

차세대 ITS를 위한 WAVE 통신 시스템 성능 평가

Performance Evaluation of WAVE Communication System for the Next-Generation ITS

이세연*, 정한균*, 신대교*, 임기택*, 이명호**

Se-yeun Lee*, Han-gyun Jeong*, Dae-kyo Shin*, Ki-taeg Lim* and Myung-ho Lee**

요 약

차세대 ITS 환경에서는 도로에서 주행 중인 차량을 대상으로 하여 도로변에 RSE와 차량에는 OBU를 설치하여 고속 패킷 V2I 및 V2V 통신 기능, 보안 및 인증 기능, 기지국 셀 간 핸드 오버 기능 지원을 필요로 한다. 이에 따라, 이러한 서비스를 가능하게 하는 무선 통신 기술 역시 최대 200km/h의 차량 속도를 지원하고, 1km의 통신 거리를 가지며, 텍스트, 이미지, 동영상 등 멀티미디어 데이터 전송이 가능하도록 데이터 전송속도를 최소 10Mbps까지 지원하는 한편, 높은 통신 신뢰성을 갖도록 발전하고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11p PHY/MAC을 기반으로 하는 WAVE 통신시스템을 구현하고, 차세대 ITS 환경에 부합하는지의 여부를 평가하였다.

Abstract

Next-Generation ITS environment requires high-speed data packet transmission, security, authentication, and hand-over supportable for driving vehicle on road by installing RSEs and OBUs. Therefore, wireless communication technology for next-generation ITS services are advancing to 200km/h maximum speed supportable, 1km communication radius, minimum 10Mbps high-speed data rate for multimedia data (such as text, images, movie clips and so on) supportable, high reliability. In this paper, we implemented WAVE communication system which based on IEEE 802.11p PHY/MAC and evaluated that the system meets next-generation ITS environments.

Key words : IEEE 802.11p, WAVE, Wireless communication system, Next-generation ITS, Future Highway

I. 서 론

기존의 교통 정보 시스템에 첨단 IT 기술을 접목하여 교통 혼잡도를 줄이고 안전 운행과 대기 오염 감소 등을 실현하는 지능형 교통시스템(ITS, Intelligent Transport System)은 현재 전 세계적으로 대두되고 있는 교통문제의 심각성을 해결하기 위하여 교통운영

의 최적화, 교통 사고 감소, 물류비용 절감 및 환경 보호 등을 목표로 발전하고 있다[1]

이를 위해, 차세대 ITS 서비스에 따른 통신 기능의 공통 요구사항 분석 결과, 차량과 인프라 간(V2I, Vehicle to Infrastructure), 보안 및 인증 기능, 기지국 셀 간 핸드오버 기능이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 통신 성능 요구 사항으로는 차량 이동 속도 최대

* 전자부품연구원 (KETI, Korea Electronics Technology Institute)

** 청주대학교 전자공학부 (Dept. Electronic Eng., Cheong-ju University)

· 제1저자 (First Author) : 이세연

· 투고일자 : 2011년 11월 25일

· 심사(수정)일자 : 2011년 11월 25일 (수정일자 : 2011년 12월 26일)

· 게재일자 : 2011년 12월 30일

200km/h에서의 통신 가능과 셀 당 최소 1km 이상의 통신 영역(통신 반경 기준 0.5km 이상), 문자, 이미지, 동영상의 정보 제공이 가능할 것, 최소 10Mbps 이상의 데이터 전송 속도, 100ms 이내의 링크 접속 시간, 10% 이하의 패킷 손실율(Packet Error Rate) 확보가 필요한 것으로 분석되었다[2]

미국은 U.S. DOT(Department of Transport) 미국 연방 교통성의 지원 아래 차량 메이커, 통신 사업자 등 다양한 민간 업체들의 참여를 통해 VSC(Vehicle Safety Consortium), IntelliDrive, Connected Vehicle 프로젝트 등 V2I, V2V 기술을 이용한 도로 교통 안전성 향상에 중점을 두고 국가 차원의 다양한 연구개발 진행 중이다. 유럽은 ITS 전문 기관인 ETRICO에 의해 CVIS(Cooperative Vehicle Infrastructure System), SAFESPOT, COOPERS(CO-OPERative System for intelligent road safety) 등 차량 안전성 및 이동성의 향상을 위해 필요한 모든 기술을 통합하여 유럽 전 지역에서 사용할 수 있는 표준 디바이스와 서비스 개발 중이다. 일본의 경우 DSRC(Dedicated Short Range Communication)를 이용한 ETC(Electronic Toll Collection) 서비스의 전국적 확산을 기반으로 DSRC 통신 인프라를 활용한 교통정보 제공 및 차량 안전 서비스를 연구 추진 중이다[3]

국내에서는 지난 2001년부터 자동차 메이커와 통신사와의 연계로 텔레메틱스 서비스를 구축해왔다. 국내 DSRC 기술을 이용한 ITS 서비스는 2009년 이후, 하이패스 단말기를 프로브 데이터로 이용하여 교통정보 수집 및 제공 서비스 구축을 시작하였으며, 현재 국내 일부 지역에서 시범 서비스 중이다.

한편, 한편, 국토해양부는 2006년부터 교통시스템 구성 요소들의 실시간 네트워킹을 통한 유비쿼터스 환경에서의 교통체계 구현 및 실현기술 개발을 목표로 u-Transport 기반 기술 개발 연구를 시행하는 한편, 2007년부터 첨단 토목, IT, 자동차 기술을 상호 접목하여 빠르고 안전한 지능형 고속도로를 개발하기 위한 스마트하이웨이(SMART-Highway) 사업(이하 스마트 하이웨이)을 실시하여 2014년까지 실용화를 완료하고 2015년부터 상용화 할 계획이다[4]

스마트 하이웨이에서는 복합기지국이 RSE(노변 기지국, Road Side Equipment)의 역할을 담당한다. 복합기

지국은 DSRC(Dedicated Short Range Communication), Wi-Fi, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 등과 같은 여러 가지의 이종 통신 시스템을 일정한 하나의 개방형 플랫폼으로 통일하여 수용한 뒤, 다양한 단말기로 사용자에게 교통정보 및 각종 미디어 서비스를 가능하도록 기획되었다. 그림 1에 복합기지국의 간략한 개념도를 나타내었다.



그림 1. 스마트 하이웨이에서의 복합기지국
Fig. 1. a Complex Base Station in SMART Highway

본 논문에서는 이러한 스마트하이웨이에서 요구하는 차세대 ITS 환경에 부합하는 IEEE 802.11p PHY/MAC 기반의 WAVE 복합기지국 통신 시스템을 구현하고, 통신 성능을 평가하였다.

II. WAVE 표준 규격

2-1 기존 무선 통신 시스템과 WAVE

그림 2에 현존하는 주요 무선 통신 기술을 보였다[5]

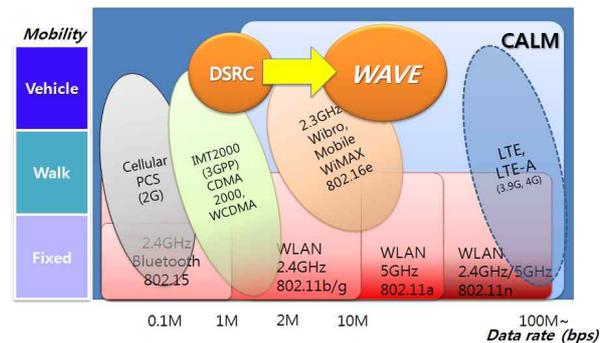


그림 2. 주요 무선 통신 기술 규격
Fig. 2. Major existing wireless communication technologies

현재 도로 교통 정보 제공 서비스나 하이패스와

같은 과금 체계용으로 널리 사용되고 있는 DSRC (Dedicated Short-Range Communication) 규격은 짧은 거리 내에서 길 가의 RSE(Road Side Equipment)와 차량 모바일 단말 OBU(On Board Unit)사이에 무선으로 정보를 주고받는 목적으로 개발되었다. DSRC는 최대 160km/h의 속도로 최대 1Mbps의 전송 속도를 가지며, 약 100m 전후의 최대 통신 거리를 갖도록 설계되었고, 현재 하이패스 시스템의 주요 통신 규격으로 사용되고 있다. 그러나, 최근 지능형 교통 시스템이 발달하면서 노변 기지국과 차량 단말기 사이에 주고받는 정보의 양이 많아지고, 보다 빠른 속도와 더 먼 거리의 통신을 원하게 되었을 뿐 아니라, 차량 단말기와 차량 단말기 간, 즉 차량 간 통신에 대한 필요성이 대두되었다. DSRC 규격 태스킹 그룹인 ASTM(미국 시험 재료 협회, American Society for Testing and Materials) international은 DSRC가 가지고 있던 장점은 그대로 살리면서 변화하는 ITS 환경에 따른 여러 요구사항을 부합시킬 차세대 DSRC 기술을 모색하기로 하였다[6]

여러 통신 방식을 검토한 결과, 일상에서 널리 사용되어 안정성과 시장성이 확보된 무선랜 기술을 지목하고, 무선랜에 요구되는 Wi-Fi 기술규격인 IEEE 802.11a OFDM PHY/MAC을 기반으로 열악한 전원 노이즈 및 까다로운 차량 내 전파환경 등을 만족시키는 IEEE 802.11p라는 새로운 규격 제정 작업을 지난 2006년부터 추진하여 2010년 8월에 마무리 지었다[7]

서비스 관련 규격은 이와는 별개로, IEEE Vehicular Technology Society(VTS)에서 P1609라는 규격으로 2006년 10월부터 제정 작업 중이다.

IEEE P1609는 자원 관리, 보안, 네트워크, 멀티채널 동작에 대한 기술을 각각 P1609.1~4까지 나누어 담고 있다. 앞서 설명한 IEEE 802.11p와 IEEE P1609 규격을 합쳐 통칭 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 규격이라 부른다[8]

차세대 DSRC 규격인 WAVE 규격은 Wi-Fi 기술을 근간으로 하고 있으나, 차량용을 주요 타깃으로 제정되었기 때문에 표 1과 같이 몇 가지 부문에서 Wi-Fi 및 DSRC와 차별성을 가진다.

WAVE 규격은 최대 200km/h에서도 데이터 통신이 가능한데, 이를 위해 기본 채널 대역폭이 절반

(20MHz-> 10MHz)으로 줄었으며, 이는 데이터 전송 속도를 반으로 줄이는 대신 통신의 신뢰성을 높이고, 채널 점유 경쟁을 줄이는데 목적이 있다. 또한, 초기 접속 시 보안에 관련된 프로토콜을 따로 정의하여 여타 IEEE 802.11 규격에서 사용하는 인증 절차를 생략하여 접속 시간이 빠르다[9]

Wi-Fi가 주로 실내용으로 고정된 환경에서의 빠른 데이터 전송을 하는 것이 목표라면, WAVE는 시시각각 변화하는 옥외용 환경에서 Wi-Fi에 비해 속도는 이론적으로 1/2이지만, 한번 통신 시 정확하게 전달하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, ITS환경의 요구사항을 반영하여 DSRC가 최대 약 200m의 통신 반경을 갖던 것을 LOS(Line-Of-Sight)가 보장되는 환경에서 최대 1km까지 지원하도록 통신 반경 범위를 개선하였다.

표 1은 DSRC와 WAVE 규격의 성능 비교를 보여 준다. 표 2에 주요 무선 통신 방식의 성능을 정리하였다. 국내외 연구개발 사례 및 구축 사례를 종합하여 가능한 모든 무선 통신 방식을 조사하였을 때 표 2과 같이 차세대 ITS 환경에서 요구되는 서비스 구현 최소 요구 사항에 부합되는 무선 이동 통신 규격은 DSRC, mobile WiMAX(Wibro), WAVE, LTE 네 가지로 좁혀진다.

표 1. DSRC와 WAVE 규격의 성능비교
Table 1. Comparison of performance DSRC with WAVE specification

항목	규격		
	RF-DSRC	IR-DSRC	WAVE
주파수	5.8GHz	800~900nm	5.850~5.925GHz
대역폭	10MHz	50nm	10MHz
기지대역 변조 방식	ASK	ASK-OOK	OFDM(MCM)
지원 가능 전송 속도	1.024Mbps	1.024Mbps	3,6,9,12,27Mbps
최대 지원 속도	160km/h	160km/h	200km/h
최대 통신 반경	10~20m, 100m	10~20m	max 1000m

DSRC는 접속 시간, 이동 속도 지원 면에서는 차세대 ITS 환경의 요구사항을 만족하지만 전송속도가 최대 1Mbps로 미흡하며, mobile WiMAX나 LTE 등 WAVE 규격과 비슷하거나 오히려 우수한 전송 속도

를 가진 통신 규격들은 모두 WAVE와 달리 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신을 지원하지 않는다. 이들 통신 방식으로 V2V를 구현할 경우, 구현 방식 별로 호환성을 유지하기가 매우 어렵기 때문에 해외는 물론 국내에서도 시장 경쟁력이 떨어지게 된다[10]

표 2. WAVE-타 이동통신 방식 별 비교
Table 2. Comparison of WAVE and another wireless communication system

요구 조건	통신 요구 조건	무선 이동통신 방식					
		DSRC	WLAN (802.11g)	셀룰러 3GPP (HSPA)	mobile WiMAX (802.16e)	LTE	WAVE (802.11p)
주파수	-	5.8GHz	2.4GHz	2.0GHz	2.3~2.4 GHz	700MHz/2 GHz	5.9GHz
교통 흐름에 상관없는 지속적인 정보교환	최소 110km/h 이동 속도 지원	지원 가능 (160km/h)	지원안함 (Walk)	지원가능 (250km/h)	지원가능 (120km/h)	지원가능 (350km/h)	지원가능 (200km/h)
단발기 장착 차량 95% 이상의 정보교환	최대 지연 시간 313ms 이내	200ms	3~5sec	1.5~3.5sec	10ms	100ms	100ms
다양한 형태 정보 제공 데이터 전송	최소 1Mbps 이상의 전송 속도	1Mbps	54Mbps	14.4Mbps (하향 시)	평균 2Mbps 최대 10 Mbps	최대 300Mbps (하향 시)	평균 12Mbps 최대 27Mbps
충분한 운전자 의사결정 예상시간	최소 85m 통신 반경	100m	500m	2km	1km	1km	1km
핸드오버 지원 가능여부	-	지원 안함	지원 가능	지원 가능	지원 가능	지원 가능	지원 가능
차량 간 통신 지원 여부	규격 내 정의 여부	지원 안함	지원 안함	지원 안함	지원 안함	지원 안함	지원 가능

III. WAVE 통신 시스템 구현

3-1 OFDM 통신 시스템

일반적인 도심환경이나 옥외 환경에서의 전파는 일직선으로 도착하는 직접파보다는 건물이나 지형지물에 반사되어 도착하는 많은 반사파로 구성된다. 이러한 다중 반사파에 의한 다중 경로 페이딩 (Multi-path Fading) 현상은 데이터 전송 속도가 고속으로 갈수록 심플 간 간섭(ISI, Inter Symbol Interference) 등 여러 가지 문제점을 야기하는데, 이러

한 문제점을 해결하기 위해서는 복잡하고 규모가 큰 통신시스템을 필요로 하게 되며, 이 역시 주파수 효율성이 떨어지는 등 심각한 성능열화를 발생시킨다 [11][12]

이를 해결하기 위하여 나온 기술이 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술이다. 이 OFDM 기술은 최신 무선랜, mobile WiMAX, LTE 등 최대 전송속도가 10Mbps 이상인 고속 무선 이동 통신에 사용되고 있으며, WAVE 규격에서도 OFDM 기술을 사용하도록 명시하고 있다.

본 논문에서도 역시 WAVE 규격을 만족하는 시스템의 구현을 위해 OFDM 기술을 도입하였는데, 이 OFDM은 다중 반송파 전송방식(MCM, Multi Carrier Modulation)으로서, 단일 반송파 전송방식에 비해 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)이 높다는 점이 주요한 단점 중 하나이지만[13], 스마트하이웨이에서의 복합기지국과 같은 RSE는 상시 전원이 연결되어 있는 관계로 충분한 전력 공급이 가능하여 PAPR은 크게 문제가 되지 않는다. 또한, OFDM은 ISI를 갖는 다중 경로 페이딩 채널에서 채널 용량을 이론적으로 최대화 할 수 있고[14] 적응변복조(AMC, Adaptive Modulation Coding) 등을 사용함으로써 성능 개선이 가능하다.

3-2 WAVE 통신 시스템 구현

그림 3은 구현한 WAVE 통신 시스템의 블록도를 보여준다.

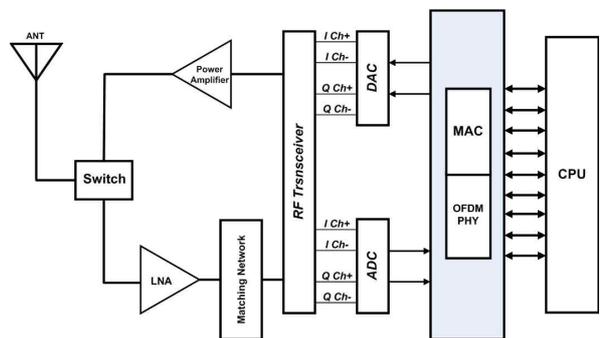


그림 3. WAVE 통신 시스템의 블록도
Fig. 3. Blockdiagram for WAVE Communication System

구현된 WAVE 통신 시스템은 크게 CPU부, 모뎀

부, 데이터 변환부, RF 부로 나뉜다.

사용된 CPU는 ARM 11 기반의 CPU로서, 전체 시스템을 제어하는 Operating System (OS)이 탑재되는 영역이다. 이때의 OS는 Firmware 혹은 Linux kernel 중 목적에 따라 선택적으로 부팅이 가능하다. 모뎀부와 데이터 전송은 SRAM 인터페이스로 동작한다.

모뎀부는 FPGA로 구현되어 있으며, OFDM PHY (Physical layer)와 MAC(Medium Access Control) 계층이 포함된다. 기저대역 및 RF를 제어하는 디지털 신호를 생성하거나 원천부호/복호화, 기저대역 변/복조 등의 역할을 담당한다.

기저대역 송신단은 IEEE 802.11p 무선랜 규격에 따라 각각의 부반송파는 BPSK, QPSK, 16-QAM 변조기를 이용하여 변조된다. 송신단은 이러한 변조기를 이용하여 데이터 심볼을 생성하고, 3~18Mbps의 전송 속도를 지원하기 위해서 1/2, 2/3 또는 3/4으로 평처리(puncturing)한다.

그림 4는 기저대역 송신단의 블록도를 보여주고 있다.

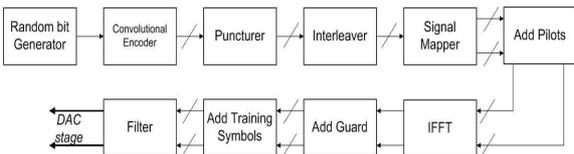


그림 4. 기저대역 송신단의 블록도
Fig. 4. Blockdiagram for Baseband Transmitter

그림 4에서 파일럿 삽입 블록은 64포인트 IFFT 단에서 규격에 따라 OFDM 심볼에 4개의 파일럿 심볼과 가상 반송파(Virtual Carrier)로 쓰이는 0을 삽입한다. 최종 신호는 DAC(Digital-to-Analog)로 입력되어 RF부로 입력되기 전 아날로그 신호인 IF 신호로 변환된다.

반대로 수신단의 경우에는 아날로그 기저대역 (IF)에서의 ADC (Analog-to-Digital)로부터의 입력되며, 8비트의 동위상 채널(I Channel)과 직교위상 채널(Q Channel)로 각각 이루어진다. 데이터는 송신단에서 사용된 것과 유사한 저역 통과 필터로 보내어진다. 그림 5는 디지털 기저대역 수신단의 블록도를 보여준다. 수신단의 블록 그룹에서의 첫 번째 블록은 패킷 검출, 시간 동기화, 심볼의 CP(Cyclic Prefix)의 제

거를 수행하게 된다.

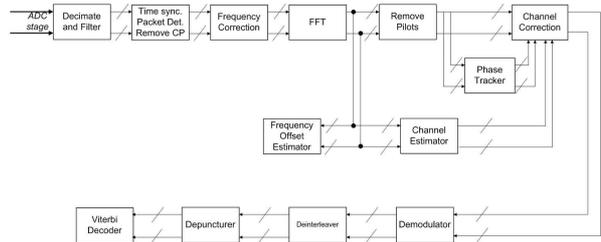


그림 5. 기저대역 수신단의 블록도
Fig. 5. Blockdiagram for Baseband Receiver

데이터 변환부는 모뎀부에서 생성한 10비트 디지털 데이터를 아날로그 I/Q 차동 신호로 변환하거나, RF부에서 입력된 중간주파수 아날로그 I/Q 차동 신호를 8비트 디지털 신호로 변환하여 모뎀부로 전달하는 기능을 수행한다.

RF부는 AWGN(Adaptive White Gaussian Noise) 채널을 통과하는 미약한 신호를 처리하므로, 좋은 SNR (Signal Noise Ratio) 특성을 유지하기 위하여 회로 내의 잡음을 최대한 억압시키는 한편, 통신 신호를 적절한 수준으로 왜곡없이 유지시키는 기술이 매우 중요하다. 그림 6은 RF부의 상세 블록도를 나타낸다. RF부에서는 데이터 변환부에서 생성된 아날로그 차동 신호를 보다 먼거리로 보낼 수 있도록 RF 반송파에 실거나, RF 반송파에 실려있는 실제 의미있는 데이터 신호를 믹싱하여 기저대역 주파수로 낮춰주는 역할을 수행한다. 이러한 동작을 구현하기 위하여 VCO(Voltage Controlled Oscillator)와 PLL(Phase Locked Loop), 그리고 Mixer가 회로 내에 포함된다.

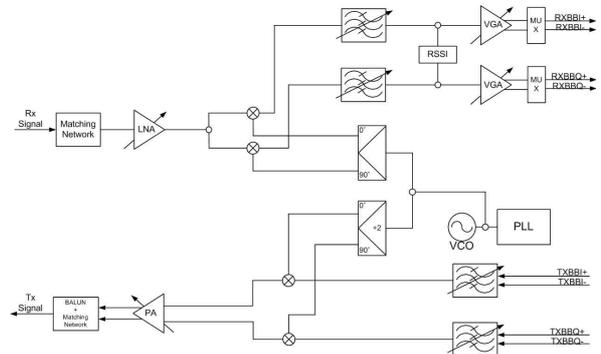


그림 6. RF부 상세 블록도
Fig. 6. Blockdiagram for RF Part

다음은 성능 평가를 위해 제작된 WAVE 통신 시

스택 시작품의 특징을 나타낸 것이다.

- CPU: Samsung ARM11 based S3C410
- FPGA: Xilinx XC5VLX110
- Standard Support: IEEE 802.11p based PHY/MAC
- Mandatory Datarate Supportable (3,6,12Mbps)
- -85dBm @BPSK minimum Sensitivity
- 2% Tx EVM @+17dBm maximum Tx Power
- -40 to +85 deg Celsius Operating Temperature range

그림7은 복합기지국에 WAVE 통신 시스템을 구성한 결과를 보여준다.

IV. 실험 및 결과

WAVE 통신모듈의 성능 평가는 IEEE 802.11 규



그림 7. WAVE 통신 시스템 구성
Fig. 7. Composited WAVE Communication System

격과 IEEE 802.11p의 규격의 성능 파라미터 지표에 따랐으며, 국내에는 아직 WAVE를 위해 할당된 주파수가 제정되지 않은 이유로 미국에서 제정된 주파수인 5.850GHz~5.925GHz 사이의 주파수를 시험 주파수로 설정하고 시험하였다. 규격에 부합하는 송신기의 성능을 평가하기 위해서는 벡터 기반의 스펙트럼 분석기(Vector Spectrum Analyzer, VSA)와 신호발생기(Vector Signal Generator, VSG)가 필수적이다. 시험 및 측정에 사용된 계측기는 아래와 같다.

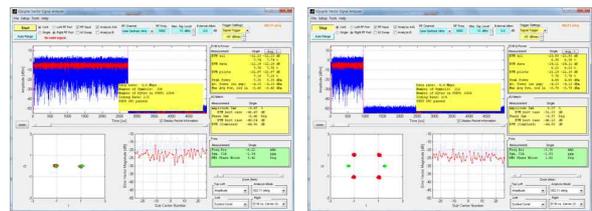
- General Spectrum Analyzer: Tektronix RSA3308A
- VSA/VSG Wireless LAN total solution: Litepoint IQView(w/ Baseband option)
- Portable Antenna/Cable/Network Analyzer: Agilent FieldFox N9912A
- Oscilloscope: Agilent DSO5034A

4-1 송신기 성능 평가

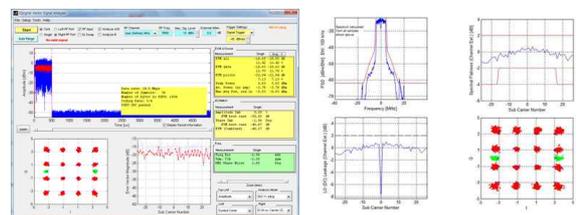
송신기의 성능은 먼저 기저대역의 성능을 평가한 뒤, 규격을 만족하는 판단이 서면 RF를 측정하여 성능을 평가하는 순서로 행하는 것이 일반적이다.

이때 성능을 평가하는 주요 기준은 EVM(Error Vector Magnitude), 정상도, 스펙트럼 마스크, LO 누설, 스펙트럼 평탄도 등의 파라미터가 규격 내에 들어오는지의 여부를 측정하여 판단하게 된다. 기저대역에서의 성능평가가 만족스럽다고 판단되면 RF로 상향 변환하여 성능을 측정하게 된다.

그림 8에 각각 BPSK, QPSK, 16-QAM으로 변조방식을 달리하여 송신한 결과를 보였다. 이때 사용한 시험 데이터는 슈도-랜덤(Pseudo-Random) 데이터로 채워진 1,000 바이트 길이의 IEEE 802.11 패킷을 사용하였다.



(a) BPSK 송신결과 (b) QPSK 송신결과
(a) BPSK Tx Result (b) QPSK Tx Result



(c) 16-QAM 송신결과 (d) 송신 스펙트럼 벡터 분석
(c) 16-QAM Tx Result (d) Tx Spectrum Vector Analysis

그림 8. 송신부 성능 평가 결과
Fig. 8. Result of the Transmitter Performance Evaluation

표 3. 송신부 성능 평가 결과

Table 3. Result of the Transmitter Performance Evaluation

실험 항목	단위	규격	측정치
Peak Power	dBm	<23	23.2
Maximum Average Power	dBm	<17	15.4
Transmit Center Frequency Tolerance	ppm	<±20	-6.22
Symbol Clock Frequency Tolerance	ppm	<±20	-1.34
Channel Bandwidth	MHz	10	10
Spectral Flatness(52subcarriers,after-ChannelEstimation)	dB	<+2/-4dB (LTS)	+1/-1
LO Suppression(52subcarriers,after-ChannelEstimation)	dB	>-15	-15

표 3은 IEEE 802.11p 규격에서 정의한 항목 별 측정치를 나타낸다. 실험 결과, 규격과 비교하였을 시 유사한 수준이거나 다소 우수한 성능을 보였다. 송신기의 신호 품질을 나타내는 지표로서, EVM(Error Vector Magnitude)과 주파수 오차, 심볼 클럭, RMS 위상잡음을 주로 측정하는데 이 값들이 높으면 높을수록 송신기의 성능이 열화 되었다고 판단한다. 이 지표들에 가장 큰 영향을 미치는 부품은 수정발진자(Oscillator, TCXO)이며, 802.11 규격에서는 오차범위 ±10ppm 미만의 발진자를 사용하도록 권고한다[15] 실제로 개발 중 이 발진자의 발진 타입을 수정함으로써 EVM, 주파수 오차, RMS 위상 잡음의 성능 개선이 있었다. 표4의 측정결과를 보면 실제 신호와 성상도에는 큰 차이가 없었으나, EVM(Combined)은 약 8dB, 주파수 오차는 16kHz, 위상 잡음은 반 이상 줄어 들었음을 알 수 있다.

표 4. TCXO의 타입에 따른 EVM, 주파수 오차, 위상 잡음의 개선

Table 4. Improvements of EVM, Frequency Error, Phase Noise by TCXO Changing

Parameter	Square Wave	Sinusoidal Wave
EVM (Combined) [dB]	-28.69	-36.06
Peak Power [dBm]	-36.45	-34.95
Frequency Error [kHz]	-18.90	-2.55
Symbol Clock [ppm]	-3.81	-3.84
RMS Phase Noise [degree]	31.42	13.90

4-2 수신부 성능 평가

수신기의 성능은 증폭기의 동작 범위(Dynamic Range)의 설계 범위에 따라 최소 수신 감도와 최대 수신 감도에 대해 PER(Percent Error Rate)를 산출하여 규격에 부합하는지를 평가한다. 이때의 PER은 컨덕션(conduction) 상태에서 케이블 손실을 고려하여 수신 감도와 동일한 신호 크기의 dot11p 패킷을 송출하고 10dB 수준의 잡음을 의도적으로 유입시켜 가상적으로 AWGN 채널을 형성한 뒤 측정한다.

표 5는 각 변조 방식별 최소 수신 감도에서의 PER 측정 결과를 나타낸다. 측정결과, 규격 대비 약 1~2dB 정도 더 우수한 수신 성능을 보였으며, PER은 BPSK가 4%, QPSK가 10%로 나타났다. 이는 규격에는 준하지만 실제 통신에 있어서는 만족할만한 수준은 아니므로, 향후 PER을 보다 감소시키는 노력이 계속되어야 할 것으로 사료된다.

표 5. 최소 수신 감도에서의 수신 성능

Table 5. Receiver Performance at Minimum Sensitivity

변조방식	코딩율 (R)	전송 속도(Mbps)	최소수신감도(규격)	최소 수신 감도(측정치)	PER (%)
BPSK	1/2	3	-85	-87	4%
BPSK	3/4	4.5	-84	-85	4%
QPSK	1/2	6	-82	-83	8%
QPSK	3/4	9	-80	-81	8%

V. 결 론

본 논문에서는 스마트 하이웨이를 위한 스마트 WAVE 통신 시스템을 설계하고 시작품을 제작하여 성능을 평가하였다. 제작된 시작품이 OFDM PHY와 MAC 규격을 만족하는지의 여부를 확인하기 위하여 RF부를 구성하여 스펙트럼 송신과 수신한 결과를 벡터 분석을 실시한 결과, IEEE 802.11p PHY와 MAC 규격을 만족함을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 SMART 도로-IT 기반 교통 운영기술 개발 사업(과제번호:07기술혁신A01) 세부 과제인 “사용자 중심의 SMART 통신 시스템 구축” 과제의 지원에 의함.

참 고 문 헌

- [1] 지식경제부, “고속데이터 통신용 시스템 IC(최종보고서)”, pp. 1, September. 2009
- [2] 국토해양부(한국건설교통기술평가원), “SMART 도로-IT 기반 교통운영기술개발” (스마트하이웨이사업단 핵심 2과제) 1단계 보고서, pp. 222-227, may. 2009
- [3] 국토해양부(한국건설교통기술평가원), “SMART 도로-IT 기반 교통운영기술개발” (스마트하이웨이사업단 핵심 2과제) 1단계 보고서, pp. 126-132, may. 2009
- [4] 항공우주연구원, “위성항법기반 교통기술개발 (육상통신기술 워크숍) -첨단 차량-도로 기반 ITS 서비스 제공을 위한 우리의 과제”, pp. 4-9, April. 2011
- [5] 항공우주연구원, “위성항법기반 교통기술개발 (육상통신기술 워크숍) -차량통신기술 개발현황”, pp. 3, April. 2011
- [6] ASTM international, “Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, pp. 1, July. 2009
- [7] IEEE Computer Society, “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 Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments”, July. 2010
- [8] IEEE Vehicular Technology Society, “IEEE Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - P1609”, April. 2010
- [9] IEEE Computer Society, “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”, July. 2007
- [10] 항공우주연구원, “위성항법기반 교통기술개발 (육상통신기술 워크숍) -첨단 차량-도로 기반 ITS 서비스 제공을 위한 우리의 과제”, pp. 17, April. 2011
- [11] Richard Van Nee and Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, pp. 15-21, 2000
- [12] 조용수, 김재권, 양원영, "MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB", 홍릉과학출판사, pp. 157-158, October. 2008
- [13] 조용수, 김재권, 양원영, "쉽게 설명한 3G/4G 이동통신 시스템", 홍릉과학출판사 pp.435, October. 2009
- [14] W.Hirt and J.L.Messey, "Capacity of the discrete-Time Gaussian Channel with Intersymbol Interference", IEEE Trans. on Information Theory, Vol.34, No.3, pp.380-388, May 1988
- [15] IEEE Computer Society, “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”, pp. 615, July. 2007

이 세 연 (李世燕)



2004년 청주대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 청주대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년-2008년 (주) 파워프라자
 2009년-현재 청주대학교 전자공학과 (박사과정) 전자부품연구원

관심분야 : ITS, 무선 통신 시스템, 차량용 통신 시스템

신 대 교 (辛大校)



1998년 아주대학교 전자공학과 (학사)
2000년 아주대학교 전자공학과 (석사)
2000년-2003년 (주) 이엠디티
2003년-현재 전자부품연구원
관심분야 : SoC 설계, 디지털 모뎀 설계

정 한 균 (鄭翰均)



2005년 한국항공대학교 정보통신 공학 (학사)
2007년 한국항공대학교 정보통신 공학 (석사)
2008년-현재 전자부품연구원
관심분야 : 네트워크 시스템 개발, 네트워크 프로토콜 설계

임 기 택



1994년 한양대학교 전자공학과 (학사)
1996년 한양대학교 전자공학과 (석사)
1996-현재 전자부품연구원, SoC 플랫폼 연구센터, 센터장
관심분야 : 지능형 자동차, ITS, 엔터테인먼트용 SoC 및 시스템

이 명 호



1979년 광운공과대학 전자통신학과 (학사)
1981년 연세대학교 전자공학과 (석사)
1991년 연세대학교 전자공학과 (박사)
1984-현재 청주대학교 전자공학부 교수
관심분야 : 데이터 통신