

IEEE 802.11p 구현을 위한 RF 회로 설계

RF Circuit Design for IEEE 802.11p Implementation

이세연*, 이명호**

Se-Yeun Lee*, Myung-Ho Lee**

요 약

차세대 ITS 환경을 위한 차량용 무선 통신 규격인 WAVE 규격은 IEEE 802.11p와 IEEE P1609 규격을 통칭하며, IEEE 802.11p의 규격제정이 마무리됨에 따라 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 고속 차량 환경과 실내 환경의 차이는 무선 통신 채널 모델이 훨씬 가혹하다는 것이다. 따라서, 무선 통신 시스템의 설계 시 온도, 잡음, 다중 경로 페이딩과 같은 시스템의 성능을 저하시킬 수 있는 사항들을 충분히 고려하여야 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11p PHY/MAC을 기반으로 하는 WAVE 무선 통신 시스템을 위한 RF 회로를 설계하고 실제로 구현하면서 나타나는 문제들을 보이고 이를 해결하는 과정을 보였다.

Abstract

The WAVE specification, which for the Next-Generation ITS environment is a common title: IEEE 802.11p and IEEE P1609 specifications. These days, there are many activities for researching WAVE specification by release of the IEEE 802.11p specification. The difference between high-speed vehicle environment and the indoor environment, the wireless communication channel mode is that much more severe. Thus, the wireless communication system design, temperature, noise, multipath fading and can degrade the performance of the system points should be fully considered matters of. In this paper, we showed WAVE wireless communication system which based on IEEE 802.11p PHY/MAC design process, and also showed solving process many implementation problems.

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

I. 서 론

WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)[1]는 차량의 안전을 증대하고 교통정보 전송을 위해 기존의 IEEE 802.11a 표준 규격[2]을 차량 환경으로 변경하기 위해 필요한 내용을 별도로

규정한 IEEE 802.11p 표준[3]과, 차량 통신을 위한 서비스를 규정한 IEEE P1609 규격[4]을 통칭한 규격이다. 그림 1에 이러한 WAVE 표준 구조를 보였다.

WAVE 표준을 물리적으로 구현하기 위해 OSI 7계층에서 요구되는 Physical 계층(PHY)과, MAC(Medium Access Control) 계층이 정의된 IEEE

* 전자부품연구원 (KETI, Korea Electronics Technology Institute)

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

· 제1저자 (First Author) : 이세연

· 투고일자 : 2011년 12월 16일

· 심사(수정)일자 : 2011년 12월 17일 (수정일자 : 2012년 2월 21일)

· 게재일자 : 2012년 2월 28일

802.11p 표준은 기존의 IEEE 802.11과 IEEE 802.11a

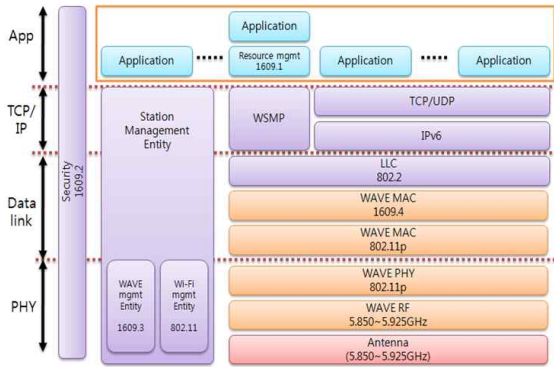


그림 1. WAVE 표준 구조
Fig. 1. Structure of the WAVE Specification

규격을 기반으로, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 기술을 적용하여 다중 경로 페이딩 (Multi-Path-Fading)에 강인하면서도 고속 패킷 전송을 저해하는 요소인 심볼 간 간섭 (ISI, Inter Symbol Interference)을 줄이는 기술이 포함되어 있다. 또한, IEEE 802.11p에서는 차량 및 외부에서의 원활한 동작을 위해 기존 IEEE 802.11 PHY 표준의 다음과 같이 몇 가지 부분을 새롭게 정의하였다.

첫 번째는 인접 채널 간섭 관련 OFDM 성능 지표가 강화되었다는 점이다.

두 번째는 채널 간격 기준이 선택 사항과 필수 사항으로 기존 표준에 추가되었다. IEEE 802.11p에서는 10MHz 채널 대역폭을 필수 사항으로 채택하고, 20MHz 채널 대역폭과 5MHz 채널 대역폭을 선택 사항으로 지정하였다.

세 번째는 주파수 대역이 변화하였다는 점이다. IEEE 802.11p에서는 기존 DSRC(Dedicated Short Range Communication)의 이후 주파수를 이용하여, 5.850GHz~5.925GHz 대역의 주파수를 미국 내 WAVE를 위한 주파수로 할당하였다.

네 번째 변화는 WAVE 주파수 대역을 사용하여 스펙트럼 전송을 할 경우, 해당 대역의 스펙트럼 파워 제한을 표 1과 같이 정의한다. (이때, Class A 구현은 필수 사항이며, 나머지 Class는 선택 사항이다)

표 1. IEEE 802.11p 최대 전송 파워 제한
Table 1. Max Trasmit Power Limitaion in IEEE 802.11p

STA Transmit Power Classification	MAX STA Transmit Power (mW)	MAX Permitted EIRP (dBm)
A	1	23
B	10	23
C	100	33
D	760	33/44.8

다섯 번째는 스펙트럼 마스크의 재정의이다. IEEE 802.11p는 표 1의 각 Class에 대한 전송 스펙트럼 마스크를 기존 IEEE 802.11 OFDM PHY에 정의된 20MHz 채널 대역폭에 대한 정의 외에, 10MHz, 5MHz 채널 대역폭에 대해 그림 2와 같이 재정의한다.

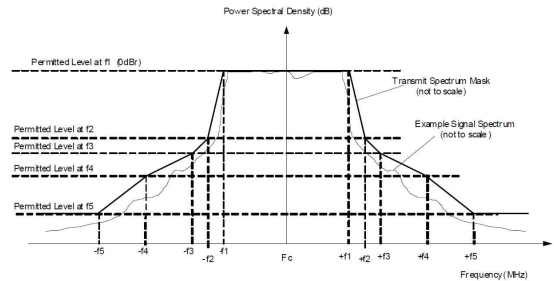


그림 2. IEEE 802.11p 스펙트럼 마스크
Fig. 2. Spectral Mask of the IEEE 802.11p

초기 Draft 규격에서는 동작 온도에 관련된 내용 (Type IV: -40°C~85°C)이 정의되어 있었으나[5], 지난 2010년 8월에 제정된 최종본에서는 해당 내용이 삭제되었다.

본 논문에서는 이러한 IEEE 802.11p를 만족하는 무선 통신 시스템을 구현하기 위하여 필요한 RF 회로를 설계하고, 테스트하는 과정에서 나타나는 문제점을 해결하는 과정을 보였다.

II. WAVE 통신 시스템 구현

2-1 구현된 WAVE 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 심볼 간 간섭(ISI, Inter Symbol Interference) 등 여러 가지 문제점을 야기하는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 복잡하고 규모가 큰 통신시스템을 필요로 하게 되며, 이 역시 주파수 효율성이 떨어지는 등 심각한 성능열화를 발생시킨다 [6][7]

이를 해결하기 위하여 나온 기술이 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술이다. 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[8], 구현된 통신 시스템은 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 [9] 적응변복조(AMC, Adaptive Modulation Coding) 등을 사용함으로써 성능 개선이 가능하다.

그림 3은 구현한 WAVE 통신 시스템의 블록도를 보여준다. 구현된 WAVE 통신 시스템은 크게 CPU부, 모뎀부, 데이터 변환부, RF 부로 나뉜다.

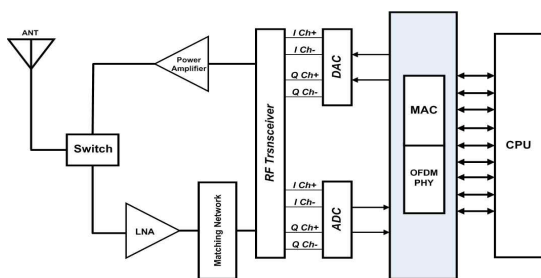


그림 3. WAVE 통신 시스템의 블록도
Fig. 3. Block Diagram for WAVE Communication System

다음은 성능 평가를 위해 제작된 WAVE 통신 시

스템 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

2-2 트랜시버 선정

최신 WLAN(Wireless LAN) 기술을 필요로 하는 IEEE 802.11p는 규격 제정 완료 시기가 얼마되지 않고, 아직 관련 어플리케이션이 시장에서 두드러지지 않은 관계로 전용 트랜시버가 아직 시장에 없으나, Texas Instruments, Analog Devices 등 많은 칩 벤더들은 관련 시제품을 개발해놓고 시장이 열리기를 기다리고 있는 상황이다. 한편, Atheros 등 기존 WLAN 칩 벤더들은 기존 IC에 소프트웨어 드라이버를 수정하여 IEEE 802.11p를 구현할 수 있는 장치를 미리 준비해 놓고 역시 시장이 열리기를 기다리고 있다. MAXIM의 경우 Atheros와 마찬가지로, 소프트웨어적으로 주파수 대역과 채널 대역폭을 제어할 수 있는 제품을 내놓은 바 있다. 본 논문에서는 이 중 입수가 용이하고, 별다른 서류적 제약없이 IEEE 802.11p를 구현할 수 있는 MAXIM의 제품을 이용하여 시스템을 구현하였다.

2-3. 송수신기 설계

IEEE 802.11p에서 규정하는 송신기의 최대 전력 전송은 표 1과 같고, 최소 수신 감도는 표 2와 같다.

표 2. IEEE 802.11p 최소 수신 감도

Table 2. Minimum Sensitivity in IEEE 802.11p

변조방식	코딩율 (R)	최소 수신 감도 (dBm)
BPSK	1/2	-85
BPSK	3/4	-84
QPSK	1/2	-82
QPSK	3/4	-80
16-QAM	1/2	-77
16-QAM	3/4	-73
64-QAM	2/3	-69
64-QAM	3/4	-68

그림 4와 5는 각각 송신기의 회로 블록도와 수신기의 회로 블록도를 보여준다.

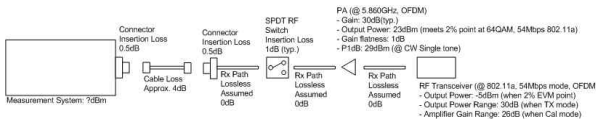


그림 4. 송신기의 회로 블록도
Fig. 4. Circuit Block Diagram of transmitter

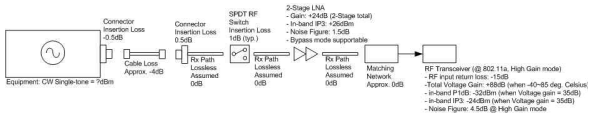


그림 5. 수신기의 회로 블록도
Fig. 5. Circuit Block Diagram of Receiver

송신기의 경우 그림 3에서 보였듯 기저대역 모뎀에서 내보내는 I와 Q의 2채널 차동 신호를 DAC로 거쳐 트랜시버 IC로 보내고 트랜시버 IC 출력 신호를 전력 증폭기를 거쳐 증폭한 뒤 안테나로 방사하게 되는 비교적 간단한 구조이다.

그러나, 수신기의 경우 실제 고속 주행 중인 차량 환경에서의 기지국과 차량간, 혹은 차량과 차량간 무선 통신을 수행하기 위해서는 여러가지 고려를 하지 않으면 안된다.

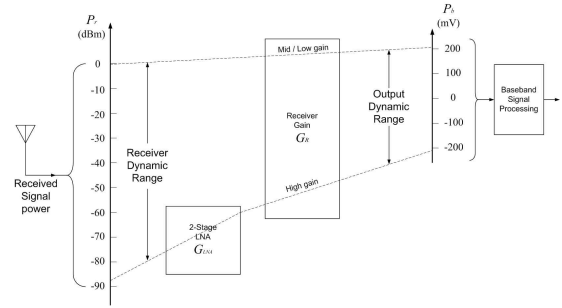


그림 6. 수신기 입력과 출력 간의 전력 레벨 그래프
Fig. 6. Power Level Graph of Receiver Input and Output

그림 6에 수신기의 입력과 출력 간의 전력 레벨 변화를 보였다. 표 2에서 볼 수 있듯 IEEE 802.11p에서 규정하는 최소 수신 감도는 -85dBm이므로, 최소 수신 감도 신호인 -85dBm 강도의 신호가 들어온다고 가정할 때, 2단 LNA(Low Noise Amplifier)를 거쳐 24dB의 이득을 얻은 신호가 트랜시버로 유입되게 된다. 트랜시버 내에도 LNA가 있지만, 외부에 2단 LNA를 추가적으로 설계한 이유는 트랜시버 내의 LNA는 High gain, Mid-gain, Low gain의 세 가지 모드를 선택할 수 있게 되어 있으나, 이 LNA의 특성 그래프를 보면, 그림 7과 같이 Low gain 모드의 Noise Figure가 5.8GHz~5.9GHz 대역에서 약 36dB로[10], Mid-gain 모드나 High gain 모드에 비해 현저히 높아 가끔적 Low gain 모드를 사용하지 않는 상황을 만들 고자 한 것이다.

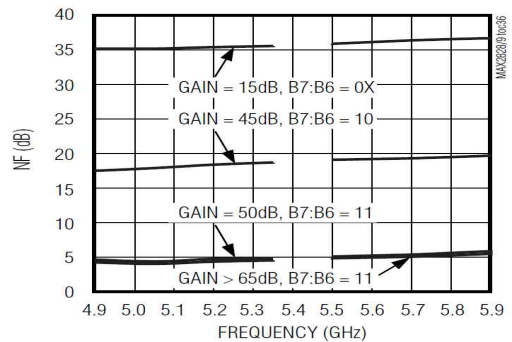


그림 7. 트랜시버 LNA의 NF 대 주파수 그래프

Fig. 7. NF vs Frequency Graph of the Transceiver LNA

그림 8은 설계된 송수신기 전체 블록도를 보여주며, 그림 9는 이를 토대로 설계된 PCB의 각 층을 나타낸다.

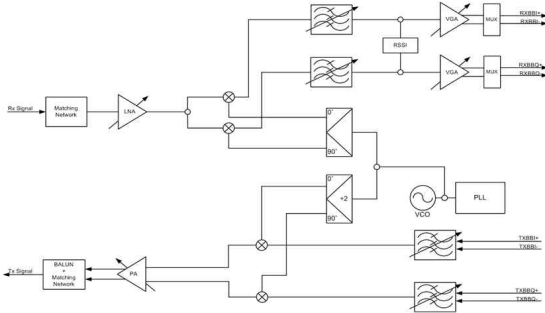


그림 8. 설계된 송수신기의 전체 블록도
Fig. 8. Whole Block Diagram of Designed Transceiver

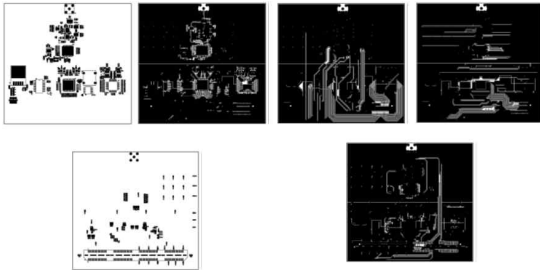


그림 9. 설계된 PCB
Fig. 9. Designed PCB

III. 실험 및 결과

WAVE 통신모듈의 성능 평가는 IEEE 802.11 규격과 802.11p의 규격에 따랐으며, 국내에는 아직 WAVE를 위해 할당된 주파수는 제정되지 않은 관계로 미국에서 제정된 주파수인 5.850GHz~5.925GHz 사이의 주파수를 시험 주파수로 설정하고 시험하였다. 규격에 부합하는 송수신기의 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

3-1 송신기 설계 결과

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.

설계된 수신기는 직접 변환 수신기(Direct Conversion Receiver) 이므로, 기저 대역에서 RF 대역으로 직접 상향 변환한다. 그림 10은 기저 대역에서의 동위상 신호를 IEEE 802.11 패킷 구조에 입각한 짧은 훈련 심볼 시퀀스(STS, Short Training Sequence)를 시간 축으로 측정한 결과이다.

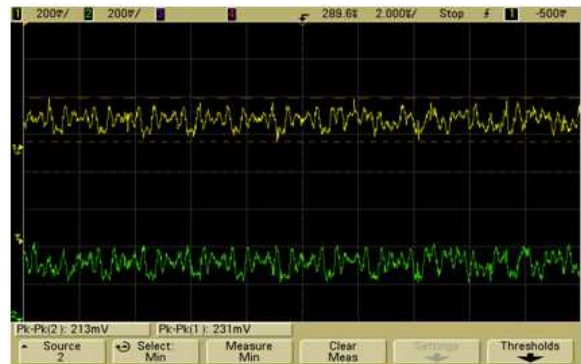
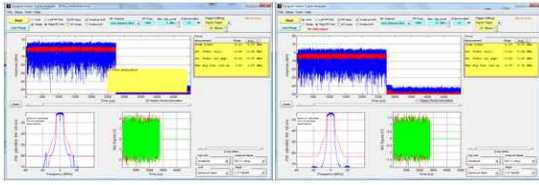


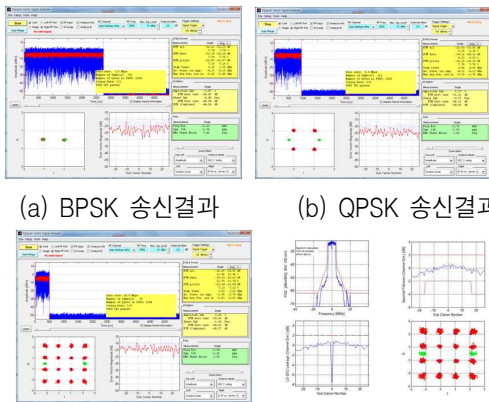
그림 10. 기저 대역 대역에서의 동위상 STS 측정결과
Fig. 10. In-Phase STS Measurement Result in Baseband

일반적으로 기저 대역에서의 성능평가가 만족스럽다고 판단되면 RF로 상향 변환하여 성능을 측정하게 된다. 송신기는 그림 11과 같이 두 가지 형태로 개발을 진행하였는데, 첫 번째는 OFDM의 스펙트럼 평탄도를 강화한 형태이고, 두 번째는 스펙트럼 마스크의 10MHz 대역폭을 철저히 준수한 형태이다. 이 특성들은 실제 통신에는 영향을 미치지 않았으며, 용도에 맞게 B.O.M(Bill Of Material)를 변경하여 회로를 선택할 수 있도록 설계되었다.



(a) 스펙트럼 평탄도 강화 (b) ACPR 강화
 그림 11. 송신기의 두 가지 버전
 Fig. 11. Two Versions of Transmitter

그림 12에 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
 (c) 16-QAM 송신결과 (d) 송신 스펙트럼 벡터 분석

그림 12. 송신기 성능 평가 결과
 Fig. 12. Result of the Transmitter Performance Evaluation

4-2 수신부 설계 결과

안테나 포트에 유입되는 RF 신호는 일반적으로 매우 미약한 크기의 신호로 들어오게 된다.

따라서 수신단에서의 임피던스 정합(impedance matching)은 송신기의 그것보다 더욱 중요하다. 특히, LNA(Low Noise Amplifier) 증폭을 거치지 않은 프런트-엔드(Front-end) 단의 임피던스 정합은 수신 감도의 2~3dB 가량 영향을 미치므로 반드시 확인하여야 한다. 그림 13은 수신 프런트-엔드 단의 임피던스 정합 결과를 나타낸다.

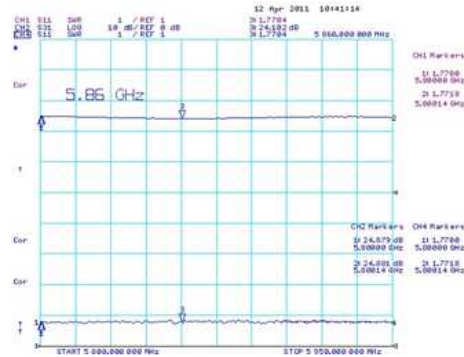


그림 13. 프런트-엔드 단에서 측정된 S11, S21, S22
 Fig. 13. Measured S11, S21, S22 at Front-End

수신기의 성능은 그림 6에서 보인 바와 같이 증폭기의 동작 범위(Dynamic Range)의 설계에 따라 각 부품들이 1차 압축점(P1dB)와 3차 교차점(IP3)가 설계 범위 안에 있는지를 검증하게 된다. 그림 14에 실제 측정된 전력 및 잡음 레벨 도표를 보였다.

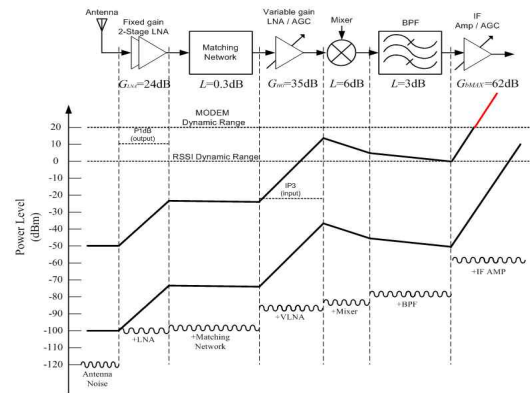


그림 14. 신호 전력과 잡음 레벨
 Fig. 14. Signal Power and Noise Level

그림 14를 보면, 들어오는 신호가 강할 경우, 모델의 동적 동작 범위를 벗어나게 되므로, 수신신호 세기(RSSI, Received Signal Strength Indicate)를 보고, 트랜시버 내에 존재하는 LNA와 IF 증폭기의 이득을 적절히 조절하는 AGC(Automatic Gain Control)가 필수적이다. 설계된 AGC는 각각 약 18dB의 이득을 갖는 3단계의 LNA와 2dB씩의 단계를 갖는 프로그래머블 기저 대역 이득을 갖는 VGA를 3회 내로 설정하여 STS 안에 원하는 신호 레벨이 되도록 조정할 수 있게 설계되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11p 구현을 위한 RF 회로를 설계하고 구현하는 과정에서 나타나는 몇 가지 문제점들을 해결함을 보였다. 이를 위한 시작품이 IEEE 802.11p OFDM PHY와 MAC 규격을 만족하는지의 여부를 확인하기 위하여 스펙트럼 송신과 수신한 결과를 벡터 분석한 결과, IEEE 802.11p PHY와 MAC 규격을 만족함을 확인하였다.

앞서 설명한 바와 같이, IEEE 802.11p 규격은 차량 환경을 위한 규격이지만 주파수를 5.850GHz~5.925GHz의 대역을 사용하도록 권고하고 있어 2.4GHz를 사용하는 기존 WLAN에 비해 직진성이 강하고, 다양한 다중 경로 페이딩과 금속 반사가 혼재하는 상황이다. 따라서, 현재 설계한 SISO 방식의 통신 시스템으로는 이러한 무선 채널 환경을 충분히 만족시키지 못한다. 향후 연구로는 MIMO와 STBC(Space-Time Block Coding)을 이용하여 차량 환경에서 강인한 통신 시스템을 설계하고자 한다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 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
- [2] IEEE Computer Society, " Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: High-speed Physical Layer in ther 5 GHz Band", September. 1999
- [3] 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
- [4] IEEE Vehicular Technology Society, “IEEE Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - P1609”, April. 2010
- [5] Draft Amendment to Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and Metropolitan networks - specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Amendment 3: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) D1.0”, pp.47, February. 2006
- [6] Richard Van Nee and Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, pp. 15-21, 2000
- [7] 조용수, 김재권, 양원영, "MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB", *홍릉과학출판사*, pp. 157-158, October. 2008
- [8] 조용수, 김재권, 양원영, "쉽게 설명한 3G/4G 이동통신 시스템", *홍릉과학출판사* pp.435, October. 2009
- [9] 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
- [10] MAXIM Integrated Products, "MAX2828/MAX2829 Datasheet", *MAXIM*, pp.19, October. 2004

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

이 명 호



1979년 광운공과대학 전자통신학과
(학사)
1981년 연세대학교 전자공학과
(석사)
1991년 연세대학교 전자공학과
(박사)

1984-현재 청주대학교 전자공학부 교수

관심분야 : 데이터 통신