

# 이동 무선 통신 응용을 위한 OFDM의 성능 해석

김창선\* · 김성곤\* · 변건식\*

Performance Analysis of OFDM for Wireless Communication Applications

Chang-sun Kim\* · Sung-gon Kim\* · Kun-sik Byon\*

---

본 논문은 2001년도 정보통신부 IT관련학과 장비지원사업의  
동아대학교 대응자금에 의해 연구되었음

---

## 요 약

OFDM 방식은 전통적인 단일 반송파 전송방식과는 달리 전송할 데이터를 병렬적으로 변조하여 주어진 다중전송채널에 다수의 반송파를 실어보내므로 고속의 데이터전송을 수행하고 주파수를 직교적으로 오버랩 시킴으로써 높은 스펙트럼 효율을 제공할 수 있어 여러 분야에서 적용되고 있으며 계속해서 연구되고 있다. 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 변조방식에 따른 OFDM 무선통신시스템의 성능을 평가하였으며 변조방식으로는 M-PSK, M-QAM을 사용하였다. 시뮬레이션은 다중로지연확산, 가우시안채널잡음, Peak Power Clipping, Frame Start Time Error 등이 포함된 가상의 채널환경과 실제채널환경에서 적용되었다. 시뮬레이션 결과 OFDM 시스템에서의 변조방식으로는 M-QAM 방식이 M-PSK 방식보다 우수함을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this study, a OFDM mode, unlike traditional single carrier mode, is that a great number of carrier in multi-channel environment is transmitted by modulating objective Data parallel in order to execute high speed Data translation and make frequency orthogonal to offer high spectrum efficiency. As a result, this method is adopted to a variety of fields and is being actively studied.

In this papers, the efficiency of OFDM wireless-communication systems is evaluated by modulation methods through computer simulation. M-PSK and M-QAM are used as modulation methods. The simulation is executed in a real channel and a virtual channel included multi-path, AWGN, Peak Power clipping, Frame Start Time Error. As a result of simulation, it is confirmed that M-QAM method is superior to M-PSK in OFDM systems in terms of the transmission methods.

---

\*동아대학교

접수일자 :

### 1. 서론

최근 정보화 사회로 나아감에 따라 통신은 이전의 문자 및 음성 외의 제한된 영역에서 벗어나, 대용량의 데이터 및 동화상의 실시간 전송에 의한 양방향 통신에까지 그 영역을 넓어지고 있다. 뿐만 아니라 인터넷을 통한 음성, 영상, 데이터 통신이 빠른 속도로 성장하고 있으며, 그 이용 계층도 다양해졌다. 이에 따라 데이터는 그 종류와 크기에 있어서도 급격히 증가하고 있으며, 이를 위해서 초고속, 대용량 통신시스템의 개발이 요구되어지며 현재 유무선 채널에서 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 다중반송파(multi-carrier)를 사용한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 방식이 여러 분야에서 적용되고 있으며 활발히 연구되고 있다. 또한 CDMA, TDMA, FDMA 등과 결합하여 다중접속을 가능하게 함으로써 차세대 무선 광대역 멀티미디어 통신 시스템(WBMCMS : Wireless Broadband Multimedia communications Systems)의 한 강력한 변조 및 다중화 방식으로 연구되고 있다. [1]

본 논문에서는 OFDM시스템에 M-PSK와 M-QAM과 같은 다양한 변조방식을 다양한 채널환경에 적용하여 각 변조방식에 대한 성능을 BER(Bit Error Rate)로 평가하였다.

서론을 제외한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 OFDM시스템의 기본적인 개념을 설명하고 3장에서는 OFDM시스템의 시뮬레이션 환경에 대해 설명하였다. 4장에서는 OFDM시스템의 BER성능을 평가하고 5장에서는 결론을 맺는다.

### II. OFDM 변조방식의 원리

#### 1. OFDM 변조방식

OFDM의 기본적인 개념은 가용 주파수 대역을 여러개의 서브채널로 나누는 것이다. 이를 통하여 모든 서브채널을 협대역 채널로 만들어 주면 주파수 선택성 페이딩이 각각의 서브채널에서는 평탄한 페이딩을 갖게 되므로 채널 등화를 쉽게 할 수 있다는 장점을 가진다. 그림 1과 그림 2는 각각 OFDM시스템의 송수신기 기본 블록도이다.[6][7]

그림 1의 송신신호  $s(t)$ 는 식(1)과 같이 표현된다.

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{k=0}^{N-1} c_{n,k} g_k(t - nT_s) \right]$$

$$g_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & t \in [0, T_s) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$f_k = f_0 + k/T_s \quad k=0 - N-1$$

여기서  $c_{n,k}$ 는 n번째 신호간격에서 k번째 서브캐리어에 전송된 심볼,  $T_s$ 는 심볼주기, N은 OFDM시스템의 서브캐리어 수,  $f_k$ 는 k번째 서브캐리어 주파수를 나타낸다. 직렬데이터를 병렬 데이터로 변환 후 정보인  $c_{n,k}$ 를 서로 직교하는 부반송파  $g_k(t)$ 와 곱하고 다시 이 신호를 합하므로써 송신신호  $s(t)$ 를 만든다.

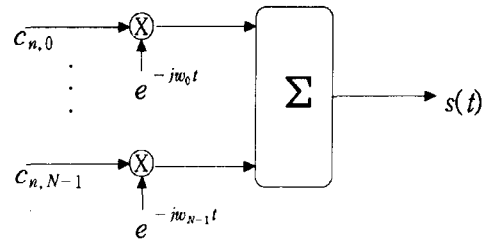


Fig. 1 OFDM modulator

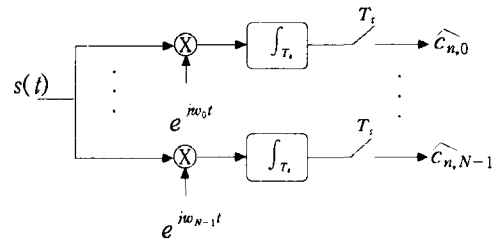


Fig. 2 OFDM demodulator

그림 2에서 복조된 정보  $\hat{c}_{n,k}$ 는 식(2)와 같다.

$$\hat{c}_{n,k} = \frac{1}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} s(t) g_k^*(t) dt \quad (2)$$

식(1)과 식(2)의 의미는 OFDM 시스템이 수신단에서 단일 탭 등화기 사용으로 간단하게 페이딩 왜곡을 보상할 수 있으며 송·수신단에서의 변복조 과정에 IDFT와 DFT를 IFFT와 FFT로 구현이 가능하다. 따라서 다수의 부채널을 갖고 낮은 구현 복잡도를 갖는 고속의 OFDM시스템을 구현할 수 있다는 것이다.

그림 3은  $N$ 개의 직렬 데이터를  $N$ 개의 병렬 데이터 형태로 변환시킨 것을 나타낸다.

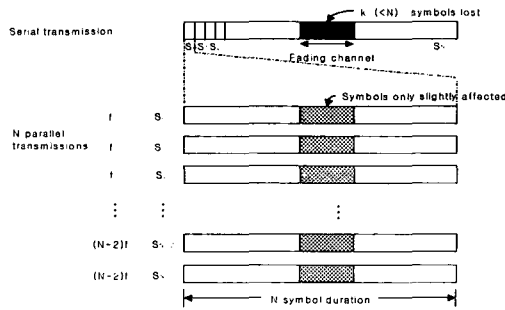


Fig. 3 Effect of a fading

대역제한된 채널에서 고속의 데이터 전송 일 수록 ISI의 문제는 심각해지는데 OFDM시스템에서와 같이 데이터를 그림 3과 같이 병렬로 처리 한다면 즉 심볼간격이  $T_s$ 인  $N$ 개의 직렬데이터를 병렬데이터로 변환한다면  $NT_s$ 로 심볼간격은 넓어지며 따라서 ISI의 영향이 제거된다. 또한  $k$ 비트 구간만큼 페이딩 채널이 발생한다면 직렬 전송시  $k$ 비트개의 데이터를 상실할 것이고 이를 해결하기 위해서는 복잡한 과정을 거치게 되지만 병렬로 변환된 데이터에서는 발생된 페이딩 채널은 긴 주기의 일부분에 해당하므로 심볼에 큰 영향을 주지 않는다.[6]

### 2. 보호구간 및 순환확장

지금까지 OFDM전송의 가장 중요한 성질 중 하나는 다중로 지연확산에 강하다는 것임을 보았다. 앞에서 설명한 단순한 형태의 OFDM시스템으로는 ISI의 영향을 완전히 제거할 수 없다. 이는 전송 채널에 의해 ISI가 발생하는 경우 부반송파 주파수 사이의 직교성이 더 이상 유지되지 않기 때문이다. 한 가지 해결 방법은 사용하는 부반송파의 개수를 증가시켜서 OFDM 심볼의 길이를 늘리는 것이다. 그러나 부반송파의 개수가 너무 많으면 발진기의 위상 오차에 대한 제한이 심해지고 하나의 심볼 내에서도 채널 상태가 변할 수 있다는 단점이 생긴다. 이에 대한 대안으로 그림 4에서와 같이 ISI를 흡수할 수 있는 보호구간을 심볼의 앞에 삽입하는 방법이 사용된다. 이때 보호구간에는 심볼파형의 마지막 시간에서부터 보호구간의 길이만큼 복사된다.[2][7]

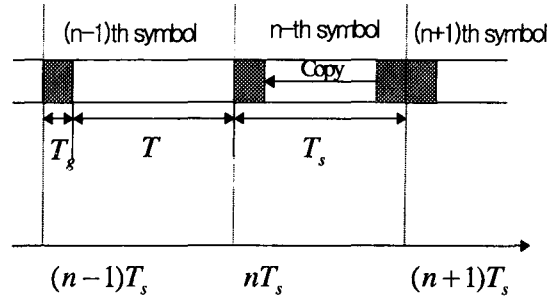


Fig. 4 Insertion of cyclically extend guard interval

OFDM 심볼 하나의 전체 길이를  $T_s$ , 보호구간의 길이를  $T_g$ 라고 하면 유효 심볼 길이는  $T = T_s - T_g$ 가 된다. 보호구간의 길이를 채널의 임펄스 응답보다 길게 설정하면 ISI를 완전히 제거할 수 있다. 그러나, 사용할 수 있는 대역폭 및 부반송파의 개수가 일정할 때 보호구간의 길이가 길어질수록 데이터 전송률은 낮아지므로 보호구간의 길이를 무한정 길게 할 수는 없다.

응용 대상에 따라 보호구간의 길이는 조금씩 변하는데 일반적으로 전체 심볼 길이의 25% 이내로 설정된다. [3][4][5]

### III. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 가상의 채널환경과 실제와 유사한 채널환경에서 시뮬레이션을 하였다. 그림 5는 가상의 채널 환경에서의 OFDM시스템의 블록도이다.[4]

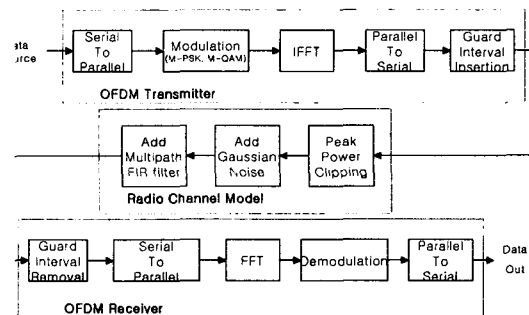


Fig. 5 OFDM Simulation Block Diagram 1

그림 5에서 직렬로 들어오는 정보신호는 S/P

변환기를 통해 병렬신호로 바뀌어지며 변조방식에 따라 변조되어진다. 이 변조된 신호는 IFFT 과정 후 OFDM신호를 생성한다. 이 신호에 보호구간이 각 심볼의 시작부에 추가되면 최종 송신신호가 된다. 송신신호는 전력제어를 위해 Peak Power Clipping 되어지고 여기에 AWGN과 Multipath 환경이 첨가된다. 복조는 변조의 역순으로 수행된다.

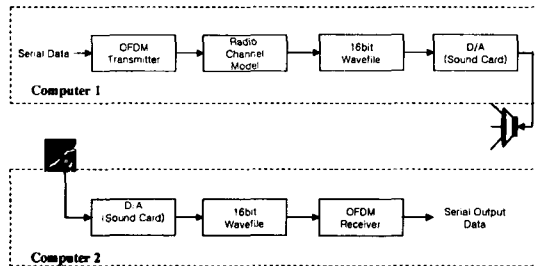


Fig. 6 OFDM Simulation Block Diagram 2

그림 6은 실제환경과 비슷한 OFDM시스템의 블록도이다. 먼저 컴퓨터 1에서 정보신호는 OFDM시스템을 통과하여 16비트 wave file로 변환된 후 사운드카드를 통해 스피커로 출력된다. 이 신호는 컴퓨터 2의 마이크를 통해 OFDM 수신부로 입력되어 복조되어진다.

표 1은 OFDM시스템 시뮬레이션에서 사용된 파라미터이다.

표 1. OFDM system parameters used for the simulation

| Parameter         | Value             |
|-------------------|-------------------|
| Modulation        | MDPSK, MQAM       |
| FFT size          | 2048              |
| Number of carrier | 800               |
| Guard Time        | 512 samples (25%) |
| Guard Period Type | cyclic extension  |

그림 7은 채널 통과 후 수신부에서 FFT된 정보신호의 64-QAM성상도로 신호복원이 불가능하다. 그림 8는 그림 7의 신호에 간단한 위상 및 진폭보정 후 정보신호의 64-QAM성상도를 나타내며 대다수의 정보들이 원래의 위치로 돌아감을 보인다.

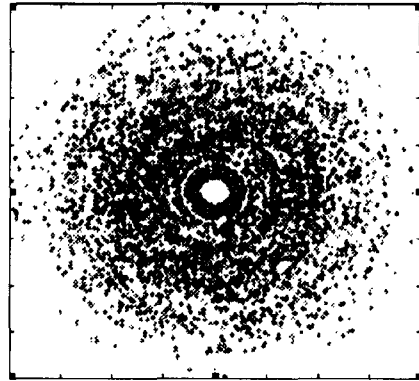


Fig. 7 64-QAM Constellation after FFT in Receiver

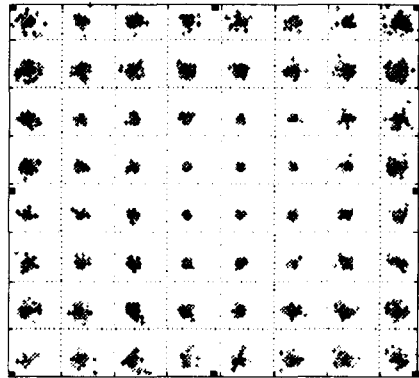


Fig. 8 64-QAM Constellation after Demodulation

#### IV. 성능 평가

본 논문에서 시뮬레이션은 그림 4에서 제시한 모델링된 채널과 그림 8에서 제시한 실제환경과 유사한 조건으로 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 이 장에서는 그림 4의 시뮬레이션 결과만을 가지고 이야기한다.

그림 9는 다중로에 따른 BER을 나타낸다. 반사신호는 직접 신호보다 3dB 약하게 하였다. 그 결과 견딜 수 있는 지연 확산은 보호구간의 cyclic extension 시간과 정합됨을 보인다. 또한 유효 보호구간보다 긴 지연 확산에 대해서, BER은 ISI에 의해 빠르게 상승한다. 최대 BER은 지연확산이 매우 길때(심볼시간보다 더 큰)이다. 왜냐하면 지연확산이 심볼시간보다 길때 강한

ISI를 만들기 때문이다. 이 결과 16-QAM과 16-PSK가 비슷한 결과이나 16-QAM쪽이 우수함을 볼 수 있다.

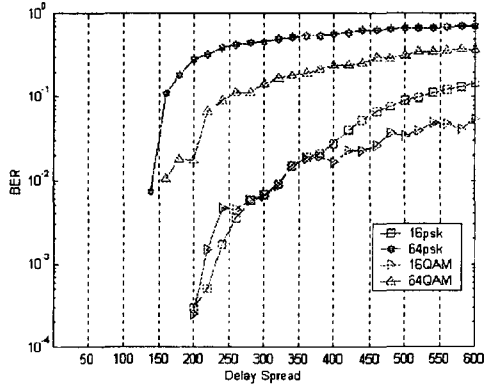


Fig. 9 Delay Spread tolerance of OFDM

그림 10은 Peak power Clipping의 효과를 보여준다.  $10^{-3}$ 의 BER을 얻기 위해 16-PSK는 약 6dB까지 clipped 될 수 있고 16-QAM은 약 7dB까지 clipped 될 수 있음을 보인다. 따라서 16-QAM이 더 우수함을 알 수 있다. 또한 Peak Power 대 RMS 비는 송신 전력의 증가를 위해 감소시킬 수 있도록 신호를 6dB까지 고의적으로 clipped 될 수 있음을 의미한다.

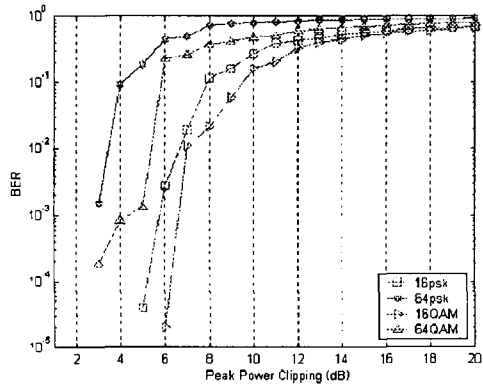


Fig. 10 Effect of peak power clipping of OFDM

OFDM의 SNR성능은 표준 단일 캐리어와 디지털 전송과 유사한데 이는 송신 신호가 표준 FDM시스템과 유사한 것에서 기대되어진다. 그림 11은 SNR의 변화에 따른 BER을 보인다. 그

림에서 알 수 있듯이 16-QAM이 가장 우수하다.

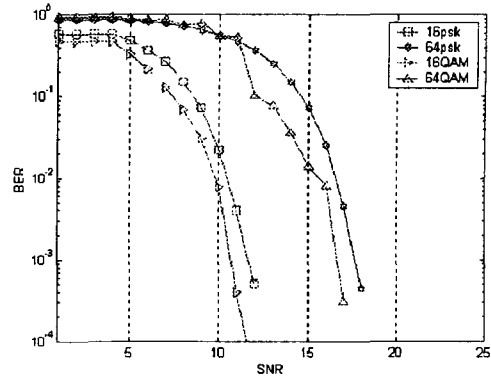


Fig. 11 BER verse SNR for OFDM

그림 12은 OFDM시스템에서의 프레임 동기 에러 대 BER을 보인 그림이다.

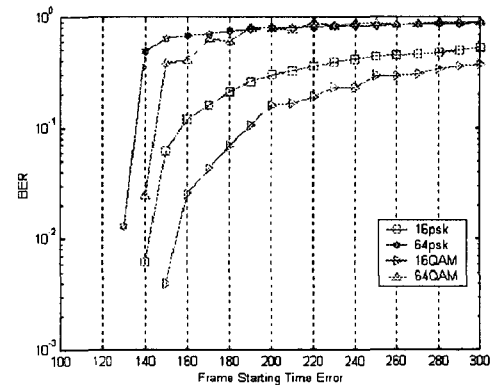


Fig. 12 Effect of frame synchronization error on the received OFDM signal

OFDM시스템의 큰 문제점중의 하나는 프레임 시작 시간의 동기 에러이다. 문제는 OFDM수신기가 초기적으로 스위치 될 때 송신 신호와 동기 되어 있지 않을 것인 것이다. 그래서 동기 방법이 필요했고 제안된 방법은 프레임과 프레임 사이에 Null 심볼의 프레임가드를 삽입하고 포락선 검파에 의해 프레임의 시작점을 검파하도록 하였다. 시뮬레이션 결과 16-QAM변조방식을 사용한 OFDM시스템이 가장 우수함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM시스템의 효율적인 변조 방식을 제안하기 위해 시뮬레이션하였다.

수신기 구조와 알고리즘의 복잡성 면에서는 M-PSK 변조방식이 M-QAM 변조방식에 비해 간단하다는 장점을 가지고 있으나 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 성능면에서는 M-QAM이 M-PSK보다는 우수하다는 것을 확인하였다.

복합 전파 간섭이 존재하는 주파수 선택성 레일리 페이딩 통신로에서는 보호구간 길이보다 채널 지연 시간이 짧은 경우에 좋은 BER성능을 유지하지만 보호 구간 길이를 벗어나면 BER성능이 현격히 떨어짐을 알 수 있었다. 그리고 임펄스 잡음의 영향은 가우시안 잡음의 영향보다 적음을 알 수 있었다.

본 연구를 바탕으로 하여 앞으로는 정보신호에 코딩을 행하여 실제 시스템에 적용될 수 있는 BER을 얻을 수 있도록 연구할 것이며 기존의 CDMA 방식과의 용량분석에 대한 연구, 그리고 FDMA, TDMA, CDMA와 결합한 OFDM의 다중접속에 대한 연구를 계속해 나갈 계획이다.

참고문헌

[1] Richard van Nee, Ramjee Prasad, "OFDM for wireless multimedia communications"  
 [2] S.Swales,M.Beach, "Third Generation Wireless Networks", University of Bristol, April 1994.  
 [3] T.S.Rappaport, "Wireless Communications Principles & Practice"  
 [4] R.Comerford, "Interactive Media: An Internet reality", IEEE Spectrum, April 1996.  
 [5] C.Kikkert, "Digital Communication Systems and their Modulation Techniques", James Cook University, October 1995.  
 [6] L.Hanzo · W.Webb · T.Keller, "Single- and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation ", WILEY, October 1999.  
 [7] Ahmad R.s.Bahai, Burton R. Saltzberg "Multi-carrier Digital Communications", KA/PP, 1999



김창선 (Chang-Sun Kim)

1993.3 : 동아대학교 전자공학과 (학사)  
 2001.6.현재:동아대학교 전자공학과 (석사과정)

※ 관심분야 : 다중접속 및 모델설계, IMT-2000



김성곤 (Sung-gon Kim)

1997.2 : 동아대학교 전자공학과 (학사)  
 1999.2: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2001.6.현재:동아대학교 전자공학과 (박사과정)  
 2001.6.현재:동아대학교 정보기술연구소 특별연구원

※ 관심분야 : xDSL, CDMA, 통신시스템



변건식 (Kun-sik Byon)

1972.2 : 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업  
 1980.2: 동아대학교 전자공학과 (공학석사)

1987.2: 영남대학교 전자공학과(공학박사)  
 1977.3~1980.2 : 동의공업대학 전자공학과 조교수  
 1989.9~1990.8: 국립요코하마대학교 정보통신공학과 객원교수  
 1980.2~2001.6.현재 : 동아대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 무선통신, CDMA, 통신시스템