
WAVE 시스템에서 심볼 시간 추적 알고리즘

홍대기*

Symbol Time Tracking Algorithm for WAVE Systems

Dae-Ki Hong*

이 논문은 2007년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2007-313-D00317)

요 약

차량 간 무선 통신을 목적으로 만들어진 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 WAVE(Wireless Access for Vehicular Environment) 시스템의 물리층 표준은 기존에 표준화된 IEEE802.11a 무선랜(WLAN: Wireless Local Area Network)의 표준을 따르는 것으로 되어 있다. 따라서 WAVE는 초기 동기 이후 차량 간 다중 경로 페이딩(Multipath Fading) 채널의 영향으로 인하여 심볼 타이밍에 있어서 연속적인 시간 지연이 발생함에 따라 시스템의 수신 성능이 저하되게 된다. 본 논문은 추가적인 심볼 시간 지연을 보상해 주기 위한 심볼 시간 추적(Tracking) 알고리즘을 제안하고 있다. 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 최대 지연 시간(Maximum Timing Delay)이 적용된 최악의 통신환경에 적용하여 모의실험을 수행하였다. 실험결과에 의하면 제안된 알고리즘은 가산성 백색 가우스 잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise) 채널 및 페이딩 채널 환경에서 시스템의 수신 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

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 timing delay in the WAVE multipath fading channels after starting initial timing synchronization. In this paper, the tracking algorithm that synchronizes symbol timing is proposed to continually compensate additional timing delay. Computer simulation of the proposed algorithm is performed in the worst communication environments that apply to maximum timing delay. Computer simulation shows that the proposed algorithm can improve the system performance in various channel conditions.

키워드

OFDM, WAVE, 다중경로페이딩, 최대시간지연, 시간동기

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 노변장치와 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 물리층 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 심볼 시간 동기를 위해 먼저 짧은 훈련 심볼 (STS: Short Training Sequence)을 이용하여 개략적인 심볼 시간 동기를 획득하고, 긴 훈련 심볼 (LTS: Long Training Sequence)을 이용하여 미세한 심볼 시간 동기를 획득하게 된다. WLAN 표준은 근본적으로 이동환경에 기초하여 설계된 시스템이 아니므로 이후에 심볼 동기를 추적하기 위한 어떠한 작업을 요구하지 않으며 또 수행할 필요도 없다. 따라서 처음 잡아낸 심볼 시간 동기를 WAVE 프레임의 끝까지 유지하게 된다.

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 심볼 시간 동기만으로 WAVE 프레임의 끝 부분까지 심볼 시간 동기를 유지하기에는 문제가 있다. 특히 OFDM 시스템은 시간 동기 오차에 대해 큰 민감성을 보이고 있는데[5], WAVE 시스템에서는 시속 120km까지의 차량 속도에서도 통신이 이루어져야 하므로 초기 동기 이후에 차량의 이동에 의한 시간 지연 때문에 시간 동기 오차가 생기고 이 오차는 WAVE 시스템의 수신 성능을 감소시키는 결과를 가져오게 되는 문제점이 있다.

참고문헌 [6]에서는 이동 환경에서 WLAN을 적용하기 위해 미드앰블을 이용한 채널 추정 방식을 제안하였다. 그러나 느린 시변 채널을 갖는 환경에 한정되어 있는 문제가 있다. 빠른 시변 채널에 대한 채널 추적 실험 결

과가 참고 문헌 [7]에 제시되었다. 특히 이 문헌에서는 파일럿 부 반송파 만으로는 채널을 충분히 추적할 수 없다는 결과를 제시하고 있다. 그러나 심볼 시간 추적에 대한 언급이 없다.

본 논문에서는 추가적인 심볼 시간 지연을 보상해 주기 위한 심볼 시간 추적 (Tracking) 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 우리는 기존의 WAVE 프레임 형식에 일정한 주기마다 송·수신기간 약속된 정보 신호인 미드앰블 (Mid-Amble)을 끼워 전송하는 구조를 제안한다. 이 미드앰블은 LTS와 같은 패턴을 이용했다. 제안된 알고리즘에서는 이 미드앰블의 상관특성을 사용하여 지속적으로 심볼 시간을 추적 보상한다. 특히 정확한 심볼 시간 추적을 위해 다양한 탐색 알고리즘을 이용한다.

본 논문에서는 제안된 알고리즘을 최대 지연 시간 (Maximum Timing Delay)이 적용된 최악의 통신환경에 적용하여 모의실험을 수행하였다. 실험결과에 의하면 제안된 알고리즘은 가산성 백색 가우스 잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise) 채널 및 페이딩 채널 환경에서 시스템의 수신 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사용된 WAVE 채널 및 WLAN에서 사용되는 LTS의 상관특성에 대해 설명한다. 3장에서는 LTS와 같은 형태를 갖는 미드앰블이 포함된 전송 프레임 구조를 제시하고, 이에 따라 채널에서 발생할 수 있는 최대의 시간 지연을 구하여 차량 간 정확한 시간 지연을 논의하도록 한다. 또한 모의 실험을 위해 필요한 최대 프레임 길이를 구한다. 4장에서는 본 논문의 주제인 심볼 시간 추적 알고리즘을 제안한다. 5장에서는 모의실험 결과를 통하여 성능을 제시해 보도록 한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺도록 한다.

II. WAVE 채널 및 LTS 상관 특성

본 장에서는 먼저 본 논문에서 사용된 WAVE 페이딩 채널에 대해 설명한다. 그리고 LTS의 상관특성에 대해 설명한다.

1. WAVE 페이딩 채널 모델

본 장에서는 WAVE 페이딩 채널을 모델링 해봄으로

써 차량 간 무선 채널의 특성을 파악해 본다. 차량 간 채널에 대한 페이딩 특성은 참고문헌 [8]에서 연구되었다. 표 1은 [8]에서 제시한 채널 모델 중 하나의 채널 프로파일을 나타낸 것이다. 아래의 표는 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.) 증가장 첫 번째 경로(Path No.)만을 고려하였다. 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 1에서 요구하는 값에 비해 오차가 있지만 그 오차의 양은 그다지 크지는 않을 것으로 예상된다. 이러한 가정을 적용한 새로운 지연 프로파일을 표 2에 다시 나타내었다.

표 1. 차량 간 통신에서 페이딩 채널 프로파일
Table 1. 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 2. 근사된 페이딩 채널 프로파일
Table 2. Approximated Fading Channel Profile

	Path Loss (dB)	Delay Value (ns)	Fad. Dop. (Hz)	Modulation	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 받아본 결과이다. 첫 번째 그림은 수신신호의 동 위상 성분, 두 번째 그림은 직교 위상 성분, 마지막으로 세 번째 그림은 크기 성분을 표시한 것이다. 그림에 의하면 100000개의 수신샘플의 크기, 위상의 변화는 시간에 따라 급격하게 이루어진다.

2. LTS 상관특성

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

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

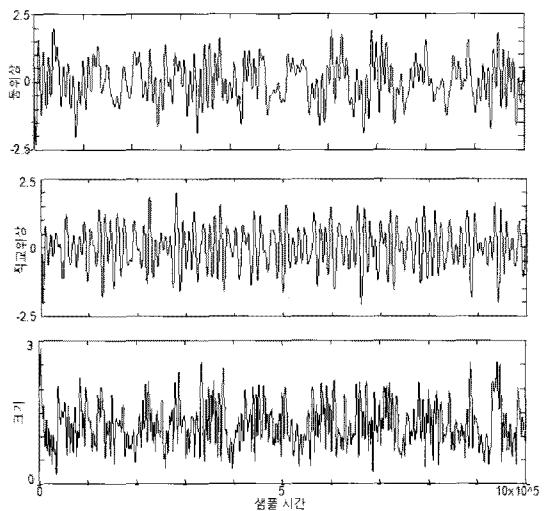


그림 1. 차량 간 통신에서 페이딩 채널의 예
Fig. 1. Fading Channel Example for WAVE

그림 2에서 보여 지는 바와 같이 시간축에서 LTS의 상관 특성은 동기가 될 때 최대가 되고 샘플이 지연될수

록 상관 값이 작아지게 된다. 이러한 상관 특성을 사용하여 지연되어 수신되고 있는 심볼의 시간동기를 지속적으로 추적한다.

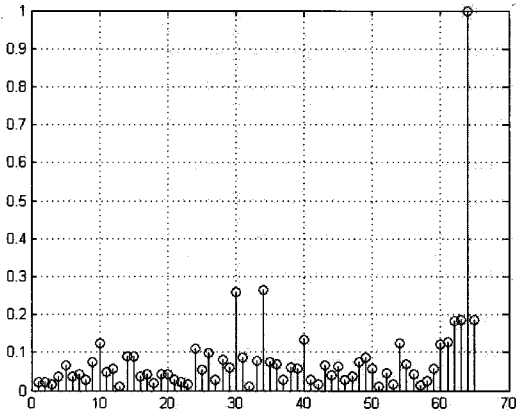


그림 2. LTS의 자기상관 함수
Fig. 2. Autocorrelation Function of LTS

III. 제안된 전송 프레임 구조

본 장에서는 제안된 WAVE 전송 프레임 구조에 대해서 제안하고, 이 때 발생할 수 있는 최대 전송 지연에 대해 알아본다. 마지막으로 실험에 적용하기 위한 WAVE 프레임의 최대 길이를 계산하도록 한다. 위의 모든 지식은 모의 실험을 정확히 수행할 수 있는 도구로 활용될 것이다.

1. WAVE 전송 프레임 구조

그림 3은 OFDM 전송 심볼에 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. 그림에서 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 이진 위상 천이 변조(Binary Phase Shift Keying : BPSK)인 경우에는 80μs 정도로 설정할 수 있다. 이렇게 설정하면 WAVE 시스템

에서 1심볼의 구간은 8μs 이므로 10개의 OFDM 심볼마다 1개의 미드엠블을 삽입한 것이 된다. 본 논문에서는 심볼들과 미드엠블 한 묶음을 미드엠블 간 간격이라고 부르도록 한다. WAVE 물리층의 주요 파라미터는 표 3에 나타나 있다.

표 3. WAVE 물리층의 주요 파라미터
Table 3. 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	6.4μs
GI duration	1.6 μs (6.4/4)
Symbol interval	8.0μs (6.4+1.6)

2. 최대 심볼 지연

제안된 시스템을 모의실험 하기 위해서는 미드엠블이 포함된 프레임이 WAVE 채널에 의해 최대 어느 정도의 심볼 지연이 발생 하는지 알아야 한다. 전송 프레임의 초기 동기는 LTS에서 이루어 졌다고 가정하고 이후의 전송 프레임의 추가적인 지연을 계산하도록 한다. 제안된 시스템에서 심볼 시간 추적은 미드엠블 간 간격을 주기로 동작하기 때문에 전송 프레임의 미드엠블 간 간격 기준으로 심볼 지연을 계산한다. 여기서 미드엠블 간 간격은 앞서 언급한 바와 같이 10개의 데이터 심볼과 1개의 미드엠블을 포함하여 11심볼로 하였다.

시간지연을 발생시키는 가장 중요한 두 가지 요인인 이동하는 차량 간 속도차이 그리고 송·수신간의 오실레이터 사이의 부정합(Oscillator Mismatch)을 들 수 있다. 따라서 이 두 가지 경우를 기준으로 프레임의 최대 시간 지연을 계산한다.

A. 차량 간 속도차에 의한 심볼 지연

앞서 설명한 바와 같이 초기동기 이후 프레임이 지속적으로 수신되면 차량의 이동에 의한 추가적인 시간 지

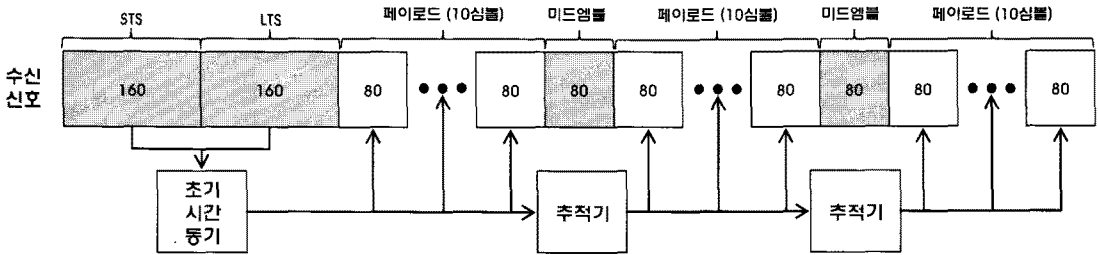


그림 3. WAVE 전송 프레임 구조 및 심볼 시간 추적기
 Fig. 3. WAVE Transmission Frame Structure and Symbol Time Tracker

연이 발생하게 된다. 만약 통신을 하고 있는 두 차량의 속도차가 500km/h라고 하면 미드엠블 간 간격내에서 이동 거리는 $88\mu\text{s}(\text{미드엠블 간 간격}) \times 138.89\text{m/s}(\text{차량 속도}) = 0.0122\text{m}$ 이다. 이 거리 동안 전송 신호의 파형이 이동하는데 걸리는 시간은 $0.0122\text{m} \times 3 \times 10^8\text{m/s} = 0.000041\mu\text{s}$ 이다. 따라서 차량 간 속도 차가 500km/h라고 가정했을 때 $0.1\mu\text{s} / 0.000041\mu\text{s}$ 에 의해 약 2439개의 미드엠블 간 간격이 지난 후에 1샘플 지연이 발생하게 된다는 결론을 얻을 수 있다. 여기서 $0.1\mu\text{s}$ 는 1샘플 구간이다[2][3].

B. 오실레이터 부정합에 의한 심볼 지연

IEEE802.11p WAVE 규격에 의한 심볼 클럭 주파수 허용 한계 (symbol clock frequency tolerance)는 최대 $\pm 20\text{ppm}$ (parts per million), 즉 수신측에서 전송신호를 50000번 샘플 한다고 했을 때 ± 1 개의 샘플 오차가 발생하는 것을 허용한다는 의미이다. 따라서 5000샘플을 11개의 미드엠블 간 간격동안의 샘플 개수 880으로 나누면 56.8개의 미드엠블 간 간격이 지난 후에 1샘플 지연이 발생한다는 결론을 얻는다. 송·수신 모뎀의 최악의 주파수 부정합을 고려했을 때 클럭 주파수 허용한계의 범위는 $\pm 40\text{ppm}$ 까지 넓어진다. 따라서 최악의 경우 미드엠블 간 간격은 $56.8/2 = 28.4$ 개로 더 좁아진다[2][3].

3. 프레임의 최대 길이 계산

앞서 두 예를 통하여 1샘플 지연이 발생할 동안의 미드엠블 간 간격의 개수를 계산 보았다. 두 예에서 계산된 결과는 최악보다 더 엄격한 환경에서의 데이터를 바탕으로 계산된 것이므로 문제가 없다고 본다. 최종적으로 전체 전송 프레임의 최대 지연을 계산해야 하므로 미드엠블이 포함된 송신 프레임의 최대 길이를 알아야

한다.

WAVE 표준 [3]에 의한 정보데이터의 최대 길이는 4095옥텟(Octets)이다. 따라서 총 32760비트가 사용된다. 또한, 하나의 OFDM 심볼 당 최소 데이터 비트 수는 24비트 이므로 프레임의 최대 심볼 길이는 $32760/24 \times 1.1 = 1502$ 심볼이다. 여기서 1.1을 곱한 것은 데이터 심볼 10개중 1개의 미드엠블을 고려한 것이다. 결국, 1502심볼을 미드엠블 간 간격 11개로 나누면 약 137개의 미드엠블 간 간격이상의 프레임은 발생하지 않는다는 결론을 얻는다. 지금까지 구한 계산결과를 종합해보면 미드엠블 간 간격은 137개를 넘지 않고 차량 속도 차에 의한 계산결과 (2439간격)는 최대 프레임길이 137개를 벗어나기 때문에 무시될만하다. 오실레이터 부정합은 최악의 경우를 고려했을 때 28.4간격이기 때문에 최대 프레임 길이로 전송하였을 때의 최대 지연 시간은 $137/28.4 = 4.8$ 개 샘플이라는 결과를 얻을 수 있다.

IV. 제안된 심볼 시간 추적 알고리즘

본 장에서는 미드엠블이 삽입한 수신신호에 대한 심볼 시간 추적 알고리즘을 제안하고 설명하도록 한다. 그림 4는 본 논문에서 제안된 심볼 시간의 탐색 알고리즘을 보여주고 있다. 먼저 4배 오버 샘플된 수신 샘플이 수신기에 포함된 쉬프트 레지스터로 입력된다. 쉬프트 레지스터는 매 수신 샘플이 입력될 때마다 샘플 값이 하나씩 쉬프트 된다. 쉬프트 레지스터의 크기는 수신 샘플을 모두 저장하기 위해 320개로 구성되어 있으며 나중에 수신 심볼 시간 추적을 위해 양 옆으로 여유분을 두었다.

이 여유분은 최장의 프레임에서 최대 시간 지연이 발

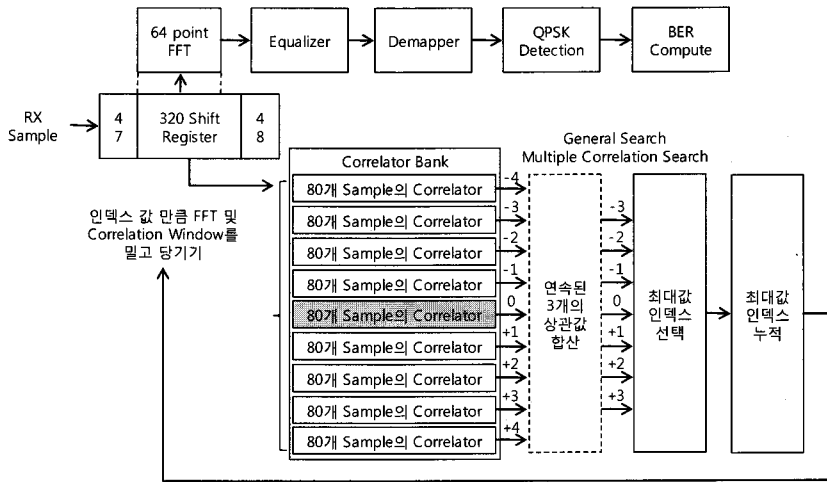


그림 4. 제안된 심볼 시간 추적기의 블록도
Fig. 4. Block Diagram of the Proposed Symbol Time Tracker

생활 때를 가정하여 이 최대 지연보다 길게 설정하였다. 예를 들어서 수신 패킷이 추적을 통해 1샘플 지연되었다는 정보를 얻었다고 하자. 지연된 패킷을 보상해 주기 위해 1샘플 당겨서 FFT (Fast Fourier Transform : 고속 역 푸리에 변환)를 수행한다고 하자. 그러나 그전의 데이터는 동기가 되어 FFT를 수행했기 때문에 마지막 1샘플을 가져 올 수 없다. 따라서 따로 샘플을 저장해야 할 공간을 만들어 줘야한다. 이러한 역할을 쉬프트 레지스터가 수행한다. 쉬프트 레지스터는 FFT크기(64샘플)에 한 패킷의 최대 지연이 될 수 있는 샘플(4.8개) 개수만큼의 추가적인 저장 공간이 필요하다. 밀고 당기는 것을 고려한다면 9.6개정도가 필요하다고 할 수 있다. 상관기 뱅크에서는 모두 9개의 상관기가 존재하는데 각 상관기에서 한쪽의 입력은 4배 오버샘플된 수신신호를 매 4배마다 가져온 샘플이며 다른 한 쪽의 입력은 미리 수신기에서 알고 있는 미드엠블 수열의 시간 지연된 샘플이다.

그림 4에서 추적기는 미드엠블이 들어오는 시점부터 상관을 수행한다. 수신기로 매 샘플이 들어 올 때 마다 쉬프트 레지스터(Shift Resister)에 샘플이 저장된다. 상관기 뱅크에 있는 상관기의 샘플 개수는 시스템 복잡도에 따라 64또는 80사이 에 결정 가능하다. 각각의 상관기는 미드엠블을 +1~+4를 지연시킨 것, 원래의 미드엠블, 그리고 -1~-4만큼 미리 들어온 샘플들 이다. 9개의 상관기와 수신된 미드엠블은 상관을 수행 하여 9개의 출력결

과를 얻는다.

상관기 뱅크에 있는 상관기들 중 5번째 상관기는 원래의 미드엠블이다. 따라서 패킷이 지연되지 않고 수신되어 상관기들과 상관을 수행했을 때 그림 5의 (a)와 같이 5번째에서 최대값을 얻는다. 이와 마찬가지로 1/4샘플이 지연 되어 수신되었다면 그림 5의 (b)와 같이 5번째에서 최대 값을 얻지만 약간 크기가 작아진다. 패킷의 지연 정도는 중심인덱스 5와 최대 값을 가리키는 인덱스의 차로 탐색 할 수 있다. 예를 들어서 그림 5의 (e)에서의 최대 값의 인덱스 6에서 중심인덱스 5와의 차는 1이고 이 인덱스 값은 1샘플 지연 되었다는 의미이다. 최대 값 검출시 최대 값의 인접한 출력 값 보다 값의 차이가 클수록 검출이 용이하고 시스템 성능에도 영향을 끼친다.

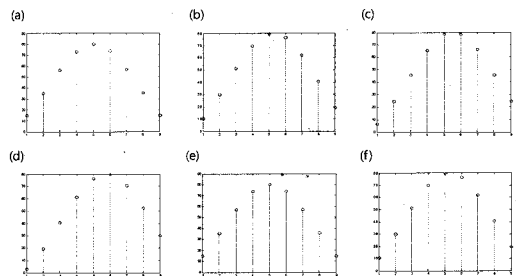


그림 5. 상관기 뱅크의 출력
Fig. 5. Correlator Bank Output

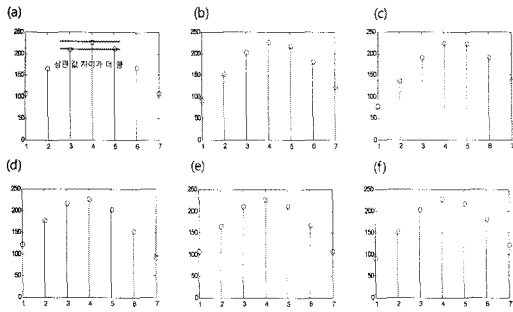


그림 6. MC 탐색의 출력
Fig. 6. MC Searcher Output

그림 4의 블록도에서 다중 상관 탐색 (MC Search: Multi-Correlation Search) 모드는 연속된 3개의 상관 값을 합산하여 인접 상관 값들과의 차이를 더 크게 할 수 있다. 그림 6은 연속된 상관 값의 합을 나타낸다. 그림 6의 최대 값과 인접한 상관 값의 차이는 그림 5에 비해 더 크다는 것을 확인 할 수 있다. 이는 다음 장에 제시될 실험 결과에서 그 성능의 우수성이 설명될 것이다.

V. 실험 결과

본 장에서는 제안된 시스템을 AWGN 채널 및 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 신호 대 잡음비 (SNR: Signal to Noise Ratio)에 따른 비트 오류율 (BER: Bit Error Rate)을 실험하여 제안된 심볼 시간 추적 알고리즘의 성능을 검증하기로 한다.

1. 실험 환경

실험에서 변조방식은 직교 위상 천이 변조 방식 (QPSK: Quadrature Phase Shift Keying)을 이용하였다. 오버샘플링은 WAVE 시스템에서 기본 샘플율(10MSPs)의 4배(40MSPs)를 수행하였다. 시간 지연을 묘사하기 위해 sinc 보간기 (Interpolator)를 사용하였으며 이 보간기도 역시 기본 샘플의 4배를 오버샘플링 하였으므로 최대 정밀도는 OFDM 기본 샘플 율에 16배까지의 정밀도를 가지도록 시간 오프셋을 조정할 수 있다. 페이딩 채널은 앞서 설명한 WAVE 페이딩을 간략화한 모델을 사용하였으며 탭의 개수는 13개로 하였다[9][10]. 실험을 수행하는 SNR의 범위는 AWGN 채널의 경우 -10dB~2dB, 페이딩

의 경우 0dB~34dB로 수행하였다. 최대 시간 지연은 앞서 계산한 값 즉 500km/s의 속도에서 ±20ppm의 심볼 클럭 주파수를 갖는 경우로 하였다.

미드엠블은 10개의 OFDM 심볼마다 한 번씩 삽입하였다. 프레임의 길이는 12개 미드엠블 간격(즉 12×11=132개의 OFDM 심볼)으로 하였다. 본 논문에서 사용된 알고리즘을 이용하여 심볼 시간 추적을 하였을 때에 프레임의 길이는 성능의 변화를 주지 않음을 실험 결과를 통해 보일 것이다. 따라서 프레임의 길이는 고정시켜 실험하였다.

제안된 시스템의 성능을 5가지의 비교대상을 가지고 평가해 보았다. 각각의 비교실험 대상을 살펴보면 첫 번째 시간 지연을 발생시키지 않는 경우 (No Timing Offset, No Search), 두 번째 시간 지연을 발생시키고 지연을 완벽히 보상 해주는 경우 (With Timing Offset, Ideal Search), 세 번째 지연을 발생시키고 추적을 하지 않는 경우 (With Timing Offset, No Search), 네 번째 일반적인 탐색 (With Timing Offset, Simple Search)을 수행한 경우, 다섯 번째 다중 상관 탐색 (With Timing Offset, MC Search)을 수행한 경우들을 대상으로 하였다.

2. AWGN 채널에서의 성능

A. 심볼 시간 동기의 필요성

다음의 그림 7은 심볼 시간 지연이 발생하고 있는 AWGN 채널에서 심볼 시간 추적을 전혀 이용하지 않는 경우 (With Timing Offset, No Search) 수신기의 BER 성능을 보여주고 있다.

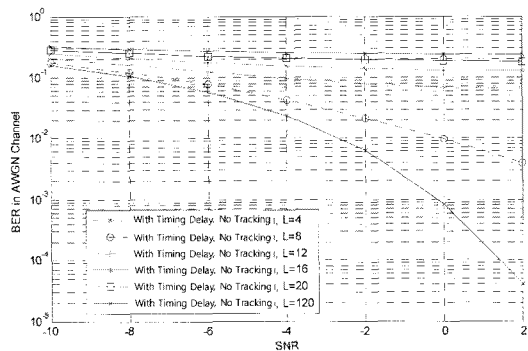


그림 7. AWGN 채널에서 심볼 시간 추적을 이용하지 않는 경우 프레임 길이에 따른 BER 성능
Fig. 7. BER Performance v.s. Frame Length in AWGN Channel

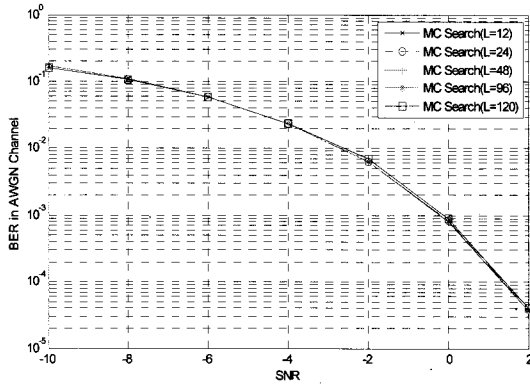


그림 8. AWGN 채널에서 다중 상관 추적을 이용하는 경우 프레임 길이에 따른 BER 성능
Fig. 8. BER Performance of MC Searcher in AWGN Channel

그림에서 L 은 머드렘블 간 간격의 개수 (즉 $L=4$ 이면 OFDM 심볼의 개수는 44개)를 의미한다. BER을 얻기 위해 주파수 오프셋 및 채널 등화는 가장 기본적인 방식으로 수행하였다. 그림에서 알 수 있듯이 L 이 길어지면 길어질수록 프레임의 끝에서 발생하는 시간지연이 점점 더 증가하므로 BER 성능이 열화되게 된다. 따라서 이 결과가 의미하는 바는 WAVE와 같은 채널에서는 심볼 시간 동기를 위한 추적이 반드시 이루어져야 한다는 것이다.

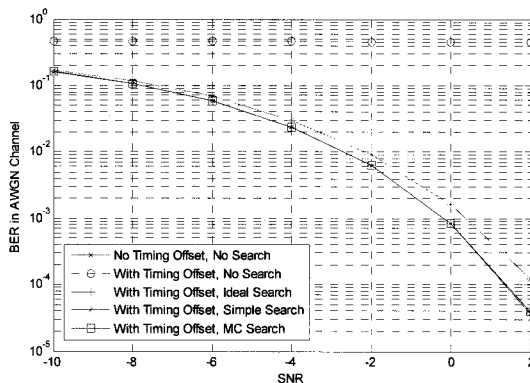


그림 9. AWGN 채널에서 다양한 추적 방식을 이용하는 경우 BER 성능
Fig. 9. BER Performance of Several Tracking Methods in AWGN Channel

B. 프레임 길이에 따른 제안된 알고리즘의 성능
그림 8에는 프레임의 길이에 따른 제안된 알고리즘의 성능을 보여주고 있다. 그림에서는 가장 성능이 우수할 것으로 보이는 다중 상관 탐색(With Timing Offset, MC Search) 알고리즘을 이용하였다. 본 논문에서 제안된 다중 상관 탐색 알고리즘을 적용하였을 때 수신기의 BER 성능은 현저히 개선되며 특히 프레임의 길이에 상관없이 일정한 성능을 보임을 알 수 있다.

C. 다양한 추적방식에 따른 성능
그림 9는 AWGN 채널의 경우에 앞서 설명했던 다섯 가지의 경우를 모두 실험하여 하나의 그래프로 표시한 것이다. 그림에서 지연을 발생시키고 추적을 하지 않는 경우 (With Timing Offset, No Search) 최악의 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 채널에서 발생한 시간 지연을 수신기에서 전혀 보상하고 있지 않기 때문이다. 가장 좋은 성능을 보이는 곡선은 세 가지의 경우가 겹쳐져 있다. 이는 각각 시간 지연을 발생시키지 않는 경우 (No Timing Offset, No Search), 시간 지연을 발생시키고 지연을 완벽히 보상 해주는 경우 (With Timing Offset, Ideal Search), 다중 상관 탐색(With Timing Offset, MC Search)의 경우 이다. 즉 제안된 다중 상관 탐색에 의한 심볼 시간 추적은 가장 이상적인 성능에 접근함을 알 수 있다.

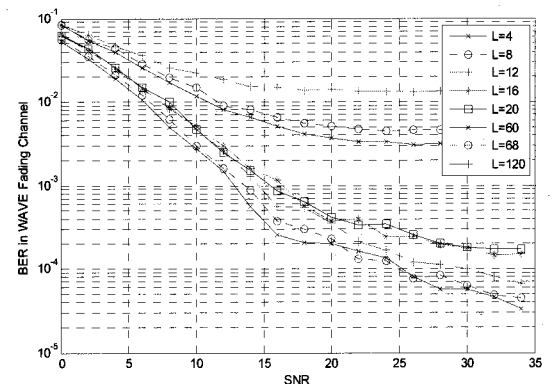


그림 10. 페이딩 채널에서 심볼 시간 추적을 이용하지 않는 경우 프레임길이에 따른 BER 성능
Fig. 10. BER Performance v.s. Frame Length in Fading Channel

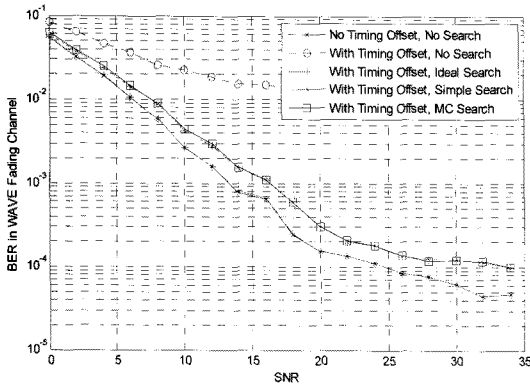


그림 11. 페이딩 채널에서 다양한 추적 방식을 이용하는 경우 BER 성능
Fig. 11. BER Performance of Several Tracking Methods in Fading Channel

제안된 시스템에서 추적 과정은 여러 상관 값들 중 최대 값을 찾는 동작이기 때문에 일반탐색보다 인접 상관 값의 차이가 큰 다중 상관 탐색이 상대적으로 AWGN의 영향을 더 적게 받게 되어 성능이 더 좋게 나오는 것을 보여준다.

또한 제안된 일반적인 탐색 (With Timing Offset, Simple Search)도 매우 우수한 성능을 보이고 있다. 다만 최적의 성능에는 미치지 못함을 알 수 있다.

3. 페이딩 채널에서의 성능

그림 10은 페이딩 채널에서 심볼 시간 추적을 이용하지 않는 경우 프레임길이에 따른 BER 성능을 보여주고 있다. 따라서 이 결과가 의미하는 바는 WAVE 페이딩과 같은 채널에서는 심볼 시간 동기를 위한 추적이 반드시 이루어져야 한다는 것이다.

그림 11은 페이딩 채널에서의 BER 성능을 보여준다. 페이딩 채널을 통과한 수신패킷은 추적이 이루어진 이후 채널추정을 한다. 페이딩 채널은 기본적으로 AWGN을 포함하기 때문에 완벽한 채널 추정을 할 수가 없다. 따라서 제안된 시스템의 성능은 위의 AWGN의 결과처럼 이상적인 성능을 보일 수 없으나 추적 알고리즘을 사용하지 않는 시스템 성능 보다 훨씬 월등하다는 것을 보여주고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 WAVE 시스템에서 차량 간 속도차에 의해 발생하는 추가적인 패킷의 지연을 지속적으로 추적, 보상해주기 위한 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 알고리즘의 모의실험 위하여 미드앰블이 추가된 패킷의 최대 시간 지연을 유도 하였으며, AWGN과 페이딩 채널 환경에서의 BER 통하여 성능을 평가 하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘을 적용한 시스템은 WAVE 채널 환경에서 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 제안된 시스템은 차량간 통신 시스템에서 심볼 타이밍을 정확히 추정함으로써 수신성능을 높일 수 있는 효과가 있으며 차세대 차량 안전 시스템의 기본 기술로 적용될 수 있다.

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] J. J. van de Beek, M. Sandell, "ML Estimation of Time and Frequency Offset in OFDM Systems," IEEE Transactions on signal processing, vol.45, pp.1800-1805, July 1997.
- [6] 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
- [7] Sang In Kim, Hyun Seo Oh, Hyun Kyun Choi, "Mid-ambly aided OFDM performance analysis in high mobility vehicular channel." Intelligent Vehicles Symposium 2008, 4-6 June 2008, pp.751-754
- [8] 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.
- [9] Hiroshi Harada and Ramjee Prasad, Simulation and software radio for mobile communications, Artech House, 2002
- [10] 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