

차량 도메인 E/E 아키텍처의 저지연 네트워크 변환을 위한 최적 설계방안에 관한 연구

이용규

현대케피코 시스템아키텍처개발팀

YongGyu.Lee@hyundai-kefico.com

A Study on the Optimal Design Methods for Low-latency Network Conversion of Automotive Domain E/E Architecture

Lee Yong Gyu

System Architecture Development Team, Hyundai Kefico

요 약

차량 E/E 아키텍처는 집중형 도메인 아키텍처로 빠르게 전환됨에 따라 집중형 도메인 통합제어기에서 기존 CAN 버스 통신과 신규 이더넷 통신이 병목되어 새롭게 이기종 통신들에 대한 게이트웨이 기능을 필요로 하고 있다. 본 논문은 통합제어기에서 사용되는 어플리케이션 프로세서와 운영체제를 갖는 제어기 시스템 구조에서 최적의 게이트웨이 기능 실현을 위한 설계 방안을 연구하였고 CPU 연산코어와 SW 운영체제에 따라 게이트웨이 운영 조건을 수립한 뒤 게이트웨이를 위한 소프트웨어를 설계하여 CAN 버스로 연결되는 ECU 들과 이더넷으로 연결되는 호스트를 설정하여 CAN 통신에서 이더넷 통신으로 전환되는 시간을 지표로 비교 분석하였다.

I. 서 론

현대의 자동차는 소프트웨어로 동작하는 전자장치들을 통해 수많은 기능들을 수행하고 있다. 이런 전자장치들은 차량내 기능별 도메인으로 나뉘고 있으며 주요 도메인은 파워트레인, 샤시, 바디, 인포테인먼트, 그리고 자율주행 도메인으로 나뉘고 있다. 도메인 영역의 세부 기능들을 담당하는 전자제어장치(ECU)들은 버스 시스템을 통해서 네트워크로 서로 연결되고 타 도메인 간 정보 교환을 위해 도메인간 게이트웨이 기능이 필요하게 된다. 이러한 구성을 바탕으로 전통적으로 전기전자(E/E) 아키텍처는 분산형 구조로 이뤄져 왔다. 분산형 구조에서는 기능 확장을 위해 신규 ECU 를 통해 확장하는 구조로 비용적 측면과 아키텍처 규모가 커지는 단점이 존재한다. [1] 더불어 자율주행을 위한 카메라, 라이다와 같은 대역폭 대역폭 갖는 센서들이 통신버스 통해 전송되기 위해서 전통적인 CAN, LIN, MOST 등의 통신들은 대역폭이 부족하다. 이러한 개선을 위해 현대에는 도메인 중심, 멀티도메인 중심, 그리고 지역 중심으로 집중형 E/E 아키텍처가 도래했고 이를 통해 아키텍처의 복잡성 축소와 비용적 이점 그리고 고속의 데이터 통신들의 장점을 얻을 수 있었다. 그리고 도메인 제어기 또는 준 제어기라 불리는 집중형 통합제어기에서 그림 1 과 같이 하위 ECU 들에 대한 통합 기능과 타 집중형 통합제어기 간 고속통신과 하위 ECU 간 통신이 다른 통신방법이 적용되었다. [2]

차량용 이더넷 통신은 높은 대역폭을 갖는 특징으로 높은 데이터를 전송할 수 있고 집중형 통합제어기 간에 Point-to-Point 연결형태로 적용되고 있다. 거기에 CAN 통신은 기존 하위 ECU 들과 버스를 통해 연결된다. 이 두가지 다른 종류의 통신들은 차량 집중형 통합제어기에

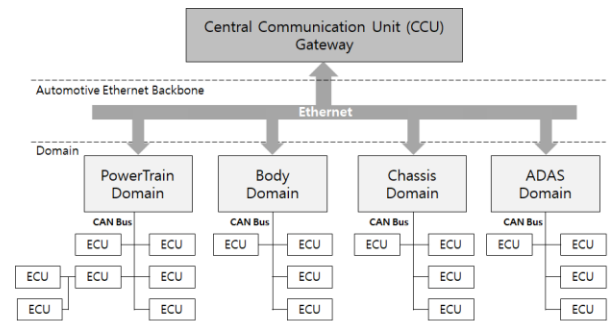


그림 1. 자동차 도메인 아키텍처의 예

동시에 연결되고 다양한 프로토콜 변환과 실시간 정보 라우팅을 제공하는 게이트웨이 기능이 필요로 하게 된다. 더욱이 자율주행 도메인영역에서는 하위 ECU 들이 CAN 버스를 통해 제공하는 정보들의 정확한 분석을 위해 실시간으로 전달되어야 하는 제약을 갖고 있기 때문에 실시간 변환성도 중요한 지표가 된다.

최근 반도체 기술 발전에 따라 과거까지 사용되어 온 마이크로프로세서 연산장치 기반에서 연산능력이 높아진 어플리케이션 프로세서(AP)들을 차량 연산장치로 도입되고 있다. [3] 높은 성능을 갖는 AP 들을 통해 기존 ECU 기능들을 한 개의 프로세서에 다수의 ECU 를 통합할 수 있었고 기존과 달리 실시간 운영체제, 가상화, 프레임워크, 미들웨어 SW 기술들이 쉽게 적용될 수 있는 토대가 되었다. 또한 AP 내부에 멀티코어, 어플리케이션 연산 코어 (A-Core), 실시간 연산 코어(M-Core) 들과

같은 연산처리 주체에 대한 고려도 있어 SW 와 HW 측면에서 고려사항이 있다.

본 논문에서는 차량용 이더넷 통신과 CAN 버스 통신을 동시에 가지고 있는 집중형 통합제어기상에서 통신 네트워크 간에 최적의 실시간성을 갖는 게이트웨이 기능을 실현하고 AP 에서 고려될 수 있는 HW 와 SW 조건 상에서 최적의 성능을 도출하기 위해 실험 및 성능비교 지표를 분석하고자 한다.

II. 본론

본 연구에서는 NXP, S32G AP 기반의 게이트웨이 기능을 설계하였다. AP 는 1GHz 클럭을 갖는 4 개의 Arm Cortex-A53 코어와 400MHz 클럭을 갖는 3 개 Arm Cortex-M7 코어를 포함하고 있다. 그림 2 와 같이 AP 기반으로 A 코어 기반 SW 와 M 코어 기반의 SW 구조로 개발될 수 있고 각각 코어마다 SW 에 대한 특징을 가지고 있다. A 코어는 어플리케이션 특화용으로 개발된 코어이므로 운영체제를 임베디드 리눅스와 실시간 운영체제인 FreeRTOS 를 적용하였고 M 코어는 짧은 응답시간을 갖는 임베디드 코어이므로 운영체제를 오직 FreeRTOS 를 적용하였다. 그래서 아래 표 1 과 같은 3 가지 SW 아키텍처 환경에서 게이트웨이 기능을 구현시킬 수 있었고 각각의 환경에 따라 라우팅 성능을 비교하였다. 라우팅 대상 통신은 하위 ECU 와 연결되는 CAN 통신과 상위 제어기와 연결되는 이더넷 통신 간의 라우팅을 대상으로 하였고 CAN 통신은 CAN-FD, 500 kbps 와 2Mbps 속도를 적용하였고 이더넷 통신은 100 Mbps 속도와 SOME/IP 프로토콜 [4]을 적용하였다.

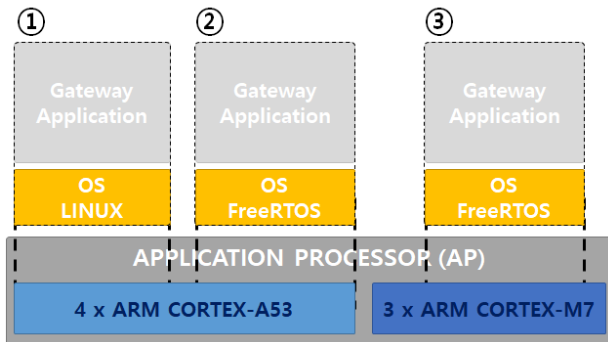


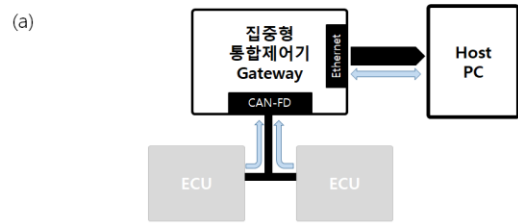
그림 2. SW 아키텍처의 예

Case	CPU Core	Clock	OS
①	Cortex-A53	1 GHz	Linux
②	Cortex-A53	1 GHz	FreeRTOS
③	Cortex-M7	400 MHz	FreeRTOS

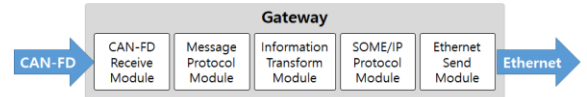
표 1. SW 아키텍처에 따른 주요 컴포넌트

III. 구현

이기중 통신의 게이트웨이를 구현하기 위한 시스템 환경은 그림 3(a) 와 같이 공통 CAN 버스에 대해 2 대의 ECU 가 전송하는 CAN-FD 통신과 이를 수신하는 집중형 통합제어기 그리고 호스트 PC 와 연결되는 구성을 준비하였다. 하위 ECU 에서 송신한 CAN 프레임의 기준으로 집중형 통합 제어기에서 라우팅을 거쳐 호스트 PC 에서 이더넷 패킷을 수신하는 과정을



(a)



(b) CAN-FD to Ethernet 라우팅 변환 과정

그림 3. 집중형 통합제어기의 게이트웨이 변환
(a) 게이트웨이 시스템 환경
(b) CAN-FD to Ethernet 라우팅 변환 과정

정하였고 집중형 통합제어기에서 CAN 메시지를 수신한 시간과 이더넷 패킷을 송신하는 시간을 측정하여 라우팅 성능지표로 설정하였다. 집중형 통합제어기 내에서 라우팅이 이루어지는 과정은 그림 3 (b) 와 같은 순서로 진행된다. CAN-FD 리시브 모듈에 의해 CAN-FD 프레임이 수신되고 이 프레임을 메시지 프로토콜 모듈에 의해 정보 데이터들을 추출한 뒤 전송 정보를 통합하여 SOME/IP 프로토콜 [4] 모듈에 의해 패킷을 생성하고 이더넷 송신 모듈에 의해 이더넷 패킷을 외부로 송신한다.

IV. 결론

본 연구에서는 CAN 통신과 이더넷 통신이 혼재된 AP 를 갖는 제어기 환경에서 SW 아키텍처에 따른 CAN-to-Ethernet 라우팅 전환 최적 성능을 연구하였다. 임베디드 리눅스 운영체제 환경보다 실시간 운영체제 FreeRTOS 환경에서 더 빠른 성능을 확인할 수 있었고 연산코어에서 단독 어플리케이션을 사용하는 조건 하에 수행되는 게이트웨이 기능이라면 A 코어에서 성능이 더 우수하나 일반적으로 A 코어에서는 멀티 어플리케이션을 수행하기 때문에 많아지는 어플리케이션에 따라 성능이 감소될 것을 기대되었다.

참고 문헌

- [1] Mundhenk P. "Security for Automotive Electrical / Electronic (E/E) Architectures," Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore, 2018.
- [2] Park, J.S. 외 2 명, "Design and Implementation of Security Function According to Routing Method in Automotive Gateway," Int. J. Automot. Technol. 2021, 22, 19- 25.
- [3] Kim, J.H. 외 5 명, "Gateway Framework for in-Vehicle Networks Based on Can, Flexray, and Ethernet," IEEE Trans. Veh. Technol. 2015, 64, 4472- 4486.
- [4] GENIVI vSOMEIP. Vsomeip in 10 Minutes. Available online: <https://github.com/COVESAvsomeip>