◎ 논 문

https://data.doi.or.kr/10.22680/kasa2023.15.4.065

전자파 적합성 평가를 위한 하이브리드 V2X 통신모듈 설계

최승규* · 이주원** · 김규현**

Design of Hybrid V2X Communication Module for Electromagnetic Confirmity Evaluation

Seungkyu Choi*, Juwon Lee**, Kyuhyeon Kim**

Key Words: Vehicle to everything(자동차 사물통신), Wireless access in vehiclular environment(차량 환경에서의 무선 접속), Long term evolution(4G 이동통신기술), Cooperative-intelligent transport systems(차세대 지능형 교통체계), Long term evolution-vehicle to everything(셀룰러 자동차 사물통신)

ABSTRACT

In the paper, we propose a design method and process of a hybrid V2X communication module that combines WAVE communication, LTE-V2X communication, and legacy LTE communication in evaluating vehicle V2X electromagnetic compatibility. C-ITS is suitable for safety service applications due to its low latency, and legacy LTE is suitable for applications such as traffic information and infotainment due to its high latency and high capacity. In order to evaluate the V2X communication system, the evaluation equipment must have communication performance of the same level or higher. The main design contents presented in this paper will be applied to the implementation of a hybrid V2X communication module for electromagnetic compatibility evaluation.

1. 서 론

최근 자동차 기술의 발전으로 센서 기반의 첨단운전자 보조시스템(ADAS)이 적용되어 자율주행 기능 일부를 경험할 수 있다. ADAS 시스템은 차량의 주변상황을 실시간으로 파악 할 수 있는 카메라, 레이다,적외선, 초음파 등 다양한 센서로 영역내의 사물을 인지하거나 거리를 측정하여 전방 차량과의 출동 방지, 차선 이탈 방지, 어댑티브 크루즈 컨트롤 기능을 지원한다. 차량에 장착된 센서 데이터만을 활용해서는 교통사고를 완전 하게 예방이 불가능하고, 센서 기반의 자율 주행기술만 안전한 교통사고 예방 및 대응에 한계가 있다는 것을 공감하게 되었다. V2X 통신 기술을 기반으로 기존의 ITS시스템은 C-ITS(Cooperative-ITS) 시스템으로 전환되고 있다.

WAVE 통신 기술은 차량과 인프라(V2I), 차량과 차량(V2V) 정보를 교환하기 위한 통신기술이다. IEEE 802.11p[1] 무선통신규격과 IEEE1609.2,3,4 프로토콜 규격으로 정의된 시스템을 말한다. 2017년에는 3GPP를 필두로 기존 LTE 시스템의 UP-Link 기능을 V2X 목적으로 사용하도록 개량한 LTE-V2X 통신 기술이 등장했다.

3GPP Rel .14, 15[2] 표준 기반으로 PC5 Side-link 기술로 정의되었으며, 기존 Legacy LTE의 uplink 통신에 사용된 SC-FDMA 기술 기반의 다중접속 기능을 제공하며, WAVE 방식도 동일하게 장치간 직접 통신을 지원한다. WAVE와 LTE-V2X 통신 기술은 Table 1에 비교하였다.

자율주행 기술의 개발 가속화에 따른 전파 환경변화에 대응하기 위한 평가 기술, 표준화 및 기준 개발 필요성이 증대되고, 기존의 자동차와 차별된 자율주행기능 활성화

* ㈜하이게인안테나, 책임
** ㈜하이게인안테나, 수석
E-mail: june8@highgain.co.kr

논문접수일: 2023.9.21, 논문수정일(1차: 2023.12.20, 2차: 2023.12.21), 게재확정일: 2023.12.21

Table 1 Comparison between WAVE and LTE-V2X communication technology

Category	WAVE	LTE-V2X
Type	DSRC	Cellular V2X
Year of standardization	2010.05	2017.03
Communication standards	IEEE 802.11p	3 GPP Rel.14,15
V2X frequency	5.9 GHz	5.9 GHz
Communication distance	300 m (radius)	Several Km (radius)
Driving speed	< 200 Km/h	< 160 Km/h
Application	Safety service, C-ITS	Safety service, C-ITS
Technology used	Modulation: OFDM	Modulation: SC-FDMA/OIFDMA

조건에서의 전자파 영향성 평가가 이루어져야 한다. 자율주행 자동차는 객체 인식과 통신을 기반으로 수많은 전장 부품이 결합되어 완성된 만큼 전자파로 인한 차량의 오작동을 유발할 수 있으면 자율주행 자동차의 테스트 중 발생한 사고 가 빈번히 발생하고 있다. 차량의 전자파 적합(Electromagnetic Compatibility, EMC)을 위하여 차폐 기술, 전장설계, 전자파 평가에 많은 기술 개발이 요구되고 있다. 자동차 전자파 관련 국제 기준(UN/ECE/R10)과 규격(CISPR 12, 25/ISO11451-1,2 등)이 있으며 자동차에 장착되는 첨단 안전장치 기준 도입과 더불어 전자파 성능에 대한 기준 마련을 위한 논의가 시작되었으며 신기술을 이용한 전자파 질서유지가 관건이다.

전자파 적합성은 자동차에 대한 성능뿐 아니라, 변화하는 주변 환경에 대한 영향성도 감안하여 평가하여야 하므로 실제 자율주행 자동차가 주행환경을 반영하여 전자파 챔버(EMC)내의 Lv.4 수준의 기능을 활성화하여 전자파 성능평가를 할 수 있도록 환경 구축을 통해 각각의 단위 장치에 대한 평가 방안을 구성해야 한다.

본 논문의 구성은 2장 기본 V2X 모듈과 비교, 3장 하이브리드 V2X 통신 모듈의 하드웨어 설계 방안을 제안하고, 4장에서는 하이브리드 V2X 통신 모듈의 PCB 설계 방안을 제시한 후, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 논의한다.

2. 기존 V2X 통신 모듈과 하이브리드 V2X 통신 모듈 차이점

하드웨어 비교사항은 기존의 V2X 통신 모듈은 DSRC 통신 방식 하나만 지원하였으나, 이번에 제작한 하이브리드 V2X 모듈은 오토톡스사의 Secton-cut3 라는 버전 업된 V2X 모뎀 사용하여 2가지 통신 방식을 지원한다. 내부 MCU의 코어 개수도 4개로 증가하여, 프로세서 능력이 향상되었다. BAW BPF를 적용하여 RF 성능을 개선하였고, RAM은 LPDDR4 사양으로 24 Gbit로 용량이 증가하였다. 기존 V2X 통신모듈과 하이브리드 V2X 통신 모듈은 Table 2에 비교하였다.

Table 2 Comparison between existing V2X Module and hybrid-V2X Module

Category	Existing V2X Module	Hybrid V2X Module
Number of CPU	Dual Core	Quad Core
V2X Modem	Secton-Cut2	Secton-Cut3
Communication support	IEEE 802.11p	IEEE 802.11p, 3GPP Rel.14,15
BAW BPF	X	O
RAM	DDR3 2 Gbit	LPDDR4 24 Gbit

3. 하이브리드 V2X 통신모듈 하드웨어 설계

하이브리드 V2X 통신 모듈은 Fig. 1에서 보는바와 같은 블록 구성으로 설계 및 구현하였다. 주전원은 DC/DC Converter의 입력 전압 범위인 5V~36V 범위를 가지며 이를 통해서 3.8 V, 3.3 V, 5 V Always 전압을 생성한다. 주요 시스템은 프로세싱 유닛인 MCU, 저장매체 eMMC와 NOR Flash, 주 메모리 LPDDR4로 구성 하였다. WAVE 모뎀 1채널, LTE-V2X 모뎀 1채널로 구성되며, Legacy LTE는 CAT.4 규격의 LTE 모듈로 구성된다.

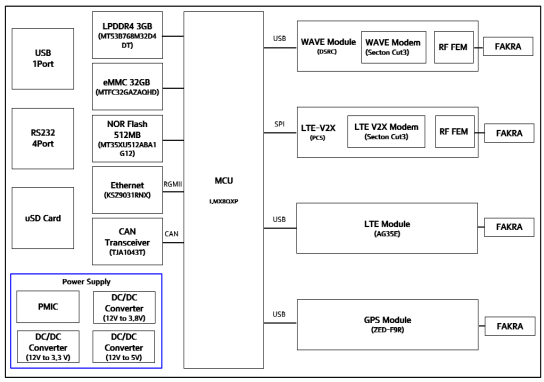

Fig. 1 V2X communication module block diagram

3.1. MCU part

하이브리드 V2X 통신 모듈은 WAVE와 LTE-V2X를 모두 포함한 S/W Stack과 C-ITS 시스템을 운용하기 위해서는 고성능 프로세서 MCU가 필요하다. 요구사항을 만족하기 위해서 NXP사 Automotive Grade 제품군인 i.MX8Qxp 제품을 적용되었다.

i.MX8Qxp는 Arm Cortex-A35 1.2 GHz Quad core Arm Cortex-M4로 구성되어 멀티프로세서 명령을 수행하기에 적합하다. 주 메모리는 LPDDR4 3 GB, 비휘발성 메모리는 eMMC 32 GB가 적용되었다.

1 Gbps 이더넷, USB 3.0&2.0, CAN 2.0, u-SD 범용시리얼 통신(UART, I2C, SPI)와 같은 인터페이스를 지원한다. 하이브리드 V2X 통신 모듈에 구현된 부팅 방법은 eMMC를 통하여 부트로더 부팅을 수행하고, Linux OS 탑재하여 시스템 운용에 사용하도록 설계되었다. Fig. 2는 NXP 사의 i.MX8Qxp 부품의 기능 블록도이다.[3]

3.2. Power Supply Part

전원단은 전장제품의 온도 조건과 부품 규격에 알맞은 소자는 선정하였다. 자동차 전기적 성능평가 항목인 과전압, 역 전압, 과도 전압, 전자파 시험 등의 평가에서 통과하기 위해서 TVS 다이오드, 바리스터, EMI 필터 회로를 설계에 추가하였다.

DC/DC Converter는 주전원으로 사용 하고, MCU, LPDDR4, Memory 주요 소자의 전원은 PMIC 통하여 각 시스템에 알맞게 조정하여 각 장치로 전원을 공급하였다.

DC/DC Converter 부품은 MPS 사의 Automotive Grade 제품인 MPQ4317, MPQ4317 두제품을 적용하였고, PMIC는 NXP 사의 PF8100 적용하여 설계하였다. Fig. 3은 전원부 주요 회로도이다.

3.3. WAVE, LTE-V2X Modem Part

C-ITS를 위한 WAVE, LTE-V2X 모뎀은 오토톡 사의 SECTON-Cut3 모뎀 칩셋과 SKYA21043 FEM을적용하였다. SECTON-Cut3 모뎀칩은 WAVE 통신과 LTE-V2X 2가지 통신방식 모두를 지원하는 칩셋이다. WAVE 표준 IEEE802.11p, LTE-V2X 표준 3GPP release 14/15의 PC5 Side-link, ITS 표준SAE J2945/1, SAE J3161[4]

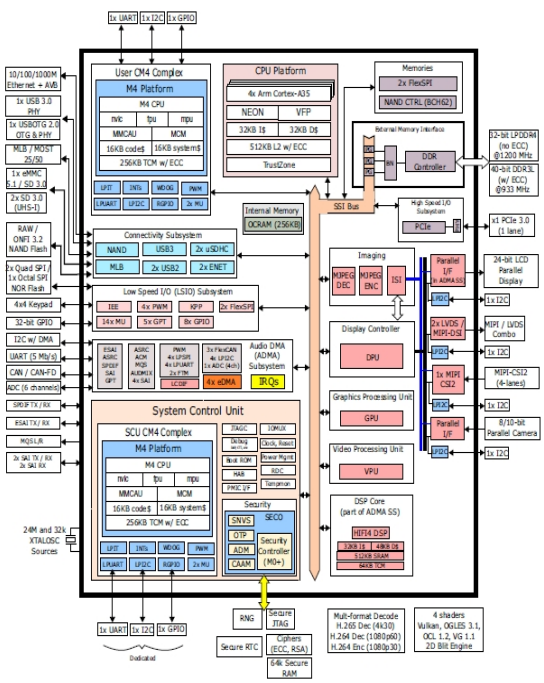

Fig. 2 Block diagram of NXP i.MX8Qxp functions

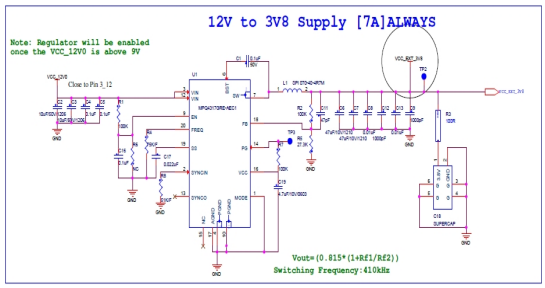

Fig. 3 Circuit diagram of power supply part

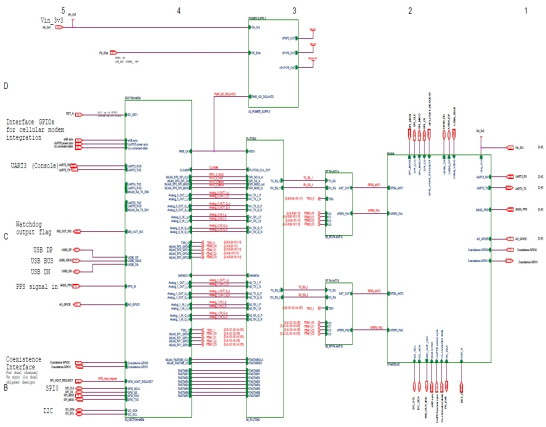

Fig. 4 Circuit diagram of WAVE, LTE-V2X modem part

각 표준을 준수하며 동작 한다.

ECDSA 보안 가속기를 내장되어 초당 2,000개 이상의 보안 검증을 수행 가능하다. 자동차 사양의 Automotive Grade2를 만족하며, V2X 통합 하드웨어 보안 모듈이 적용되었다. WAVE는 USB, LTE-V2X는 SPI 인터페이스로 연결되고, 통신 방식 전환은 펌웨어 업데이트를 통해서 가능하다. Fig. 4는 WAVE, LTE-V2X 모뎀의 주요 회로도이다.

3.4. Interface Part

인터페이스부는 MCU와 외부 장치 간 연결을 위한 부분은 유선과 무선 인터페이스로 구분하여 구성하였다. 유선통신 부분은 이더넷, USB, CAN 및 UART 포트로 구성되며, 무선 통신 부분은 자동차 RF용FAKRA 커넥터로 구성된다. Table 3은 인터페이스의 구성 표입니다.

3.5. LTE Part

Legacy LTE 통신을 지원하기 위하여 Quectel사의 AG35E LTE CAT.4 모듈을 적용하였다. 호스트 인터페이스는 USB2.0으로 프로세서와 연결되며 QMI[5] 드라이버를 통해서 모듈과 통신한다. 국내에서 지원하는밴드가 B1(2100 MHz), B3(1800 MHz), B5(850 MHz), B7(2600 MHz), B8(900 MHz)로 다양하여 모든 통신사 지원이 가능하다. Fig. 5는 LTE부 주요 회로도이다.

Table 3 V2X Communication module interface

Category	Type	Ports
Wired	1 Gbps Ethernet	1
Wired	USB 2.0	2
Wired	CAN 2.0	1
Wired	UART	3
Wired	Micro-SD	1
Wired	USIM	2
Wired	SPI	1
Wireless	GNSS	1
Wireless	WAVE	1
Wireless	LTE-V2X	1
Wireless	LTE	1

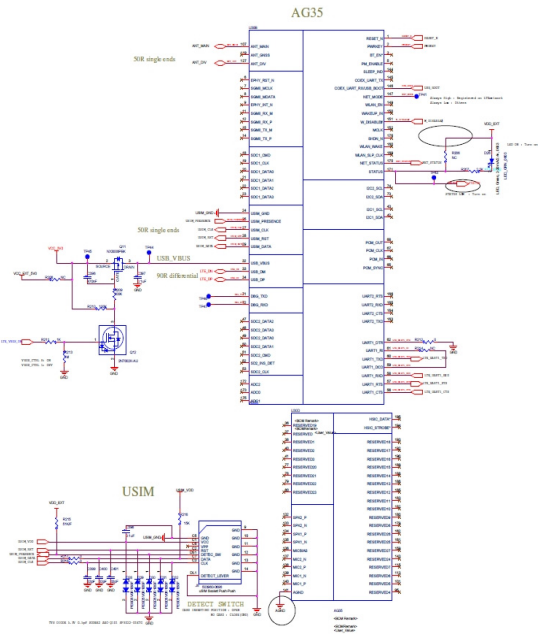

Fig. 5 Circuit diagram of LTE part

4. 하이브리드 V2X 통신 모듈 PCB 설계

전자파 적합성 평가 하이브리드 V2X 통신모듈PCB 설계는 NXP사의 레퍼런스 매칭 가이드라인[6]를 따라서 8층 Layer 구성으로 설계를 진행하였다.

4.1. PCB Stack up 구성

V2X 통신 모듈 PCB Stack up 구성을 아래 Fig. 6에서

8층 Stack-up

층 구조	원자재 구분	1.4T	유전율	Layer 이름
	PSR	0.018		
	Plating	0.023		
1L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		SIGNAL
	PRE-PREG	0.090	4.2	
2L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		GND
	THIN CORE	0.100	4.3	
3L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		SIGNAL
	PRE-PREG	0.200	4.3	
4L	COPPER FOIL(1 Oz)	0.035		POWER
	THIN CORE	0.400	4.3	
5L	COPPER FOIL(1 Oz)	0.035		POWER
	PRE-PREG	0.200	4.3	
6L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		SIGNAL
	THIN CORE	0.100	4.3	
7L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		GND
	PRE-PREG	0.090	4.2	
8L	COPPER FOIL(0.5 Oz)	0.018		SIGNAL
	Plating	0.023		
	PSR	0.018		
	TOTAL THICKNESS	1.440		

Fig. 6 PCB Stack up structure

보는 바와 같이 8-Layer구성, PCB 두께는 1.4T로 설계하였다. 1, 3, 6 , 8 Layer는 Signal Line, 2, 7 Layer는 GND 라인, 4, 5 Layer는 Power line으로 구성되었다. 1, 8 Layer만 유전율 4.2 적용 하고, 나머지 Layer는 유전율 4.3으로 구성하였다.

4.2. PCB Impedance 매칭

PCB Impedance 매칭은 Single line과 differential Pair line 두 가지로 크게 나뉜다. Single line 매칭의 50Ω Impedance는 일반적인 Data 라인으로 사용 한다. 42Ω Impedance는 LPDDR4 Data line으로 사용한다. Differential Pair line의 90Ω은 USB 2.0 Data line, 100Ω은 LPDDR4 Data line으로 사용한다. Table 4와 Table 5는 PCB Impedance 매칭 값이다.

4.3. PCB 제작 및 동작 확인

PCB 설계 완료 후에 PCB 제작, SMT까지 일련의과정

Table 4 PCB Single line impedance value

	Layer	Width	Ref.GND	Target 50Ω
Single Line Impedance	L1	0.138 mm	2	53.8
	L3	0.1 mm	2,4	49
	L6	0.1 mm	5,7	49
	L8	0.138 mm	7	53.8
	Layer	Width	Ref.GND	Target 42Ω
	L1	0.2 mm	2	44.2
	L3	0.14 mm	2,4	44.8
	L6	0.14 mm	5,7	44.8

Table 5 PCB Differential pair line impedance value

	Layer	Width	Spacing	Ref. GND	Target 90Ω
Differential Line Impedance	L1	0.12 mm	0.13 mm	2	90
	L3	0.11 mm	0.13 mm	2,4	89.1
	L6	0.11 mm	0.13 mm	5,7	89.1
	L8	0.12 mm	0.13 mm	7	90
	Layer	Width	Spacing	Ref. GND	Target 100Ω
	L1	0.11 mm	0.13 mm	2	94.9
	L3	0.09 mm	0.18 mm	2,4	95
	L6	0.09 mm	0.18 mm	5,7	95

을 진행 후 Fig. 7에서 보는 바와 같이 하이브리드 V2X 통신 모듈 제작을 완료하였다. 초기 동작 확인을 검증하기 위해서 i.MX8-Qxp MEK EVK 용 리눅스 이미지를 다운로드하여 Fig. 8과 같이 동작 검증을 완료하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 자동차 V2X 전자파 적합성 평가 기술 개발 연구에 활용이 가능한 고성능 프로세서 탑재한 하이

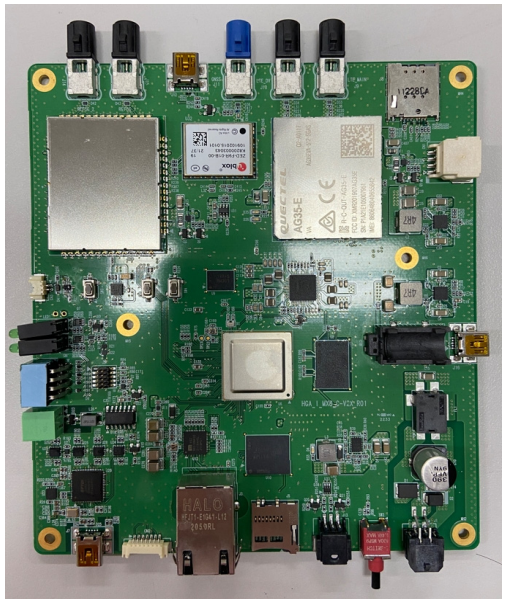

Fig. 7 PCB Manufacture and surface mounter

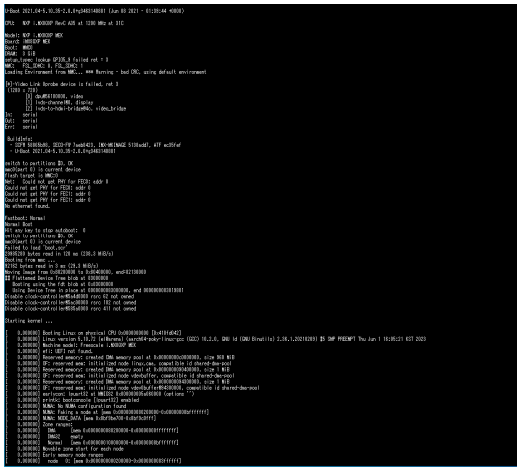

Fig. 8 Checking the operation of the manufactured PCB

브리드 V2X 통신 모듈의 하드웨어 설계 방안과 설계 과정을 제시하였다. 또한 하이브리드 V2X 통신 모듈 초기 동작 검증, BSP(Kernel) 개발을 완료하였다. 앞으로 LTE-V2X 소프트웨어 Stack 개발이 완료되면, 기존 V2X 통신 모듈과 하이브리드 V2X 통신 모듈의 통신 성능 확인(PER), 물리 규격 평가, 2024년 K-Plugtest 참가하여 성능을 비교 할 예정이다. 성능 평가까지 완료된 하이브리드 V2X 통신 모듈을 V2X 실차 전자파 적합성 평가의 시료로 전자파 적합성 시험을 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 2023년 국토교통부/ 국토교통과학기술진흥원 지원(과제번호 RS-2021-KA162963 “자동차 V2X 통신 성능 안전성 및 전자파 적합성 평가 기술 개발”)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

(1) Task Group p, IEEE Std 802.11p, “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 AM,” draft standard ed., IEEE Computer Society, 2010.

(2) 3 GPP Release 14, 3GPP TR 21.914, Technical Specification Group Services and System Aspects 3GPP Release 15, 3GPP TR 21.915, Technical Specification Group Services and System Aspects.

(3) I.MX8Qxp-Automotive-and-infotainment Applications Processors block diagram. Available: https://www.nxp.com/webapp/Download?colCode=IMXQXPAEC. pp. 10.

(4) SAE, J29451-1: On-Board System Requirements for V2V Safety Communication, 2020 SAE, J3161: On-Board System Requirement for LTE-V2X V2V Safety Communication, 2022.

(5) Qualcomm-MSM-Interface.-Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Qualcomm_MSM_Interface

(6) i.MX8-Qxp-Layout/Routing-Recommendations Available:https://www.nxp.com/webapp/Download?colCode=IMX8HWDG. pp. 20~65.