

WAVE 시스템에서 타이밍 동기 추적 알고리즘

김용성* · 서창우** · 홍대기**

*전자부품연구원 *상명대학교

Timing synchronization tracking algorithm in WAVE system

Yong-sung Kim* · Chang-woo seo** · Dae-ki Hong**

*Korean Electronics Technology Institute **Sang Myung University

E-mail : apples021@smu.ac.kr

요약

차량간 무선 통신을 목적으로 만들어진 OFDM(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기반의 WAVE(Wireless Access for the Vehicular Environment) 시스템은 초기 동기 이후 다중경로 페이딩(Multipath Fading) 채널의 영향으로 인하여 연속적인 시간지연이 발생함에 따라 시스템 성능이 감소하게 된다. 본 논문은 추가적인 심볼 시간지연을 보상해 주기 위한 심볼 시간 동기 추적(Tracking)알고리즘을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘을 최대 지연 시간(Maximum timing delay)이 적용된 최악의 통신환경에 적용하여 모의실험을 수행하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘이 AWGN 채널 및 페이딩(fading)채널 환경에서 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인 하였다.

ABSTRACT

WAVE based on OFDM is made for vehicle to vehicle wireless communication. Its performance is decreased by continual timing delay in 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 environment that applies to maximum timing delay. Computer simulation shows that the proposed algorithm can improve the system performance in various channel conditions.

키워드

OFDM, WAVE, 다중경로페이딩, 추적, 최대시간지연, 시간동기

I. 서론

IEEE 802.11p로 알려진 WAVE 표준은 지능형 교통 체계(ITS : Intelligent Transportation System)에서 노변장치와 차량 (Vehicle to Infra) 또는 차량 사이의 통신 (Vehicle to Vehicle)을 통하여 공공의 안전 및 개인 통신을 지원하는 중·단거리 무선 데이터 통신 서비스이다.

WAVE의 물리 계층은 OFDM 기술에 기반을 두고 있다. OFDM은 동기화 오차에 대해 큰 민감성을 보이고 있는데, 이에 대해 WAVE 시스템에서는 차량 속도가 시속 120km까지 통신이 이루어지므로 도플러 효과에 의한 영향이 매우 크며, 다중 경로로 인하여 발생하는 왜곡과 함께 WAVE 시스템의 시간 동기화의 성능을 감소시키는 결과를 가져온다.[1][2] 보통 이러한 경우 초기 동기는 기존의 표준에 제시된 짧은 훈련 심볼(STS : Short Training Symbol)이나 긴 훈련 심볼

(LTS : Long Training Sequence)로서 충분히 정확하게 잡아낼 수 있다. 그러나 초기동기 이후 패킷이 지속적으로 수신되면 차량의 이동에 의한 추가적인 시간 지연이 발생하게 된다. 이러한 시간 지연을 지속적으로 보상해 주기 위해서는 심볼 동기를 추적하기 위한 별도의 알고리즘이 추가되어야 한다.

본 논문에서는 일정한 패킷 길이마다 송·수신 시간 약속된 정보신호인 미드앰블(Mid-Amble)을 끼워 전송하였다. 수신기는 이 미드앰블의 시간 축에서의 상관특성을 사용하여 지속적으로 샘플 타이밍을 추적 보상 한다.

II. 미드앰블 상관 특성 및 전송 구조

본 장에서 수신측에서 심볼 지연을 추적하기 위해 필요한 송·수신시간 약속된 심볼(미드앰블)에 대해서 설명한다. 미드앰블은 표준에 제시된

식(1)의 LTS를 사용하였다. [3]

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

그림 1에서 보여 지는 바와 같이 시간축상의 LTS의 상관 특성은 동기가 될 때 최대가 되고 샘플이 지연될수록 상관값이 작아지게 된다. 이러한 상관 특성을 사용하여 지연되어 수신되고 있는 심볼의 시간동기를 지속적으로 추적한다.

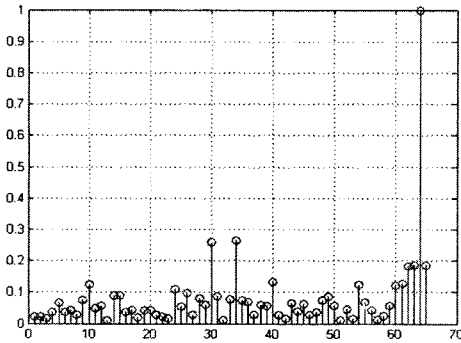


그림1. LTS의 자기상관 함수

그림 2는 OFDM 전송 심볼에 일정한 주기로 삽입된 미드엠블의 전송 구조를 나타낸다. 미드엠블 전송주기는 변조 방식에 따라 달라질수 있다.

변조방식 별로 동일한 효율을 보장하기 위해 이진 위상 천이 변조 (Binary Phase Shift Keying : BPSK)인 경우에는 $80\mu s$, 직교 위상 천이 변조 (Quadri-Phase Shift Keying : QPSK)인 경우에는 $40\mu s$, 16직교 진폭 변조 (Quadrature Amplitude Modulation : QAM)인 경우에는 $20\mu s$ 로 설정하였다.

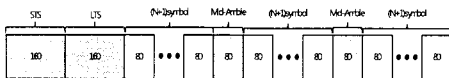


그림2. 미드엠블의 전송구조

OFDM 시스템에서 1심볼의 구간은 $8\mu s$ 이므로 BPSK의 전송구조의 경우 10개의 심볼 다음에 미드엠블이 온다. 본 논문에서는 심볼들과 미드엠블 한 묶음을 미드엠블 간격이라고 부르도록 한다.

III. 최대 시간 지연

제안된 시스템을 모의실험 하기 위해서는 미드엠블이 포함된 패킷이 WAVE 채널에 의해 최대 얼마만큼의 심볼 지연이 발생 했는지 알아야 한다. 전송패킷의 초기 동기화는 OFDM의 LTS에서 이루어 졌다고 가정하고 이후의 전송 패킷의 추

거적인 지연을 계산 하도록 한다. 제안된 시스템에서 추적(Tracking)은 미드엠블간격을 주기로 동작하기 때문에 전송 패킷의 미드엠블 간격기준으로 심볼 지연을 계산한다. 여기서 미드엠블 간격은 10개의 데이터 심볼과 1개의 미드엠블을 포함하여 11심볼로 하였다.

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

3.1 차량 간 속도 차에 의한 심볼 지연

앞서 설명한 바와 같이 초기동기 이후 패킷이 지속적으로 수신되면 차량의 이동에 의한 추가적인 시간 지연이 발생하게 된다. 만약 통신을 하고 있는 두 차량의 속도차가 $500km/h$ 라고 하면 미드엠블 간격 내에서 이동 거리는 $88\mu s$ (미드엠블 간격) \times $138.89m/s$ (차량 속도) = $0.0122m$ 이다. 이 $0.0122m$ 동안 전송 신호의 파형이 이동하는데 걸리는 시간은 $0.0122m \times (3 \times 10^8m/s) = 0.000041\mu s$ 이다. 따라서 차량 간 속도 차가 $500km/h$ 라고 가정했을 때 $0.1\mu s / 0.000041\mu s$ 에 의해 약 2439개의 미드엠블 간격이 지난후에 1샘플 지연이 발생하게 된다는 결론을 얻을 수 있다. 여기서 $0.1\mu s$ 는 1샘플 구간이다.[2][3]

3.2 송·수신 모듈 사이의 오실레이터 부정합에 의한 심볼 지연

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

3.3 패킷의 최대 길이 계산

앞서 계산된 결과들은 최악보다 더 엄격한 환경에서의 데이터를 바탕으로 계산되었다. 이 결과들을 모의실험에 적용하여 제안된 알고리즘의 성능실험 했을 때 성능결과에 대한 신뢰도는 높다고 할 수 있다.

최종적으로 전체 전송 패킷의 최대 지연을 계

산해야 하므로 미드엠블이 포함된 송신 패킷의 최대 길이를 알아야 한다.

OFDM 표준[3]에 의한 정보데이터의 최대 길이는 4095 옥텟(Octets)이다. 따라서 총 $4095 \times 8 = 32760$ 비트가 사용된다. 또한, 하나의 OFDM 심볼 당 최소 데이터 비트 수는 24비트 이므로 패킷의 최대 심볼 길이는 $32760 / 24 \times 1.1 = 1502$ 심볼이다. 여기서 1.1을 곱한 것은 데이터 심볼 10개 중 1개의 미드엠블을 고려한 것이다. 결국, 1502 심볼을 미드엠블 간격 11개로 나누면 약 137개의 미드엠블 간격이상의 패킷은 발생하지 않는다는 결론을 얻는다.

지금 까지 구한 계산결과를 종합해보면 미드엠블 간격은 137개를 넘지 않고 차량 속도 차에 의한 계산결과(2439간격)는 최대 패킷길이 137개를 벗어나기 때문에 무시될만하다. 오실레이터 부정합은 최악의 경우를 고려했을 때 28.4간격이기 때문에 OFDM 최대 패킷 길이로 전송하였을 때의 최대 지연 시간은 $137 / 28.4 = 4.8$ 개 샘플 이라는 결과를 얻을 수 있다.

IV. Tracking 동작

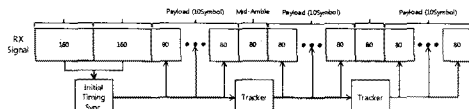


그림 3. 수신패킷 구조

그림3에서 추적기(tracker)는 LTS와 같다. 추적기는 미드엠블이 들어오는 시점부터 상관을 수행한다. 수신기로 매 샘플이 들어 올 때 마다 그림4의 쉬프트 레지스터(Shift Resister)에 샘플이 저장된다. 이 쉬프트 레지스터는 지연된 데이터를 추적을 통해 획득된 시간만큼 당겨서 가져오기 위해 필요한 저장 공간이다. 예를 들어서 수신 패킷이 추적을 통해 1샘플 지연되었다는 정보를 얻었다고 하자. 지연된 패킷을 보상해 주기위해 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 저장해야할 공간을 만들어 줘야한다. 이러한 역할을 쉬프트 레지스터가 수행한다. 쉬프트레지스터는 FFT크기(64샘플)에 한 패킷의 최대 딜레이 될 수 있는 샘플(4.8개) 개수만큼의 추가적인 저장 공간이 필요 하다. 밀고 당기는 것을 고려한다면 9.6개정도가 필요하다고 할 수 있다.

그림 4의 상관기 뱅크(Correlator Bank)에 있는 상관기(Correlator)의 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 상관

을 수행 하여 9개의 출력결과를 얻는다.

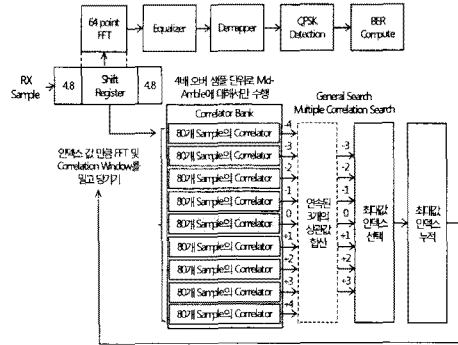


그림 4. 추적 시스템 블록도

상관기 뱅크에 있는 상관기들 중 5번째 상관기는 원래의 미드엠블이다. 따라서 패킷이 지연되지 않고 수신되어 코릴레이터들과 상관을 수행했을 때 그림5의 (a)와같이 5번째에서 최댓값을 얻는다. 이와 마찬가지로 1샘플이 지연 되어 수신되었다면 그림(b)과 같이 6번째에서 최댓값을 얻는다.

패킷의 지연 정도는 중심인덱스 5와 최댓값을 가리키는 인덱스의 차로 탐색 할 수 있다. 예를 들어서 그림 (b)에서의 최댓값의 인덱스 6에서 중심인덱스 5와의 차는 1이고 이 인덱스 값은 1샘플 지연 되었다는 의미이다. 최댓값 검출시 최댓값의 인접한 출력값 보다 값의 차이가 클수록 검출이 용이하고 시스템 성능에도 영향을 끼친다. 그림4의 블록도 에서 다중 상관 탐색 모드는 연속된 3개의 상관 값을 합산하여 인접 상관 값들과의 차이를 더 크게 할 수 있다. 그림 5의 d, e, f는 그림 a, b, c의 연속된 상관 값의 합을 나타낸다.

그림 d, e, f의 최댓값과 인접한 상관 값의 차이는 a, b, c 에 비해 더 크다는 것을 확인 할 수 있다. 성능 면에서도 다음 장에서 설명될 비트오율(BER : Bit Error Rate)실험 결과를 보면 다중상관 탐색으로 최댓값을 검출 한 것이 더 낫다는 것을 확인할 수 있다.

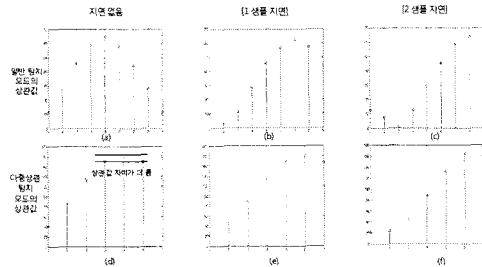


그림 5. 상관기 뱅크의 출력

그림 5에서 보듯이 추적이 완료될 때 마다 최

댓값 인덱스는 누적 된다. 추적을 통해서 패킷이 지연되어서 들어왔다면 그전에 추적했던 지연 정도를 고려해서 쉬프트 레지스터를 밀고 당겨야 하기 때문이다.

V. 모의실험 결과 및 시스템 성능 분석

본 장에서는 제안된 시스템을 AWGN, 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 신호대 잡음비 (signal to noise ratio : SNR) 따른 비트오율(Bit Error Rate)을 통해 성능을 검증 해보았다. 데이터는 직교 위상 변이 변조방식을 사용하였고, 패킷 길이는 12개 미드엠블 간격으로 하였다. (3.3장에서 계산된 최대 패킷길이 137개 미드엠블 간격은 모의 실험 결과 12개 미드엠블 간격으로 실험 했을 때와 성능차이가 없어서 12개의 짧은 패킷으로 실험함). 페이딩 채널은 13 탭 시뮬레이터로 구성하였다.[4] SNR의 범위는 AWGN 채널보다 넓은 범위인 0~34dB로 하였다. AWGN의 경우 SNR의 범위는 -10~2dB에서 BER이 측정되었다.

최대 패킷 지연시간은 3.2장에서 계산된 38.4개 미드엠블 간격 당 1샘플 지연 보다 작은 4개 미드엠블 간격만 1샘플 지연으로 하여 실제보다 훨씬 엄격한 환경에서 실험 되었다. 제안된 시스템의 성능을 5가지의 비교대상을 가지고 평가해 보았다. 각각의 비교실험 대상을 살펴보면 시간 지연을 발생시키지 않는 경우, 시간 지연을 발생시키고 지연을 완벽히 보상 해주는 경우와(Ideal Search), 지연이 발생시키고 추적을 하지 않는 경우, 그리고 일반적인 탐색(Simple Search)과 다중상관 탐색들을 대상으로 하였다.

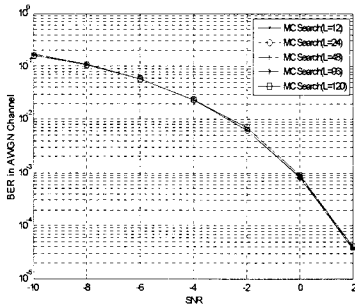


그림 6. AWGN 채널에서의 BER 성능

그림 6은 AWGN 채널에서의 BER 성능을 보여준다. 그림 6에서 MC Search는 이상적인 성능과 거의 등가이다. 위의 결과는 추적이 완벽히 이루어졌다는 것을 보여주며, AWGN이 제안된 시스템 성능에 주는 영향은 미약하다는 결론을 얻을 수 있다. 제안된 시스템에서 추적과정은 여러 상관값들중 최댓값을 찾는 동작이기 때문에 일반탐색보다 인접 상관 값의 차이가 큰 다중상관 탐색이 상대적으로 AWGN의 영향을 더 적게

받게 되어 성능이 더 좋게 나오는 것을 보여준다.

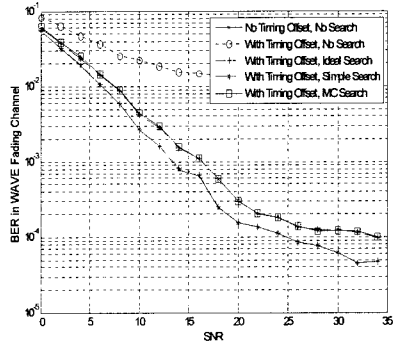


그림 7. 페이딩 채널에서의 BER 성능

그림 7은 페이딩 채널에서의 BER성능을 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 윗등하다는 것을 그림 7이 보여주고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 WAVE 채널에서 차량 간 속도 차에 의해 발생하는 추가적인 패킷의 지연을 지속적으로 보상해주기 위한 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 알고리즘의 모의실험 위하여 미드엠블이 추가된 패킷의 최대 시간 지연을 유도 하였으며, AWGN과 페이딩 채널 환경에서의 BER통하여 성능을 평가 하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘을 적용한 시스템은 WAVE 환경에서 최적의 성능을 보임을 확인하였다.

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 Layer(PHY) Specification - Amendment3: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE).
- [3] IEEE, " 802.11a, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications". 1999
- [4] Hiroshi Harada and Ramjee Prasad, Simulation and software radio for mobile communications, Artech House, 2002