복호 K=7(64 states)
부호율	1/2, 2/3, 3/4
총 부반송파 수	52
OFDM 심볼주기	$4.0\mu s (T_{GI} / T_{FFT})$
보호구간	$0.8\mu s (T_{FFT}/4)$
대역폭	20MHz

III. OFDM 모뎀의 기능블록 설계

그림 2는 IEEE802.11a 물리계층의 기능블록별 구성도를 나타내며 표 2는 본 논문에서 구현한 OFDM 모뎀의 기능블록별 설계 파라미터이다.

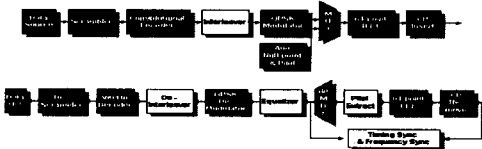


그림 2. IEEE802.11a 무선 LAN 물리계층 블록도

표 2. 기능 블록별 설계 파라미터

기능 블록별 설계 파라미터	
전송률	12Mbps
변조 방식	QPSK
오류정정 부호 및 부호율	길쌈 부호/ 비터비 복호 K=7 (64 states), 1/2
OFDM 심볼주기	$4.0\mu s (T_{GI} / T_{FFT})$
보호구간	$0.8\mu s (T_{FFT}/4)$
대역폭	20MHz

3.1 스크램블러

스크램블러는 길이 127인 프레임 동기화된 스크램블러를 사용하며 식(1)의 생성 다항식을 갖는다.

$$S(x) = x^7 + x^4 + 1 \quad (1)$$

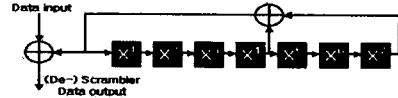


그림 3. 스크램블러의 구조

3.2 길쌈 부호기와 비터비 복호기

현재 대부분의 디지털 통신에서 사용중인 비터비 복호기는 길쌈 부호기의 구축장, 부호율, 연판정(Soft Decision) 비트 수 그리고 심볼 및 프레임 등에 의해 그 사양이 결정된다. 본 논문에서 구현한 길쌈 부호기(Convolutional Encoder)는 구축장 K=7, 부호율 R=1/2 이고 생성 다항식(133, 171)을 갖는다.

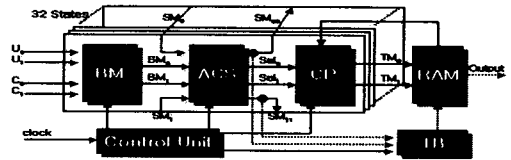


그림 4. 비터비 복호기의 구조

비터비 복호기(Viterbi Decoder)는 그림 4와 같이 BM(Branch Metric), ACS(Add-Compare-Select), CP(Compare), TB(Trace back), RAM 그리고 제어부로 구성된다. BM, ACS 그리고 CP부는 state의 최단경로를 획득하기 위한 연산블록으로 2state 연산을 동시에 수행하는 하나의 블록으로 구성하였다.

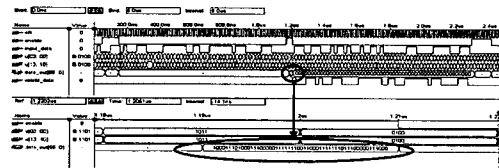
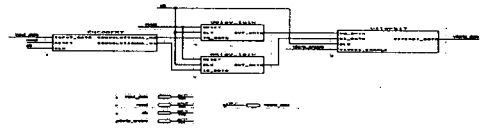


그림 5. 길쌈 부호기/비터비 복호기
통합 시물레이션

BM부는 부호율에 따라 코드워드 값을 생성하고 입력

신호와 코드워드 사이의 해밍거리를 계산하는 역할을 한다. ACS부는 각 stage에서 BM값과 SM값의 합을 비교하여 최단경로를 찾는 역할을 한다. CP부는 ACS부에서 산출된 최단경로의 비트값을 RAM에 저장하는 역할을 하며 TB부는 최종 stage에서 최단 경로 SM값을 선택하고 해당 RAM 번지의 값을 출력한다. 그림 5는 길쌈 부호기와 비터비 복호기를 통합 시뮬레이션한 결과이다.

3.3 데이터 변조와 복조

그림 6과 같이 데이터의 변·복조는 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 방식을 사용하였으며 길쌈 부호기의 출력 U_0 를 I 채널 입력, U_1 을 Q 채널 입력으로 하여 비트값 1은 그대로 출력하고 0값은 -1로 맵핑하여 출력하도록 구성하였다.



그림 6. QPSK 변·복조기

3.4 FFT와 IFFT

OFDM 신호는 QPSK나 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)에 의해 변조된 부반송파의 합으로 구성된다. 가령 d_i 를 복소수 심볼, N_s 는 부반송파의 수, T 는 심볼구간 이라고 하면 $t = t_s$ 에서 시작하는 1 OFDM 심볼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \begin{cases} \sum_{i=-N_s/2}^{N_s/2-1} d_i + \frac{N_s}{2} \exp \left(j 2\pi \frac{t-t_s}{T} \right), & t_s \leq t \leq t_s + T \\ s(t) = 0, & t \leq t_s \wedge t > t_s + T \end{cases} \quad (2)$$

$$s(n) = \sum_{i=0}^{N_s} d_i \exp \left(j 2\pi \frac{nt}{N} \right) \quad (3)$$

식(2)로 정의되는 복소수 기저대역 OFDM 신호는 N_s 개의 입력 심볼에 대한 역 푸리에 변환(IFT)에 해당한다. 이를 이산시간에서 등가로 표현하면 식(3)에 주어진 역 이산 푸리에 변환(IDFT)으로 쓸 수 있고 이 IDFT는 역 고속 푸리에 변환(IFFT)을 사용하여 효율적으로 구현할 수 있다. OFDM 방식의 무선 LAN 시스템에서 OFDM의 변조는 IFFT로 복조는 FFT를 사용하며 그림 7과 같은 관계를 가진다.



그림 7. IFFT와 FFT의 관계

본 논문에서 사용한 FFT는 구조가 규칙적이고 비교적 제어가 간단하여 직렬 입·출력이 가능한 파이프라인(Pipeline) FFT 구조 중 연산처리 속도가 빠르고 메모리의 용량을 적게 사용하는 Radix-2²SDF (Single-path Delay Feedback)[5] 방식을 사용하였다. Radix-2²SDF는 그림 8과 같이 두 개의 버터플라이가 필요하며 64point FFT 연산을 위해서는 32, 16, 8, 4, 2, 1 비트의 레지스터가 필요하다. 그림 9는 IFFT와 FFT의 통합 시뮬레이션 결과이다.

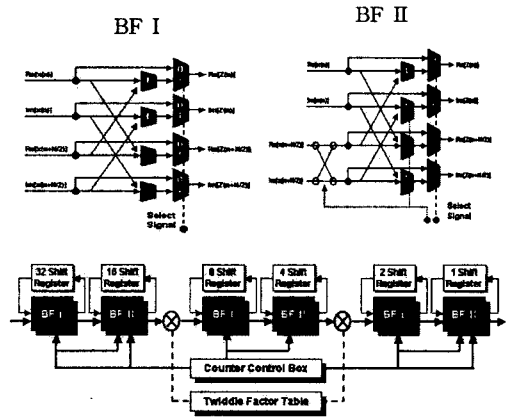


그림 8. Radix-2²SDF 방식의 FFT 구성도

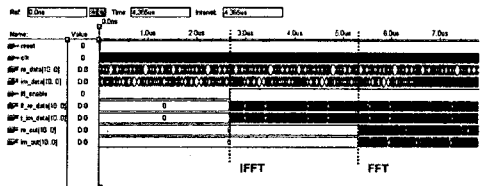
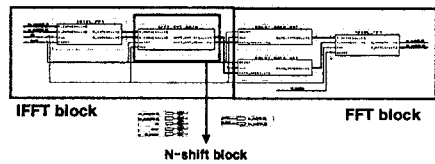


그림 9. IFFT와 FFT 통합 시뮬레이션

3.5 보호구간 삽입과 제거

보호구간 삽입은 IFFT의 출력 데이터를 8.192Mcps로 메모리에 저장하고 10.24Mcps 속도로 순차적 출력하

게되면 0-63번까지의 데이터가 CP(Cyclic Prefix) 형태로 한번 더 출력 된다. 출력되는 심볼의 수는 IFFT된 256 심볼에 64개의 CP가 추가되어 총 320개의 심볼이 전송된다. 수신부에서 CP 제거는 그림과 같이 프레임 동기를 찾은 다음 CP 삽입과 같은 방법으로 제거한다.

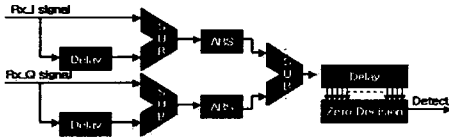


그림 10. CP를 이용한 프레임 동기 구조

Technologies Bell Labs

7. Ahmad R.S.Bahai and Burton R.Saltzberg, "Multi-Carrier Digital Communications Theory and Applications of OFDM", Kluwer Academic, 1999

IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 방식의 IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 표준안에서 제시한 물리계층을 기반으로 하는 모델을 설계하고 구현하였다. OFDM 모델에서 가장 중요한 부분이라 할 수 있는 IFFT·FFT 블록, 길쌈 부호기·비터비 복호기 블록과 수신단의 프레임 동기 블록에 초점을 두었다. 시스템은 전송률 12Mbps, QPSK 변·복조 방식, 구속장 $K=7(64 \text{ states})$, 부호율 $R=1/2$ 인 FEC 및 $Radix-2^2 SDF$ 방식의 FFT·IFFT 그리고 프레임 동기부 등으로 구성하였다.

향후 보안할 사항은 D/A, A/D의 추가와 수신단 동기부에 대한 추가 연구가 필요하며 물리계층과 MAC부의 인터페이스 역할을 하는 PLCP(Physical Layer Convergence Procedure) 부계층에 관한 연구가 이루어져야 한다.

[참고 문헌]

1. 김재석, 조용수, 조중휘, "이동통신용 모델의 VLSI 설계", 대영사, 2001
2. 조용수 역, "무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초", 대영사, 2000
3. IEEE 802.11a/D7.0, "High Speed Physical Layer in the 5GHz Band", 1999
4. 정의석, 조용수, "IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 모델기술", 한국통신학회지, vol.16, no.10, pp.42-63, 1999
5. Shousheng He and Mats Torkelson, "A new approach to pipeline FFT processor", Parallel Processing Symposium, pp.766-770, 1996
6. Richard van Nee, "A New OFDM Standard for High Rate Wireless LAN in the 5GHz Band", Lucent