

10 Gbps 광통신망 기반의 차량 내부 고속 DAQ 멀티인터페이스 구현

양 상 진*, 권 영 미^o

Implementation of In-Vehicle High-Speed DAQ Multi-Interface Based on 10 Gbps Optical Network

Sang-jin Yang*, Young-mi Kwon^o

요 약

본 논문에서는 10 Gbps 광통신 기반의 UDP 네트워크 환경에서 차량 내부 네트워크 통신을 위한 High-Speed DAQ(Data Acquisition) 멀티인터페이스 시스템을 설계 및 구현하였다. 이 시스템은 10 Gbps 광 통신 네트워크 구성으로 스마트 차량의 편의와 안전을 위해 늘어나는 다양한 센서 및 대용량 영상데이터로 인한 대역폭 문제를 해결하고 차량 내부 각 도메인에 사용되는 여러 종류의 시리얼 통신 방식을 FPGA를 통해 10 Gbps 광 통신 게이트웨이로 통합하였다. 그 결과 10 Gbps 광 통신 게이트웨이로 전송 속도가 향상되었으며, 차량 내 복잡한 하네스 구조를 단순하게 하여, 차량 무게를 줄이고 연비를 절감할 수 있다. 또한 생산 공정 단순화로 비용도 절감하는 효과도 가져올 것으로 기대된다.

키워드 : 10 Gbps 광 통신, High-Speed DAQ, 차량 내부 네트워크, FPGA

Key Words : 10 Gbps Optical Communication, High-Speed DAQ, IVN, FPGA

ABSTRACT

In this paper, we designed and implemented a high-speed DAQ(Data Acquisition) multi-interface system for in-vehicle network communication in UDP network environment based on 10 Gbps optical network. The system solved the bandwidth problem caused by increasing various sensors and large-capacity image data for the convenience and safety of smart vehicles by configuring a 10 Gbps optical communication network and integrated various types of serial communication methods used in each domain inside the vehicle into a 10 Gbps optical communication gateway through FPGA. As a result, transmission speed is improved with the 10 Gbps optical communication gateway, and the complex harness structure in the vehicle is simplified, reducing vehicle weight to improve fuel efficiency. In addition, it is expected to bring the effect of reducing costs by simplifying the production process.

* First Author : Chungnam National University, Department of Radio & Information Communications Engineering, sjyang@iotechi.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Chungnam National University, Department of Radio & Information Communications Engineering, ymkwon@cnu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202211-271-B-RN, Received November 3, 2022; Revised January 21, 2023; Accepted February 2, 2023

I. 서론

오늘날 자율주행, 스마트 차량의 등장으로 차량 내부 기기들이 처리해야 하는 데이터는 점차 많아지는 추세다. 차량 내부 통신(In-Vehicle Network, IVN)^[1]을 위해 LIN (Local Interconnect Network), CAN (Controller Area Network), CAN FD (CAN with Flexible Data), FlexRay 등이 사용되고 있으나, 운전자의 안전과 편의를 위한 첨단 센서 및 카메라의 증가로 인하여 차량 내부에서 실시간으로 처리해야 하는 데이터양의 증가에 따른 기존 차량 내부 통신 기술은 한계를 보이고 있으며, 이에 대한 방안으로 이더넷 통신 기반의 아키텍처가 주목받고 있다^[2].

FHD 급 영상 정보는 때에 따라 30Mbps 이상의 대역폭이 요구되며, 자율주행 자동차의 경우 센서는 첨단 운전자 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS), 사고 안전 시스템 등과의 데이터 통신을 위하여 차량 내부 통신 네트워크와 연결이 요구되고 있다. 이러한 상황에서 데이터 전송 속도가 수 Mbps에 불과한 기존의 통신 방식으로는 대응하기가 매우 어렵다. 기존의 CAN, CAN FD, FlexRay 등은 커넥티드 자율주행 자동차의 모든 장치 및 센서 애플리케이션을 지원하는데 필요한 대역폭을 제공하지 못하고 있는 실정이다. 첨단 센서와 처리 데이터가 증가하고 있는 전자 제어 장치(Electronic Control Unit, ECU)는 늘어나는 처리량에 대한 요구를 수용하고 보다 유연한 아키텍처를 지원하기 위해 고대역폭 연결과 확장성을 요구하고 있다.

자동차 내부 ECU 증가로 제한된 네트워크 통신망의 복잡성이 증가하면서 대용량의 대역폭과 짧은 대기 시간을 제공하고, 서로 다른 애플리케이션 도메인의 통신 프로토콜을 통합할 수 있는 멀티플렉스 된 네트워크 게이트웨이로 이더넷 통신이 주목받고 있다^[3]. 이더넷 통신은 외장카메라, 나이트 비전, 멀티미디어 엔터테인먼트 시스템 같은 고대역폭 자동차 애플리케이션에서 진가를 드러내고 있으며, 도메인 상위에서 하위의 네트워크 연결까지 이더넷 통신으로 대체함으로써 하네스 구조의 단순화로 인한 차량 무게 감소, 연비 감소, 생산 공정의 단순화로 비용 절감의 장점을 제공한다.

또한, 광 통신은 데이터 전송 속도를 수십 Gbps까지 높일 수 있으며, 전기적으로도 간섭을 받지 않아 전송 도중 데이터 손실도 거의 없다는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 차량 내부 네트워크의 속도를 개선하고 서로 다른 애플리케이션 도메인을 광 통

신으로 통합하는데 필요한 High-Speed DAQ (High-Speed Data Acquisition) 멀티인터페이스 모듈을 설계 및 구현하였다. 구현된 보드를 통신 환경에서 실험함으로써 전송 패킷 데이터의 무결성을 검증하고 영상데이터의 품질을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 본 논문과 관련된 차량 통신 네트워크의 소개와 미래 자동차를 위한 차량 내부 통신의 문제점과 이더넷 통신의 필요성에 관해 기술하였다. 제3장에서는 제안하는 멀티인터페이스 모듈의 보드 및 FPGA의 RTL(Register Transfer Logic) 설계와 운용 소프트웨어에 관해 설명한다. 제4장에서는 개발 완료된 실제 실험 환경에서의 센서 및 패킷 데이터와 영상데이터 결과를 제시하고, 실험 결과에 따른 센서 데이터(거리, 온도, 미세먼지, 힘)의 값 대비 GUI 변화를 확인한다. 마지막으로 제5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 서술한다.

II. 배경 지식

2.1 차량 내부 통신용 프로토콜

여러 완성차 업체들은 차량 내부 ECU들을 연결하기 위해서 그림 1^[4]과 같은 다양한 통신 네트워크 기술을 사용하였다. 그러나 1985년 Bosch 사에서 차량 네트워크용으로 최초로 개발된 CAN은 여러 개의 CAN 디바이스가 서로 통신 가능한 시리얼 네트워크 통신 방식으로서 데이터의 무결성과 안전성을 인정받아 차량용 네트워크 표준으로 부상하였고, 1993년 ISO (International Standardization Organization)에서 국제 표준 규격(ISO 11898)으로 제정되면서 자동차 업계에서 CAN 통신을 도입하여 사용하고 있다.

오늘날 자동차 업계에서는 서로 다른 애플리케이션 도메인 간 통신에 서로 다른 통신 프로토콜(LIN,

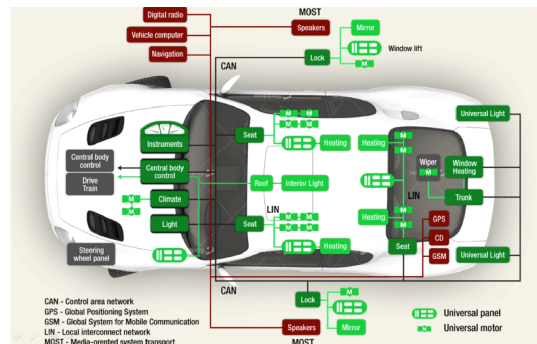


그림 1. 차량 내부 네트워크 구성의 예
Fig. 1. Example of in-vehicle network configuration

CAN, FlexRay, MOST, 이더넷)들이 채택되고 있다. 하위 수준에서 상위 수준으로 사용 중인 통신 프로토콜들을 살펴보면 다음과 같다⁵⁾.

2.1.1 Local Interconnect Network

LIN은 차량 내부를 구성하는 장비 간의 통신을 위해 개발된 직렬 네트워크 프로토콜이다. 40m의 버스 길이에서 최대 19.2 Kbit/s의 통신을 지원하는 단일 유선 직렬 네트워크 프로토콜이다. 자동차에 구현된 기술과 시설이 성장함에 따라 저렴한 직렬 네트워크의 필요성에 의해 개발되었으며, 차량의 모터, 스위치, 센서 및 램프를 연결하기 위한 경제적인 네트워크 옵션을 제공한다.

LIN 네트워크는 하나의 마스터 노드와 몇 개의 LIN-Slave를 기반으로 하며, LIN-Master는 하나 이상의 미리 정의된 스케줄링 테이블을 사용하여 LIN 버스로 송수신을 시작한다. 하나의 LIN 프레임은 두 부분의 헤더와 응답으로 구성되어 있다. 헤더는 항상 LIN 마스터에 의해 전송되는 반면, 응답은 하나의 전용 LIN-Slave 또는 LIN 마스터 자체에 의해 전송된다⁶⁾.

2.1.2 Controller Area Network

CAN은 마이크로컨트롤러와 장치가 호스트 컴퓨터 없이 서로의 애플리케이션과 통신할 수 있도록 설계된 분산 시스템의 실시간 제어를 효율적으로 지원하면서 데이터 보안을 보장하는 직렬 통신 프로토콜이다. 자동차 분야에서 널리 채택되고 오래전부터 사용된 프로토콜 표준으로 비교적 빠른 네트워크를 특징으로 하고 자동 오류 검출 및 듀얼 와이어 구현을 이용하여 신뢰성이 뛰어나다. CAN 네

트워크에 의해 연결된 장치는 일반적으로 엔진 제어장치, 센서, 액추에이터, 미끄럼 방지시스템 및 기타 제어장치이다. CAN 버스 노드는 호스트 프로세서, CAN 컨트롤러 및 CAN 트랜시버를 통해 버스에 연결되며, 각 노드는 메시지를 보내고 받을 수 있지만 동시에 받을 수는 없다. 메시지 또는 프레임은 주로 메시지의 우선순위를 나타내는 ID(식별자)과 최대 8개의 데이터 바이트로 구성된다⁷⁾.

2.1.3 FlexRay

FlexRay는 X-by-wire 시스템과 같은 고속 데이터 전송을 요구하는 안전 제어 애플리케이션을 위해 설계된 내 결합성 통신 프로토콜이며, 장점으로는 확장 가능한 의존성을 제공한다. 다양한 레벨의 내 결합성

을 제공하는 구성에서 작동할 수 있으며, 같은 네트워크에서 단일 및 이중 전송을 지원하는 링크를 결합할 수 있다. FlexRay를 적용하는 분산 제어시스템은 사시 제어, 바디 및 파워트레인 시스템, X-by-wire 구현 등이 포함되며, 대역폭은 10 Mbit/s이다⁸⁾.

2.1.4 Media Oriented Systems Transport

MOST (Media Oriented Systems Transport)는 자동차 산업에서 최적화된 고속 멀티미디어 데이터 전송을 위한 네트워크 기술로 차 내부 또는 외부의 응용 분야에 사용될 수 있다. 시리얼 MOST 버스는 데이터 체인 토폴로지 또는 링 토폴로지와 동기식 데이터 통신을 사용하여 POF (Plastic Optical Fiber) 또는 전기 전도체를 통해 오디오, 비디오, 음성 및 데이터 신호를 전송한다.

MOST 네트워크는 최대 64개의 MOST 장치를 관리할 수 있으며, 플러그 앤드 플레이 기능을 사용하여 장치 대부분을 쉽게 연결하고 제거할 수 있다. 다른 통신 프로토콜과 비교해서 속도가 최대 150Mbit/s로 빠른 장점을 가지고 있다⁹⁾.

2.1.5 이더넷

이더넷은 네트워크에 연결된 기기들이 고유한 매체 접근 제어 주소를 가지고 상호 간에 데이터를 주고받을 수 있도록 만들어진 근거리 통신망으로 IT 산업 전반에서 사용되고 있으며, 최근에는 차량용 통신 네트워크에 활용되고 있다. 이더넷은 100 Mbps에서 100 Gbps까지 대역폭 확장이 가능하고, 거의 모든 IT 산업에서 사용하는 부품에 표준으로 적용되어 있어 기기 간의 호환성이 좋다는 장점이 있다.

자동차에 들어가는 전장품은 기능이 다양해지면서 복잡해지고 있고, 영상데이터 및 센서 데이터 전송을 위한 차량 내부 네트워크는 넓은 대역폭과 높은 신뢰성을 요구하고 있다. 또한 서비스 도메인별로 사용되는 서로 다른 통신 프로토콜의 통합과 교통 정보 수집을 위한 클라우드 서버와의 원활한 접속을 위한 고대역폭 통신 기술이 필요해지고 있다.

고속, 대용량 처리가 가능하고 기기 간 호환성 및 확장성이 쉬운 네트워크 통합 플랫폼으로 차량용 이더넷을 주목하고, 국내외 완성차 및 부품 업체를 중심으로 기술 개발 및 표준화가 진행되고 있다. 현대 자동차는 커넥티드 카 컴퓨팅에 "기가비트 이더넷" 네트워크 기술을 적용하여 실시간으로 생성되는 센서 정보, 카메라 영상, 운행 및 고장 정보 등의 방대한 데이터를 고속으로 전송 및 처리하고 있다. 그뿐만 아니라

3D 카메라 뷰, 실시간 원격 진단, 외부 침입 감지 시스템 등의 기술에도 적용하고 있다. BMW는 ODB(On-Board Diagnostics) 커넥터를 이더넷으로 변경하여 진단 프로그램 업데이트를 시작으로 이더넷 기술을 차량 백본으로 확대해 가고 있고, Continental 사는 기존 차량 네트워크와 이더넷이 연동할 수 있는 도메인 게이트웨이 연구를 진행하고 차량 네트워크에 이더넷을 적용하고 있다.

2.2 차량 내부 네트워크 기술 동향

현재 자동차에는 소형차종에서 대형차종에 이르기 까지 약 50~200여 개의 ECU가 사용되고 있으며, 자율주행 자동차의 경우에는 ECU의 사용 빈도와 수량이 점점 증가하고 있다.

대부분의 차량 내부 통신 프로토콜은 CAN을 사용하고 있으나, 자동차 전장품의 기능 다양화로 인한 복잡성 증가 및 영상데이터 전송 등을 위한 넓은 대역폭과 높은 신뢰성의 네트워크 요구가 증가하고 있다. 대용량 데이터를 위한 고대역폭 차량 네트워크로 인하여 CAN FD 컨트롤러^[10]와 차량용 이더넷이 검토되고 있으며, 자동차 및 부품 업체를 중심으로 기술 개발과 그에 따른 표준화가 진행되고 있다.

차량 내부 네트워크 기술은 LIN, CAN, CAN FD, FlexRay, MOST, 이더넷 통신이 공존하는 형태로 발전되고 있다. 특히 이더넷 통신은 오디오/비디오 데이터 전송을 시작으로 차량 모든 영역에서 개발이 진행되었고, 차량 내부 서비스 도메인을 연결하는 백본으로 개발이 진행되고 있다^[11,12].

2.2.1 이더넷 통신의 장점

차량 내부에서 주로 사용되는 통신 프로토콜은 LIN과 CAN이며, 통신 속도의 증가로 인해 FlexRay와 MOST, LVDS 등의 통신이 혼용되어 사용되고 있다. 이렇게 단일 차량 내부에서 혼용되는 다른 통신 프로토콜을 효율적으로 통합하기 위한 통신 기술이 필요하게 되었으며, 이더넷 기술을 통한 단일화가 진행되고 있다.

차량용 이더넷 통신의 주요 장점으로는 쉽게 재구성할 수 있는 유연한 네트워크라는 점과 타 장비와의 호환성이 좋다는 것이다.

운전자의 편의와 안전을 위한 첨단 운전 보조 장치와 인포테인먼트는 고해상도의 영상데이터를 포함하고 있어 전통적인 자동차 네트워크 구조로는 요구되는 대역폭을 지원할 수 없으므로, 그림 2와 같이 이더넷 기반의 백본망 + 하위 도메인 게이트웨이 구성으

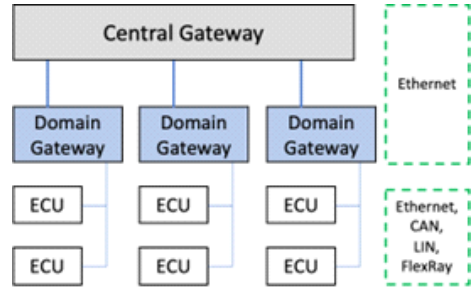


그림 2. 차량 내부 네트워크의 변화
Fig. 2. In-vehicle network changes

로 개발되고 있다^[13].

2.2.2 차량 내 광 통신의 필요성 대두

안전 및 편의 사항을 중심으로 자동차 기술이 진보하면서 통신기기가 다양화되어 자동차 내 시스템 회로와 정보량이 증가하고 있다. 멀티미디어의 다양화 및 고기능화에 따른 데이터의 증가는 차량용 이더넷 통신 기술을 가져왔고, 100 Mbps의 속도로 충분할 것처럼 생각되었던 전송 속도는 증가하는 영상 및 레이더 센서로 인해 수십 Gbps 이상의 전송 속도를 필요로 하고 있다. 영상 및 레이더 센서는 대략 초당 100 MB의 계측 데이터를 수집 및 전송한다. 예를 들어, 5개의 레이더 센서와 2개의 영상 장치를 갖춘 자동차의 경우, 다른 센서 데이터를 합치면 수집과 저장에서 다루어야 하는 데이터양이 대략 초당 1 GB에 이른다.

Gbps 이상의 전송 속도에서는 전기 전송 시 노이즈 제거를 위한 EMC(Electromagnetic Compatibility) 대책으로 실드 전선화가 필요하다. 이에 반해 광 통신은 전자 노이즈의 영향을 받지 않고 충분한 대역으로 전송할 수 있다. 또한, 광섬유는 실드 전선에 비해 질량비 1/5~1/10의 경량화 효과로 차량의 연비 절감과 차량 내 노이즈성 향상에 도움이 된다.

또한, 향후 자율주행 자동차는 첨단 센서들이 기가비트 속도로 데이터를 전송하고, 장기적으로 수십 Gbps 이상의 초고속 전송 속도를 요구할 것이다.

이렇듯 차량 내부에서 사용되는 다양하고 복잡한 전자 시스템은 운전자의 편의와 안전을 위해 발달되고 있으며, 요구되는 정보량의 증가로 더 큰 대역폭을 필요로 하게 된다. 그러므로 광 통신으로 차량 내부 네트워크를 통합하면, 늘어나는 대역폭에 대응할 수 있고, 차량 내 노이즈성 향상으로 인한 전기 신호의 안정성도 높일 수 있어 운전자의 편의성과 안전성을 향상시킬 수 있다.

III. 시스템 설계 및 구현

High-Speed DAQ 멀티인터페이스 모듈은 그림 3 과 같이 구성되어 있다. 1:N의 고속 멀티인터페이스 통신을 위해 10 Gbps 광통신 네트워크를 사용하며, 센서의 확장이 가능하도록 설계 및 구현되었다.

3.1 High-Speed DAQ 멀티인터페이스 모듈 설계

High-Speed DAQ 모듈의 PCB (Printed Circuit Board)는 그림 4와 같으며, 12V의 전원을 분배하여 사용하는 PMIC (Power Management Integrated Circuit)의 전원부, Xilinx 사의 FPGA, SFP+모듈, 센서와 연결되는 Molex 커넥터 및 각종 스위치와 LED 로 구성된다.

FPGA 제품은 xilinx 사 Kintex 7 계열의 XC7K325T 제품으로 구성하였다. 이 제품의 Data Rate는 6.6 GB/s이며, 16개의 Transceiver로 구성되어 있다. 제품 스펙은 표 1과 같다.

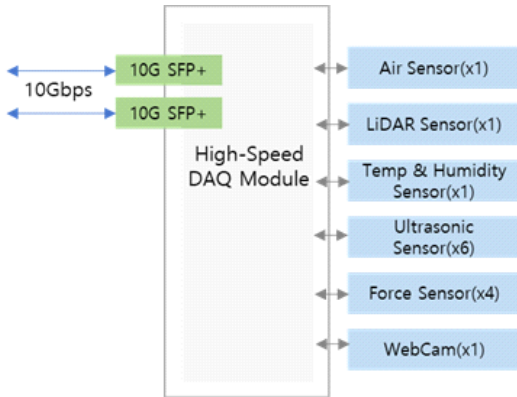


그림 3. 시스템 구성도
Fig. 3. System configuration

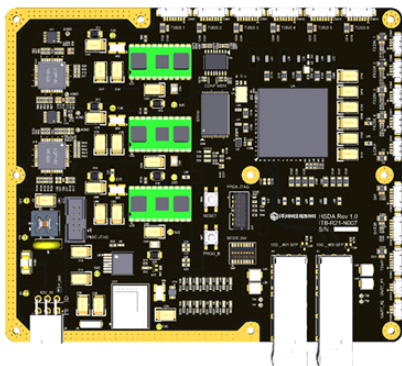


그림 4. PCB 형상
Fig. 4. PCB shape

표 1. Kintex 7 FPGA 제품 사양
Table 1. Kintex 7 FPGA product specification

Parameter	Value	Units
Number of Logic Elements	326080 LE	-
Number of I/Os	500 I/O	-
Operating Supply Voltage	1.2~3.3	V
Operating Temperature	-40~100	°C
Mounting Style	SMD/SMT	-
Data Rate	6.6	Gb/s
Distributed RAM	4000	kbit
Embedded Block RAM	16020	kbit
Maximum Operating Frequency	640	MHz
Number of Logic Array Blocks	25475 LAB	-
Number of Transceivers	16	ea

3.2 센서 사양 및 통신 프로토콜 정의

3.2.1 센서 사양

데이터 수집을 위하여 표 2와 같이 5개 종류의 센서와 1개의 웹캠을 사용하였으며, 센서는 그림 5와 같은 위치를 고려했다. 센서 데이터는 34 byte 패킷 사이즈로 통합하여 1초에 10개씩 포트 40001번을 통해 GUI로 전송하며, 웹캠에서 수집된 실시간 영상데이터는 40003번 포트로 전송된다.

표 2. 센서 사양
Table 2. Sensor specification

Catalog	Product Name	Specification
Humidity Sensor	SHT3x-DIS	Resolution : 0.01 % Specified Range : 0~100 %
Force Sensor	TE FX29	Zero Offset : 300~700 mV Full Scale Span : 3800~4000 mV
LiDAR Sensor	TFmini Plus	Distance Resolution : 5 mm Frame Rate : 1~1000 Hz
Air Sensor	SM-UART-04L	Detection Range : 0.3~10 μm Resolution : 1 μg/m3
Ultrasonic Sensor	URM37 V5.0	Resolution : 1 cm Accuracy : 1 %
USB WebCam	Logitech HD C525	1280 x 720 Autofocus

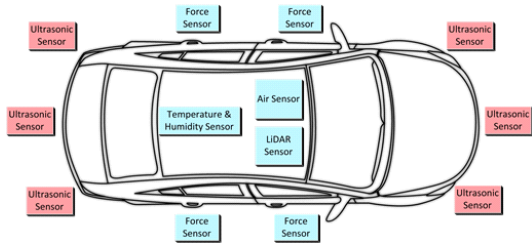


그림 5. 차량 내 센서 위치
Fig. 5. Sensor location in vehicle

3.2.2 통신 프로토콜 정의

그림 6에서 보는 것과 같이 통신 포트는 12개를 설계하였으며, 원하는 센서 및 카메라, 기타 장치를 추가하여 10Gbps 대역폭 안에서 데이터를 빠르고 안전하게 통신할 수 있다. 실제 전송 대역폭 실험에서 송신 9.8 Gbps, 수신 8.3 Gbps의 전송 속도를 확인하였다.

또한, 센서를 통해 수집되는 데이터를 전달하기 위한 ICD (Interface Control Document)를 그림 7과 같이 정의하였다.

온습도 센서(humidity sensor), 라이다 센서(LiDAR sensor), 미세먼지 센서(air sensor), 힘 센서(force sensor), 초음파 센서(ultrasonic sensor)를 총 34 byte 패킷 사이즈로 ICD를 정의하였다. 추가되는 센서 데이터에 대해서는 ICD를 재정의하여 10 Gbps 대역폭 안에서 통신할 수 있다.

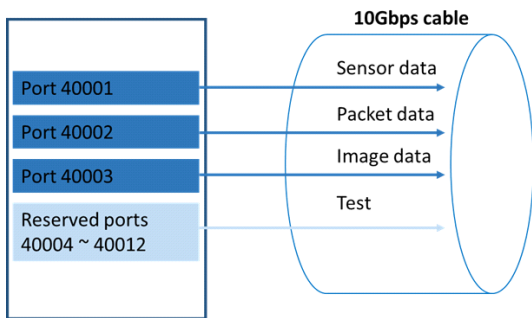


그림 6. 할당된 통신 포트
Fig. 6. Assigned communication port

	Humidity Sensor		LiDAR Sensor				Air Sensor							
	Humidity	Temperature	Distance	Strength	PM1	PM2.5	PM10							
FPGA DATA	0x0000 - 0xFFFF	0x0750 - 0xF8A8	0x0000 - 0x0480	0x0000 - 0xFFFF	H_D1	L_D1	H_D2	L_D2	H_D3	L_D3				
Total	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1				
Byte Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

	Force Sensor (4EA)				Ultrasonic Sensor (8EA)															
	Front_L	Front_R	Back_L	Back_R	Front_L	Front_C	Front_R	Back_L	Back_C	Back_R										
FPGA DATA	0x03E8 - 0x3A98				0x0002 - 0x03E8															
Total	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2										
Byte Position	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

그림 7. 센서 데이터 ICD
Fig. 7. Sensor data ICD

3.3 네트워크 프로토콜 설계

데이터를 수집하고 전달하기 위한 FPGA (Field Programable Gate Array) 중심의 디지털 장치를 개발하기 위해 데이터양에 따라 전송방식을 선택해야 한다. 데이터의 양이 많지 않다면 RS232/422 같은 저속 시리얼 통신 방식으로도 가능하지만, 대용량 고속 데이터(100 Mbps~10 Gbps)를 전송해야 한다면 이더넷 방식을 고려해야 한다.

대용량 고속 데이터 전송을 위한 데이터 수집 장치에 있는 FPGA는 TCP보다 구현이 쉽고 속도가 빠른 UDP 프로토콜¹⁴⁾을 주로 사용하고 있다. 따라서 네트워크 프로토콜 설계는 UDP 프로토콜을 FPGA 로직으로 구현하였다.

그림 8과 같이 데이터 송/수신이 필요한 장치에 최소한의 통신이 필요한 ARP, ICMP, UDP 프로토콜만을 구현한다. FPGA의 한정된 로직을 사용하여 구현해야 하므로 1:1 통신을 기본으로 전제하고 불필요한 옵션 기능 구현은 제외하였다. 회색으로 표현한 부분은 FPGA RTL로 구현된 블록이며, 파란색 블록은 Xilinx에서 제공하는 MAC (Media Access Control)을 사용한다.

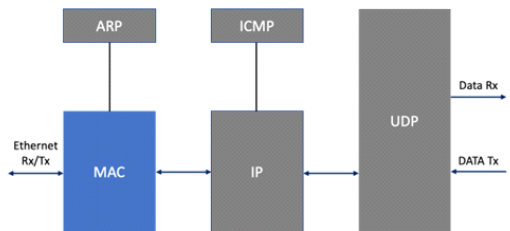


그림 8. 네트워크 프로토콜 설계
Fig. 8. Network protocol design

3.4 FPGA RTL 설계

High-Speed DAQ Module의 FPGA RTL은 그림 9와 같이 Clock Interface, UDP Mngr, Humidity Mngr, LiDAR Mngr, Air Sensor Mngr, Force Mngr, Ultrasonic Mngr, Webcam Mngr로 구성된다. 전원을 인가하면 Humidity Mngr, LiDAR Mngr, AirSensor Mngr, Force Mngr, Ultrasonic Mngr 모듈에서 센서 값을 수신하고, Webcam Mngr에서는 실시간 영상 데이터를 수신하기 시작한다.

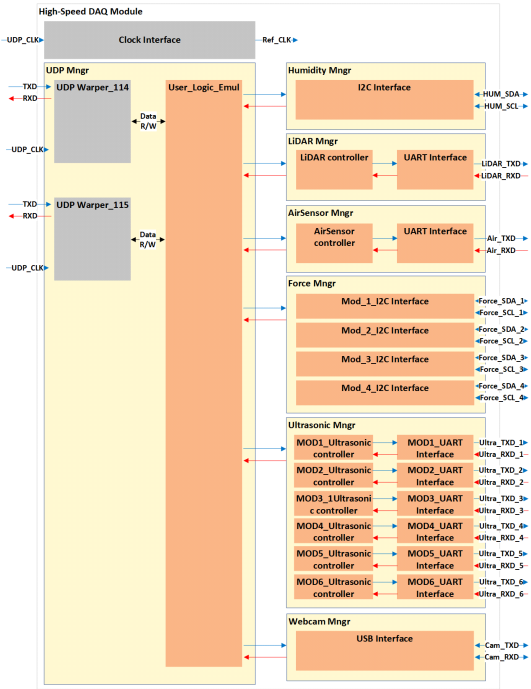


그림 9. High-Speed DAQ Module 블록 다이어그램
Fig. 9. High-Speed DAQ Module Block diagram

IV. 실험 및 평가

실험 환경은 그림 10과 같이 High-Speed DAQ Module, 웹캠과 각 센서, GUI를 위한 PC로 구성된다.

High-Speed DAQ Module 시리얼 포트에 연결된 온습도, 힘, 라이다, 초음파, 미세먼지 센서 데이터를 수집하여 송신하고, 웹캠으로부터 영상데이터를 실시간으로 전송하여 GUI에서 확인한다.

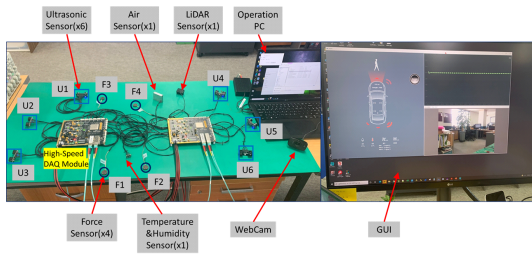


그림 10. 실험 환경
Fig. 10. Experimental environment

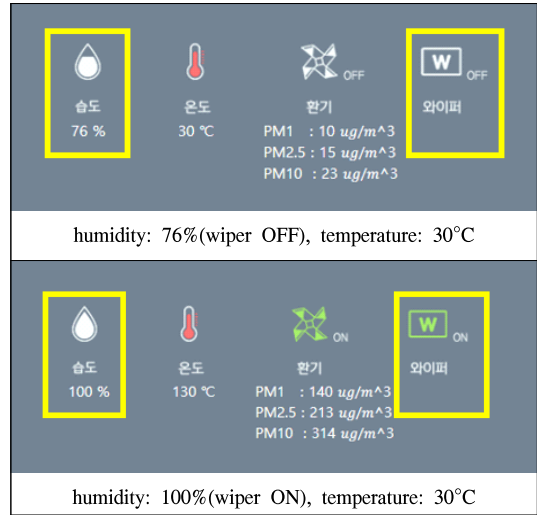
4.1 센서 데이터 측정

4.1.1 온습도 센서

온습도 센서는 측정된 온도와 습도 데이터를 십진

표 3. 온습도 센서 실험 결과

Table 3. Test result of humidity sensor



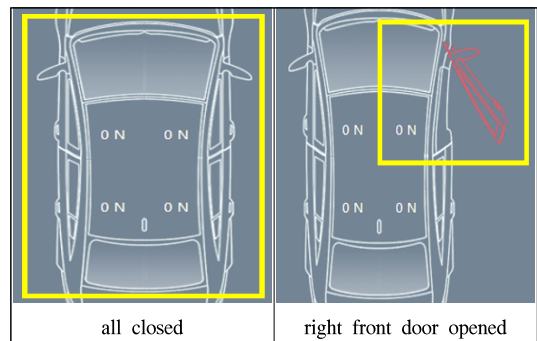
수로 변환하여 표 3과 같이 단계별로 GUI에 표출한다. 각 단계별 습도 변화에 따른 수치와 GUI 변화를 위해 기습기를 켜고 실험을 진행하였으며, 각 단계별 습도 변화에 따른 GUI를 확인하였다. 온도는 손가락으로 센서를 접촉하여 온도가 변하는 것을 확인하였다. 습도가 100%일 경우 와이퍼가 “ON”이 되도록 설계하였으며, 습도 100%에서 와이퍼가 “ON” 상태로 변하는 것을 확인하였다.

4.1.2 힘 센서

힘 센서는 자동차 도어의 열림과 닫힘 상태를 확인하기 위한 센서이며, 문이 모두 닫혀있는 상태인 경우 각각의 문에 20N 이상의 힘이 가해지면 문이 열린 것으로 판단하여 GUI에 상태를 표현한다. 또한, 문이 모두 열린 상태인 경우 각각의 문에 20N 이상의 힘이

표 4. 힘 센서 실험 결과

Table 4. Test result of force sensor

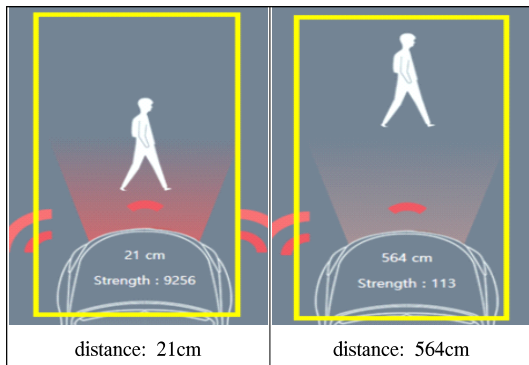


가해지면 문이 닫힌 것으로 판단하여 GUI에 상태를 표현한다. 실험에서 각각의 센서에 손가락으로 힘을 가하여 각 도어의 상태가 올바르게 작동하는 것을 확인하였으며, 표 4에 실험 결과를 보였다.

4.1.3 라이이다 센서

라이이다 센서는 자율주행 시 앞에 있는 물체(사람이나 사물)를 감지하고, 경우에 따라 급정거를 유도하여 물체를 보호하기 위한 기능을 위해 장착하는 센서이다. 물체의 거리와 반사되어 돌아오는 신호의 강도를 측정하여 십진수로 변환하며, 탐지된 물체의 거리와 반사되는 신호의 상태 값을 GUI에 표시한다. 실험에서 센서 앞에 책받침으로 장애물을 설정하고 거리를 바꿔가며 거리에 따른 올바른 값을 확인하였으며, 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 5. 라이이다 센서 실험 결과
Table 5. Test result of LiDAR sensor

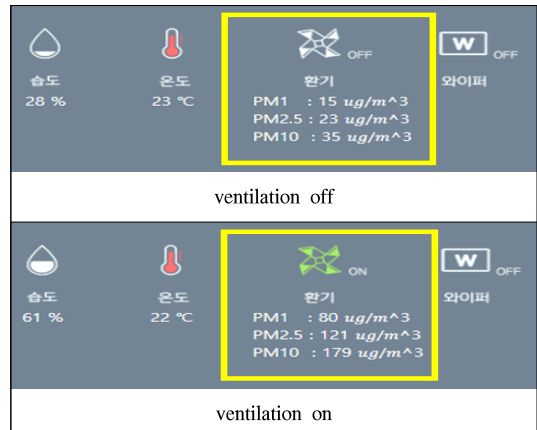


4.1.4 미세먼지 센서

미세먼지 센서는 대기질의 미세먼지를 측정하여 PM1, PM2.5, PM10의 단계로 나눈다. PM2.5의 측정값이 0~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10의 측정값이 0~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우에는 미세먼지의 수준이 좋음에서 보통으로 환기가 “OFF” 상태이다. 반면에 PM2.5의 측정값이 36~76 이상 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10의 측정값이 81~151 이상 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 경우에는 미세먼지의 수준이 나쁨에서 매우 나쁨으로 환기가 “ON” 상태이다.

실험을 위해 가슴기를 이용하여 먼지 입자를 만들었으며, 미세먼지 측정값에 따라 환기가 “ON”, “OFF”로 변경되는 것을 표 6과 같이 확인하였다.

표 6. Air sensor 실험 결과
Table 6. Test result of air sensor

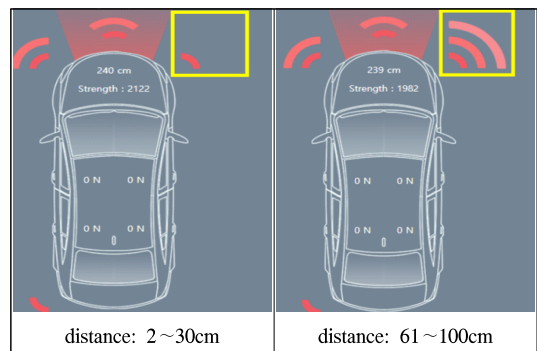


4.1.5 초음파 센서

초음파 센서는 주차 또는 서행 시 차량 앞/뒤 장애물을 판단하여 경고음과 알림을 제공하기 위한 센서이다. 전면 좌/우 3개, 후면 좌/우 3개의 거리를 측정하며, 그 측정값들을 GUI에 표시하게 하였다. 거리에 따른 GUI 표시는 2~30cm일 경우에는 1개의 원호 표시로 경고, 31~60cm일 경우에는 2개의 원호 표시로 경고, 61~100cm일 경우에는 3개의 원호 표시로 경고를 나타내게 했으며, 100cm 이상일 경우에는 경고 표시가 없도록 구현하였다.

실험을 위해 센서 앞에 책받침으로 거리를 바꿔가며 실험하였으며, 거리에 따라 값과 GUI가 올바르게 바뀌는 것을 표 7과 같이 확인하였다.

표 7. 초음파 센서 실험 결과
Table 7. Test result of ultrasonic sensor



4.2 실시간 영상데이터 확인

High-Speed DAQ Module에 연결된 웹캠을 통해 수집되는 영상데이터는 그림 11과 같이 실시간으로



그림 11. 실시간 영상 수신
Fig. 11. Received real-time video

GUI에서 확인할 수 있다. CameraView.exe에서 설정된 IP, port, size, rate에 맞게 실시간으로 영상데이터를 전송한다.

4.3 네트워크 대역폭 확인

네트워크 대역폭을 10 Gbps 최대한으로 사용할 수 있는지 보기 위해 4,000 bytes 크기의 프레임을 매 5 μs 마다 생성하여 전송하는 실험을 진행하였다. 전송하려는 데이터는 무손실의 경우, 16 Gbps rate로 나가야 하지만, 10 Gbps 케이블을 통해 전송되므로 최대 9.8 Gbps의 송신 속도와 8.3 Gbps의 수신 속도가 나오는 것을 그림 12와 같이 확인하였다. 이 결과는 1 Mbps의 CAN 통신보다는 수천 배, 100BaseT 이더넷 환경보다는 수십 배 높은 대역폭 결과이다.

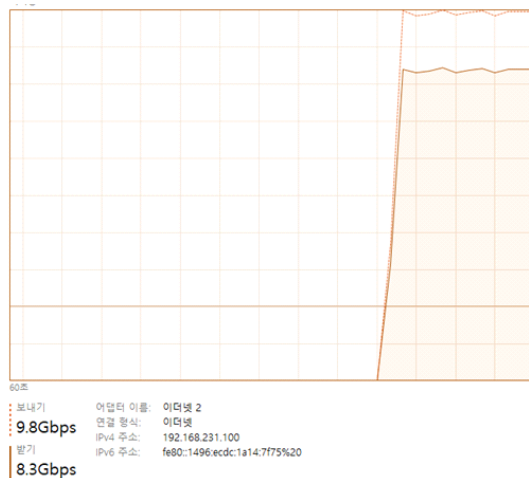


그림 12. 네트워크 대역폭 확인
Fig. 12. Check network bandwidth

V. 결 론

본 논문에서는 10 Gbps 광 통신 네트워크 환경에

서 차량용 High-Speed DAQ 멀티인터페이스 모듈을 설계하고 구현하였으며, 여러 종류의 데이터(시리얼 센서 데이터, 웹캠 영상데이터, 패킷 데이터)의 실시간 송수신 기능을 실험으로 확인하였다.

설계한 모듈 및 데이터의 정상적 동작을 실험으로 확인할 수 있었으며, 넓은 대역폭을 요구하는 웹캠 영상데이터 또한, 지연 없이 출력되는 것을 확인했다. 네트워크 대역폭 관점에서, 송신과 수신 속도가 최대 9.8 Gbps와 8.3 Gbps가 가능함을 실험을 통해 확인하였는데, 이는 1Mbps 대역폭인 CAN의 수천 배, 10 Mbps 대역폭인 FlaxRay의 수백 배에 해당하는 것이며, 현재 부분적으로 사용 중인 차량 내 이더넷 통신 100BaseT의 수십 배 이상의 대역폭 확보가 가능함을 의미한다. 즉, 차량 내 혼합되어 사용되는 도메인별 다수의 통신 프로토콜로 동작하던 것을 10 Gbps 광 통신으로 통합하여 관리함으로써 더 높은 대역폭을 확보하고 빠르고 안정적인 통신이 가능하도록 구현한 것이다.

본 논문의 의의는 차량의 편의와 안전을 위해 늘어나는 미래의 다양한 센서 및 대용량 영상데이터의 필요성에 대비해 차량 내부 통신을 10 Gbps 이상의 광 통신으로 통합하기 위한 기본 인터페이스를 구현하였다는 것이다. 광 통신 기반의 백본망을 사용하는 경우 차량 내 복잡한 하네스 구조를 단순하게 하여, 차량 무게를 줄이고 연비를 절감할 수 있으며, 생산 공정 단순화로 비용을 절감하는 효과도 가져올 수 있다.

본 논문에서 제시한 10 Gbps 광 통신 기반의 설계 및 구현의 결과가, 향후 광 통신 기반의 차량용 네트워크 연구에서 기본 인터페이스로 활용될 수 있으리라 기대한다.

References

- [1] S. S. Lee, "In-vehicle network technologies," *J. IEEE*, vol. 22, no. 2, pp. 518-521, Jun. 2018.
(<https://doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.2.518>)
- [2] J. Walrand, M. Turner, and R. Myers, "An architecture for in-vehicle networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 70, no. 7, pp. 6335-6342, Jul. 2021.
(<https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3082464>)
- [3] J. H. Min, S. Y. Jung, and Y. G. Park, "In-vehicle networking by integration of CAN and 10Base-T1S ethernet," in *Proc. Symp.*

KICS, pp. 617-618, Aug. 2020.

- [4] O. Avatefipour, "Physical-fingerprinting of electronic control unit (ECU) based on machine learning algorithm for in-vehicle network communication protocol 'CAN-BUS'," M.S. Thesis, University of Michigan-Dearborn, 2017.
- [5] G. G. Kim, "The evolution and the future of vehicle communication networks architecture," *The World of Electr.*, vol. 66, no. 5, pp. 25-36, May 2017.
- [6] D. Paret, *Multiplexed Networks for Embedded Systems*, John Wiley & Sons Inc., p. 418, 2007.
- [7] A. Shinde, *CAN - Controller Area Network*, Lap Lambert Academic Publishing GmbH KG, 2012.
- [8] D. Paret, *FlexRay and its Application: Real Time Multiplexed Network*, John Wiley & Sons Inc., 2012.
(<https://doi.org/10.1002/9781119964063>)
- [9] M. J. Kim, S. H. Baek, and J. W. Jang, "Smart navigation system implementation by MOST network of in-vehicle," *J. KIICE*, vol. 13, no. 11, pp. 2311-2316, Nov. 2009.
- [10] D. Y. Choi, Y. H. Yoon, J. H. Oh, and S. E. Lee, "High-speed CAN-FD controller for in-vehicle network," *J. IEIE*, vol. 56, no. 12, pp. 109-116, Dec. 2019.
(<https://doi.org/10.5573/jieie.2019.56.12.109>)
- [11] I. S. Kim and J. S. Bae, "Design of a CAN-Ethernet address mapping mechanism for an automotive IVN(In-Vehicle Network)," in *Proc. Korean Soc. Automotive Eng.*, pp. 801-802, Goyang-si, Korea, Nov. 2014.
- [12] H. J. Yun, "Special Report - The status of standardization of in-vehicle network technology," *TTA J.*, vol. 160, pp. 51-57, 2015.
- [13] K. Lee, S. S. Do, and J. H. Yoon, "자동차용 이더넷 통신(Ethernet technology for vehicles)," *Information & Communications Magazine*, vol. 33, no. 1, pp. 54-62, Dec. 2015.
- [14] B. A. Forouzan, *TCP/IP Protocol Suite*,

McGraw-Hill, 2017.

양 상 진 (Sang-jin Yang)



2007년 2월 : 배재대학교 전자공학과 졸업
2022년 8월 : 충남대학교 전파전자정보통신공학과 석사
2022년 9월~현재 : 충남대학교 전파정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 임베디드 시스템, 위성 통신, 광통신 네트워크

[ORCID:0000-0003-4266-0480]

권 영 미 (Young-mi Kwon)



1986년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1988년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1996년 8월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
1993년 5월~1995년 2월 : 한국전자통신연구소 연구원

1996년 9월~2002년 5월 : 목원대학교 조교수
2002년 5월~현재 : 충남대학교 전파정보통신공학과 교수
<관심분야> Internet Protocols, Embedded System, Distributed System, Cloud Computing

[ORCID:0000-0003-0318-0660]