논문 2014-09-36

협력주행 서비스를 위한 차량통신시스템 성능 분석

(Performance of Inter Vehicle Communication System for Cooperative Driving Service)

송 유 승*, 오 현 서
(Yoo-Seung Song, Hyun-Seo Oh)

Abstract : ITS services are quickly evolving due to the convergence of ICT technologies. WAVE technology based on IEEE802.11p specification has been introduced for the high speed vehicle communication and applied into the transportation system for driving safety and convenience. Recently, WAVE technology as a inter vehicle communication is used for cooperative driving application. In this paper, the implemented inter vehicle communication system is introduced and suggested as a solution for V2X communication. The performance of the implemented inter vehicle communication system is tested and analyzed under various conditions.

Keywords : Inter vehicle communication, WAVE, V2X, ITS, IEEE802.11p

Ⅰ. 서론

최근 ICT (Information and Communication Technology) 기술이 차량에 접목되면서 새로운 패러다임의 스마트한 교통시대가 도래하고 있다. 운전자에게 도로의 교통 상황을 사전에 전달하거나 필요한 데이터 서비스 제공을 통하여 더욱 안전하고 편리한 ITS (Intelligent Transportation System) 서비스가 확대되고 있다[1]. 고속 차량용 무선 통신 기술은 이러한 지능형 교통시스템을 가능하게 한 핵심적인 요소기술 가운데 하나이다.

이러한 ITS 서비스를 위해 최대 시속 200km/h의 고속 주행 차량에 대한 통신으로 IEEE802.11p 표준을 기반으로 WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) 기술이 완성되었다[2]. WAVE 기술을 활용한 다양한 응용 서비스 연구 중에서 특히 협력주행 기술에 대한 연구는 자율주행 전 단계의 ITS 기술로 주목을 받고 있다. 협력주행 기술은 한 대의 리더 차량이 주기적으로 운행 정보를 방송하고 멤버 차량은 각종 센서 정보와 리더 차량의 운행정보를 통하여 자율적으로 리더 차량을 따라 주행하는 기술이다.

현재까지의 관련한 연구를 살펴보면, Shin Kato는 멤버차량의 종축/횡축제어 알고리즘을 제안하고 리더로부터 수신한 정보를 토대로 실제 필드에서 다수의 차량으로 협력주행 시연을 통해 서비스의 가능성을 선보였다[3]. 여러 협력주행 그룹이 존재하는 상황에서 멤버 차량의 대수에 따른 각 그룹별 성능도 시뮬레이션을 통해 분석되었다[4]. IVC (Inter Vehicle Communication) 기술과 ACC (Adaptive Cruise Control) 기술을 융합하여 실차에 적용한 차량간 통신 기술도 소개되었다[5]. 이러한 협력주행 서비스를 위해서는 안정적이고 신호 품질이 보장되는 IVC 기술이 요구된다. IVC를 위한 WAVE 기술의 성능으로 데이터 전송속도와 핸드오버 지연시간 그리고 패킷 전송율 등의 연구 결과가 발표 되었다[6-8]. 그러나 실제 협력주행 시 그룹 내 차량 대수, 전송 패킷의 크기나 전송 주기 등에 따라 IVC의 핵심인 WAVE 통신의 성능이 어떻게 영향을 받는지 분석이 필요하다. 본 논문에서는 WAVE기술을 활용한 협력주행용 통신 시스템을 소개하고 개발된 통신시스템에 대한 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 WAVE

*Corresponding Author(yssong00@etri.re.kr)
Received: 1 May 2014, Revised: 17 June 2014, Accepted: 2 July 2014.
Y.S. Song, H.S. Oh: ETRI
※ 본 연구는 건설기술혁신사업 SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발과제 (07기술혁신A01) 지원으로 수행하였습니다
ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2014 Oct.: 9(5) 293-297
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2014.9.5.293

기술의 특징과 개발현황 그리고 WAVE를 활용한 협력주행용 통신 시스템을 소개한다. 3장에서는 개발된 통신시스템의 실험환경과 실험결과를 설명하고 4장에서 결론을 언급한다.

Ⅱ. WAVE 통신 시스템

본 장에서는 논문에서 V2X(Vehicle to Anything) 통신을 위해 표준으로 개발된 WAVE 기술에 대해 특징을 설명하고 대표적인 WAVE를 활용한 제품들을 소개한다.

1. WAVE 통신규격

WAVE 기술은 2010년에 미국 IEEE에서 확정된 통신 표준이다. WAVE 통신 기술의 가장 큰 특징은 최대 200km/h의 속도에서 패킷 지연시간 100ms 이내에 데이터를 주고받을 수 있도록 설계되었다. WAVE 통신 표준은 크게 IEEE 802.11p와 IEEE 1609.x 규격으로 구성된다. IEEE 802.11p는 무선 전송을 위한 물리계층과 MAC 계층, IEEE 1609.1은 ITS 응용 서비스 계층, IEEE 1609.2는 인증/보안 계층, IEEE 1609.3은 네트워크 계층 그리고 IEEE 1609.4는 멀티채널 계층에 대한 표준이다. 특히 채널 대역폭을 기존 Wi-Fi의 20MHz에서 10MHz로 변경함으로써 신호의 심볼 시간을 2배로 늘임으로써 전파의 지연확산(delay spread)에 강인하고 통신반경을 넓히도록 하였다. 차량에 관련한 긴급 안전메시지의 신속한 전달을 위해 인증 보안 등의 절차를 제거하여 링크 접속시간을 최대한 줄였다. 표 1에서 WAVE와 Wi-Fi의 특징을 표로 비교하였다.

표 1. WAVE와 Wi-Fi의 특징 비교
Table 1. Comparison of WAVE and Wi-Fi

항목	WAVE	Wi-Fi
중심주파수	5.9GHz	5/2.4GHz
채널 대역폭	10MHz	20MHz
데이터 전송속도 (Mbps)	3,4.5,6,9,12, 18,24,27	6,9,12,18,24,36 ,48,54
변조방식	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
데이터 부반송파 수	48	
파일럿 부반송파 수	4	
FFT 크기	64	
FFT 간격	6.4μs	3.2μs
부반송파 간격	0.15625MHz	0.3125MHz
CP 시간	1.6μs	0.8μs
심볼 시간	8μs	4μs

2. WAVE 통신 시스템 개발현황

WAVE기술을 활용한 단말기 개발이 해외에서는 활발히 진행되고 있으며 대표적인 제품은 다음과 같다. Kapsch사는 MCNU 통신장비를 개발하여 테스트베드에 설치하였으며 로컬 무선망과 차내 무선통신을 통해 전자결재 및 기본적인 차량안전메시지 전송 서비스를 지원한다. Savari사의 MobiWAVE 제품은 채널 대역폭을 가변 할 수 있으며 끊임없는 링크를 구성하기 위해 3G / WAVE / Wi-Fi 채널을 선택할 수 있는 백홀 옵션을 지원한다. Cohda Wireless사의 MK2 제품은 NLOS (Non-line of Sight)환경에서도 넓은 통신범위를 가지며 고속열차의 속도에도 통신이 가능하다. Denso사의 WSU 제품은 SBC(Single Board Computer)를 사용하며 다중안테나를 위한 듀얼 RF 커넥터를 지원한다. ITRI사의 IWCU 제품은 SAE J2735 규격의 BSM (Basic Safety Messages)을 지원한다. ARADA사의 LocoMate 제품은 10/20MHz 채널 대역폭을 지원하며 송신패킷마다 출력파워와 전송속도를 제어할 수 있다. Autotalks사의 PLUTON 제품은 여러 국가에 지원 가능한 RF 송수신 기술과 듀얼 채널 기술을 이미 확보하고 있다[9-15].

그림 1. WAVE 기술을 이용한 IVC 통신 시스템
Fig. 1 Inter vehicle communication system using WAVE technology

3. 협력주행용 통신 시스템 개발

본 절에서는 WAVE기술을 활용한 협력주행용 통신 시스템을 소개한다. 그림 1에서 보이는 협력주행용 통신 시스템은 크게 주행 상황을 가시적으로 표출하는 모니터, 차량간 협력주행에 필요한 메시지를 생성하고 처리하는 협력주행 메시지처리모듈 그리고 무선신호 송수신 처리를 위한 WAVE 통신모듈 등으로 구성된다.

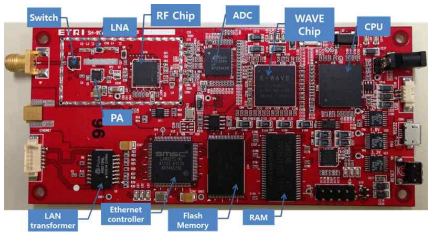

그림 2. WAVE 통신모듈의 H/W 구조
Fig. 2 H/W structure of WAVE communication module

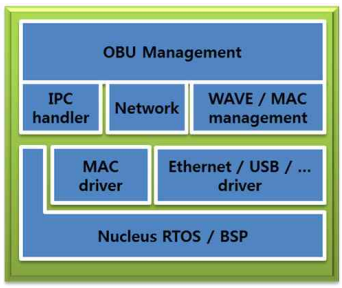

그림 3. WAVE 통신모듈의 CPU S/W 구조
Fig. 3 CPU S/W structure of WAVE communication module

협력주행 메시지 처리모듈은 협력주행을 위해 필요한 메시지를 주기적으로 생성하고 프로토콜을 처리하는 부분이다. 모니터를 통해 사용자에게 필요한 정보를 전달하고 WAVE 통신모듈과 이더넷으로 연결되어 데이터 패킷을 전달한다.

차량용 WAVE 통신모듈의 H/W 구조는 그림 2와 같다. 단일 RF 채널을 지원하며 외부 I/F로는 USB, RS232c, 이더넷 등을 지원한다. 물리계층과 MAC 계층의 기능은 WAVE chip으로 구현되었으며 DAC를 내장하고 있다. 그 외 네트워크 및 응용계층은 CPU로 구현하였다. 보드의 아랫면에는 GPS 모듈이 탑재되어 있어 시간동기 및 차량의 속도나 위치정보를 획득하여 타 차량이나 기지국에 전달 할 수 있도록 지원한다.

CPU에 구현된 WAVE 통신모듈의 S/W 구조는 그림 3와 같다. OS로는 Nuleus RTOS를 사용하고 있으며 WAVE chip을 구동하기 위한 MAC driver와 각종 주변장치를 구동하기위한 driver가 설치된다. 차량 간 혹은 기지국과 통신 시 필요한 네트워킹 프로토콜이 구현되어 있으며 멀티 홉 통신도 지원한다.

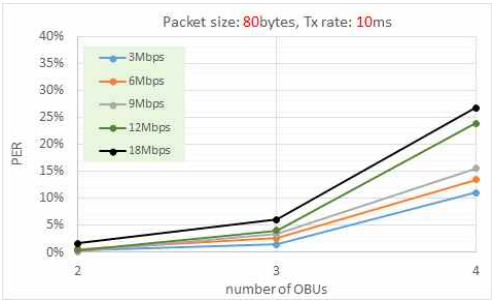

그림 4. 통신시스템(OBU)의 수와 전송속도에 따른 PER 성능 분석
Fig. 4 PER performance according to the number of OBU and data rate

Ⅲ. 통신시스템 성능평가

1. 시험환경

본 논문에서는 개발한 협력주행용 통신 시스템의 성능을 실내 시험을 통해 분석하였다. 우선 통신시스템을 1.5m 간격으로 일직선으로 배치하고 RF의 출력크기를 0dBm으로 설정하였다. 실제 필드에서와 같이 통신 반경 안에 모든 통신 시스템들이 위치하도록 하여 서로간의 통신 링크가 확보되도록 하였다. 또한 안테나는 Omni-directional 안테나를 사용하여 전 방위에서 동일한 이득을 같도록 하였다. 사용 주파수 대역은 5.850GHz을 사용하였다.

2. 성능시험 결과

개발한 협력주행용 통신 시스템 (OBU, On Board Unit)에 대해 실제 발생할 수 있는 다양한 데이터의 변화와 조건에 따른 성능 분석을 수행하였다. 데이터 패킷의 크기, 주기, 전송속도 그리고 통신시스템의 대수 등을 변화시켜 가며 PER (Packet Error Rate)을 분석하였다.

그림 4에서는 80바이트의 데이터를 10ms 주기로 전송하는 환경에서 개발된 통신시스템의 수를 증가 시켜가며 전송속도에 따른 PER 성능을 측정한 결과를 보여준다. 협력주행용 통신 시스템 (OBU)의 수가 3까지 증가 시 모든 전송속도에 대해 PER 10%를 만족하지만 4대로 증가하게 되면 급격하게 PER이 증가하게 됨을 보여준다. 이는 전파간섭이 증가하였기 때문이며 특히 12, 18Mbps와 같은 고속 전송 모드의 경우 더 민감하게 반응함을 알 수 있다.

차량간 안전한 협력주행 서비스를 위해서는 최

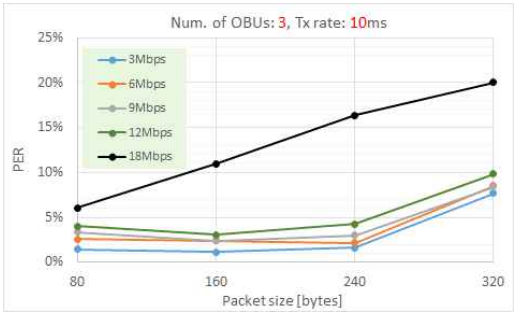

그림 5. 전송 데이터의 크기와 전송속도에 따른 PER 성능 분석

Fig. 5 PER performance according to the packet size and data rate

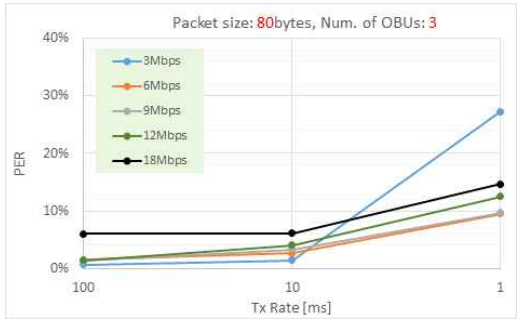

그림 6. 데이터의 전송 주기와 전송속도에 따른 PER 성능 분석

Fig. 6 PER performance according to the packet transmission and data rate

대 PER 10%의 성능이 만족되어야 한다. 차량 통신 시스템(OBU)의 수가 4개 이상인 조건에서는 최소한의 데이터 크기(80bytes)와 최대한의 데이터 전송주기(100ms) 환경에서도 본 논문에서 목표하는 PER 10% 이하의 성능을 만족하지 못하였다. 이는 본 시스템의 통신성능의 한계이며 추후 TDMA 또는 Hybrid 형태의 MAC 제어 알고리즘을 통해 더 많은 차량들이 통신 할 수 있도록 연구가 필요하다.

그림 5에서는 3대의 통신시스템이 10ms 주기로 데이터를 전송하는 환경에서 전송 데이터의 크기를 증가 시켜가며 전송속도에 따른 PER 성능을 측정한 결과를 보여준다. 18Mbps 전송 모드를 제외한 나머지는 데이터의 크기가 240바이트까지 증가할 때 큰 PER의 변화를 보이지 않으며 320바이트로 증가 시 PER이 다소 증가하나 PER 10%를 만족하는 것을 알 수 있다. 그러나 18Mbps 전송 모드의 경우 전송 데이터 크기가 증가 할수록 계속해서 급격하게 PER의 성능이 열화 되는 것을 알 수 있다. 이는 고속 전송 모드일수록 데이터의 크기가 커지게 되면 PER에 더 민감하기 때문이다.

그림 6에서는 3대의 통신시스템이 80바이트의 데이터를 전송 시 전송 데이터의 주기를 변화 시켜가며 전송속도에 따른 PER 성능을 측정한 결과를 보여준다. 데이터 전송 주기가 10ms일 때 까지 모든 전송 모드에 대해 PER이 크게 증가하지 않으나 주기가 1ms로 변경 시 PER이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 전송 모드 3Mbps의 경우 가장 크게 열화 되는 것을 보여주는 이유는 80바이트의 데이터를 전송하는데 가장 많은 시간이 소요됨으로 통신시스템간의 전파간섭이 가장 많이 발생하게 되기 때문이다.

Ⅳ. 결 론

최근 ICT 기술이 차량에 접목되면서 안전과 편의가 지원되는 교통 시스템이 보편화되고 있다. 이러한 기술적 진보에 있어서 가장 주요한 요소기술 중에 하나가 고동 이동환경에서도 통신이 가능한 WAVE 기술이다. 본 논문에서는 WAVE 기술의 특징과 제품을 개발하고 있는 주요 업체들을 소개하였다. 이러한 무선통신기술을 활용한 응용 서비스로 차량 간 협력주행 기술이 활발히 연구되고 있으며 본 논문에서는 협력주행 서비스를 위해 개발된 통신시스템을 소개하고 성능을 평가하였다. 주요 성능 평가 항목으로 통신시스템의 수, 데이터 패킷의 크기와 전송주기를 전송속도별로 분석하였다. 80바이트의 데이터를 3대의 통신시스템이 최대 10ms의 주기로 전송 시 PER 10%를 만족 할 수 있다. 18Mbps 이하의 전송속도 모드에서 3대의 통신 시스템이 10ms의 주기로 데이터를 전송 시 최대 320바이트의 데이터를 전송 할 수 있음을 알 수 있었다. 현재 WAVE 표준은 CSMA/CA 기반의 MAC을 사용함으로 다수의 사용자에 대해 전파간섭에 민감한 단점이 존재함으로 향후 다수의 사용자를 지원하기 위한 TDMA 개념의 MAC 개발이 요구된다.

References

[1] P. Papadimitratos, A.D.L. Fortella, K. Evenssen, R. Brignolo, S. Cosenza, "Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future

Outlook on Intelligent Transportation," IEEE Communcation Magazine, Vol. 47, No. 11, pp. 84-95, 2009.
[2] Y. Li, "An Overview of the DSRC/WAVE Technology," Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks, Vol. 74, pp. 544-558, 2012.
[3] S. Kato, S. Tsugawa, K. Tokuda, T. Matshi, H. Fujii, "Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving With Automated Vehicles and Intervehicle Communications," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No. 3, pp. 155-161, 2002.
[4] S. Kanda, M. Suzuki, R. Harada, H. Shigeno, "A Multicast-based Cooperative Communication Method for Platoon Management," Proceedings of IEEE Vehicular Networking Conference, 2011.
[5] J. Ploeg, O.J. Gietelink, D.J. Verburg, "Experimental Evaluation of A Communication Based Cooperative Driving Algorithm," Proceedings of World Congress on ITS, 2006.
[6] M. Moe, V. Nebehaj, T. Ernst, "CVIS performance test results: fast handovers in an 802.11p network," Proceedings of International Conference on Telecommunications for ITS, 2010.
[7] J.B. Kenney, S. Barve, V. Rai, "Comparing Communication Performance of DSRC OBEs from Multiple Suppliers," Proceedings of World Congress on ITS, 2012.
[8] S. Kim, "An Evaluation of the Performance of Wireless Network in Vehicle Communication Environment," The Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 36, No. 10, pp. 816-822, 2011 (in Korean).
[9] http://www.kapsch.net
[10] http://www.savarinetworks.com
[11] http://www.cohdawireless.com
[12] http://www.itri.org.tw/eng/econtent/about/about09_02.aspx?sid=16
[13] http://www.globaldenso.com
[14] http://www.aradasystems.com
[15] http://www.auto-talks.com/public/page.aspx?PageID=26

저 자 소 개

송 유 승

2001년 Wichita State University 박사
2005년~현재, 한국전자통신연구원 선임연구원
2011년~현재, 과학기술연합대학원대학교 겸임교수.
2001년~2005년, 삼성전자 통신연구소 책임 연구원.
관심분야: Mobile WiMAX, WLAN, Mesh Network
e-mail : yssong00@etri.re.kr

오 현 서

1998년 연세대학교 박사
1982년~현재, 한국전자통신연구원 근무.
관심분야: Intelligent Transportation System, WAVE(IEEE802.11p), 협력주행
e-mail : hsoh5@etri.re.kr