

---

# 차량통신에서의 물리계층 이슈

조 옹\*

## Physical Layer Issues in Vehicular Communications

Woong Cho\*

요 약

차량통신은 통신시스템과 차량산업을 융합하여 ITS (Intelligent Transport Systems)분야에서 다양한 서비스 제공을 위해 고려되어져 왔다. 일반적으로 차량통신은 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)라고 알려져 있는 IEEE 802.11p/1609표준을 채택하여 차량간 통신 및 차량-노변기지국간 통신에 이용된다. WAVE 시스템은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호를 5.9GHz대의 주파수를 사용하여 신호를 전송하는 시스템이다. 본 논문에서는 차량통신 영역 중 물리계층의 이슈들에 관하여 논의한다. 먼저 WAVE 표준의 물리계층과 5.9GHz대의 신호의 특성에 대해 살펴본 후 신뢰성 있는 통신링크 제공을 위해 물리계층에서 개선되어야할 점에 대해 논의한다.

### ABSTRACT

Vehicular communications have been receiving much attention in intelligent transport systems (ITS) by combining communication technology with automobile industries. In general, vehicular communications 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 environments (WAVE). WAVE system transmits signal in 5.9GHz frequency band with orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signaling. In this paper, we consider physical layer issues in vehicular communications. We first overview the physical (PHY) layer of WAVE standard and properties of 5.9GHz signals, and then physical layer issues to provide reliable communication link are discussed.

### 키워드

Vehicular communications, WAVE, physical layer, 5.9GHz  
차량통신, WAVE, 물리계층, 5.9GHz

## 1. 서 론

차량통신은 차량간 통신을 이용한 안전서비스, 차량-노변기지국간 통신을 이용한 교통정보서비스, 멀티미디어 서비스 등과 같은 ITS분야에 널리 적용될 것으로 예상된다. 차량통신은 미국 및 유럽을 비롯하여

전 세계적으로 흔히 WAVE라고 알려져 있는 IEEE 표준을 채택하고 있다. IEEE의 WAVE 표준은 물리계층과 미디어접근계층을 정의해 놓은 IEEE 802.11p와 보안을 포함한 상위계층에 대해 정의해놓은 IEEE 1609.X로 구성되어 있다. IEEE 802.11p[1]는 2010년도에 표준이 제정되었으며 IEEE 1609.X 표준은 일부

---

\* 중원대학교 컴퓨터시스템공학과(wcho@jwu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 08. 27

심사(수정)일자 : 2012. 09. 10

게재확정일자 : 2012. 10. 05

는 표준이 제정되었고 일부분은 표준제정이 진행 중에 있다. 기존 연구들에서 차량통신 채널에 관한 모델링이 진행되었으며[2], [3][4][5]에서 차량에 적용 가능한 안테나에 대한 소개가 되었으며, 차량통신 프로토콜[6][7] 및 차량안전과 관련된 서비스의 이론 및 구현방안들이 소개되었다[8][9][10]. 차량 안전을 포함한 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 신뢰성 있는 통신링크를 제공하는 것이 필수적이다. 본 논문에서는 차량통신환경에서 신뢰성 있는 통신링크를 제공하기 위해 고려되어야 할 사항에 대해 논의한다. 이를 위해 먼저 IEEE 802.11p 표준 및 실제 측정된 데이터 값을 이용한 신호특성을 살펴본다. 이를 바탕으로 하여 물리계층에서 신뢰성 있는 통신을 위해 고려되어야 할 사항을 논의한다.

이 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. II장과 III장에서는 WAVE 물리계층 및 신호특성에 대해 각각 알아본다. IV장에서는 물리계층에서 개선되어야 할 사항들에 대해서 논의한 후 V장에서 결론을 내린다.

## II. WAVE 물리계층

이 장에서는 먼저 WAVE 물리계층을 간략히 요약한다. 앞서서도 언급했듯이 WAVE 물리계층은 IEEE 802.11p 표준에 정의되어 있다. IEEE 802.11p는 기존의 무선랜 표준인 IEEE 802.11a/g 표준의 변형된 형태이다. 기존의 무선랜 표준과는 다르게 ISM밴드가 아닌 5.9GHz대의 주파수인 5.835~5.925GHz의 주파수를 사용하며, OFDM 방식을 이용하여 10MHz의 대역폭을 1개 기본채널로 이용한다. 데이터 속도 (data rate)는 10MHz의 채널대역폭을 이용하여 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조방식에 따라 3~27Mbps를 지원한다. OFDM 신호는 패킷단위로 신호를 전송하며 64개의 부 캐리어로 구성되어 있는데, 48개는 데이터, 4개는 파일럿, 12개는 DC성분을 나타낸다. 표 1은 IEEE 802.11p 표준에 정의되어있는 OFDM 신호의 스펙을 요약한 것이다.

이외에도 IEEE 802.11p 표준에서는 기존 무선랜 표준에 비해 좀 더 날카로운 송신 스펙트럼 형태를 가짐으로 해서 인접 채널의 간섭에 영향을 덜 받도록 정의하고 있으며 송신출력도 최대 44.8dBm 까지 전송

할 수 있도록 규정하고 있다. 자세한 표준은 [1]을 참고하기 바란다. 물리계층이외에도 미디어접속 계층과 상위계층도 기존 무선랜 방식과 차이나는 점들이 있으나 본 논문에서는 물리계층만 다룬다.

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

항목	해당값
대역폭	10MHz
FFT 크기	64
부캐리어 간격	0.15625MHz
신호대역폭	8.28MHz
IFFT/FFT간격	6.4 $\mu$ s
GI구간	1.6 $\mu$ s
심볼간격	8.0(6.4+1.6) $\mu$ s

## III. WAVE 신호특성

5.9GHz대의 채널특성을 살펴보기 위해 차량이 이동할 경우와 정지했을 경우에 수신신호세기 (RSSI: Received Signal Strength Indicator)를 측정하여 기록하였다. 수신신호세기는 노변기지국 1대와 차량통신장치 1대를 이용하여 측정하였는데 각각의 장치는 WAVE 통신장치를 장착하여 노변기지국에서 신호를 송신하고 차량통신장치가 신호를 수신하여 수신신호세기를 기록하였다. 송수신장치 모두 전방향 안테나 (omni-directional antenna)를 이용하여 신호를 송신하였는데 대략적인 안테나 특성은 표 2와 같다. 송신단 (노변기지국)에서는 5.85GHz의 중심주파수를 이용하여 약 17dBm의 유효 등방사 복사전력 (EIRP: Effective Isotropically Radiated Power) 신호세기로 신호를 송신하면 수신단(차량통신장치)에서는 수신된 신호의 세기를 기록하였다.

표 2. 안테나특성  
Table 2. Antenna specification

특성항목	해당값
주파수 범위	5.835~5.9GHz
이득	8dBi( $\pm$ 1)
정제파비	$\leq$ 1.5
-3dB 빔 폭	15 $^{\circ}$ $\pm$ 2 $^{\circ}$
편파형태	수직

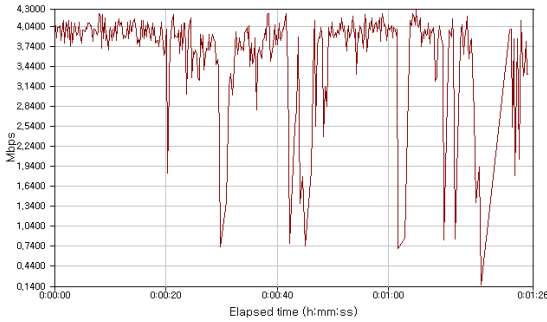


그림 1. 수신신호세기 : 차량이 움직일 경우  
Fig. 1 RSSI value when OBU is moving

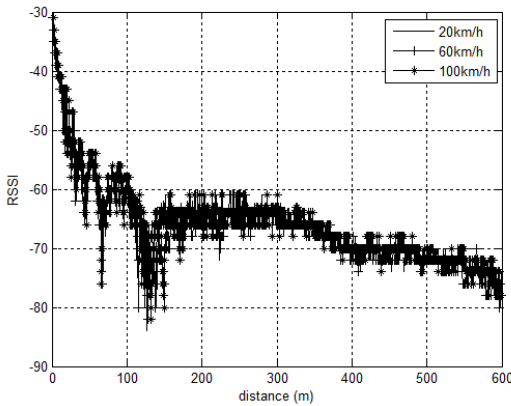


그림 2. 수신신호세기 : 차량이 정지했을 경우  
Fig. 2 RSSI value when OBU is not moving

차량이 움직이는 경우는 다양한 차량속도에서 수신신호세기 값을 측정하여 기록하였다. 차량이 정지해 있을 경우는 먼저 차량을 노변기지국과 0m 위치에 놓은 후 100개의 신호를 송신한 후 수신신호세기 값들의 최대값, 최소값 및 평균값을 기록하였다. 이 값들은 5m단위로 이동하면서 약 거리가 약 300m 까지의 값을 기록하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 차량이 움직일 경우와 정지해 있을 경우의 수신신호세기를 나타낸다. 그림 1에 나와 있듯이 차량이 움직일 경우는 20km/h, 60km/h, 100km/h의 속도를 고려하였는데, 속도와는 무관하게 수신신호세기는 일정한 형태를 나타냄을 확인할 수 있다. 약 120~150m 부근에서 신호가 약해지는 것을 알 수 있고 전체적인 신호는 거리에 따라 비선형적으로 변하는 것을 알 수 있다. 그림 2를 통해서 차량의 위치가 노변기지국 바로 밑에 위치할

경우는 수신신호의 세기가 약함을 알 수 있고, 차량이 동일한 위치에 있는 경우에도 수신신호의 세기가 변하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 토대로 차량이 이동할 경우에는 수신신호의 세기가 매우 심하게 출렁거릴 것을 유추할 수 있다.

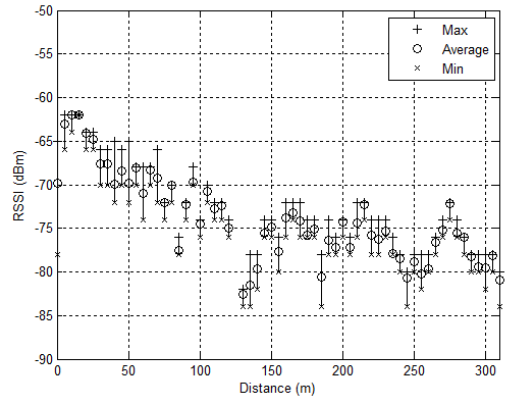


그림 3. 실제 고속도로 환경에서 데이터전송률  
Fig. 3 Throughput in practical highway environment

그림 3은 실제 고속도로 환경에서 데이터전송률(throughput)을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 데이터전송률은 채리엇(chariot)툴을 이용해서 측정하였다. QPSK 변조방식을 이용하여 차량이 60km/h로 달릴 경우에 대해 측정된 것이다. 노변기지국 안테나는 고속도로 갓길에 약 4m의 높이에 설치되었고 차량안테나는 약 1.8m의 높이에 설치하여 차량이 전체 3차선 도로에서 3차선을 달릴 때 데이터전송률을 측정하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 데이터전송률이 심하게 출렁거리는 것을 확인할 수 있다. 이는 수신신호자체 특성의 문제이기도 하지만 고속도로 환경, 예를 들면 주위차량이나 구조물 등에 의한 반사파의 영향 때문인 것으로 판단된다. 특히 수신차량주변으로 큰 차량이 지나갈 경우 데이터전송률이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 실내 환경의 경우는 신호의 출렁임이 없으며 평균적으로 약 4.1Mbps의 안정적인 데이터전송률을 보인다. 다음 장에서는 그림 1~3에서 보인 전파특성을 바탕으로 하여 신뢰성 있는 통신링크 및 안정적인 데이터전송률을 보장하기위한 방안에 대해 논의한다.

#### IV. 물리계층 이슈

이장에서는 앞장에서 보인 측정된 데이터를 기반으로 하여 신뢰성 있는 통신링크를 제공하기위한 물리계층의 이슈에 대해 논의한다. 5.9GHz대의 주파수를 이용하고 빠르게 이동하는 차량통신환경에서는 안정적인 통신링크를 제공하기 위해 안테나 빔 형태, 다이버시티기법, 채널 추정/추적(estimation/tracking) 및 중계기 사용 등이 고려되어야 한다.

##### 4.1. 안테나 빔 형태

안테나 빔 형태는 송수신기의 이득을 조절하고 송수신특성을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 앞장에서 실제 측정시 이득이 약 8dBi인 전방향 안테나를 이용했는데, 높은 이득을 제공하는 대신 안테나의 빔 폭이 매우 좁은 것을 알 수 있다. 이로 인해 그림 2에서처럼 수신안테나가 송신안테나의 바로아래에 위치할 경우 신호를 정상적으로 수신하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이와 같은 현상을 방지하기위해 안테나 빔 폭을 크게 하면 안테나 이득이 떨어지게 된다. 즉 안테나 이득과 빔 형태 간에는 트레이드오프(trade-off)가 존재하는데, 도로의 형태와 차량에서의 안테나 위치를 고려하여 신호를 안정적으로 송수신할 수 있는 안테나 특성을 정의하는 것이 중요하다.

##### 4.2. 수신다이버시티

다이버시티기법은 이동통신 분야에서 시스템의 성능을 향상시키기 위해 널리 사용되어왔다. 차량통신시스템에서도 신뢰성 있는 통신링크를 제공하기위해서는 다이버시티기법의 적용이 필요하다. 앞장의 결과에서 알 수 있듯이 수신신호는 여러 경로를 통해서 수신될 수 있는데 이러한 신호들을 결합해서 통신시스템의 전체적인 성능을 향상시킬 필요가 있다. [11]에서 수신다이버시티를 적용하여 전체적인 성능이 향상될 수 있음을 보였다. 특히 수신다이버시티기법은 그림 3에서 보인 것처럼 데이터전송율이 갑자기 줄어드는 부분에서 여러 경로를 통해서 수신된 신호를 이용해서 신호를 복조함으로써 전체적인 데이터전송율을 향상시키는데 이용될 수 있다.

##### 4.3. 채널추정 및 추적

차량통신채널은 다른 무선통신환경에 비해 채널이 매우 빨리 변하는 특성을 지닌다. 실제 차량통신채널을 측정한 결과가 [12]에 소개되었는데, 측정결과 채널의 동기시간 (Coherence time)이 매우 짧은 것으로 나타났다. 이는 OFDM 패킷신호의 길이가 짧을 경우는 문제가 되지 않으나 패킷의 길이가 길어지면 전체적인 시스템의 성능저하를 야기한다. 즉, 동기시간이 짧고 패킷길이가 길면 패킷이 전송되는 중간에 채널의 특성이 변하는 현상이 발생한다. OFDM 패킷은 여러 개의 심볼로 구성되어 있는데, 심볼의 중간에 주기적으로 긴 훈련심볼 (long training symbol)과 동일한 형태를 가진 미드엠블을 삽입하여 패킷이 전송중이라도 계속해서 채널정보를 추정 및 추적 하는 방식이 제안되었다. 그림 4에 미드엠블의 이용에 따른 시스템 성능을 보였는데, 차량간 통신 채널에서 차량이 140km/h로 이동할 경우 2000kbytes의 패킷(OFDM 신호)길이를 이용한 신호전송시의 비트오류율을 나타낸 것이다[13]. 그림에서  $\gamma$ 는 미드엠블 삽입 주기를 나타내는데  $\gamma$ 가 작은 값을 가질수록 미드엠블을 자주 삽입하는 것을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 미드엠블을 사용하면 통신성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

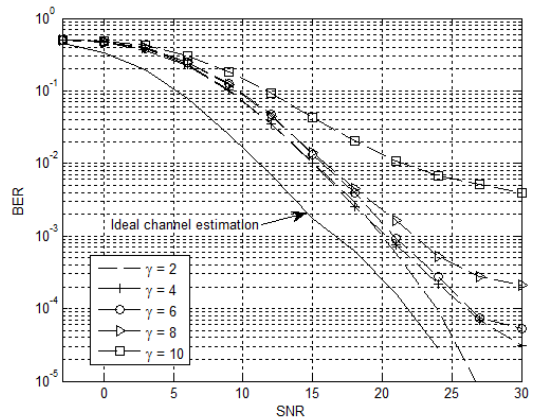


그림 4. 미드엠블 삽입에 따른 비트오류율  
Fig. 4 BER depending on various midamble insertion rate

미드엠블을 이용했을 경우 성능이 향상되는 하지만 미드엠블의 사용으로 인한 오버헤드를 고려해야 한다. 또한 이 방식을 실제 시스템에 적용하기위해서는 기

존의 OFDM 전송 표준의 수정이 필요하다. 기존의 표준을 변화시키지 않고 긴 패킷의 전송을 보장하기 위해서 패킷을 전송하는 중간에도 계속해서 채널정보를 업데이트시켜주는 채널추적기술이 적용되어야 한다. 기존의 무선랜 시스템에 채널추적기술의 적용은 파일럿을 이용하는 방법, decision directed 방법 등 여러 가지 방식이 제안되었으나 차량통신환경에 특화된 방식이 필요하다.

#### 4.4. 중계기

중계기의 사용은 이동통신시스템에서 통신영역을 확장하거나 음영지역의 해소 혹은 데이터 전송율을 높이기 위해 차세대통신시스템의 표준으로 채택되었다 [14]. 그림 3 및 여러 가지 서비스를 위한 전파특성 측정결과 차량통신시스템은 5.9GHz의 주파수를 사용함으로 인해 송신단과 수신단 사이에 장애물이 있으면 음영지역이 발생하여 신호가 전달되지 않음이 확인되었다. 차량과 노변기지국간의 통신을 이용하여 교통정보나 멀티미디어정보를 전송할 경우 신호가 전달되지 않거나 지연 후 전달되어도 크게 문제가 되지 않으나, 차량간 통신을 이용하여 긴급메시지를 전달할 경우는 이러한 신호단절은 큰 문제를 야기할 수 있다. 특히 이러한 경우는 통신을 하고자하는 차량사이에 큰 트러키나 장애물이 존재할 경우 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 차량 혹은 노변에 신호를 전달하는 역할을 하는 중계기의 설치가 필요하다.

## V. 결론

본 논문에서는 차량통신시스템의 신뢰성 있는 통신을 위해 필요한 사항들을 물리계층에 초점을 맞추어 소개하였다. 이를 위해 먼저 실제 환경에서 측정된 수신신호와 데이터 전송율을 소개하였고 이를 바탕으로 통신성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대해 논의하였다. 신뢰성 있는 통신링크를 제공하는 송수신단에서 적절한 이득과 빔 형태를 고려한 안테나 사용에 따른 통신성능 향상, 수신단에서의 다이버시티기법 적용 및 채널추정/추적기술을 이용한 수신 성능 향상 그리고 중계기를 이용한 음영지역 제거 등을 통해 제공될 수 있음을 논의하였다. 추후 연구과제로는 본 논문에서

언급된 각각의 경우에 대해 구체적인 방법과 성능분석 및 실험을 통한 검증이 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.11p, IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements, Part 11, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010.
- [2] G. Acosta-Marum and 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.
- [3] 고민호, 표승철, 박효달, "차량용 통합 안테나 모듈용 증폭단에 관한 연구", 한국전자통신학회 논문지, 4권, 2호, pp. 87-92, 2009.
- [4] 이승재, 윤중환, 이진우, "휴대 단말 주파수 대역에서 동작하는 차량용 안테나 설계", 한국전자통신학회논문지, 6권, 3호, pp. 337-341, 2011.
- [5] 이승재, 윤중환, 이진우, "차량에 적용 가능한 T-DMB/GPS/Mobile 안테나의 제작과 측정", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 629-636, 2011.
- [6] 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.
- [7] X. Yang, J. Liu, F. Zhao and N. H. Vaidya, "A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning," Proc. of International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, pp. 114 - 123, 2004.
- [8] F. Bai and H. Krishnan, "Reliability analysis of DSRC wireless communication for vehicle safety applications," Proc. of Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 355 - 362, 2006.
- [9] M. Nekovee, "Quantifying performance requirements of vehicle-to-vehicle communication protocols for rear-end collision avoidance," Proc. of Vehicle Technology Con-

- ference-Spring, pp. 1 - 5, 2009.
- [10] W. Cho, K-S. H, H. Y. C, and H. S. Oh "Realization of anti-collision application using V2V communication" Proc. of Vehicular Networking Conference, pp. 1 - 5, 2009
- [11] G. Maier, A. Paier, and C. F. Mecklenbrauker "Packet detection frequency synchronization with antenna diversity for IEEE 802.11p based on real-world measurements" Proc. of International ITG workshop on smart antenna, pp. 1 - 7, 2011
- [12] L. Cheng, B. E. Henty, R. Cooper, D. D. Stancil, and F. Bai, "A measurement study of time-scaled 802.11a waveforms over the mobile-to-mobile vehicular channel at 5.9 GHz", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 5, pp. 84 - 91, May, 2008.
- [13] W. Cho, S. I. Kim, H. K. Choi, H. S. Oh and D. Y. Kwak, ""Performance Evaluation of V2V/V2I Communications: the Effect of Midamble,"" in Proc. of IEEE International Conference on Wireless VITAE, pp.1-5, May 2009 .
- [14] <http://www.3gpp.org>

## 저자 소개

### 조 웅(Woong Cho)



1997년 울산대학교 전자공학과  
졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자  
통신공학과학과 졸업(공학석사)

2003년 Univ. of Southern California 대학원 전기  
전자공학과 졸업(공학석사)

2007년 Univ. of Florida 대학원 전기컴퓨터공학과  
졸업(공학박사)

2008년 2월 ~ 2011년 2월 한국전자통신연구원

2012년 3월 ~ 현재 중원대학교 컴퓨터시스템공학과  
교수

※ 관심분야 : 무선통신, 협력통신, ITS