

# LTE-WAVE 복합형 V2X 통신모듈 설계

임기택\* · 진성근\* ·곽재민\*\*

\*전자부품연구원

\*\*목포해양대학교

## V2X Communication Module Design with Hybrid LTE-WAVE

Ki-taeg Lim\* · Seong-keun Jin\* · Jae-min Kwak\*\*

\*Korea Electronics Technology Institute

\*\*Mokpo National Maritime University

E-mail : kjm@mmu.ac.kr

### 요 약

C-ITS 통신프로토콜과 이동 통신 프로토콜인 Legacy LTE 통신을 복합적으로 지원하는 하이브리드 V2X 통신시스템을 구현하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 설계 방안과 설계과정을 제시한다. 하이브리드 V2X 통신시스템은 복수의 통신기술로 WAVE와 LTE를 지원하고, WAVE에 대해서는 복수채널 통신을 지원하여, 자율주행 차량에 LDM, 측위보정정보 등의 도로정보를 실시간으로 전달하기 위한 목적으로 설계하였다.

### ABSTRACT

we propose a design method and process for hardware and software of hybrid V2X communication systems that support both C-ITS communication protocol and Legacy LTE communication technology. The hybrid V2X communication systems support multiple communication technologies of WAVE and LTE, in which WAVE supports multiple channels, so that it is designed to transmit road information such as LDM and positioning correction information to an autonomous vehicle in real time.

### 키워드

V2X, LTE, WAVE, C-ITS

## I. 서 론

2013년 국토교통부에서 C-ITS 도입방안 연구를 시작하면서 C-ITS란 용어는 기존 ITS에서 발전된 차세대 ITS의 개념으로 사용하고 있다. 한국을 포함하여 주요 선진국들은 차세대 ITS의 조기 도입을 위해 C-ITS 프로젝트를 적극적으로 추진하고 있으며, 콘셉트 및 기술 검증, 실 도로 시험, 시험구축, 그리고 사업화 단계 순으로 추진하고 있다. 미국, 유럽 등 선진국들은 WAVE (wireless access in vehicular environments) 통신 기반 안전서비스 제공 시범사업(미국 Safety Pilot Model Deployment, 유럽 ITS Corridor 등) 후 의무 장착 등 본 사업 준비 중에 있다. 더 나아가 최근의 C-ITS기술은 차량제어기술과 접목하여 자율주행으로 이어질 준비를 하고 있다[1],[2].

본 논문에서는 차량 환경에 적합하게 설계된 WAVE 기반의 C-ITS 통신프로토콜과 이동 통신 프로토콜인 Legacy LTE통신 기술을 함께 지원하는 하이브리드 V2X 통신모듈의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 설계 방안을 제시한다. C-ITS 통신 프로토콜은 저 지연 특성으로 인해 차량간 V2V(vehicle to vehicle) 통신과 근거리 기지국-차량 간 V2I(vehicle to infra) 통신에 특화되어 있어 안전 서비스 어플리케이션에 적합하며, Legacy LTE는 고지연, 고용량 특성으로 인해 차량간 통신보다는 기지국-차량간 통신을 이용한 비 안전(교통정보, 인포테인먼트 등) 어플리케이션에 적합한 기술이다[3]. 본 논문에서 설계하는 하이브리드 V2X 통신 모듈은 복수의 통신기술로 WAVE와 LTE를 지원하고, WAVE에 대해서는 복수채널 통신을 지원하여, 자율주행 차량에

LDM(local dynamic map), 측위보정정보 등의 도로정보를 실시간으로 전달하기 위한 목적으로 설계된다.

본 논문의 주요 구성은 다음과 같다. 2장에서 2장과 3장에서 각각 하이브리드 V2X 통신모듈에서 다채널 WAVE와 LTE를 복합적으로 지원하기 위한 H/W 설계 방안과 S/W 설계방안을 제시한 후, 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 하이브리드 V2X 통신모듈 H/W 설계

Hybrid V2X 통신모듈의 전체 구성을 그림 1에 나타내었다. 주 전원으로 DC 6V~42V의 입력 전압 범위를 가지며 이를 통하여 모듈 전체에 5V, 3.8V, 3.3V, 1.8V, 1.4V, 1.2V 및 1V의 전원을 공급한다. System부는 프로세싱 유닛인 MCU, 저장매체 NAND Flash, 주 메모리 DDR2 SDRAM으로 구성하였다. FPGA부는 WAVE 통신 모듈 2채널과 보안 가속 하드웨어로 구성된다. Baseband부에서는 WAVE 모듈 1 채널당 각각 14-bit ADC와 14-bit DAC로 구성된다. RF부는 WAVE 1채널당 각각 트랜시버 및 LNA, PA, Switch로 구성된 RF Front-end로 구성된다. LTE 부는 M2 Slot 물리규격의 인터페이스를 갖고 USB2.0 RNDIS 방식으로 연결되는 Category 4 규격의 LTE 모듈로 구성된다.

V2X 통신모듈의 소프트웨어 스택 및 시스템 운용을 위해 NXP사의 MPC5125를 적용하였다. MPC5125 제품은 텔레매틱스 마켓을 타겟으로 출시된 제품으로 PowerPC e300 Core를 적용한 제품이다. 해당 모듈은 Automotive Grade를 지

원하고 Big Endian 구조의 MCU이다. MPC5125는 100Mbps 이더넷, USB2.0 Hi-Speed, CAN 2.0 AB, SDHC, 범용 시리얼 통신(UART, SPI I2C 등), 범용 메모리 컨트롤러(SDR, DDR, DDR2, NOR Flash, NAND Flash, SRAM 등)와 같은 다양한 외부인터페이스를 지원한다.

V2X 통신모듈에 구현된 부팅 방법은 NAND Flash를 이용한 방법이며, 이를 통하여 부트로더로 부팅을 수행하고 리눅스 등 OS를 탑재하여 시스템 운용에 사용하도록 설계되었다.

베이스밴드 및 모듈 간 타이밍 동기를 위해 동일 클럭을 제공하도록 외부에 IDC사의 ICS553 클럭 버퍼를 적용하여 분배하도록 구현되었다. 주 클럭을 제공하는 SBTO27-40.000은 통신 성능 안정화를 위해 실험적으로 0.1ppm의 정확도를 갖는 40MHz 클럭 소스 제품이다.

베이스밴드부의 송신을 담당하는 DAC는 아웃밴드의 스퓨리어스 제거를 위한 인터플레이터 적용을 위해 14-bit 125Msps 성능을 갖는 Analog Device사의 AD9767 제품이 적용되었다. RF 트랜시버의 다이내믹에 맞추어 디지털 게인 조절을 위한 회로와 및 I/Q 신호의 DC offset 발생을 억제하기 위한 외부 바이어스 회로를 추가하여 베이스밴드 송신 품질을 극대화 하도록 설계하였다.

베이스밴드 수신부에는 WAVE 통신의 인접채널 간섭, 고속 페이딩, 최소 수신감도 향상 등 성능 향상을 위하여 넓은 다이내믹 레인지를 확보하도록 Analog Device사의 AD9248BCPZ-40 제품이 적용되었다. 수신부에도 인터플레이터 구현을 위해 40Msps 성능을 갖는 ADC가 적용되었으며 수신부의 다이내믹은 RF 트랜시버의 출력범위에 맞게 설정되었다.

Hybrid V2X 통신모듈의 RF 트랜시버는 Maxim Integrated사의 MAX2829를 적용하였다. MAX2829는 Wi-Fi용 트랜시버로 개발되었지만, 내부에 주파수 합성기의 확장을 지원하여 5.855GHz~5.925GHz 범위의 주파수 발진이 가능하여 WAVE 통신에 사용할 수 있다. RF부에도 베이스밴드부와 동일하게 0.1ppm 정밀도의 40MHz 클럭을 적용하였다. 그림 2는 RF 트랜시버부의 주요 회로도이다.

RF 트랜시버의 TDD(Time Division Duplexing) 동작 및 송수신 성능 향상을 위해 RF Front-end부에는 송신 PA, 수신 LNA 및 RF Switch가 적용되었다. 송신 PA는 Peak Power 33dB를 지원하는 SKYWORKS사의 SKY85405-11 제품, 수신 LNA는 13dB 이득에 1.0dB의 낮은 노이즈 특성을 갖는 SKYWORKS사의 SKY65404-31 제품이 적용되었다. 또한 송신부에는 불필요한 전파가 증폭되어 송신되거나 PA의 효율이 떨어지는 부분을 방지하기 위하여 PA 인입부에 muRata사의 LFB2H5G78SG7A175 RF 밴드 패스 필터가 적용되었다.

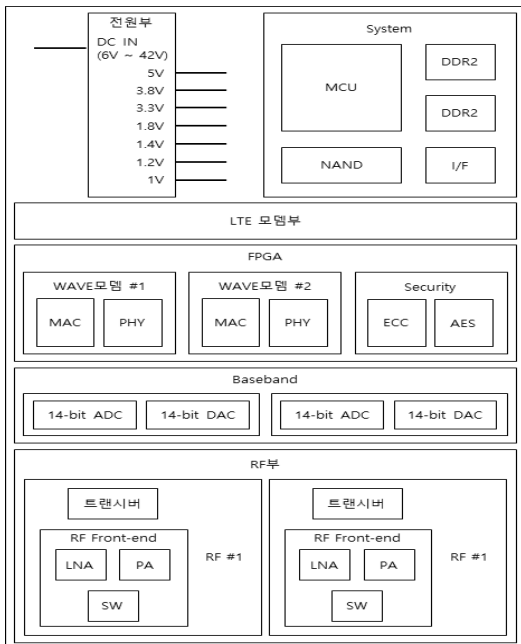


그림 1. Hybrid V2X 통신 모듈 블록도.

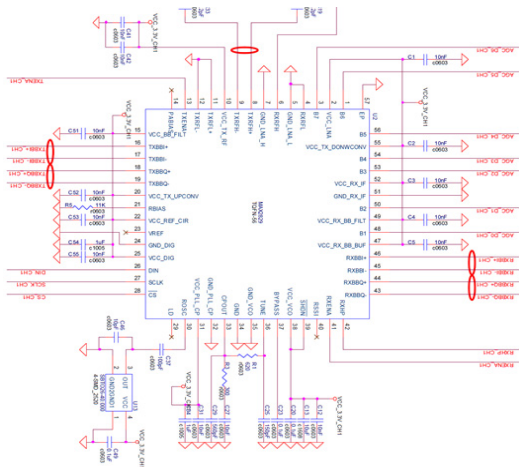


그림 2. RF 트랜시버부 주요 회로도.

3GPP에서 정의하고 있는 LTE Category 정의에 따르면 각 Category는 Downlink 및 Uplink의 속도와 사용하는 3GPP 표준 버전에 따라 구분된다. 또한 각 통신사의 운용 정책에 따라 디바이스의 분류를 나누어 사용 가능한 Category가 정의된다.

Hybrid V2X 통신장치는 Machine to Machine(M2M) 디바이스로 분류되며 사용 가능한 Category는 0부터 4까지 이다. 이 중 Category 0는 IoT 디바이스용으로 사용되며 통신 속도가 매우 낮다. Category 1부터 3까지는 카드 단말, 이동식 Gateway, Router 등에 사용되며 Category 4는 Downlink 150Mbps, Uplink 50Mbps의 전송 속도를 갖는 M2M용 디바이스가 지원하는 가장 높은 Category이다. 본 연구에서는 국내 통신 업체인 SK텔레콤의 M2M 디바이스를 사용하여 Hybrid V2X 통신 모듈의 LTE 부를 구현하기로 하고 KC인증 및 SK텔레콤 통신망 인증을 통과한 AMM571SK 사의 AMM571SK 모듈을 선정하였다.

AMM571SK 모듈은 퀄컴사의 MDM9207-0 모델칩을 사용하며 WCDMA/HSPA+ 및 LTE 통신을 지원하여 3G 및 4G 통신을 지원한다. WCDMA 및 HSPA+ 통신은 Band 1을 지원하며 LTE 통신은 Band 1, 3 및 5를 지원한다. AMM571SK 모듈은 MDM9207-0, 메모리, RF 프런트 엔드, WTR2965, PMD9607 및 인터페이스 커넥터로 구성된다.

### III. 하이브리드 V2X 통신모듈 소프트웨어

Hybrid V2X 통신모듈은 임베디드 리눅스 기반에서 동작하도록 설계한다. 따라서 WAVE 및 LTE 통신에 관련된 드라이버, 어플리케이션 소프트웨어 등은 리눅스 기반으로 구현되어 동작한다.

C-ITS 통신 프로토콜 소프트웨어는 다음과 같

이 크게 세 가지 영역으로 분리된다.

- WAE(WAVE Access Entity)

한국(미국), 유럽, 일본의 V2X 통신 관련 표준에서 정의하고 있는 MAC/PHY 계층 기능을 구현하며, 커널 레벨에서 동작

- WNE(WAVE Network Entity)

한국(미국), 유럽, 일본의 V2X 통신 관련 표준에서 정의하고 있는 네트워크 계층 및 상위 계층 기능을 구현하며, 유저 레벨에서 동작

- API(Application Programming Interface)

서비스 어플리케이션이 각 표준의 전용메시지를 사용하여 안전 메시지를 교환할 수 있도록 API를 라이브러리 형태로 제공.

어플리케이션이 WAVE 인터페이스를 통해 IP 통신을 수행할 경우에는 WAVE API가 아닌 리눅스 커널에 포함된 표준 소켓 인터페이스 및 TCP/IP 프로토콜 스택을 사용한다.

C-ITS 통신 프로토콜 스택을 구성시키기 위해서는 다음과 같은 필수 파일을 통신모듈에 다운로드 하여 실행한다.

- wae-{version}.ko

WAE기능을 구현한 리눅스 커널드라이버 바이너리

- wne-{version}

WNE기능을 구현한 리눅스 어플리케이션 바이너리

- iw

WAE/WNE 제어 유틸리티

- mlme

MAC 계층 제어 유틸리티

- runWave.sh

WAVE 프로토콜 소프트웨어 구동 스크립트

이 외의 다양한 유틸리티를 사용하여 프로토콜 스택을 제어하거나 또는 어플리케이션에서 다양한 API를 이용하여 직접 제어할 수 있다.

통신모듈 상에서 “runWave.sh” 스크립트를 실행하면 C-ITS 통신 프로토콜 소프트웨어가 구동되며, 이후 각 어플리케이션은 C-ITS 통신 프로토콜 소프트웨어가 제공하는 API들을 이용하여 C-ITS 통신 기능을 이용할 수 있다.

Hybrid V2X 통신모듈에 적용된 AMM571SK LTE 모듈은 USB 또는 UART 인터페이스를 통하여 호스트와 연결된다. UART 인터페이스를 이용할 경우 AT 커멘드를 이용하여 저속 통신을 하게 되며 USB 인터페이스를 이용할 경우 설정에 따라 CDC-ACM, CDC-ECM, RNDIS, RMNET, MBIM 모드를 사용할 수 있다. 기본값은 가장 범용적으로 사용되는 RNDIS 모드이다. 본 모듈이 지원하는 LTE Category 4의 Downlink 150Mbps의 통신 속도를 사용할 경우 반드시 USB 인터페이스를 통한 RNDIS 모드를

사용하여야 한다. RNDIS는 동적 플러그-앤-플레이 버스에서 네트워크 디바이스를 위해 마이크로소프트사에서 개발한 프로토콜이다[4]. RNDIS는 USB Communication Device Class Version 1.1에서 정의된 Abstract Control 모델을 사용하여 USB상에서 지원되며 그에 따라 현재 대부분의 OS에서 USB 표준 클래스 드라이버로 기본적으로 내장되어 있다.

Hybrid V2X 통신모듈의 LTE 소프트웨어를 구동시키기 위해서는 많은 절차를 수행할 필요가 없이, 모듈 내에서 자체적으로 수행된다. 통신모듈 부팅 시, LTE 모듈은 자체적으로 초기화되며 통신모듈 시스템에는 USB로 연결된다.

이 후 LTE 모듈이 외부와 통신하기 위해서는 LTE 모듈 내부에 구현된 DHCP 서버로부터 IP를 할당 받아야 한다. AMM571SK LTE 모듈은 내부에 LTE 통신망과 USB RNDIS 인터페이스간에 브릿지 기능을 구현하여 호스트 사이드에서 쉽게 TCP/IP 통신에 접근할 수 있으며 다음과 같은 방법으로 IP 할당이 가능하다.

- lsusb 명령으로 LTE 모듈의 연결 상태를 확인

AMM571SK LTE 모듈은 RNDIS 모드로 설정 시 VID:1ECB, PID:0205의 값을 갖는다. 호스트의 USB 포트에 연결 후 리눅스의 lsusb 명령을 통해 해당 장치가 잘 연결되었는지 확인 할 수 있다.

- iwconfig 명령으로 usb0 인터페이스 등록 확인

리눅스의 iwconfig 명령은 본래 무선 인터페이스 설정을 위한 명령이지만, 디바이스 드라이버에 연결된 네트워크 디바이스의 리스트를 보여주는 기능이 있다. iwconfig 명령을 사용하면 연결된 LTE 모듈이 네트워크 디바이스 노드로 시스템에 잘 등록되었는지 확인할 수 있다.

- udhcpc -i usb0 명령으로 IP 동적 할당

리눅스 시스템에는 dhcp와 관련된 기능이 기본적으로 포함되어있지 않다. 따라서 DHCP 기능을 사용하기 위해 busybox 유틸을 사용해야 하며 busybox 유틸 빌드 시 DHCP client 기능을 활성화해야 한다. AMM571SK LTE 모듈은 DHCP 서버를 통해 호스트에 IP를 동적 할당한다. 따라서 그림 3과 같이 모듈 연결 후 마지막으로 udhcpc -i usb0(인터페이스 이름) 명령을 통해 네트워크 설정을 완료한다. 해당 명령을 통해 IP, NETMASK, DNS 설정까지 모두 이루어진다.

```

COM3 - Tera Term
~ # udhcpc -i usb0
udhcpc (v1.23.1) started
Sending discover...
Sending select for 192.168.225.22...
Lease of 192.168.225.22 obtained, lease time 43200
deleting routers
route: SIOCDLRRT: No such process
adding dns 192.168.225.1
~ #
  
```

그림 3. udhcpc 명령을 통한 IP 동적할당.

## IV. 결 론

본 논문에서는 C-ITS 통신프로토콜과 이동 통신 프로토콜인 Legacy LTE 통신 기술을 함께 지원하는 하이브리드 V2X 통신모듈의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 설계 방안을 제안하였다. 하이브리드 V2X 통신 모듈의 설계방식에서는 복수의 통신기술로 WAVE와 LTE를 지원하고, WAVE에 대해서는 복수채널 통신을 지원하도록 하였다.

향후 구현한 복합형 통신모듈을 이용한 통신 테스트 연구를 진행하고, 자율주행 차량용 V2X 단말구현에 적용할 예정이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 산업통상자원부 자율주행자동차핵심기술개발사업의 세부과제인 “자율주행 지원용 V2X 통신모듈 개발(10080063)” 과제의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Kiteag Lim, “Vehicle communication system technology evaluation and management service,” KEIT PD Issue Report, Aug. 2016.
- [2] AASHTO national connected vehicle field infrastructure footprint analysis [Internet]. Available: [https://www.pcb.its.dot.gov/t3/s140522/s140522\\_cv\\_footprint\\_analysis\\_presentation\\_garr ett.pdf](https://www.pcb.its.dot.gov/t3/s140522/s140522_cv_footprint_analysis_presentation_garr ett.pdf).
- [3] A. VineI, “3GPP LTE versus IEEE 802.11 p/ WAVE: which technology is able to support cooperative vehicular safety applications?,” IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 1, No. 2, pp. 125-128, Feb. 2012.
- [4] Overview of remote NDIS (RNDIS) [Internet]. Available : <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/network/overview-of-remote-ndis-rndis->