
WAVE 시스템에서 미드앰블을 이용한 채널 등화 방식

홍대기* · 강법주**

Channel Equalization Schemes using Midamble for WAVE Systems

Dae-Ki Hong* · Bub-Joo Kang**

이 논문은 2010년도 지역혁신인력양성사업 연구비를 지원받았음

요 약

차량 간 통신을 위한 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment) 시스템의 물리계층 표준은 기존에 정지환경을 기반으로 표준화된 IEEE802.11a 무선랜 (WLAN: Wireless Local Area Network)의 물리계층 표준을 따르는 것으로 되어 있다. 따라서 이동환경에 기반한 WAVE 시스템에서 단순한 등화방식을 적용할 경우 빠른 페이딩의 영향으로 인하여 프레임 초기 채널특성과 말기 채널특성의 변화가 초래되어 시스템의 수신 성능이 저하되게 되고, 특히 고차 변조방식에서는 더욱 문제가 된다. 따라서 본 논문에서는 WAVE 시스템의 64-직교진폭변조 (QAM: Quadrature Amplitude Modulation) 과 같은 고차 변조에서 채널 등화성능을 향상시키는 방식에 대해 연구하였다. 훈련 심볼을 이용하는 기존의 채널 추정방식을 기반으로 하되 WAVE 채널처럼 빠르게 변화하는 채널특성을 추적하기 위해 일정한 주기 마다 미드앰블을 삽입하는 전송구조를 제안하였다. 또한 미드앰블 사이의 심볼들의 채널 변화는 다양한 보간법을 적용한 등화 알고리즘을 제안하였다.

ABSTRACT

A Wireless Access for Vehicular Environment (WAVE) system based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is made for vehicle to vehicle wireless communications. The physical layer standard of the WAVE system is very similar to that of the IEEE802.11a wireless local area network (WLAN). Therefore, the performance of the WAVE system is degraded by continual channel variation in the WAVE multipath fading channels after starting initial channel estimation. In this paper, we research the performance improvement of equalization in 64 Quadrature Amplitude Modulation (QAM) transmission in WAVE environment. The proposed algorithms use the training sequence and the midamble sequence which is used for fast channel variation such as WAVE environments. Additionally, various interpolation methods are also used for the channel tracking.

키워드

직교 주파수 분할 다중화, 차량간 통신, 무선랜, 다중경로페이딩, 채널등화

Keyword

OFDM, WAVE, WLAN, Multipath Fading, Channel Equalization

* 상명대학교 (hongdk@smu.ac.kr)

** 동국대학교 (bjkang@dongguk.ac.kr)

접수일자 : 2010. 05. 25

심사완료일자 : 2010. 06. 22

I. 서 론

IEEE 802.11p를 기반으로 표준화가 진행되고 있는 WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment) 표준은 지능형 교통 체계 (ITS: Intelligent Transportation System)에서 노면장치와 차량 (V2I: Vehicle to Infra) 또는 차량 사이의 통신 (V2V: Vehicle to Vehicle)을 통하여 공공의 안전 및 개인 통신을 지원하는 중·단거리 무선 데이터 통신 서비스이다 [1].

WAVE의 물리 계층은 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술에 기반을 두고 있다 [2]. OFDM은 최근 차량 간 통신 시스템 외에도 무선랜 (WLAN: Wireless Local Area Network), 그리고 기간 통신 시스템의 물리계층 기반 기술로 널리 사용되고 있는 기술이다.

IEEE802.11a WLAN 기술 [3]도 역시 OFDM 기술을 이용하고 있는데 이 기술은 정지 환경을 기반으로 설계되었다. 즉 WLAN에서는 OFDM 채널 추정을 위해 긴 훈련 심볼 (LTS: Long Training Sequence)을 기반으로 하는 단일 탭 등화기로 채널을 추정하여 프레임이 끝날 때까지 동일한 채널 추정 값을 적용하여 보상하게 된다. 즉 WLAN에 기반한 WAVE 표준도 근본적으로 이동환경에 기초하여 설계된 시스템이 아니므로 이후에 채널을 추적하기 위한 적절한 방법이 없게 되는 모순이 발생한다. 차량 간 통신에 대한 전체적인 형태 및 프레임 구조 등은 참고문헌 [2][3][4]에 자세히 나타나 있다.

그러나 차량 간 통신과 같은 매우 빠른 이동환경에서는 위에서 설명한 단순 채널 추정 값만으로 WAVE 프레임의 끝 부분까지를 보상하기에는 문제가 있다. 특히 OFDM 시스템은 채널 추정 오차에 대해 큰 민감성을 보이고 있는데 [5], WAVE 시스템에서는 시속 120km까지의 차량 속도에서도 통신이 이루어져야 하므로 초기 채널 추정 이후에 차량의 이동에 의한 채널 변화 때문에 채널 추정 값의 오차가 생기고 이 오차는 WAVE 시스템의 수신 성능을 감소시키는 결과를 초래하게 된다.

참고문헌 [5]에서는 이동 환경에서 WLAN을 적용하기 위해 미드엠블을 이용한 채널 추정 방식을 제안하였다. 그러나 제안기술이 느린 시변 채널을 갖는 환경에 대한 채널추정으로 채널추정방식이 한정되어 있는 문제가 있다. 빠른 시변 채널에 대한 채널 추적 실험 결과가

참고 문헌 [6]에 제시되었다. 그러나 이 문헌에서는 파일럿 부 반송파 만으로는 채널을 충분히 추적할 수 없다는 결과를 제시하고 있다.

본 논문에서는 채널 추정의 변화를 보상해 주기 위한 새로운 채널 추정 방식을 제안한다. 이를 위해 우리는 기존의 WAVE 프레임 형식에 일정한 주기마다 송수신기간 약속된 정보 신호인 미드엠블 (Midamble)을 삽입하여 전송하는 구조를 제안한다. 이 미드엠블은 LTS와 같은 패턴을 이용한다. 제안된 알고리즘에서는 이 미드엠블을 사용하고 지속적으로 채널을 추적하여 보상한다. 특히 정확한 채널 값 추적을 위해 다양한 보간 알고리즘을 이용한다.

실험결과에 의하면 제안된 알고리즘은 WAVE 페이딩 채널 환경에서 시스템의 수신 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 WAVE 물리 계층 표준 및 WAVE 채널 그리고 미드엠블에 대해 설명하고 있다. 제 III장에서는 LTS와 동일한 형태를 갖는 미드엠블이 포함된 전송 프레임 구조를 제시하고 있다. 제 IV장에서는 본 논문의 주제인 채널 추정 및 등화 알고리즘을 제안하고 있다. 제 V장에서는 모의실험 결과를 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 제시하고 있다. 마지막으로 제 VI장에서는 결론을 맺고 있다.

II. WAVE 시스템

제 II장에서는 먼저 WAVE 물리계층 전송 표준에 대해 설명한다. 그리고 본 논문에서 사용된 WAVE 페이딩 채널에 대해 설명한다. 마지막으로 미드엠블의 특성에 대해 설명한다.

1. WAVE 물리계층 변조표준

WAVE에서 채택한 변조방식의 예가 표 1에 나타나 있다. 다양한 데이터 율을 수용하기 위해 Binary Phase Shift Keying (BSPK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), 16 Quadrature Amplitude Modulation (QAM), 64QAM 등의 변조방식이 사용된다. 변조 방식에 따라 다양한 채널 부호화율이 정의되어 있다. WAVE 물리계층의 주요 파라미터는 표 2에 나타나 있다.

표 1. WAVE에서 사용된 변조방식
Table 1. Modulation Scheme for WAVE

Modulation	Coding Rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSK})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})
BPSK	1/2	1	48	24
BPSK	3/4	1	48	36
QPSK	1/2	2	96	48
QPSK	3/4	2	96	72
16-QAM	1/2	4	192	96
16-QAM	3/4	4	192	144
64-QAM	2/3	6	288	192
64-QAM	3/4	6	288	216

표 2. WAVE 물리계층의 주요 파라미터
Table 2. Several Parameter of WAVE PHY

파라미터	값
Bandwidth	10MHz
FFT size	64
Number of data subcarriers	48
Number of pilot subcarriers	4
Number of subcarriers(total)	52
Subcarrier frequency spacing	0.15625MHz
Signal bandwidth	8.28MHz
IFFT/FFT period	6.4 μ s
GI duration	1.6 μ s (6.4/4)
Symbol interval	8.0 μ s (6.4+1.6)

2. WAVE 페이딩 채널 모델

제 2절에서는 WAVE 페이딩 채널을 모델링 해봄으로써 WAVE 채널의 특성을 파악해 본다.

차량 간 채널에 대한 페이딩 특성은 참고문헌 [7]에서 연구되었다. 표 3은 [7]에서 제시한 채널 모델 중 하나의 채널 프로파일을 나타낸 것이다.

표 3은 속도가 140km/h로 이동하는 이동체에 관한 것이며 송신 이동체와 수신 이동체 사이의 거리는 300-400m인 경우이다.

본 논문에서는 채널 프로파일을 시뮬레이터로 구축함에 있어서 다소의 근사를 수행하였다. 먼저 주어진 탭 번호(Tap No.) 중 가장 첫 번째 경로(Path No.)만을 고려

하였다. 두 번째 경로부터는 그 상대적인 전력이 작고 첫 번째 경로에 대한 상대적인 지연 값이 매우 작으므로 근사가 가능하다. 이 가정을 적용함에 따라 실제 설계된 시뮬레이터의 채널 값들은 표 3에서 요구하는 값에 비해 오차가 있지만 그 오차의 양은 그다지 크지는 않을 것으로 예상된다. 이러한 가정을 적용한 새로운 지연 프로파일을 표 4에 다시 나타내었다.

표 3. WAVE에서 페이딩 채널 프로파일
Table 3. Fading Channel Profile for WAVE

Tap No.	Path No.	Tap Power (dB)	Relative Path Loss (dB)	Delay Value (ns)	Fading Doppler (Hz)
1	1	0.0	0.0	0	60
1	2		-24.9	1	858
1	3		-25.5	2	486
2	4	-6.3	-13.1	100	655
2	5		-7.5	101	56
3	6	-25.1	-28.9	200	823
3	7		-29.3	201	75
3	8		-35.6	202	99
4	9	-22.7	-25.7	300	110
4	10		-34.4	301	639
4	11		-27.4	302	858

표 4. 근사된 페이딩 채널 프로파일
Table 4. Approximated Fading Channel Profile

	Path Loss (dB)	Delay Value (ns)	Fad. Dop. (Hz)	Fading	Fad. Spec. Shape
1	0.0	0	60	Rayleigh	Jake
2	-6.3	100	655	Rayleigh	Jake
3	-25.1	200	823	Rayleigh	Jake
4	-22.7	300	110	Rayleigh	Jake

아래의 그림 1은 새롭게 수정된 채널 모델을 이용하여 앞선 예와 같이 변조되지 않고 크기가 1인 반송파를 이용해 1000000개의 수신신호 샘플을 받아 본 결과이다. 그림 1의 첫 번째 그림은 수신신호의 동 위상 성분, 두 번째 그림은 직교 위상 성분, 마지막으로 세 번째 그림은 크기 성분을 표시한 것이다.

그림 1에 의하면 100000개의 수신샘플의 크기, 위상의 변화는 시간에 따라 급격하게 이루어진다. 따라서 WAVE 채널은 일반 정지 환경인 WLAN에 비해 다른 채널 추정 방식이 필요함을 알 수 있다.

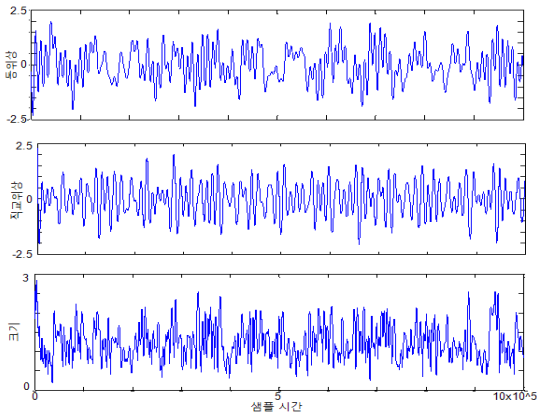


그림 1. 차량 간 통신에서 페이딩 채널의 예
Fig. 1. Fading Channel Example for WAVE

3. 미드엠블

여기에서는 수신측에서 심벌 지연을 추적하기 위해 필요한 송·수신기간 약속된 심벌(미드엠블)에 대해서 설명한다. 미드엠블은 표준에 제시된 식 (1)의 LTS를 사용하였다 [3].

$$LTS_{-26,26} = \{ 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 0, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1 \} \quad (1)$$

그림 2에서 보는 바와 같이 시간축에서 LTS의 상관 특성은 동기가 될 때 최대가 되고 샘플이 지연될수록 상관 값이 작아지게 된다.

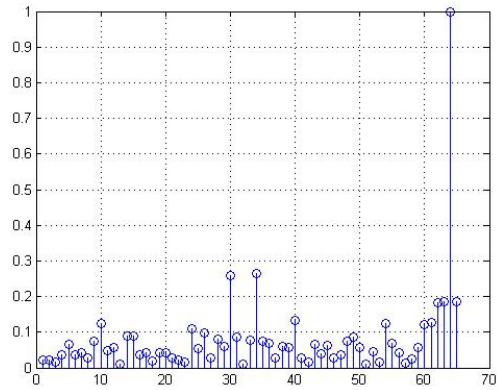


그림 2. LTS의 자기상관 함수
Fig. 2. Autocorrelation Function of LTS

III. 제안된 전송 프레임 구조

제 III장에서는 제안된 WAVE 전송 프레임 구조에 대해서 제안한다. 그림 3은 OFDM 전송 심벌에 일정한 주기로 삽입된 미드엠블을 포함한 WAVE 전송 프레임 구조를 나타낸다. 이 전송 프레임 구조는 미드엠블이 포함된 것만 제외하고는 IEEE802.11a의 전송 프레임 구조와 완전히 동일하다.

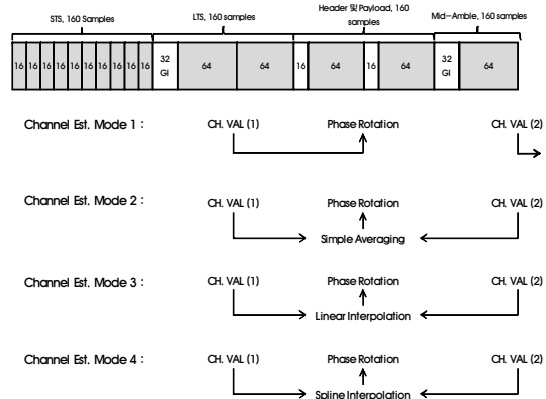


그림 3. 제안된 전송 프레임 구조 및 등화 방식들
Fig. 3. Proposed Transmit Frame and Channel Equalization Schemes

그림 3에서 포함되어 있는 숫자는 샘플의 개수를 의미한다. 미드엠블 전송주기는 변조방식에 따라 달라질 수 있는데 변조방식 별로 동일한 효율을 보장하기 위해서는 변조 방식의 전송률(스펙트럼 효율)이 높아질수록 짧게 설정해 주어야 한다. 한 예로서 BPSK인 경우에는 $80\mu s$ 정도로 설정할 수 있다. 이렇게 설정하면 WAVE 시스템에서 1심벌의 구간은 $8\mu s$ 이므로 10개의 OFDM 심벌마다 1개의 미드엠블을 삽입한 것이 된다.

그러나 64QAM처럼 스펙트럼 효율이 높은 시스템은 위의 경우보다 짧은 $40\mu s$ 정도 혹은 그보다 작은 주기로 미드엠블을 삽입하여야 한다. 본 논문에서는 심벌들과 미드엠블 한 구간을 채널 추정 간격으로 설정하고 한다.

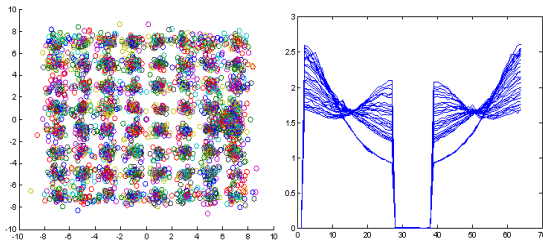


그림 4. 64QAM 성상도 및 채널 값 변화
Fig. 4. 64QAM Constellation and Channel Value Variation

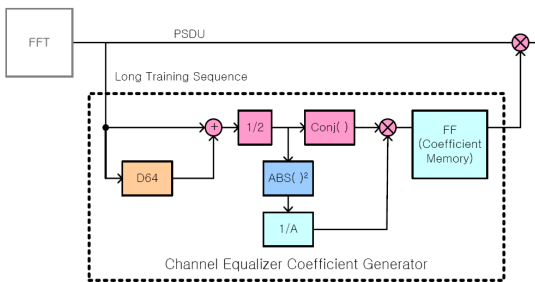


그림 5. 채널 등화기의 구조
Fig. 5. Channel Estimation Structure

IV. 제안된 등화 알고리즘

제 IV장에서는 미드엠블이 삽입한 수신신호에 대한 채널 추정 및 추적 알고리즘을 제안하고 있다.

그림 4의 왼쪽 그림은 신호 대 잡음비 (SNR: Signal-to-Noise Ratio) 20dB에서 WAVE 64QAM 수신신호의 정상도를 보여주고 있다. 많은 왜곡이 발생됨을 알 수 있다. 이를 주파수영역에서 채널 값에 대해서만 반송파 별로 그림을 그려보면 그림 4의 오른쪽 그림과 같이 나타나게 된다. 그림에서 x축은 반송파 번호이다. 하나의 곡선은 하나의 WAVE OFDM 심벌이 채널을 통과할 때 겪는 채널 값이다. 이동체의 이동속도가 빠른 WAVE 페이딩 채널에서는 채널 환경이 급격히 변하는 특성이 있음을 알 수 있으며 초기에 LTS를 이용해 추정된 채널 값으로 이후에 수신되는 모든 OFDM 데이터 심벌을 모두 보상하는 것은 문제가 있음을 알 수 있다.

또한 이 문제를 해결하기 위한 가장 효율적인 방식은 미드엠블을 이용한 보간 (Interpolation) 방식을 적용할 수 있다. 즉 미드엠블 구간에 채널을 반복적으로 재추정하여 데이터 구간의 채널 변화를 추적할 수 있도록 하는 것이다. 이때 중요한 것은 채널 추정 간격이다.

최적의 방법은 미드엠블을 최대한 많이 포함시켜 빈번한 채널 추정이 가능하게 하면 된다. 그러나 이런 경우 전송효율이 급격히 떨어지는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 방법은 미드엠블이 포함되지 않은 데이터 구간에서는 미드엠블에서 추정된 채널 값을 이용하여 보간을 수행하는 것이다. 본 연구에서는 다양한 보간방식을 이용하여 채널의 변화를 추적하였다.

그림 3에서는 매 미드엠블마다 새로운 채널 추정 값을 얻어낼 수 있음을 보이고 있으며 채널 추정 값을 얻어내기 위한 채널 등화기의 구조가 그림 5에 나타나 있다.

먼저 가장 첫 번째 채널 추정 방식 즉 등화 모드 1 (Channel Estimation Mode 1)은 매 미드엠블에서 추정된 채널 추정 값을 다음 미드엠블 전의 데이터 부분에 일괄적으로 적용하는 방식이다. 이 방식은 가장 간단한 방식이며 보간이 전혀 적용되지 않은 방식이다. 단지 이 방식은 다른 방식과 비교를 위한 기준이 된다.

두 번째 채널 추정 방식 즉 등화 모드 2는 매 미드엠블에서 추정된 채널 추정 값 사이의 데이터는 두 채널 추정 값의 평균값으로 복원하는 방식이다. 채널의 변화가 발생할 경우 등화 모드 1보다는 좀 더 잘 추적할 수 있지만 미드엠블간의 데이터에 대해 모두 동일한 채널 추정 값으로 보상하므로 추정 성능이 만족스럽지 못할 수도 있다.

세 번째 채널 추정 방식 즉 등화 모드 3은 매 미드엠블에서 추정된 채널 추정 값을 선형으로 보간하여 데이터를 복원하는 방식이다. 이 방식은 간단하면서도 채널의 변화를 잘 추적할 수 있으리라 기대할 수 있다. 그러나 이 방식은 항상 선형으로만 채널 추정 값을 보간하기 때문에 급격한 채널 변화나 국지적인 채널의 변화를 충분히 따라갈 수 없는 단점이 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 약간은 복잡한 2차 보간 방식 즉 등화 모드 4를 적용할 수도 있다.

V. 실험 결과

본 장에서는 제안된 시스템을 WAVE 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 SNR에 따른 비트 오류 (BER: Bit Error Rate) 및 패킷 오류 (FER: Frame Error Rate)를 실험하여 제안된 심벌 시간 추적 알고리즘의 성능을 검증하기로 한다.

1. 실험 환경

실험에서 변조방식은 64QAM를 이용하였다. 페이딩 채널은 앞서 설명한 WAVE 페이딩을 간략화한 모델을 사용하였으며 탭의 개수는 13개로 하였다[8][9]. 실험을 수행하는 SNR의 범위는 WAVE 페이딩의 경우 10dB~38dB로 수행하였다.

미드엠블은 2개 혹은 6개의 OFDM 심벌마다 한 번씩 삽입하였다. 프레임의 길이는 10개의 채널 추정 간격(즉 미드엠블의 삽입주기가 6개일 때 $(1+6) \times 10 = 70$ 개의 OFDM 심벌)으로 하였다.

2. 등화모드 1의 성능

그림 6에서는 64QAM에서 단순 등화기 (등화모드1)의 성능을 보여주고 있다. 성능의 비교를 위해 가산성 백색 가우스 잡음 (AWGN : Additive White Gaussian Noise) 채널과 Flat 페이딩 채널에서 이상적인 채널 추정을 적용할 때의 성능을 같이 보여주고 있다. 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 길이는 2개 혹은 6개로 설정하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 등화 모드 1은 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 길이에 관계없이 언제나 채널의 변화를 충분히 잘 추적하지 못하고 있음을 알 수 있다. 즉 이상적인 채널 추정을 적용한 Flat 페이딩의 성능에 비해 성

능의 열화가 매우 큼을 알 수 있다. 또한 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 길이가 길어지면 BER 성능이 더 열악해짐을 볼 수 있다. 따라서 등화모드 1은 채널의 변화를 잘 추적하지 못하며 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 길이가 길어질수록 더욱 채널 변화를 추적하지 못하고 있음을 알 수 있다.

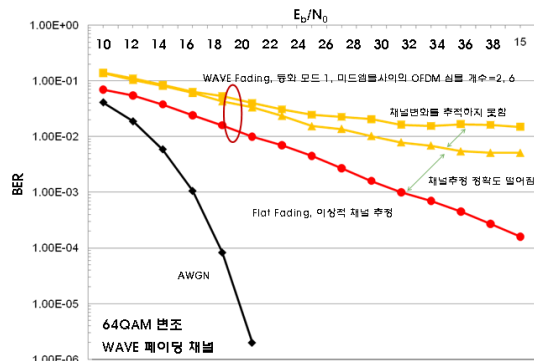


그림 6. 등화모드 1의 성능
Fig. 6. Performance of Equalization Mode 1

3. 등화모드 2의 성능

그림 7에는 등화모드 2의 성능을 등화모드 1의 성능과 함께 보여주고 있다. 등화모드 2의 BER 성능은 등화모드 2에 비해 개선됨을 알 수 있다.

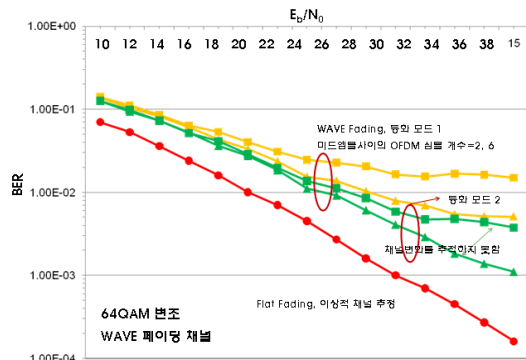


그림 7. 등화모드 2의 성능
Fig. 7. Performance of Equalization Mode 2

그러나 여전히 이상적인 채널 추정을 적용한 Flat 페이딩의 성능에 비해 성능의 열화가 매우 큼을 알 수 있다. 또한 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 길이가 2개일

때에 비해 6개일 때는 성능이 매우 열화됨을 알 수 있다. 이로서 등화모드 2는 여전히 채널의 변화를 잘 추적하지 못함을 알 수 있다.

4. 등화모드 3 및 4의 성능

그림 8에는 등화모드 3 및 등화모드 4의 성능을 보여 주고 있다. 네 개의 곡선이 거의 겹쳐있다. 등화모드 3의 BER 성능이 매우 개선됨을 알 수 있다. 특히 그림 6과 7의 성능곡선에 대비해 중요한 차이점이 있는데 이는 바로 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 개수에 관계없이 비슷한 성능을 보인다는 것이다. 이는 선형보간 방식이 채널의 변화를 잘 추적함을 의미한다. 따라서 선형 보간 방법은 WAVE 채널에서 전송효율을 높일 수 있는 방법이다.

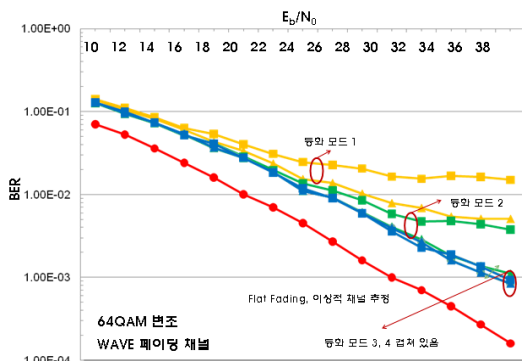


그림 8. 등화모드 3, 4의 성능
Fig. 8. Performance of Equalization Mode 3, 4

역시 등화모드 4도 미드엠블 사이에 OFDM 심벌의 개수에 관계없이 비슷한 성능을 보인다. 그러나 이차 보간의 복잡도에 비해 선형보간 대비 성능의 개선이 미미하므로 굳이 이차보간을 이용할 필요가 없음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 WAVE 시스템의 64QAM 변조에서 채널추정 성능을 향상시키는 방식에 대해 연구하였다. 혼련 심벌을 이용하는 채널추정 기법을 기반으로 하되

WAVE 채널처럼 빠르게 변화하는 채널을 추적하기 위해 일정한 주기마다 미드엠블을 삽입하는 전송구조를 제안하였다. 또한 미드엠블 사이의 심벌들이 겪은 채널의 변화를 다양한 보간법을 적용하여 추적하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 모의실험을 위하여 미드엠블이 추가된 패킷을 이용하여 페이딩 채널 환경에서의 BER 성능을 평가 하였다. 실험 결과로 제안된 알고리즘을 적용한 시스템은 WAVE 채널환경에서 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 제안된 시스템은 차량간 통신 시스템에서 채널 값을 잘 추정함으로써 차량간 통신에서 수신 성능을 높일 수 있는 효과가 있음을 확인 하였다.

참고문헌

- [1] 현 트롱안, 김진상, 조원경, "OFDM 기반 WAVE 시스템의 시간동기 하드웨어 설계," 한국통신학회논문지, '08-04, Vol. 33, No. 4
- [2] IEEE P802.11p/D1.0, Wireless LAN Medium Access control (MAC) and Physical PLayer(PHY) Specification - Amendment 3: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE).
- [3] "802.11a, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications". 1999
- [4] Hyun Seo Oh, Sang In Kim, Hyun Kyun Choi, Kyeong Soo Han, Sang Woo Lee, Dong Yong Kwak, "Performance analysis of Vehicle Multi-hop Communication (VMC) Technology," International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2008., 22-24 Sept. 2008 Page(s):354 - 358
- [5] Grunheid, R., Rohling, H., Jianjun Ran, Bolin, E., Kern, R., "Robust channel estimation in wireless LANs for mobile environments," VTC 2002-Fall, Vol. 3, 24-28 Sept. 2002, pp.1545-1549
- [6] Sang In Kim, Hyun Seo Oh, Hyun Kyun Choi, "Mid-amble aided OFDM performance analysis in high mobility vehicular channel." Intelligent Vehicles Symposium 2008, 4-6 June 2008, pp.751-754

- [7] G. Acosta-Marum, "Measurement, Modeling, and OFDM Synchronization for the Wideband Mobile-to-Mobile Channel," A Ph. D. Dissertation in Georgia Institute of Technology, May, 2007.
- [8] Hiroshi Harada and Ramjee Prasad, Simulation and software radio for mobile communications, Artech House, 2002
- [9] B. Sklar, Digital Communications : Fundamentals and Applications, Prentice-Hall, 2001.

저자소개



홍대기(Dae-Ki Hong)

1997년 광운대학교 컴퓨터공학과
학사

1999년 연세대학교 전자공학과
석사

2003년 연세대학교 전기전자공학과 박사

2006년 전자부품연구원 선임연구원

2006년~현재 : 상명대학교 정보통신공학과 조교수

※ 관심분야: 무선통신, 정보통신, 이동통신, 무선
LAN/PAN



강법주(Bub-Joo Kang)

1983년 경희대학교
전자공학과(공학사)

1985년 연세대학교
전자공학과(석사)

1996년 연세대학교 전자공학과(박사)

1988년 2월~2001년 2월: ETRI 책임연구원

2001년 3월~현재: 동국대학교 정보통신공학부 부교수

※ 관심분야: 스펙트럼 센싱, 인지무선, 이동통신, 무선
통신