

논문 2009-46IE-4-11

다중경로 지연확산 채널상에서 OFDM에 대한 성능분석

(The Analysis of Performance for OFDM over Mutipath Delay Spread Channel)

원 영 진*

(Young-Jin Won)

요 약

본 논문에서는 다중경로 채널 조건과 부반송파 변조방식이 다른 OFDM에 대한 성능을 분석한다. 또한 OFDM 신호에 대한 다중경로 지연 확산 환경, 시차 프레임 동기 오류의 영향에 대해서 분석한다. 다른 변조방식에 대한 BER 성능 분석을 통해서 적응형 OFDM 전송에 적용할 수 있는 기준을 제시한다.

Abstract

We analyze an analysis of the performance of OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) under multipath channel conditions, and to allow for different OFDM configurations. In this paper, the effects on multipath delay spread, peak power clipping, channel noise and time synchronization errors for the OFDM Signals are analyzed.

Keywords : OFDM, BER, Multipath Delay Spread, Start Frame Error between Tx and Rx

I. 서 론

최근 통신서비스는 다양한 형태로 융합과 통합되고 있다. 3.5G 이동통신의 경우, HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)와 와이브로(Wibro)등과 같은 시스템을 통해서 다양한 융복합 멀티미디어 서비스를 제공되고 있다. 이러한 멀티미디어 서비스는 무선에서 광대역/초고속 전송을 요구하고 있다. 광대역/초고속 전송으로 적합한 형태가 OFDM이고 향후 4G에서도 매우 중요한 전송기술로 채택되어 있다^[1]. OFDM은 전송전에 오류를 제어하기 위해서 채널부호화를 사용하는 디지털 TV와 디지털 라디오 전송에서 적용하고 있다^[2]. 또한 무선랜 IEEE 802.11 계열의 시스템과 DMB

(Digital Multimedia Broadcasting) 시스템에 사용하고 있다^[3~4]. 이러한 OFDM 다수의 사용자가 할당된 대역에서 부반송파 채널을 사용하여 전송하게 한다. 사용되는 부채널은 상호 직교성을 가지면서 전송된다. 정보전송에 있어 스펙트럼 사용에 대한 효율성을 개선하기 위해서 최근 무선에서는 OFDM을 사용한다. OFDM은 먼저 기저대역의 데이터들을 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)변조후 이 신호들을 부반송파에 분할하여 실어주고 이들을 동시에 전송함으로써 전송 효율을 높인다. 각 부반송파들을 생성하기 위해서 각각 하드웨어적으로 구현하였으나 이는 비용이나 크기면에서 비효율적이었고 이를 좀 더 효율적으로 집적화시키기 위해 푸리에 변환을 이용해서 처리한다. 특히 디지털 방송의 경우 송신단에는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 먼저 하고 나중에 수신단에서 FFT(Fast Fourier Transform)를 하는데 이는 앞서 말한 QAM 신호의 시간적 정현파를 주파수 영역으로 계산하기가 그 복잡성이 적어서 이를 먼저 실행한다^[5]. 많은 연구들이

* 평생회원, 부천대학 전자과
(Department of Electronic Engineering,
Bucheon University)

※ 이 논문은 2008년도 부천대학 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

접수일자: 2009년8월18일, 수정완료일: 2009년12월8일

다중경로 환경에서 OFDM의 성능이나 부반송파 할당에 관해서 진행되어 왔다^[6]. 다중경로환경에서 전송되는 전송신호는 다양한 시간차이를 가지고 수신단에 전달되며 이러한 다중경로신호에 의해서 시간차를 가지는 지연확산 신호들에 발생한다. 이러한 원인에 의해서 송수신기의 데이터 동기에 문제가 발생할 수 있으며 이는 통신 시스템 성능의 저하를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 OFDM을 다중경로 확산지연을 가지는 채널과 시작동기의 이탈 즉 동기 타이밍 오류가 있는 환경에 대해서 실질적인 성능을 분석한다.

II. 본 론

1. OFDM 모델

가. OFDM 시스템

그림 1은 OFDM과 본 논문에서의 성능분석을 위한 시뮬레이션 환경을 나타낸다. 이는 보호구간 삽입 블록과 타이밍 동기 오류 블록을 통해서 다중경로 환경의 채널에 있어서 제안한 문제를 해결하기 위한 시스템 구성이다.

(1) 직병렬 변환

입력되는 직렬 데이터 스트림이 직병렬변환기에서 전송에 적합한 워드 크기로 변환된다. 워드 크기로 QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)는 2[bits/symbol], 16QAM은 4[bits/symbol], 64QAM은 6[bits/symbol]이다. 이 데이터들은 전송시 하나의 부반송파에 각 워드 데이터를 할당함으로써 병렬로 전송된다.

(2) 변조

부반송파 하나로 전송되는 데이터는 이전 심볼에 대해서 차동으로 부호화되고 위상편이변조(Phase Shift Keying : PSK) 포맷에 사상된다. 차동 부호화는 초기 기준 위상이 필요하기 때문에 시뮬레이션 환경에서는 추가적인 심볼이 시작에서 추가된다. 그 후 심볼에 대한 각 데이터는 변조 방법에 기초해서 위상에 사상된다.

(3) 역 푸리에 변환

변조등과 같이 스펙트럼에 대한 작업이 수행된 후, 역푸리에 변환은 이에 부합하는 시간 파형으로 변환한다. 그 다음 보호구간이 각 심볼의 시작에 추가된다.

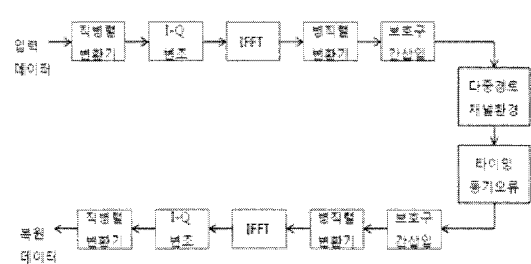


그림 1. OFDM 블록 다이어그램

Fig. 1. OFDM Block diagram.

(4) 보호 구간

보호구간(Guard Period)은 두 부분으로 구성된다. 보호구간의 반주기는 진폭크기가 0인 신호로 구성된다. 나머지 반주기는 전송되어질 심볼의 주기 확장으로 구성된다. 이는 포락선 검파에 의해서 쉽게 복원될 수 있도록 심볼 타이밍을 제공한다. 보호구간이 추가된 후, 심볼은 직렬 파형으로 다시 변환되고 이는 OFDM 전송을 위한 기본적인 기저대역신호가 된다.

(5) 수신부

수신부는 기본적으로 송신부의 역과정을 수행한다. 보호구간이 제거되고 각 심볼에 대해서 푸리에변환이 수행된다. 그 후 수신된 신호에 대한 복조과정이 진행되어 원 데이터를 복원한다.

나. 채널구조

본 논문에서 성능분석을 위해서 사용된 채널모델은 잡음이 부가된 페이딩 채널을 적용한다. 시뮬레이션에서 사용되는 신호대 잡음비는 전송된 신호에 백색잡음을 부가하여 설정한다. 그 후에 다중경로 지연확산이 추가되며 다중경로 확산 채널은 FIR(Finite Impulse Response)필터를 사용하여 모델링한다. FIR 필터의 길이는 최대 지연확산을 표시하고 계수의 크기는 반사된 신호의 진폭을 나타낸다.

2. 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 파라미터들은 표 1과 같다. 일반적으로 FFT 크기는 최대 성능을 가지는 표본수로 하기 위해서 2048개로 하였으며 보호구간 간격은 이에 대해서 256개를 기준으로 24[Km]의 추가적인 경로길이를 가지는 반사파에 대한 것이다. 표 1의 나머지 파라미터들은 일반적인 OFDM 시스템에 적용하고 있는 형태이다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 매개변수
Table 1. Parameters for the simulation.

구분	매개변수
부반송파 변조 방법	DBPSK, DQPSK, D16PSK
FFT 크기	2048
부반송파 수	800
보호 구간 간격	512개 표본(25%)
보호 구간 형태	보호구간의 반은 0, 반은 심볼의 주기 확장

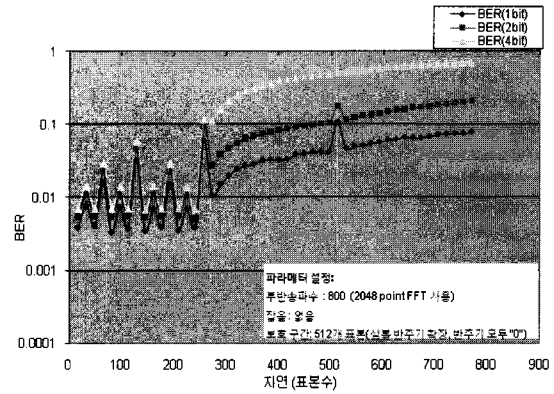


그림 3. OFDM의 지연확산에 대한 영향
Fig. 3. Delay Spread tolerance of OFDM.

III. 시뮬레이션

1. 가우시언 잡음 채널에 대한 OFDM 시스템 분석

그림 2는 가우시언 잡음 채널에 대한 OFDM 시스템의 성능을 나타낸다. 가우시언 채널환경은 매트랩을 이용한 채널환경을 적용하였다. 그 결과는 BPSK의 성능이 가장 좋음을 나타내고 있으나 전송량은 가장 낮다. 부반송파의 변조레벨에 대해서 6~8[dB]수준이 전송전력이라면 BPSK를 사용하는 것이 좋으며 25[dB]이상이라면 16QAM을 사용하는 것이 좋다. BPSK와 16QAM의 중간레벨 전력이라면 QPSK를 사용하는 것이 좋다. 이러한 기본적인 변조방식의 선택은 향후 적응형 변조 기술인 적응형 OFDM이나 적응형 OFDM-MIMO (Multi-Input Multi-Output)등과 같은 기술의 기본 파라미터로 적용할 수 있다.

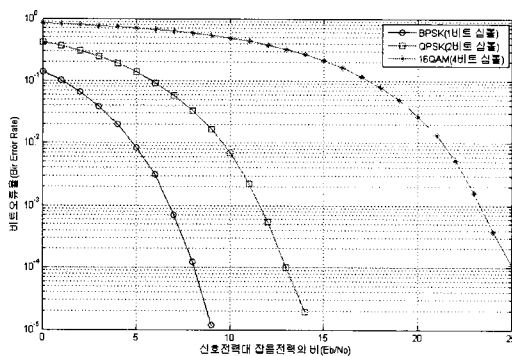


그림 2. 각 변조방식에 대한 OFDM의 BER성능
Fig. 2. BER verse SNR of OFDM for different modulations.

2. 다중경로 지연확산에 대한 분석

다중경로 상의 반사파에 의해서 수신된 OFDM 신호

에 대한 영향을 분석한다. 다중경로상의 잡음은 없는 것으로 하고 단지 반사와 신호만 고려하도록 한다. 반사와 신호는 LOS(Line Of Sight) 직접파 신호에 대해서 전력이 3[dB]정도 약한 신호로 설정한다. 그림 3은 이 다중경로 지연확산에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3은 256개의 표본보다 적은 지연 확산에 대해서 BER(Bit Error Rate)이 대단히 낮음을 나타내고 있다. 실제 시스템에서 지연 확산은 최대 80[us]에 해당한다. 이 지연확산은 24[Km]의 추가적인 경로길이를 가지는 반사파에 대한 것이다. 실제 전파가 24[Km]를 더 진행하더라도 3[dB]만큼의 감쇠가 발생하지는 않는다. 따라서 이 다중경로 시뮬레이션 환경은 극단적인 다중경로 조건이라고 봐도 무방하다. 이 시뮬레이션에서 사용된 보호구간은 256개의 0인 표본과 256개의 심볼주기 확장이다. 이 결과는 보호구간의 주기 확장 시간이 지연확산에 강건하다는 것을 보여준다. 이러한 강건성은 보호구간의 0이 아닌 심볼 주기 확장에 의한 것이라는 것을 보여준다.

지연확산에 대해서 보호구간보다 더 효과적인 것은 없으며 BER은 심볼간 간섭에 의해서 급격히 악화된다. 지연확산이 매우 길 때 최대 BER이 발생하는데 그 이유는 강한 심볼간 간섭에 의한 것이라는 것을 이 시뮬레이션을 통해서 알 수 있다.

3. OFDM PAPR(Peak Average Power Ratio)에

대한 Peak Power Clipping 기술에 대한 분석
전송된 OFDM 신호는 수신된 BER에 적은 영향을 미치도록 진폭이 클리핑된다. 그 이유는 신호가 신호를 전송하는데 사용하는 전력증폭기에 의해서 발생하는 클리핑 왜곡에 매우 강하기 때문이다. 이는 6[dB]까지의

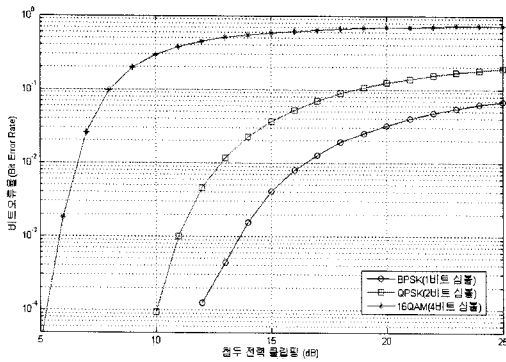


그림 4. OFDM에 대한 첨두전력 클리핑 영향
Fig. 4. Effect of peak power clipping for OFDM.

클리핑이 전송전력의 증가를 허용하여 첨두전력대 실효 전력의 비가 줄어들 수 있음을 나타낸다. 그림 4는 BPSK, QPSK, QAM에 대해서 첨두전력의 클리핑에 대한 BER 성능을 나타낸다. 첨두클리핑 전력이 높을수록 BER 성능이 나빠진다. 따라서 그림 4에서 나타난 시스템의 BER 성능에 따라 전력 클리핑을 적절하게 수행하여야 한다. 일반적으로 음성의 경우 10^{-3} , 영상의 경우 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 정도를 기준으로 클리핑이 수행되어야 한다.

4. 타이밍 오류가 미치는 영향 분석

4절에서는 시작 타이밍 오류가 발생했을 때 OFDM이 얼마나 좋은 성능을 나타내는지에 대해서 분석한다. 타이밍 오류에 대한 환경은 OFDM 수신기가 초기에 스위치를 온할 때 송신된 신호와 동기가 완벽하게 일치하지 않을 경우에 발생하는 문제이다. 그래서 동기방법이 요구된다. 제안된 방법은 OFDM 신호를 프레임으로 분할하는 방법이다. 각 프레임은 10에서 1000개 사이의 심볼을 전송한다. 각 프레임의 시작에서, 널(Null) 심볼이 전송되고 이는 프레임의 시작이 포락선 검파되도록 한다. 그러므로 포락선 검파의 사용은 단지 한 쌍의 표본내에서 검파되는 시작을 허용하고 시스템내 잡음에 종속된다. 이는 타이밍의 정확도가 충분하지 알 수 없다. 그림 5는 수신된 BER상에서 시작 시간 오류의 영향을 나타낸다. 이는 BER에 대한 영향이 나타나기 전까지의 시작 시간이 256 표본까지 오류를 가질 수 있다는 것을 보여준다. 이 표본 길이는 보호 구간의 주기 확장과 같으며 신호의 직교성을 유지하기 위한 보호구간에 의한 것이다. 실제 시스템에서 타이밍 오류는 초기나 나중에 만들어진다. 이와 같이 어떤 수신기는 $-128 \sim +128$ 의 오류를 허용하기 위해서 예측 시작시간을 중

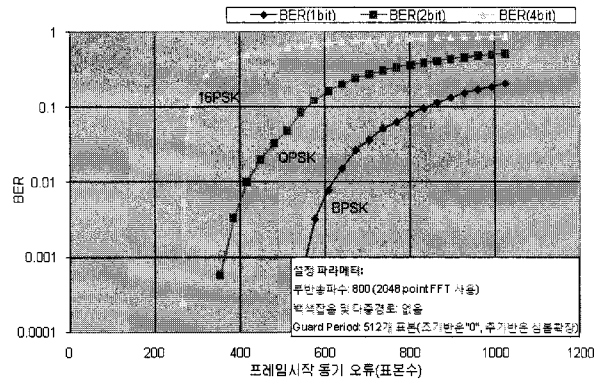


그림 5. 수신된 OFDM 신호에 대한 프레임 동기 오류의 영향
Fig. 5. Effect of frame synchronization error on the received OFDM signal.

간에 설정하기도 한다. 부가적으로 만약 신호가 다중경로 지연 확산에 영향을 받는다면 이는 보호 구간의 효과적이고 안정된 시간을 줄일 수 있고 또한 시작 타이밍 오류에 대한 영향을 최소화 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 가우시언 채널에 대한 성능분석은 적응형 전송에 적용이 가능한 기준을 제시할 수 있다. 부반송파의 전송 전력에 대해서 6~8[dB]수준이 전송전력이라면 BPSK를 사용하는 것이 좋으며 25[dB]이상이라면 16QAM을 사용하는 것이 좋다. BPSK와 18QAM의 중간레벨 전력이라면 QPSK를 사용하는 것이 좋다는 결론을 얻었다. 이는 채널의 상태에 따라서 전송율을 가변할 수 있는 기준이 될 수 있다. SNR(Signal to Noise Power Ratio)이 열악한 환경에서는 낮은 전송율을 반복 전송함으로써 전송에 대한 신뢰성을 확보하고 SNR이 좋은 환경이라면 전송율을 높여서 스펙트럼 사용 효율을 개선할 수 있다. 이는 다중경로 환경에도 동일한 원리로 적응형 전송기법을 사용할 수 있다. 또한 송신기와 수신사이의 시작 동기 오류에 대해서 성능을 분석한 결과로는 보호구간의 삽입이 중요한 기준이 됨을 알 수 있었다. 향후 OFDM에 대한 연구는 다중입력-다중출력 시스템에 적용하여 다양한 이득과 다이버시티를 얻을 수 있는 기술에 대해서 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] <http://csplab.kaist.ac.kr/~khwa/ofdm.htm>
- [2] Michael Speth, OFDM Receivers for Broadband-Transmission,
http://www.ert.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/www_ofdm.html
- [3] William Y. Zou "COFDM: An Overview," IEEE Transactions on Broadcasting, March 1995.
- [4] T. Paul, Tokunbo Ogunfunmi, "Wireless LAN Comes of Age: Understanding the IEEE 802.11n Amendment," IEEE Circuits and Systems Magazine, 2008.
- [5] S.S.Riaz Ahamed, "PERFORMANCE ANALYSIS OF OFDM", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, pp. 23~30, 2008.
- [6] Michael Speth et al. "Frame Synchronization of OFDM Systems in Frequency Selective Fading Channels," Proceeding of IEEE 47th Vehicular Technology Conference, May 1997.

————— 저 자 소 개 —————

원 영 진(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제45권 IE편 제1호 참조