

# MAC 계층에서의 IEEE 802.11p 기반 WAVE 통신 시스템의 성능 평가

## Performance Evaluation of IEEE 802.11p Based WAVE Communication Systems at MAC Layer

최 광 주 · 김 진 관 · 박 상 규

Kwang Joo Choi · Jin Kwan Kim · Sang Kyu Park

### 요 약

차량통신은 통신시스템과 차량산업을 융합하여 ITS(Intelligent Transport Systems) 분야에서 다양한 서비스 제공을 위해 고려되어 왔다. 일반적으로 차량통신은 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)라고 알려져 있는 IEEE 802.11p/1609 표준을 채택하여 vehicle-to-vehicle(V2V)와 vehicle-to-infrastructure(V2I) 통신에 이용된다. WAVE 시스템은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호를 5.835~5.925 GHz대의 주파수를 사용하여 전송하는 시스템이다. 본 논문에서는 IEEE 802.11p 표준에 따라 구현한 WAVE 시스템의 MAC(Media Access Control) 단에서 채널 모니터링을 32 비트 처리한 다음 데이터를 수신하여 성능을 평가하였다. 실제 고속도로에서 OBU(On Board Unit)로 구성된 테스트베드를 구축하고, OBU간에 WSM(WAVE Short Message)을 무선으로 송수신한 다음, 프레임 당 채널 점유 시간과 처리량을 산출하였다.

### Abstract

Vehicular communications have been receiving much attention in intelligent transport systems(ITS) by combining communication technology with automobile industries. In general, vehicular communication can be used for vehicle-to-vehicle(V2V) and vehicle-to-infrastructure(V2I) communication by adopting IEEE802.11p/1609 standard which is commonly known as wireless access in vehicular environment(WAVE). WAVE system transmits signal in 5.835~5.925 GHz frequency band with orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) signaling. In this paper, after 32 bit processed the channel monitoring in MAC(Media Access Control) layer of WAVE system implemented according to IEEE 802.11p standard, data were received and we evaluated the performance, we built the test bed consisting of OBU(On Board Unit) in the real expressway. We transmitted WSM(WAVE Short Message) and received WSM between OBU wirelessly. And then, we calculated channel occupancy time per one frame and throughput, and evaluated the performance.

Key words: WAVE, OFDM, 5.9 GHz

### I. 서 론

차량통신은 차량 간 통신을 이용한 안전서비스, 차량-

노변기지국간 통신을 이용한 교통정보서비스, 멀티미디어 서비스 등과 같은 ITS(Intelligent Transport Systems) 분야에 널리 적용되고 있다.

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University).

· Manuscript received December 16, 2013 ; Revised March 31, 2014 ; Accepted March 31, 2014. (ID No. 20131216-128)

· Corresponding Author: Sang Kyu Park (e-mail: skpark@hanyang.ac.kr)

미국, 유럽, 일본 등에서는 국가 차원의 프로젝트 추진을 통해 인프라 구축을 하고 있으며, 또한 표준 규격 확립을 위해 노력하고 있다. IEEE 802.11 위원회에서는 미국 민간 표준화 단체인 ASTM(American Society for Testing and Materials) 사양을 WAVE(Wireless Access In Vehicular Environment)라 명하고, 2004년 표준화 작업을 위한 TGp(Task Group p)를 설립하였다<sup>[1]</sup>. IEEE 802.11p WAVE는 최대 200 km/h 속도의 차량에서 데이터 전송 속도를 최대 27 Mbps까지 지원할 수 있는 무선 전송 기술로써 차량 네트워크의 특성을 고려하여 새롭게 WBSS(WAVE Basic Service Set) 개념을 도입하는 등 기존 IEEE 802.11 네트워크와는 상이한 기술적 특징을 갖는다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.11p WAVE 표준은 차후 vehicular Ad-Hoc networks(VANETs)에 사용될 성능이 좋은 다양한 서비스 형태의 멀티 채널 DSRC 솔루션을 제공하게 될 것이다. 그리고 이 표준을 기반으로 V2V와 V2I 통신을 이용하는 많은 다양한 서비스가 소개되었다<sup>[3]</sup>. 이런 서비스 종류에는 충돌 경고 서비스, 교통 정보와 내비게이션 업데이트, infotainment 등이 있다.

본 논문에서는 이러한 WAVE 통신 시스템의 특성을 물리 계층과 매체 접근 제어 계층으로 나누어 소개하였고, 그 내용을 바탕으로 매체 접근 제어 계층의 프레임 구성을 설명하고, 프레임 구성에 따른 프레임 당 채널 점유 시간을 정의하였다. 프레임 당 채널 점유시간을 줄이기 위해 매체 접근 제어 계층을 기존 16비트 처리에서 32비트 처리로 변경한 WAVE 시스템을 IEEE 802.11p 표준에 따라 구현하였다. 실험은 실제 고속도로에서 구현된 WAVE 시스템의 OBU를 설치하여 테스트 트랙을 구축하고, OBU간에 데이터를 무선으로 송수신하여 프레임 당 채널 점유 시간과 처리량을 측정하였다.

이 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. II절은 WAVE 물리계층에 대해 알아보고, III절은 WAVE 시스템을 어떻게 구현했는지 설명한다. IV절은 III절에서 설명한 시스템을 바탕으로 실행한 시험 결과를 보여주고, V절에서 결론을 내린다.

## II. WAVE 물리계층

이 절에서는 먼저 WAVE 물리계층을 간략히 요약한

다. WAVE 물리계층은 IEEE 802.11p 표준에 정의되어 있다<sup>[1]</sup>. IEEE 802.11p는 기존의 무선랜 표준인 IEEE 802.11 a/g 표준의 변형된 형태이다. 기존의 무선랜 표준과는 다르게 ISM(Industry-Science-Medical) 밴드가 아닌 5.850~5.925 GHz의 주파수를 사용하며, OFDM 방식을 이용하여 10 MHz의 대역폭을 1개 기본 채널로 이용한다. 데이터 속도(data rate)는 10 MHz의 채널대역폭을 이용하여 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조 방식에 따라 데이터 전송 속도 3~27 Mbps를 지원한다. OFDM 신호는 64개의 부반송파로 구성되어 있는데, 48개는 데이터, 4개는 파일럿, 12개는 직류 성분을 나타낸다.

표 1은 IEEE 802.11p 표준에 정의되어 있는 OFDM 신호

표 1. IEEE802.11p OFDM 신호 주요 특성  
Table 1. Properties of OFDM signal in IEEE 802.11p.

항목	해당값
대역폭	10 MHz
FFT 크기	64
부반송파 간격	0.15625 MHz
신호대역폭	8.28 MHz
IFFT / FFT 간격	6.4 $\mu$ s
Guard interval	1.6 $\mu$ s
심볼 간격	8.0(6.4+1.6) $\mu$ s

표 2. IEEE 802.11p에서 데이터 속도에 따른 OFDM 신호 전송 방식

Table 2. Transmission mode of OFDM signal according to the data rate in IEEE 802.11p.

Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate	Coded bits per subcarrier	Coded bits per OFDM symbol	Data bits per OFDM symbol
3	BPSK	1/2	1	48	24
4.5	BPSK	3/4	1	48	36
6	QPSK	1/2	2	96	48
9	QPSK	3/4	2	96	72
12	16-QAM	1/2	4	192	96
18	16-QAM	3/4	4	192	144
24	64-QAM	2/3	6	288	192
27	64-QAM	3/4	6	288	216

호의 특성을 요약한 것이다<sup>[1]</sup>.

표 2는 데이터 속도에 따른 OFDM 신호의 전송 방식이다<sup>[1]</sup>.

이외에도 IEEE 802.11p 표준에서는 기존 무선랜 표준에 비해 좀 더 협대역 송신 스펙트럼 형태를 가짐으로써 인접 채널의 간섭에 영향을 덜 받도록 정의하고 있으며, 송신출력도 최대 44.8 dBm까지 전송할 수 있도록 규정하고 있다<sup>[1]</sup>.

### III. WAVE 매체 접근 제어 프레임 구조

그림 1은 timing advertisement(TA) 프레임의 구조를 보여준다.

TA 프레임은 프레임 제어(frame control), 대기시간(duration)/ID(identification), 목적지 주소(destination address), 출발지 주소(start address), BBS(basic service set) ID, 순서 제어(sequence control), 프레임 바디(frame body), 프레임 검사 순서(frame check sequence)의 데이터로 구성된다.

프레임 제어는 프로토콜 버전, 타입, 서브 타입 등으로 구성되어 있다.

대기시간/ID 필드는 전송 프레임에 의존하는 대기시간 값을 나타낸다. 일반적으로 각 프레임은 다음 프레임 전송까지의 대기시간을 나타내는 정보를 포함한다. 예를 들면 데이터와 ACK(acknowledge) 프레임에서 대기시간/ID 필드는 다음 프래그먼트(fragment) 및 ACK까지의 대기시간을 규정한다. 네트워크상에서 단말들은 이 필드를 감시하고 대기시간 동안 전송을 지연시킨다.

주소 필드는 전송되고 있는 프레임의 형태에 따라 BBS ID, 출발지 주소, 목적지 주소, 송신 단말 주소, 수신 단말 주소 등 여러 가지 형태가 있다. 주소는 또한 개별 혹은 그룹 주소가 있을 수 있다. 그룹 주소에는, 논리적으로 연관된 단말 그룹과 결합하기 위한 멀티 캐스트 주소와 주어진 랜(local area network)의 모든 단말을 지정하기 위한 브로드캐스트(broadcast) 주소가 있다. 브로드캐스트

	Frame control	Duration / ID	DA	SA	BSSID	Sequence control	Frame Body	FCS
Octets:	2	2	6	6	6	2	Variable	4

그림 1. WAVE MAC 매체 접근 제어 프레임 구조

Fig. 1. Frame structure of the WAVE MAC.

	Time-stamp	Capability	Country	Power constraint	Timing Advertisement	Extended capability	Vendor specific
Octets:	8	2	10	3	18	2 ~ n (Variable)	n (Variable)

그림 2. WAVE MAC 프레임의 세부구조

Fig. 2. Detail structure of WAVE MAC frame.

주소는 모두 '1'로 이루어져 있다.

순서제어필드는 16비트 중 하위 4비트는 특정 MSDU(MAC Service Data Unit)의 프래그먼트 번호를 나타내는 부필드이고, 상위 12비트는 연속되는 MSDU 전송을 위한 순서를 나타내는 순서 번호 부필드이다. 프레임 수신시, 순서번호와 프래그먼트 번호를 검사함으로써 중복되는 프레임을 골라낼 수 있다.

그림 2는 그림 1의 MAC 프레임의 세부구조이다. MAC 프레임은 시간-스탬프(time-stamp), capability, country, 전력제한(power constraint), TA, 확장된 capability(extended capability), 벤더 명세(vendor specific)의 데이터로 구성된다.

이 필드는 가변 길이를 가지며, 송신 프레임에 적합한 정보를 전달한다. 데이터 프레임의 경우는 MSDU라는 LLC(Logical Link Control) 데이터 유닛을 포함한다. MAC 관리 및 제어 프레임은 프레임 본체에 특정 파라미터를 포함할 수 있다. 프레임이 정보를 운반할 필요가 없다면 이 필드 길이는 '0'이 된다.

이 경우 먼저 접속된 1대의 차량에 정해진 데이터를 전송하기 위해 소요되는 채널 점유 시간은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$T = \text{Frame control} + \text{DurationID} + \text{DA} + \text{SA} + \text{BSSID} + \text{Sequence control} + \text{Frame body} + \text{FCS} + \beta \tag{1}$$

여기서  $\beta$ 는 하나의 메시지 데이터 슬롯이 전송할 수 있는 최대 크기를 넘는 데이터가 상위 계층으로부터 전달될 경우, 이를 수용하기 위해 추가 메시지 데이터 슬롯을 할당하기 위한 변수이다. 따라서 상위 계층에서 전달되는 LPDU(LLC Protocol Data Unit)가 벤더 명세로 할당된  $n$ 바이트보다 크면  $\beta$ 는 시스템에서 설정해 놓은 여분의 시간 값을 가지게 되고,  $n$ 바이트보다 작으면  $\beta$ 는 '0'이 되어 추가 메시지 데이터 슬롯이 할당되지 않는다.

이 논문에서는 장치 드라이버, 파일 시스템, 스택, 메모

리 등 기존 16비트로 동작하는 펌웨어를 32비트로 동작하게 수정함으로써 MAC 프레임에서 사용하는 버퍼의 크기를 늘릴 수 있었다. 그래서 각 프레임에서 기존 16비트로 데이터를 처리하던 것을 32비트로 처리해서 채널 점유 시간을 줄이는 장점을 얻었다. 그 결과 데이터 처리가 빠른 시스템을 구현하였다.

#### IV. 시험 및 결과

##### 4-1 시험 방법

테스트 베드는 WAVE 시스템의 성능 평가를 위하여 실제 도로와 유사한 시험 트랙에 차량에 OBU를 탑재하여 구축하였다.

시험 도로의 길이는 약 4 km이고, 개방형 도로여서 line of sight(LOS)가 보장되고, 멀티패스 페이딩의 영향이

표 3. 시험 장비 파라미터

Table 3. Test equipment parameters.

Standard	MAC	IEEE1609.4
	LLC	IEEE1609.3
	PHY	IEEE802.11P
RF	Channel bandwidth	10 MHz
	Frequency	5.860 GHz
	Tx power	24 dBm (max 28.8 dBm)
	Rx sensitivity	-85 dBm
	Stability	± 10 ppm(max)
Antenna	Gain	9 dBi
Data	Data rate	9 Mbps
	Modulation	QPSK OFDM
Time	Link access	≤ 100 msec
	Packet latency	≤ 100 msec
Distance	Communication area	≈ 2.3 km
Velocity	Vehicle speed	100 kph
System	Power source	DC 12 V
	GPS	Ublox
	V2V	Vehicle to vehicle communication
	Interface	Ethernet, USB, UART

적다.

시험의 주요 목적은 한 프레임을 보내는데 걸리는 시간과 WAVE 규격에서 규정된 주파수 대역 내에서 차량에 장착되어 있는 OBU의 처리량을 평가하는 것이다.

시험에 사용한 데이터는 WSM(WAVE Short Message)을 사용하였다. QPSK 변조를 하고 3/4 부호화된, 재전송과 ACK가 없는 브로드캐스팅 신호를 9 Mbits/s로 기지국에서 송출하고, 차량의 OBU가 수신을 시도하였다.

시험할 때, 차량은 시속 100 km/h의 속력으로 주행하였다. 기존 수신기와 새로운 수신기는 동일한 위치에서 WSM을 받기 시작해서, 약 2,300 m 떨어진 위치까지 측정하였다.

표 3에 test 장비의 기술적인 파라미터들을 정리하였다.

##### 4-2 시험 결과

그림 6은 한 프레임을 보내는데 걸린 시간이다. 전송 시간의 평균을 구하면 32비트로 데이터 처리를 하는 MAC은 평균 약 60.08 us의 전송 시간이 걸렸고, 16비트 데이터 처리를 한 MAC은 평균 약 117.66 us의 전송 시간이 걸렸다. 그러므로 32비트 데이터 처리를 한 MAC은 16비트 데이터 처리를 한 MAC보다 약 57.58 us 더 빨라졌다.

그림 7은 V2I 환경에서 수신 안테나의 이득이 9 dBi이고, 9 Mbps의 전송 속도로 데이터를 송수신했을 때, 처리량이다. 기존 16비트 수신기의 처리량은 평균 2.9841 Mbit/sec이고, 새로운 32비트 수신기의 처리량은 평균

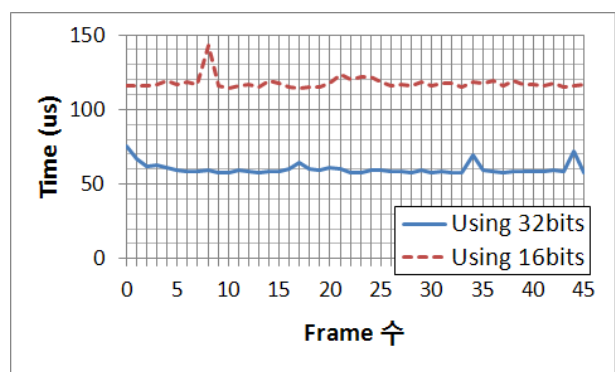


그림 3. QPSK OFDM의 한 프레임을 보내는데 걸린 시간  
Fig. 3. The time to send a frame of QPSK OFDM.

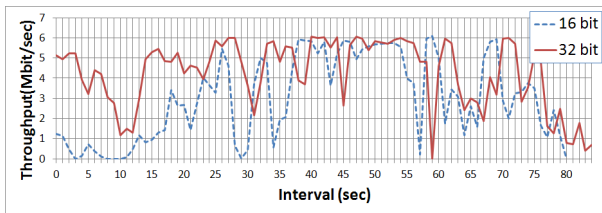


그림 4. V2I 환경에서 처리량 성능  
Fig. 4. Throughput performance in V2I.

4.2515 Mbit/sec이다. 새로운 32비트 수신기는 기존 16비트 수신기보다 평균 1.2674 Mbit/sec 처리량의 성능 향상을 보였다.

두 수신기 모두 처리량에서 “bathtub”이 관찰되지만, 새로운 32비트 수신기는 기존 16비트 수신기보다 “bathtub” 부분에서 성능 열화가 적다. 이것은 데이터 처리 속도가 빨라짐으로써 재전송 속도가 빨라져 성능 향상이 나타난다.

## V. 결 론

본 논문에서는 매체 접근 제어 계층을 기존 16비트 처리에서 32처리로 변경한 WAVE 통신 시스템을 IEEE 802.11p 표준에 따라 설계하고 제작하여, WAVE 시스템에서 WSM을 송수신했을 때 한 프레임 당 전송 시간과 처리량을 측정하였다. 구현된 시스템은 실제 고속도로와 유사한 시험도로에서 테스트 베드를 만든 다음, OBU에서 WSM을 송신하여 한 프레임 당 전송 시간을 측정하였다. 그리고 V2I 환경을 고려하여 처리량을 측정하였다. 그 결과, 기존의 16비트 수신기와 MAC단에서 데이터를 32비트로 처리한 수신기는 약 2배의 시간 차이를 보였고, 32비트 수신기는 기존의 16비트 수신기보다 약 42.47 %

처리량이 향상되었다.

## References

- [1] Task Group p, *IEEE Std 802.11p*, "IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications Am", draft standard ed., IEEE Computer Society, 2010.
- [2] D. Jiang, L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments", *Proc. IEEE VTC-Spring*, May 2008.
- [3] F. Bai, H. Krishnan, "Reliability analysis of DSRC wireless communication for vehicle safety applications", *Proc. of Intelligent Transportation Systems Conference*, pp. 355-362, 2006.
- [4] G. Acosta-Marum, M. A. Ingram, "Six time-and frequency-selective empirical channel models for vehicular wireless LANs", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 2, no. 4, pp. 4-11, Dec. 2007.
- [5] S. Biswar, R. Tatchikou, and F. Dion, "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 1, pp. 74-82, Jan. 2006.
- [6] P. Alexander, D. Haley, and A. Grant, "Cooperative intelligent transport systems: 5.9-GHz field trials", *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1213-1235, Jul. 2011.

최 광 주



1981년 8월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
1990년 8월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
1990년 11월~2008년 5월: LG전자연구소 책임연구원  
2008년 5월~현재: 아이티텔레콤 대표이사

2002년 9월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정  
[주 관심분야] C-ITS시스템, DSRC 기술, WAVE 통신시스템 및 응용서비스 등

박 상 규



1974년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1980년: Duke University (공학석사)  
1987년: University of Michigan (공학박사)  
1987년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수  
[주 관심분야] 차세대 이동통신 시스템, 확산대역통신, MIMO-OFDM, Relay Communications

김 진 관



2005년 2월: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)  
2007년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2007년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신 박사과정  
2008년 7월~2012년 10월: (주)파인디지털

2012년 10월~현재: (주)아이티텔레콤  
[주 관심분야] 가시광통신, 채널 추정, Wireless Access in Vehicle Environments