

OFDM 방식의 차세대 단거리전용 통신 시스템 성능 개선에 관한 연구

A Study on the Next Generation Dedicated Short Range Communication System using OFDM

김만호*, 강희조*

Man-Ho Kim* and Heau-Jo Kang*

요 약

본 논문에서는 지능형 교통망 시스템 서비스에 사용되는 5.8GHz 대역에서 OFDM을 이용한 단거리 전용 통신 시스템을 제안하고 제안 시스템의 성능을 평가하고 이를 분석하였다. 무선 다중경로 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우, 신호는 페이딩, ISI(inter-symbol interference) 등의 영향으로 높은 에러율을 가지게 된다. OFDM 방식은 보호구간을 사용해 채널의 ISI를 제거하므로 일반적으로 등화기가 필요 없으나, OFDM 각 심볼 주기마다 보호구간의 사용은 채널 사용 면에서 매우 비효율적이 된다. 따라서 채널의 지연확산이 커질 경우, 보호구간만으로는 ISI를 완전히 제거할 수 없으며, 성능 개선을 위하여 등화기가 필요하게 된다. 본 논문에서 제안된 시스템에서는 ITS 권고 주파수 대역인 5.8GHz에서 국제 표준화 규격인 IEEE 802.11a 근거하여 OFDM 시스템을 모델링 하였으며, Clarke & Gans 채널 환경에서 주파수 1탭 적응 등화기를 적용하여 성능을 비교 분석하였다.

Abstract

In this paper, we investigated performance for 5.8GHz dedicated short range communication system using OFDM which will be applied to Intelligent transportation system services. The maximum speed of a vehicle in DSRC channel is very fast as 180km/h, so a service time is very short to serve a various traffic information if hand-off is not occurred. Therefore higher bit rate is required to proved advanced and intelligent service to the drivers of various vehicle and the data transmission rate of the next generation DSRC system if being promoted over 10Mbps. The signals received in Clarke & Gans channel have been simulated using the computer simulator.

Key words : ITS, OFDM, DSRC, 802.11a, Frequency 1-Tap Adaptive Equalizer

I. 서 론

교통량의 증가에 따른 교통, 환경, 에너지, 국가 경쟁력 등의 문제 해결과 더불어 보다 향상된 주행 서비스를 제공하기 위하여 지능형 교통시스템(ITS :

Intelligent Transportation System)에 대한 연구가 시작되었고, 이를 구현하기 위한 효율적인 통신 방식으로 단거리전용통신(DSRC : Dedicated Short Range Communication)이 대두되었다. ITS는 기존의 교통 시설물에 첨단 정보통신기술을 접목시켜 시설 이용의

* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Engineering, Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 김만호

· 접수일자 : 2006년 11월 1일

극대화를 꾀하는 차세대 교통 시스템으로서 현재의 교통 혼잡을 최소화하고, 교통사고 및 교통공해 문제를 대폭적으로 줄일 수 있는 효과적인 해결책으로 기대를 모으고 있다[1]-[4].

DSRC는 ITS의 서비스를 제공하기 위한 통신 수단의 하나로써, 노변 장치라 불리는 도로변에 위치한 소형기지국(RSE : Road Side Equipment)과 차량 내에 탑재된 차량탑재장치(OBU : On Board Unit)를 이용한 ITS용 단거리 전용통신을 의미한다[4]. 현재 차세대 DSRC 시스템의 데이터 전송속도는 10Mbps 이상으로 추진되고 있다[5]. 따라서 현재 고속 데이터 전송 시스템에서 가장 널리 이용되는 OFDM을 DSRC 시스템에 적용하였다. ITS에서는 고속으로 주행하는 차량을 대상으로 신속하고 정확한 데이터 전송이 필수적이며, 이러한 시스템의 통신 품질을 극대화하기 위하여 DSRC 채널 환경 모델링과 이를 바탕으로 시스템의 성능 분석과 개선이 필요하다.

본 논문에서는 IEEE 802.11a에서 권고하는 5.8GHz 대역의 주파수를 사용하였고, 페이딩에 강한 OFDM을 적용하여 시스템이 오류 없이 정상적으로 동작하는지를 확인 하였으며, AWGN과 Clarke & Gans 채널 환경에서 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 분석하였다.

II. OFDM 시스템

2-1 OFDM 통신 시스템

그림 1과 그림 2에 OFDM(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호를 생성하는 변복조기의 블록선도를 제시하였다.

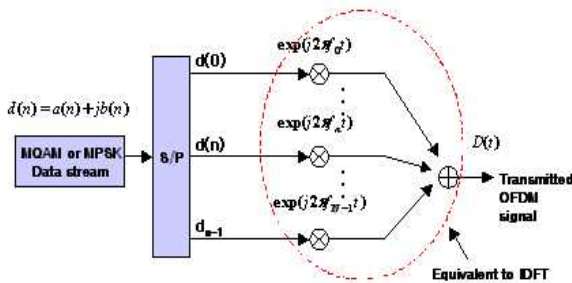


그림 1. OFDM 시스템의 송신기
Fig. 1. OFDM Transmitter System.

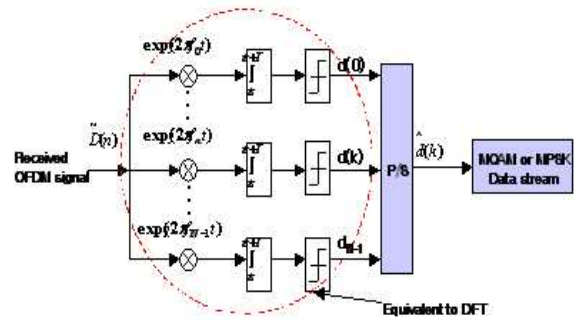


그림 2. OFDM 시스템의 수신기
Fig. 2. OFDM Receiver System.

먼저 N 개의 직렬 데이터 블록이 입력되면, 병렬 형태의 데이터로 변환된다. 병렬 형태로 변환된 데이터는 각기 다른 부반송파로 변조되며, 각각의 부반송파로 변조되는 심볼의 주기는 이전 직렬 데이터 심볼 주기의 $1/N$ 이 된다. 서로 다른 부반송파로 변조된 신호는 더해진 다음, 반송파 신호와 곱하여져 수신측으로 전송된다. 그림 1에서 발생된 OFDM 신호를 복소 저역통과 신호 형식으로 표시하면 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{A}{\sqrt{T}} a_{n,i} e^{j2\pi f_i t} g(t - nT_s) \quad (1)$$

여기서 A 는 신호의 전력을 결정하는 상수이고, T_s 는 심볼의 주기이다. 그리고 $g(T)$ 는 펄스 성형 함수로서 T_g 를 OFDM의 보호구간이라 할 때 다음과 같다.

$$g(t) = \begin{cases} 1, & T_g \leq t \leq T_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

심볼 주기에서 보호구간을 제외한 시간을 유효 심볼시간이라 하며, 유효 심볼시간 $T = T_s - T_g$ 의 관계를 가진다. f_i 는 N 개의 부채널 가운데 i 번째 채널의 부반송파 주파수이며, 단위 유효 심볼구간에서 상호직교성을 가져야 하므로 $f_i = i/T$ 의

조건을 만족시킨다[7]. 그리고, $a_{n,i}$ 는 n 번째 신호 구간에서 부채널 i 로 전송되는 심볼을 나타낸다

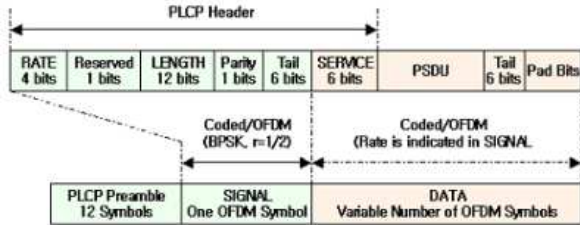


그림 3. IEEE 802.11a 무선 모뎀의 프레임 포맷
Fig. 3. IEEE 802.11a PDU Frame Format.

그림 3은 OFDM PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 프리앰블, OFDM PLCP 헤더, PSDU(PLCP Service Data Unit), Tail 비트, Pad 비트로 구성된 IEEE 802.11a의 PDU(PLCP Protocol Data Unit) 프레임 포맷을 보여준다.

PLCP 헤더는 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트, SERVICE 필드로 구성되는데, 이 중 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트는 SIGNAL로 정의된 별도의 1 OFDM 심볼로 구성되어 가장 안정적인 BPSK 변조와 1/2 부호화를 거쳐 전송된다. PLCP헤더의 SERVICE 필드, PSDU, Tail 비트, Pad 비트는 DATA로 정의되고 RATE 필드에 정의된 데이터 전송률로 전송되며 OFDM 심볼들로 구성된다.

III. 단거리전용통신 시스템

3-1 단거리전용통신 채널 환경

이동무선 채널은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 실제적인 무선 채널의 모델링은 시스템 설계에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 본 논문에서 고려한 DSRC 시스템의 채널환경은 Clark & Gans 페이딩 채널 모델이다[8].

그림 4는 x 방향으로 속도 v 로 이동중인 이동체에 랜덤한 각도로 입사하는 수신파를 보여주고 있다. 수신 각도는 이동체의 방향에 대한 x-y 평면에서 측정되는데 이동체에 입사하는 모든 파는 수신기의

이동으로 인해 발생된 도플러 천이의 영향을 받으면서 입사되며 동시에 수신기에 도달한다. 즉, 다중 경로 채널을 주파수 비선택성 페이딩 채널로 가정했기 때문에 초과 지연은 없다고 가정한 것이다

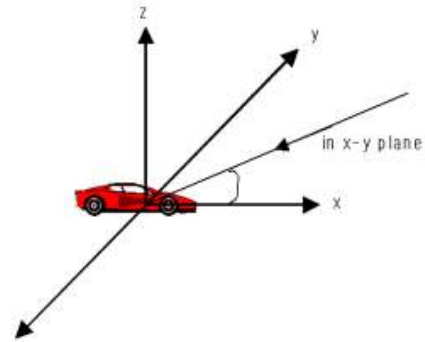


그림 4. 임의의 각도로 입사되는 수신신호
Fig. 4. Received Signal Arriving at Random Angles.

$$f_n = \frac{V}{\lambda} \cos \alpha_n \quad (3)$$

여기서 λ 는 입사파의 파장이다.

Gans는 Clark 모델을 응용하여 도플러 스펙트럼을 가지는 채널 모델을 구하였다. 각도 α 에서 $d\alpha$ 내로 입사하는 미소량을 $p(\alpha)d\alpha$ 라 하고, 등방성 안테나의 평균 수신 전력을 A 로 표시한다. $N \rightarrow \infty$ 에 따라 $p(\alpha)d\alpha$ 는 연속적인 분포에 접근한다. $G(\alpha)$ 가 도착의 각도의 함수로서의 이동체 안테나의 방위각 이득 패턴이라면, 전체 수신 전력은 다음과 같이 표현된다.

$$P_r = \int_0^{2\pi} AG(\alpha)p(\alpha) d\alpha \quad (4)$$

여기서, $AG(\alpha)p(\alpha) d\alpha$ 는 위상변수를 갖는 수신 전력의 미소 변화량이다.

위상 변수를 갖는 수신 전력의 미분 변화량과 주파수 변수를 갖는 수신 전력의 미분 변화량의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(f)df = A[p(\alpha)G(\alpha) + p(-\alpha)G(-\alpha)]|d\alpha|$$

(5)

수신 신호의 전력 스펙트럼 밀도 $S(f)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$S(f) = \frac{A[p(a)G(a) + p(-a)G(-a)]}{f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m}\right)^2}}$$

(6)

여기서,

$$S(f) = 0, \quad |f - f_c| > f_m \quad (7)$$

즉, 스펙트럼은 반송파 주파수에 집중되고 $f_c \pm f_m$ 의 범위 바깥의 값은 0이 되며 수신되는 각각의 신호들은 중심 주파수로부터 편이된 주파수로 도달된다.

수직 $\frac{\lambda}{4}$ 안테나의 경우 ($G(a) = 1.5$)에 수신신호의 입사각이 $[0 \sim 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 갖는 경우 입사각의 확률 밀도함수는 $p(a) = \frac{1}{2\pi}$ 이고 스펙트럼은 다음과 같이 주어진다.

$$S_{Ez}(f) = \frac{1.5}{\pi f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m}\right)^2}} \quad (8)$$

여기서, f_m 은 최대 도플러 천이이다.

3-2 주파수 1-탭 적응 등화기

주파수 선택성 페이딩 환경에서 OFDM 신호의 부반송파들은 개별적으로는 주파수 비선택성 영향을 받지만 전체적인 각각의 부반송파들이 받는 페이딩 특성은 달라지게 되므로 주파수 선택적으로 깊은 페이딩의 영향을 받는 부반송파가 존재할 수도 있다. 이런 경우에는 각 부채널로 전송되는 정보데이터를

복원하기 위해서는 수신된 각 부 채널의 역수를 곱해주게 된다. OFDM 신호에 대해서는 각각의 부 반송파 신호들이 협대역 특성을 가지므로 주파수 영역에서 부 채널별로 TDL(Tapped Delay Line)구조의 1 탭 등화기를 사용할 수 있다. 그림 5는 OFDM에서의 주파수 1탭 적응 등화기의 예이다.

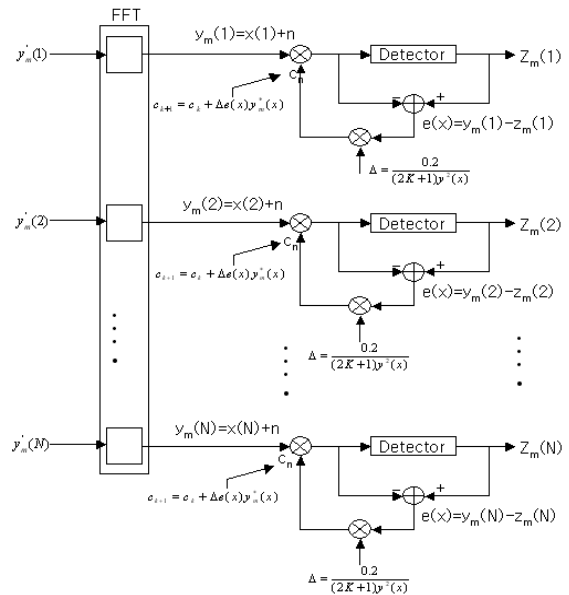


그림 5. 주파수 단일탭 적응 등화기 모델
Fig. 5. Frequency 1-Tap Adaptive Equalizer.

IV. 시뮬레이션 결과 분석 및 성능비교

Clark & Gans 페이딩 채널 환경에서 채널예측기를 적용하여 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 사용된 OFDM 시스템의 파라미터는 표 1에 나타내었다.

표 1. OFDM 시스템 파라미터
Table 1. Parameter OFDM System.

Data rate	12 Mbit/s
Modulation	QPSK
FFT size, N	64
The number of subcarrier	48(data) +4(pilot)
Guard interval duration	0.8 μ s
Channel coding	Coding rate 1/2 Convolution coder
Fading channel	Clark & Gans fading

IEEE 802.11a 규격에 맞추어서 5GHz 대역을 사용하는 경우 100km/h 의 속도로 움직이는 이동체에서는 약 500Hz 의 최대 도플러 쉬프트 주파수가 발생된다. 그림 6은 Clark & Gans 페이딩 채널 환경에서 차량의 이동 속도에 따른 OFDM/QPSK 시스템의 성능 곡선을 나타낸다.

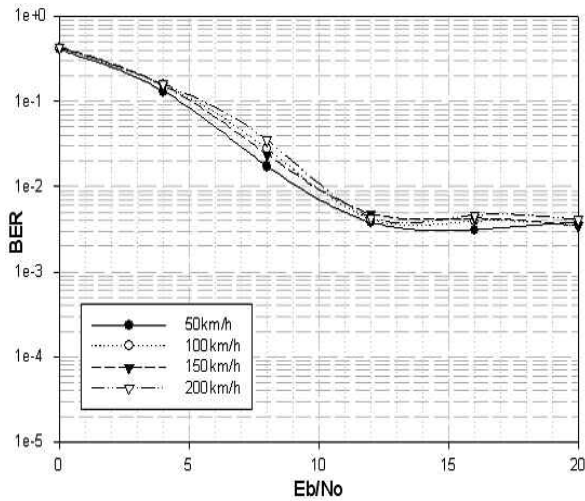


그림 6. Clarke & Gans 환경에서 OFDM/QPSK 시스템 성능 분석
Fig. 6. Performance Analysis of the OFDM/QPSK System under Clarke & Gans Fading Channel Environment.

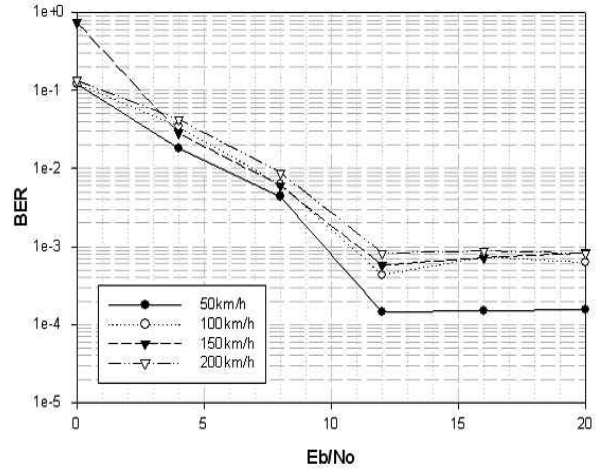


그림 7. Clarke & Gans 환경에서 주파수 1탭 적응 등화기를 채용한 OFDM/QPSK 시스템 성능 분석
Fig. 7. Performance Analysis of the OFDM/QPSK System using Frequency 1-Tap Adaptive Equalizer under Clarke & Gans Fading Channel Environment.

그림 6에서 도플러 발생시 최대 도플러 천이 주파수가 클수록 시스템 성능 열화를 보임을 알 수 있고, 그림 7에서 주파수 1탭 적응 등화기를 채용하여 성능분석을 한 결과 BER 10⁻² 을 기준으로 100km/h 이상의 속도의 경우 약 2dB 정도의 작은 성능 향상이 되었고, 50km/h의 속도에서는 Eb/No 가 10 dB 이상인 경우 100km/h 속도 이상인 경우의 시스템에 비해 높은 성능 향상이 이루어짐을 확인할 수 있다.

V. 결 론

차량의 이동 무선 채널에서 10Mbps 이상인 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 OFDM 방식이 연구되고 있는데, OFDM 방식은 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 부채널로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식이다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11a에서 권고하는 5.8GHz 대역의 주파수를 사용하였고, 페이딩에 강한 OFDM을 적용하여 시스템이 오류 없이 정상적으로 동작하는지를 확인 하였으며, AWGN과 Clarke & Gans 채널 환경에서 OFDM/QPSK 시스템의 성능을 분석하고, 주파수 1탭 적응 등화기를 채용하여 성능을 개선하였다.

시뮬레이션의 결과로, 도플러 발생시 최대 도플러 천이 주파수가 클수록 시스템 성능 열화를 보임을 알

수 있었다. 또한, 주파수 1탭 적응 등화기를 채용하여 성능분석을 한 결과 BER 10^{-2} 을 기준으로 100km/h 이상의 속도의 경우 약 2dB 정도의 작은 성능 향상이 되었고, 50km/h의 속도에서는 Eb/No 가 10 dB 이상인 경우 100km/h 속도 이상인 경우의 시스템에 비해 높은 성능 향상이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Scott D. Elliott and Daniel J. Dailey, *Wireless Communications for Intelligent Transportation System*, Artech House Inc., 1995.
- [2] Rachard Whelan, *Smart Highways, Smart Cars*, Artch House Inc., 1995.
- [3] 이상건, 이승환, "ITS 서비스 구현을 통한 교통정보화 추진방향," *Telecommunications Review*, 제 9권 4호, pp. 474-485, 1999.
- [4] 한국전산원, *지능형 교통시스템(ITS) 통신 프로토콜 및 통신망 구성 연구*, 1998년 11월.
- [5] 10Mbps 패킷 데이터 전송을 위한 무선채널 환경 연구, 최종 연구 보고서, 한국향행학회
- [6] IEEE, 802.11a Part 11, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specification : High speed physical layer in the 5 GHz Band," 1999.
- [7] N. A. B. Svensson, "On optimum and sub-optimum coherent detection of continuous phase modulation on a two-ray multipath fading channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 35, pp. 1041-1049, Oct. 1987.
- [8] Theodore S. Rappaport, *cellular radio & personal communications*, 1995.

김 만 호 (金萬昊)



2005년 2월 : 목원대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2005년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 IT 공학부 석사과정
 관심분야 : OFDM, 텔레매틱스, DSRC

강 희 조 (姜熙照)



1994년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)
 1996년 8월 ~ 1997년 8월 : 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1990년 3월 ~ 2003년 2월 : 동신대학교 전자정보통신 공학부 교수
 2003년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선통신, 디지털콘텐츠, RFID 등