

Zonal 기반 차량 내부 네트워크 아키텍처 설계 및 성능 분석

박철순, 박승권
한양대학교

rottitti@hanyang.ac.kr, sp2996@hanyang.ac.kr

Design and Performance Analysis of Zonal-based In-Vehicle Network Architecture

Park Chul Sun, Park Sung Kwon
Hanyang University

요약

최근에는 와이어링 하니스와 In-Vehicle Network (IVN) 아키텍처의 복잡성을 최소화하기 위해 Electronic Control Unit (ECU)를 물리적 위치에 따라 그룹화하는 Zonal 기반 IVN 아키텍처 (ZIA)가 주목받고 있습니다. 본 논문에서는 자율주행을 위한 새로운 ZIA 와 DIA 를 제안합니다. 이를 위해 차량용 이더넷 기술인 Time-Sensitive Networking (TSN)을 활용합니다. 이 두 개의 새로운 IVN 아키텍처에 대해 OMNeT++ 를 사용하여 아키텍처를 설계하고 시뮬레이션합니다. 시뮬레이션을 통해 두 아키텍처에서 데이터 전송 지연을 측정하고, 아키텍처 구성에 필요한 와이어링 하니스의 전체 길이를 수치적으로 계산합니다. 이를 통해 데이터 전송과 와이어링 하니스 측면에서 두 아키텍처를 비교합니다. 그 결과, ZIA 가 DIA 에 비해 데이터 전송 측면에서 36.7% 우수하고, 와이어링 하니스의 전체 길이 측면에서는 24.6% 우수함을 확인했습니다.

I. 서론

차량에 자율주행 기술 수준이 높아지면서 이를 제어하기 위해 탑재되는 카메라, 레이더, 라이다 등과 같은 센서를 포함하는 Electronic Control Unit (ECU)가 과거에 비해 크게 증가하고 있습니다. ADAS 기능을 제공하기 위해 약 70 개의 ECU 가 차량에 필요합니다. 차량에 탑재되는 ECU 가 증가할수록 운전자의 안전과 편의는 향상될 것입니다. 그러나 이로 인해 IVN 아키텍처의 복잡성이 증가합니다. ECU 간에 데이터 전송은 와이어링 하니스를 통해 이루어지므로 ECU 가 증가할수록 와이어링 하니스의 길이가 증가할 수밖에 없습니다. 그 결과, ECU 증가는 IVN 아키텍처 복잡성, 차량의 중량과 제조 비용, 데이터 전송 지연, 및 서비스 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있습니다. 따라서, 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 효율적인 IVN 아키텍처가 개발이 필요합니다.

차량에 다양한 기술들이 도입되면서 지난 수십 년 동안 IVN 아키텍처는 계속해서 발전해 왔습니다. 초기에는 중앙 게이트웨이 기반 IVN 아키텍처를 사용했지만, 2020 년부터는 domain 기반 IVN 아키텍처 (DIA)로 변화하고 있습니다. DIA 는 유사한 기능을 가진 ECU 를 domain 으로 그룹화하고, 각 domain 에는 고성능 컨트롤러를 배치하는 구조입니다. 이 컨트롤러는 domain 내에서 데이터 교환을 지원하고, 중앙 게이트웨이와의 통신 역할을 수행합니다. 그러나, DIA 는 ECU 의 물리적 위치를 고려하지 않고 ECU 간에 와이어링 하니스를 연결하기 때문에 긴 와이어링

하니스가 필요한 경우가 많습니다. 결과적으로, 차량에 DIA 는 ECU 수가 증가할수록 와이어링 하니스를 더욱 증가시키는 단점을 가지고 있습니다. 이러한 DIA 의 문제점을 해결하기 위해 zonal 기반 IVN 아키텍처 (ZIA)가 주목받고 있습니다.

차량 제조사와 부품사는 ECU 수가 증가함에 따라 와이어링 하니스를 효율적으로 사용하기 위해 ZIA 를 주목하고 있습니다. ZIA 는 다음과 같은 주요 특징을 가집니다. 첫 번째 특징은 ECU 의 기능보단 물리적 위치를 기반으로 연결을 결정한다는 것입니다. ZIA 에서 ECU 는 물리적 위치에 따라 여러 zone 으로 그룹화됩니다. 이 특징으로 인해 ZIA 는 DIA 보다 와이어링 하니스의 전체 길이를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 아키텍처 구조를 단순화하여 빠른 데이터 전송을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있습니다. 두 번째 특징은 중앙 집중식 구조입니다. ZIA 에서 중앙에 위치한 고성능 컴퓨팅 장치는 ECU 를 관리 및 제어를 합니다. 이 장치를 통해 자율주행과 OTA 와 같이 높은 컴퓨팅 성능이 필요한 애플리케이션을 다른 아키텍처 보다 효율적으로 처리할 수 있습니다.

본 논문은 ZIA 가 DIA 에 비해 데이터 전송 속도와 와이어링 하니스의 길이 측면에서 얼마나 성능이 우수한지를 검증합니다. 이를 위해 IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) 기반으로 ZIA 와 DIA 를 설계한 후, OMNeT++ 를 이용해 ZIA 와 DIA 용 시뮬레이터를 개발합니다. 데이터 전송 속도는 개발한 시뮬레이터를 이용해 측정하고, 수치적 방법을 통해

ZIA 와 DIA 구성에 필요한 와이어링 하니스의 전체 길이를 계산합니다.

II. IVN 아키텍처 개요

초기에 모든 차량은 ECU 가 중앙에 배치된 게이트웨이에 연결되는 구조인 중앙 게이트웨이 기반 IVN 아키텍처를 사용했습니다. 이 아키텍처는 ECU 수가 작고 데이터 크기가 작은 경우에는 적합했지만, 자율주행 기술 발달로 ECU 수가 증가하면서 중앙 게이트웨이의 부하가 커지고, 데이터 손실 및 지연 문제가 발생했습니다. 또한, 모든 ECU 가 중앙 게이트웨이에 연결되기 때문에 네트워크의 복잡성과 와이어링 하니스의 전체 길이가 증가했습니다.

현재 자동차 제조사들은 차량에 DIA 를 채택하고 있습니다. DIA 는 유사한 기능을 가진 ECU 를 domain 으로 그룹화하고, 주로 domain 내에서 데이터 전송이 이루어집니다. 이는 중앙 게이트웨이의 부하를 줄이지만, ECU 의 물리적 위치를 고려하지 않아 와이어링 하니스의 길이가 증가하는 문제를 해결할 수 없습니다.

이러한 DIA 의 한계를 극복하기 위해, ZIA 가 주목받고 있습니다. ZIA 는 ECU 를 물리적 위치에 따라 여러 zone 으로 그룹화하며, 각 zone 에는 zone 컨트롤러가, 중앙에는 고성능 컴퓨팅 장치가 배치됩니다. ZIA 는 이전 아키텍처 보다 와이어링 하니스의 단순화하고, 데이터 처리 및 전송 속도 측면에서 이점을 가집니다. 또한, 자율주행차와 같이 다양한 센서 데이터를 신속하게 처리하고 제어할 수 있는 고성능 애플리케이션에 적합한 아키텍처입니다.

III. Zonal 기반 IVN 아키텍처 설계 및 성능 평가

본 논문에서는 자율주행과 밀접한 관계가 있는 36 개의 ECU 를 선정하여 ZIA 와 DIA 를 설계합니다. 설계 과정에서, ECU 간 연결되는 와이어링 하니스는 직선으로 연결된다는 가정하에 설계합니다. ECU 에서 생성된 데이터 정보는 [1]을 참고합니다. 그림 1 은 TSN 을 기반으로 설계한 DIA 를 보여줍니다. DIA 는 ADAS, Powertrain(PT) 및 Chassis, Infotainment, Body 로 4 개 domain 으로 구성됩니다.

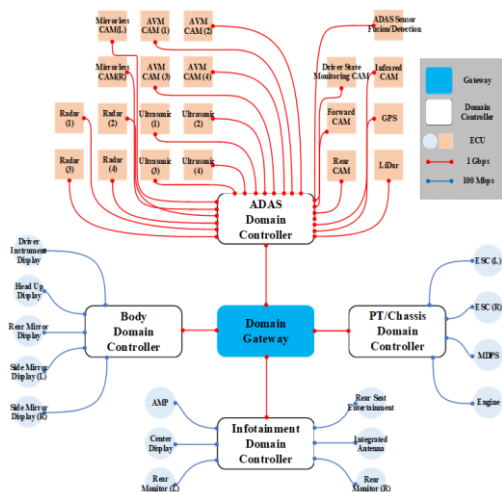


그림 1. 4 개 domain 으로 그룹화한 DIA

그림 2 는 IVN 을 6 개의 zone 으로 그룹화한 ZIA 를 보여줍니다. 이 ZIA 는 그림 1 에서 설계한 DIA 와

동일한 ECU 수를 가집니다. 본 논문에서 설계한 ZIA 는 데이터 전송 측면에서 가장 우수한 성능을 가진 star 토폴로지를 기반으로 설계합니다. 향후 실험에서는 star 가 아닌 다양한 토폴로지를 적용하려 합니다.

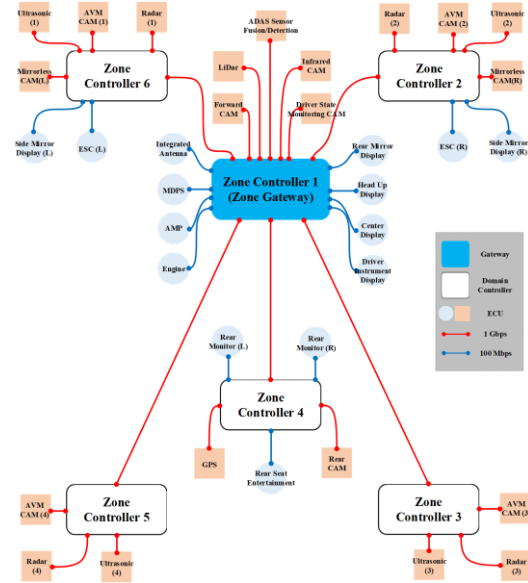


그림 2. 6 개 zone 으로 그룹화한 ZIA

OMNeT++ 으로 개발한 ZIA 와 DIA 용 시뮬레이터를 사용하여 ZIA 가 DIA 에 비해 데이터 전송 지연이 약 36.7% 감소했음을 확인했습니다. 그 이유는 ZIA 는 DIA 보다 더 적은 수의 스위치와 링크를 사용해 데이터를 전송시킵니다. 만약, ECU 수를 늘릴 경우, 스위치와 링크에서 처리해야 하는 데이터양이 더 많아져 두 아키텍처에서 지연 차이는 더욱 늘어날 것으로 예상됩니다. 또한, 두 아키텍처의 설계에 필요한 와이어링 하니스의 길이를 비교했습니다. ZIA 를 설계할 때, DIA 보다 길이를 24.6% 줄일 수 있음을 확인했습니다. ZIA 가 차량에 적용됐을 경우, DIA 보다 데이터 전송과 와이어링 하니스 측면에서 더욱 효율적이라는 것을 확인했습니다.

IV. 결론

본 논문에서는 최근 주목받고 있는 Zonal 아키텍처를 IVN 에 적용하고, 시뮬레이션을 통해 기존 DIA 보다 데이터 전송과 와이어링 하니스의 전체 길이 측면에서 얼마나 성능이 우수한지를 평가했습니다. 시뮬레이션 결과 ZIA 는 DIA 보다 데이터 전송 측면에서 36.7%가 우수하고, 와이어링 하니스의 전체 길이를 24.6% 감소시킬 수 있음을 확인했습니다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1F1A1064288).

참고 문헌

[1] Park, C., & Park, S. "Performance Evaluation of Zone-Based In-Vehicle Network Architecture for Autonomous Vehicles," Sensors, 2023, 23(2), 669.