



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

공학석사 학위논문

자율주행차량의 제어 데이터
실시간 전송보장을 위한
EthernetAVB 큐잉메커니즘 개선

Improvement of Ethernet AVB Queuing Mechanism
to Guarantee Real-Time Transmission of
Autonomous Vehicle's Control Data

2015 년 2 월

서울대학교 융합과학기술대학원

융합과학부 지능형융합시스템 전공

유 한 빈

자율주행차량의 제어 데이터
실시간 전송보장을 위한
EthernetAVB 큐잉메커니즘 개선

Improvement of Ethernet AVB Queuing Mechanism
to Guarantee Real-Time Transmission of
Autonomous Vehicle's Control Data

지도 교수 홍 성 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2014 년 10월

서울대학교 융합과학기술대학원
융합과학부 지능형 융합시스템 전공
유 한 빈

유한빈의 공학석사 학위논문을 인준함
2015 년 1 월

위 원 장 _____ 박 재 홍 _____ (인)

부위원장 _____ 홍 성 수 _____ (인)

위 원 _____ 안 정 호 _____ (인)

초 록

자율주행 자동차는 주변환경과 위치를 인식하기 위해 다량의 센서를 필요로 한다. 이는 차량 내 다양한 데이터들이 더욱 혼재되는 상황을 야기하고, 자율주행 자동차는 이러한 혼재 상황에서도 실시간성을 보장하는 차세대 네트워크를 필요로 한다. 이더넷은 차세대 차량 내 백본 네트워크로 대두되고 있으며, 특히 차량 내 스트리밍 데이터의 실시간 전송을 보장하는 Audio Video Bridging(AVB) 표준을 차량용 이더넷 표준으로 제정하기 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 본 논문은 Ethernet AVB 표준 내 이를 구성하는 각각 표준들의 기술적 메커니즘과 Ethernet AVB가 일반 차량에 적용되어 차량 내 데이터들의 실시간 전송 보장을 위한 다양한 연구사례를 분석하고 서술한다. 이어 기존의 연구된 차량 특화 형태의 Ethernet AVB가 차세대 자동차 형태인 자율주행 자동차에 적용 시 발생할 수 있는 문제점을 크게 두 가지로 정의한다. 먼저, 이전의 일반 자동차에 적용된 컨트롤 데이터 전송 처리 방식은 자율주행 자동차에서 주기적, 비주기적으로 발생하는 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송하는데 있어 한계점이 존재한다. 다음으로, Ethernet AVB는 비선점형 스케줄링 형태로서, 하위 우선순위를 가지는 프레임에 의해 상위 우선순위의 프레임이 전송 지연되거나 전송 실패할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문은 주기적, 비주기적으로 발생하는 자율주행 차량의 컨트롤 데이터를 실시간으로 처리하기 위해 우선순위 기반 다중 스케줄링 형태의 큐잉 메커니즘을 제안한다. 또한 비선점형 스케줄링으로 인해 정적 세그먼트 내 사전 정의한 컨트롤 데이터가 전송 실패할

수 있는 부분을 방지하기 위해 guard-band 추가를 통한 정적 세그먼트 확장 방안을 제안한다. 본 논문은 이어 제안된 메커니즘을 Ethernet AVB 표준 적용 스위치에 적용하고 비교 실험하여 자율주행 자동차 내에서 발생하는 컨트롤 데이터가 노드와 노드간에서 실시간 전송이 이뤄짐을 검증하여 보였다.

주요어 : 차량 내 네트워크; 이더넷 스위치; Ethernet AVB; 큐잉 메커니즘; 실시간 전송

학 번 : 2013-22414

목 차

초	록	i
목	차	iii
제 1	장 서	론
제 2	장	관련 연구
2.1	기존 차량 네트워크 분석 및 한계	5
2.2	차량과 이더넷의 병합	7
2.3	데이터 실시간 전송을 위한 RT-Ethernet 표준 적용	8
제 3	장 Ethernet AVB의 소개	11
3.1	Ethernet AVB 개요	11
3.2	Ethernet AVB protocol 상세	13
3.2.1	IEEE 802.1 Qat	13
3.2.2	IEEE 802.1 Qav	15
3.3	차량에 특화된 Ethernet AVB	18
3.4	차량에 특화된 Ethernet AVB 상세	19
3.4.1	자동차의 특성을 고려한 데이터 매핑 및 처리	19
3.4.2	Ethernet AVB 와 TTEthernet 기법의 병합	21
제 4	장 자율주행 자동차 네트워크 시스템	24
4.1	자율주행 자동차의 네트워크 시스템 구성	24
4.2	시스템 내 발생 데이터	26
제 5	장 문제점 정의	28
5.1	비주기적 발생 컨트롤 데이터로 인한 전송지연 문제	28
5.2	사전 정의된 컨트롤 데이터의 전송 지연 발생	31
제 6	장 해결책 제안	33
6.1	우선순위 기반 다중 스케줄링 큐잉 메커니즘	33
6.2	Guard-band 추가를 통한 타임슬롯 확장	35
제 7	장 실험 설계 및 실험 결과 분석	37
7.1	실험 설계	37
7.2	실험 결과 및 분석	40
제 8	장 결론	42
참고	문헌	44
Abstract		48

표 목차

[표 2-1] 기존의 차량 내 네트워크 종류와 특징	4
[표 3-1] Stream Reservation Class 분류 및 특징	12
[표 3-2] 차량 내 발생 가능한 데이터 분류 및 특징	19
[표 4-1] 자율주행 차량 내 발생하는 데이터 및 특징	26
[표 7-1] 데이터 타입에 따른 요구사항	37
[표 7-2] 제안된 큐잉 메커니즘 적용 시와 기존 메커니즘 비교	40
[표 7-3] 다양한 주기 시간에서 제안된 메커니즘 동작 성능 측정	40

그림 목차

[그림 2-1] TTEthernet 동작 구조	9
[그림 3-1] AVB 네트워크 구성 예시와 프로토콜의 역할 ...	12
[그림 3-2] Talker와 Listener간 대역폭 예약 과정.....	15
[그림 3-3] Ethernet AVB 큐잉 메커니즘	16
[그림 3-4] Strict Priority Selection Algorithm 순서도.....	17
[그림 3-5] Credit Based Shaper Algorithm 순서도	18
[그림 3-6] TTscheduler와 CBS 합병형태 큐잉 메커니즘 .	22
[그림 4-1] 자율주행 차량 내 네트워크 시스템 구성	23
[그림 4-2] 백본 네트워크 내 Ethernet switch 구조	24
[그림 5-1] CBS를 적용 시 컨트롤 데이터의 전송 지연.....	28
[그림 5-2] TTE와 AVB 병합형태 적용 시 발생하는 전송지연.....	29
[그림 5-3] 비선점형 스케줄링에 의한 컨트롤 데이터의 전송 지연	30
[그림 6-1] 우선순위 기반 다중 스케줄링 큐잉 메커니즘	34
[그림 7-1] End-to-End latency 설명	38
[그림 7-2] 실험 구성 시스템	39

제 1 장 서 론

오늘 날, 자동차를 이용하는 사용자들은 편의와 안전성이 극대화된 형태의 자율주행 자동차의 탑승을 희망하고 있으며, 차량 내에서도 집에서와 같은 수준의 엔터테인먼트 기능을 기대한다. 또한 사용자들은 자동차 역시 인터넷에 언제나 연결되어 원하는 서비스를 언제든지 사용할 수 있기를 희망한다.

사용자의 요구사항을 만족시키기 위해 현재의 자동차 업계는 운전자에게 직 간접적으로 안전적 기능을 제공하는 고급화된 운전자 보조 시스템(ADAS: Advanced Driver Assistance System)을 개발 해왔으며, 더 나아가 차량에 카메라, LIDAR, RADAR, GPS/IMU와 같은 다양한 센서들을 부착하여 차량의 위치와 주변환경을 파악하고, 이를 통해 자동차가 스스로 주행 할 수 있는 자율주행 자동차를 연구하고 있다. 또한 차량 내 인포테인먼트 시스템 구축을 위해 Google, Apple, QNX와 같은 다양한 OEM에서 인포테인먼트 시스템 구축을 위한 다양한 플랫폼을 출시하고 있다. 이는 차량에서 발생하는 데이터의 양이 기하급수적으로 증가하는 것을 의미하며, 다양한 어플리케이션 추가에 따른 네트워크의 복잡도가 향상되는 것을 의미한다. 기존의 차량 내 네트워크인 CAN, LIN, FlexRay 표준과 같은 기존의 네트워크는 이러한 요구사항을 충족 시킬 수 있게 설계 되어있지 못하다. 또한 MOST 경우 높은 대역폭 지원을 하지만 차량의 백본 네트워크 구성에 있어 그 비용이 매우 비싸다.

이런 문제점을 해결하기 위해 이더넷은 차세대 차량

네트워크로 주목 받고 있다. 이더넷은 앞서 말한 ADAS 와 인포테인먼트 시스템을 위한 충분한 대역폭 제공이 가능하며, 스위치 네트워크 형태의 구성으로 기존의 네트워크와 달리 각 도메인을 일대일 연결형태로 연결하여 네트워크의 복잡도를 줄일 수 있다. 또한 이더넷 기반 백본 네트워크를 구축 시, 와이어와 ECU의 개수를 줄이면서 높은 기능통합과 비용 효율적 구조를 가져 비용과 무게의 절감을 가져올 수 있다. 이더넷은 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 메커니즘이 존재하여, 차량 내에서 발생하는 차량 제어 신호를 실시간으로 전송할 수 있고, 센서에서 발생하는 데이터 역시 실시간으로 스트리밍 전송할 수 있다.

앞선 언급한 것과 같이 차량 내 데이터의 실시간 전송을 위해 현재 Ethernet AVB 표준이 차량용 이더넷 표준으로 주목 받고 있다. 그러나 Ethernet AVB는 기존 오디오 비디오 스트리밍에서 사용되는 표준으로 자율주행 자동차에 바로 적용되기에는 한계점이 존재한다.

따라서 본 논문은 Ethernet AVB를 구성하는 표준들인 IEEE 802.1AS, IEEE 802.1 Qat, IEEE 802.1 Qav, IEEE 802.1BA가 가지고 있는 기술적 메커니즘을 분석하고 서술한다. 또한 Ethernet AVB가 일반 차량에 적용되는 과정을 분석하여 특히 차량 내에서 실시간 전송이 필요한 차량 컨트롤 데이터와 Advanced Driver Assistance System (ADAS)를 구성하는 센서에서 발생하는 데이터의 스트리밍 전송 지연을 개선하기 위해 제안된 연구들의 기술적 해결책을 분석하고 서술한다. 그러나 차량에 특화된

Ethernet AVB는 향 후 자율주행 차량에서 발생하는 다양한 데이터를 실시간으로 전송하는데 있어 한계를 가지고 있다. 우선, 이전의 일반 차량에 적용된 단일화된 컨트롤 데이터의 처리방식은 주기적으로 차량을 제어하고 신호를 보내는 제어 값과, 비주기적으로 긴급한 제어를 위한 컨트롤 데이터를 원하는 시간 내에 처리 하지 못한다. 또한, Ethernet AVB는 비선점형 스케줄링으로 인해 데이터를 전송 받는 노드에서 하위 전송 프레임으로 인해 사전에 정의된 시간에 전송이 필요한 상위 프레임이 밀려 전송 실패가 일어날 수 있다.

따라서 이를 해결하기 위해 본 논문은 차량 컨트롤 데이터를 차량 제어를 우선 순위 기반 멀티 스케줄링 큐잉 메커니즘을 제안한다. 이는 주기적으로 발생하는 periodic control data, 긴급하게 차량을 제어하기 위해 비주기적으로 발생하는 aperiodic control data로 재 분류하고 요구사항을 만족하기 위한 우선순위를 부여한다. 이렇게 정의된 컨트롤 데이터의 실시간 전송을 보장하기 타입 별 큐를 할당한다. 또한 time aware shaper를 적용하여 static, dynamic segment를 구별해 각 segment에 적합한 스케줄링 방식을 적용한 개선된 큐잉 메커니즘을 제안한다. 또한 비선점 형태의 전송 방식으로 인해 발생하는 time slot 침범을 방지하기 위해 guard-band가 추가된 확장된 형태의 time slot을 제안한다.

이후 이어질 논문의 구조는 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 네트워크가 가지는 한계와 이더넷을 차량에 접목하기 위해 시도된 관련 연구 사례를 정리하고, 제 3장에서는 본 논문의 이해를 돕기

위해 Ethernet AVB의 구성 프로토콜 중 데이터의 실시간 전송과 관련있는 IEEE 802.1 Qat와 Qav에 대한 기술적 내용을 자세히 분석하고 기술하고, 차량에 적합한 형태로 발전해 간 Ethernet AVB의 형태에 대해 서술한다. 제 4장과 5장에서는 자율주행 자동차 내 네트워크를 시스템에 대해 정의하고, 기존에 제안된 Ethernet AVB 메커니즘이 해당 시스템에 적용되었을 때 발생할 수 있는 문제점에 대해 정의하고 서술한다. 제 6장에서는 앞서 정의된 문제점을 해결하기 위한 개선된 형태의 Ethernet AVB를 위한 큐잉 메커니즘을 제안한다. 이어 제 7장에서는 제안된 해결책을 검증하기 위한 실험 설계와 실험을 통해 얻은 결과값 분석을 통해 개선된 정도를 보인다. 마지막으로 제 8장에서는 본 논문의 의의를 정리하고 결론을 내린다.

제 2 장 관련 연구

본 장에서는 기존에 차량에서 사용되었던 차량 내 네트워크에 대해 분석하고 이들이 가진 한계점을 정리한다. 또한 분석을 통해 얻어진 문제점을 해결하기 위해 제시된 이더넷을 차량에 적용하기 위해 진행된 연구와, 본 논문에서 제안하는 해결책과 유사한 연구를 나열한다. 우선 Ethernet AVB외에 또 다른 대표적 표준인 TTEthernet을 차량에 적용하기 위한 연구와 그리고 두 표준의 장점을 취하기 위한 TTEthernet과 Ethernet AVB의 합병에 대하여 분석하고 서술한다.

2.1 기존 차량 네트워크 분석 및 한계

현재 차량에 사용되고 있는 차량 내 네트워크 표준은 4가지가 존재한다. CAN (Control Area Network)은 차량 내 네트워크로 가장 널리 사용되고 있으며, OSI 7 layer중 1계층과 2계층을 정의하고 있다. CAN은 차량 내 ECU간 전송을 위한 무결성의 시리얼 버스 시스템[1]이다. 명세서의 정의에 따라, CAN은 40m 이내에서 최대 1Mbit/s 전송 속도를 지원하고, 표준 정의에 따라 ID는 11bit로 구성되었다. 또한 최대 전송 가능한 데이터의 크기는 8byte로 정의되어 있다. 이후 확장된 표준에서는 (CAN 2.0B) ID를 최대 29bit로 구성하였다.

FlexRay 는 결정성 있는 내 고장성 버스 시스템[3]으로 CAN과 다르게 time-triggered 형태의 프로토콜 형태를 갖추고 있으며 x-by-wire application 지원을 위해 탄생한 차량용

네트워크이다. FlexRay는 기존의 CAN 보다 더 향상된 동기화 지원과 대역폭 지원을 하고 있어 고성능의 파워트레인, 각종 차량 내 안전 어플리케이션에 적용이 되고 있다. FlexRay는 최대 20Mbit/s의 전송속도를 지원하고 있으며, 최대 254byte의 데이터 전송 크기를 지원하고 있다. 또한 다양한 topology 적용이 가능하여 유연하게 구조를 가져갈 수 있다.

LIN (Local Interconnected Network)은 차량내의 전자 시스템을 위한 저비용 직렬 버스 시스템[2]으로, 최대 40Kbit/s의 전송속도를 지원한다. LIN역시 전송 가능한 최대 데이터의 크기를 8byte로 정의하고 있다. LIN은 Master-Slave 형태의 구조를 가지고 있다.

MOST (Media Oriented Systems Transportation)는 고성능 멀티미디어 네트워크를 위한 광 기반 네트워크로 해당 기술을 이용하여 높은 서비스 품질의 오디오/비디오 전송이 가능하다. MOST는 현재 최대 150Mbit/s를 지원하고 있으며, 최대 370byte의 데이터 전송이 가능하다. Ring topology를 지원하고 있으며, 최대 64개 장치의 연결을 지원하고 있다.

이외에도 타 산업에서 사용되고 있는 LVDS, IEEE 1394와 같은 네트워크 표준 역시 차량의 카메라와 연결되어 사용되는 경우 역시 존재하나, 가격적인 요인과 케이블의 무게로 인해 현재 차량 내 네트워크 표준으로 사용되고 있지 않다. 또한 실제 사용된 사례가 한정적이므로 본 논문에서는 자세히 언급하지 않는다. 아래는 앞서 언급한 네트워크들의 특징을 표 2-1로 정리한 것이다.

표 2-1. 기존의 차량 내 네트워크 종류와 특징

Protocol	Bandwidth	Protocol	Topology	Applications
CAN	40kbps	CSMA/CR	Bus	Real-time Control
LIN	1Mbps	Serial	Master-slave	Non real-time control
FlexRay	20Mbps	TDMA	Star, Ring, Daisy-chain etc.	Real-time Control
MOST	50,150Mbps	TDMA	Ring	Multimedia

2.2 차량과 이더넷의 병합

앞선 분석을 통해 기존의 차량 내 네트워크는 대역폭과 복잡도를 해결하는 측면에서 차세대 네트워크로 부적합함을 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 많은 연구에서는 이더넷 도입을 통해 도출된 문제점을 해결하고자 했다. [4]에서는 이더넷의 도입 단계를 3단계로 나뉘었으며 이는 각각 단순한 단일 어플리케이션 구성, ADAS 및 인포테인먼트 시스템 통합, 차량 백본 네트워크 구성으로 정리된다. 현재 여러 가지 단일 어플리케이션이 이더넷 기반으로 구성되어 있는 상태이다. 이미 BMW에서 ECU 업데이트를 위한 전송 라인을 이더넷으로 대체한 상태이며, [5]에서 ECU firmware 업데이트가 이더넷을 통해 이뤄질 경우 소요되는 시간이 대폭 감소되었음을 확인할 수 있다. 또한 BMW의 서라운드 카메라뷰 역시 이더넷을 기반으로 구성되어 실제 차량에 탑재되고 있다.

그리고 이더넷을 이용하여 ADAS 및 인포테인먼트 구축을 위해 많은 연구[4, 6, 7]에서 이더넷 기반의 차량 네트워크 구조를 정의하였고, 필요한 요구사항을 도출하였다. 또한 [8]에서는 컴퓨터에서 적용되던 이더넷 표준을 차량에 접목하여 네트워크를 구성하였으며, 시뮬레이션을 통해 네트워크의 동작을 검증하였다. 검증 과정에서, 기존의 이더넷은 혼재된 상황에서 데이터 별 필요한 요구사항을 만족하지 못함을 확인되었고, 특히 이더넷이 가지고 있는 best-effort 정책으로 인해 실시간으로 전송이 필요한 차량 내 컨트롤 데이터와 센서 데이터에 어려움이 있음을 확인하였다.

2.3 데이터 실시간 전송을 위한 RT-Ethernet 표준 적용

앞선 문제를 해결하기 위해 두 가지 실시간 이더넷 표준이 대두되었으며, 이는 각각 Ethernet AVB와 TTEthernet이다. 또한 두 표준의 합병을 통해 차량 내 발생하는 데이터를 실시간으로 처리하기 위한 기법 또한 소개되었다. 본 논문에서 상세하게 다룰 Ethernet AVB는 다음 장에서 상세히 설명할 것이며, 본 절에서는 TTEthernet과 두 표준의 결합과정 및 가지는 한계에 대해 서술한다.

TTEthernet은 이미 널리 알려진 Time Triggered Protocol을 Ethernet에 접목시킨 형태로, 안전에 민감하고 safety-critical system 에서 사용된다. TTEthernet는 특히 차량 안전을 제어하는 컨트롤 신호를 이더넷으로 전송하기 위한 목적으로 연구가 진행되고 있다.

TTEthernet specification[9]을 통해 전송하게 되는 메시지는 Time Triggered message, Rate-Constrained message, Best-Effort message와 같이 3종류로 분류할 수 있다. Time Triggered message는 컨트롤 데이터를 정의하고 있으며, 가장 높은 우선순위를 부여하여 전송하여 최소 지연시간을 보장한다. Rate-Constrained 메시지는 이벤트 트리거 타입의 특성을 지니고 있으며, 주로 ADAS를 구성하는 카메라에서 발생하는 이미지 정보와 같이 소프트 실시간 보장을 필요로 하는 데이터들을 전송하는데 적용된다. 마지막으로 Best-Effort message 경우 기존의 이더넷 메시지 정책을 취하고 있다.

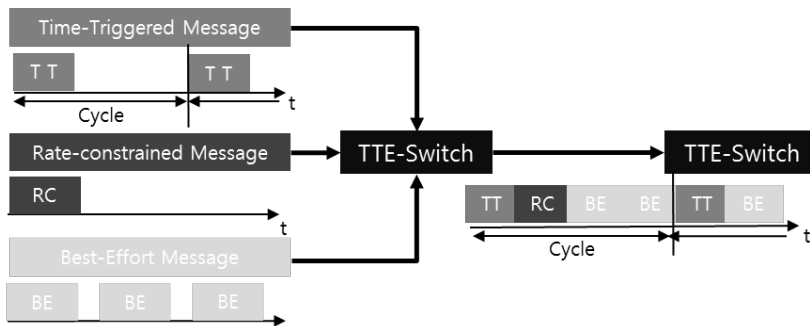


그림 2-1. TTEthernet 동작 구조

앞서 정의된 메시지 타입에 따라 우선순위 정책을 갖춘 TTEthernet 경우 실시간 전송이 보장된다. 이를 보이기 위해 기존의 실시간 전송이 가능한 FlexRay 네트워크와 비교한 [10]에서는 두 네트워크 상에서 safety-critical 응용의 동작 비교를 통해 TTEthernet이 기존 컨트롤 데이터를 전송 시 발생하는 지연시간이 $200\mu s$, jitter time이 $10\mu s$ 임을 보였고,

이는 FlexRay에서 측정한 값과 유사함을 보여 TTEthernet이 차량 도메인에 적용되는데 무리가 없음을 보였다. 또한 [11]에서는 TTEthernet을 이용하여 카메라에서 발생하는 이미지 데이터를 전송하여 최대 지연시간이 20ms 이고, jitter time이 최대 $40\mu s$ 임을 측정하였고, 이는 기존에 제시한 45ms의 지연시간의 요구사항을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 TTEthernet은 향후 폭발적으로 늘어날 것으로 예상되는 스트리밍 데이터를 처리하는데 적합하지 않으며, pre-run-time 스케줄링이 필요하여 Ethernet AVB에 비해 유연성이 떨어진다.

앞선 언급한 TTEthernet과 Ethernet AVB가 가지는 단점을 상호 보완하기 위해 [12]에서는 두 표준의 결합을 시도하여 각 데이터들의 지연시간을 감소 시키려 했다. 특히 [13]에서는 time aware shaper를 도입하여 컨트롤 데이터 전송을 약속된 시간에 전송하여 지연시간과 jitter time을 최소화 시키려는 시도를 했다. 그러나 제안된 방법들은 비주기적으로 발생할 수 있는 컨트롤 데이터에 대한 고려가 없었으며, 특정 도메인 간 또는 특정 어플리케이션만을 한정하여 데이터를 정의하여 전송시간을 측정한 한계점을 보인다.

또한 이더넷이 가지는 non-preemption 스케줄링 방식을 변경하여 실시간 전송을 보장하기 위해 [14]에서는 전송되는 프레임의 크기를 조각 내어 전송하는 방식을 취하였다. 그러나 이러한 방식은 조각 낸 매 프레임에 헤더를 추가해야 되어, 추가적인 오버헤드가 크게 발생한다.

제 3 장 Ethernet AVB의 소개

본 장에서는 먼저 Ethernet AVB의 탄생 배경과 해당 표준이 차량에 적용되면서 가질 수 있는 이점에 대해서 서술한다. 또한 본 장에서는 Ethernet AVB를 구성하는 4가지 표준 중 특히 데이터의 실시간 전송과 관련 있는 표준인 IEEE 802.1 Qat, IEEE 802.1 Qav가 가지는 기술적 특징과 내용에 대해 상세하게 분석하고 기술한다. 이어서 Ethernet AVB가 차량에 적용되면서 발생한 변화과정을 두 가지로 분류하여 서술한다.

3.1 Ethernet AVB 개요

AVB는 Audio/Video Bridging의 약자로, IEEE 802.1 audio/video tasking group(현재 Time-sensitive networking task group으로 명칭 변경)에 의해 규격화된 기술적 표준의 집합을 통틀어 일컫는 말이다. 본 표준은 오디오 비디오와 같은 스트리밍 서비스의 시간 동기화를 보장하고, 발생 가능한 시간 지연성을 최소화 시키기 위한 목적으로 설립되었다. 즉, 시간에 민감한 멀티미디어 어플리케이션의 요구사항에 의해 Ethernet에서 해당하는 요구사항을 보장하기 위한 포괄적인 프로토콜의 명세서라 할 수 있다.

기존의 AVB 표준은 주로 오디오 비디오 기기 연결을 위해 사용되었으며, 기존의 point-to-point 연결과 one-way 연결형태의 오디오 연결 방법으로 인해 발생하는 QoS를 만족하지 못하는 상황과, 시간 동기화가 이뤄지지 않는 문제를 해결하기 위해

개발되었다. 차량 내에서도 유사한 오디오 비디오 시스템으로 구성된 인포테인먼트 시스템의 중요도가 증가되고 또한 무인 자율주행을 위해 차량 내 센서의 증가로 차량 내 발생하는 데이터 스트리밍의 양이 기하급수적으로 증가하면서, 이를 전송하기 위해 충분한 대역폭을 지원하면서 지연 없이 실시간으로 전송 가능한 AVB 표준이 차량 업계의 주목을 받고 적용되기 시작하였다. AVB는 앞서 말한 것과 같이 차량 내 데이터를 전송하는데 있어 낮은 지연시간을 보장하고, 분산된 노드들의 시간 동기화를 시켜주는 기능이 존재한다.

Ethernet AVB는 IEEE 802.1 BA, IEEE 802.1 AS, IEEE 802.1 Qat, IEEE 802.1 Qav와 같이 여러 개의 프로토콜로 구성되어 있으며, 이들은 기존의 Ethernet과는 상대적으로 동시성 실시간성 및 낮은 시간 지연성을 보장해준다. 이중 데이터의 지연시간과 관련된 IEEE 802.1 Qat와 Qav에 대한 자세한 설명을 다음 절에서 서술한다.

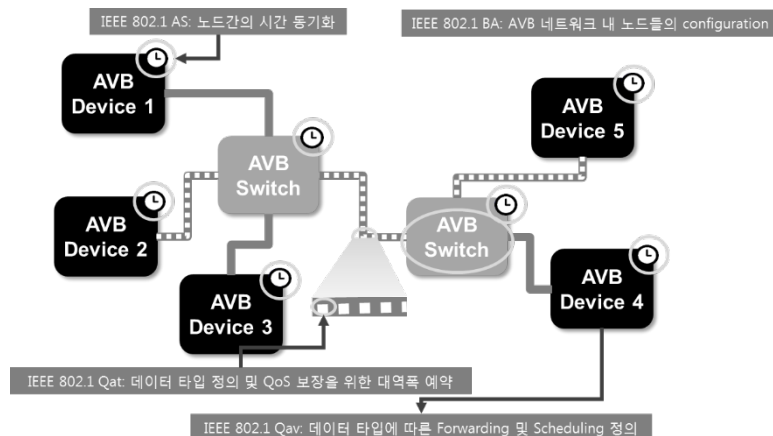


그림 3-1. AVB 네트워크 구성 예시와 프로토콜의 역할

3.2 Ethernet AVB protocol 상세

3.2.1 IEEE 802.1 Qat

IEEE 802.1 Qat 는 Stream Reservation Protocol로 불리며, 스트림 예약을 위한 클래스 정의 및 스트림 전송 시 노드 간의 일정 대역폭을 할당하여 스트림 데이터의 실시간 전송을 보장하는 프로토콜[15, 16]이다.

먼저 IEEE 802.1 Qat에서는 OSI 계층 중 2계층 내에서 스트림 데이터를 위한 두 개의 추가적인 Stream Reservation(SR) class를 정의하고, 이는 각각 SR class A, SR class B로 명명한다. SR class A는 전달되는 데이터 중 가장 높은 우선순위를 가지고 있으며, 7개의 브리지를 거치는 동안 2ms 이하의 지연 시간을 보장해야 한다. 또한 각각 브리지를 거쳐가는 경우, 프레임은 한 브리지에서 최대 125us 대기할 수 있다. SR class B 경우 전달되는 데이터 중 SR class A다음으로 높은 우선순위를 가지고 있으며, 7개의 브리지를 거치는 동안 50ms 이하의 지연 시간을 보장해야 한다. 또한 SR class B의 프레임은 한 브리지에서 최대 250us를 대기할 수 있다. 위의 내용은 아래 표 3-1 와 같이 정리 할 수 있다. 이외에 나머지 데이터 타입들은 best-effort class로 분류 되며, 해당 class 내의 데이터들은 보장되는 지연시간 없이, 데이터의 전송만을 요구사항으로 가지고 있다.

표 3-1. Stream Reservation Class 분류 및 특징

AVB Stream Class	Priority value	Latency	Interval Time [us]
SR Class A	Top-priority	2ms	125us
SR Class B	Lower- priority	50ms	250us

또한 본 프로토콜에서는 SR Class는 최대 예약 가능한 대역폭을 75%이하로 정의한다. 이는 best-effort 데이터가 상위 우선순위를 가진 SR Class로 인해 기아 현상이 발생하는 현상을 방지하는데 그 목적이 있다.

Stream 전송 예약 과정이 이뤄지는걸 설명하기 이전에 먼저 Talker, Listener, Bridge와 Domain에 관련한 정의가 필요하다. Talker란 스트림 데이터를 생성하는 노드를, Listener란 특정 스트림 데이터가 도착하는 노드를 의미한다. Bridge는 Talker와 Listener사이에 스트림이 거쳐가는 모든 노드들을 의미하며, 주로 스위치를 의미한다. 마지막으로 Domain은 Talker, Listener, Bridge가 연결된 동일한 큐 구조와 우선순위를 가지고 있는 노드들의 집합을 의미한다.

스트림 전송 예약 과정은 크게 3단계로 나눌 수 있다. 먼저 Ethernet AVB 표준을 지원하는 노드와 미 지원하는 노드를 구분하여 Domain을 설정하고, 또한 동일 Domain내에 사용되는 best-effort traffic의 priority를 정의한다. 다음으로 Talker에서 전송하려는 스트림에 대해 필요 대역폭 예약을 broadcasting 형태로 각 노드에 전송한다. 마지막으로 해당 스트림 데이터를 필요로 하는 Listener는 Talker에게 준비가 되었다는 메시지를 전송하면,

Talker와 Listener 사이에 대역폭 할당이 완료되고 스트림 데이터 전송이 시작된다. 그림 3-2는 Ethernet AVB 표준 지원 여부에 따른 Domain 분류 및 앞서 설명한 Talker와 Listener간 이뤄지는 예약과정을 나타낸 그림이다.

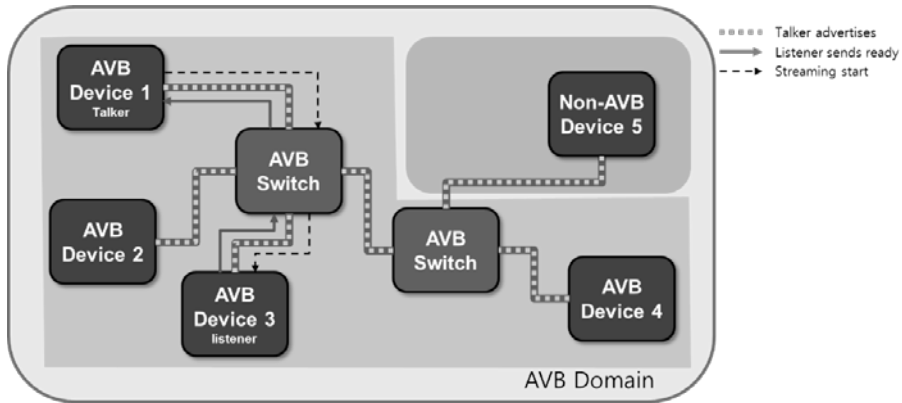


그림 3-2. Talker와 Listener간 대역폭 예약 과정

3.2.2 IEEE 802.1 Qav

IEEE 802.1 Qav는 Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams로 불리며, IEEE 802.1Q 의 priority 정책에 기반하여 real-time 오디오 비디오 어플리케이션에 대해 지연 시간과 jitter를 보장해주기 위한 메커니즘[16]을 담고 있다.

앞서 Qat에 정의된 두 개의 SR class를 전송하기 위해 Qav에서는 스트림 데이터 전송을 위한 두 개의 큐를 정의한다. 또한 802.1Q에 기반하여 최대 6개의 best-effort 큐를 정의할 수 있다. 각 큐에서 전송되는 데이터의 전송 시간을 향상 시키기 위해 큐에

는 전송 선택 알고리즘이 적용되며 이는 best-effort 큐들을 전송하기 위해 적용되는 strict priority selection algorithm(SPA)과 SR class traffic과 best-effort queue에서 발생하는 traffic을 전송하기 위해 적용되는 credit based shaper selection algorithm(CBSA)이 있다.

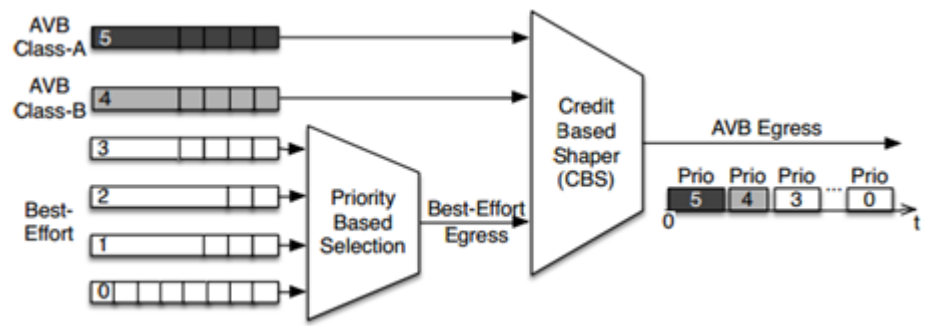


그림 3-3. Ethernet AVB 큐잉 메커니즘

SPA는 큐에 대기하는 패킷이 존재하면 무조건 해당 패킷을 출력포트로 내 보내 주는 알고리즘이다. 다중 큐 형태로 많이 구현되며, 각각의 큐에 우선순위를 부여하여, 가장 우선순위가 높은 큐부터 낮은 큐 순서로 패킷을 출력한다. 하위 우선순위의 큐는 상위 우선순위 큐가 비어있을 경우에 전송이 된다. 단 비어있던 상위 우선순위의 큐에 패킷이 들어올 경우, 하위 큐의 전송을 중단하고 상위 우선순위의 큐의 패킷을 전송한다. 따라서 상위 큐에 지속적으로 패킷이 들어와 전송될 경우, 하위 큐에 존재하는 패킷들이 전송되지 못하는 기아 현상이 발생할 수 있다. 그림 3-4는 SPA의 동작을

순서도로 나타낸 것이다.

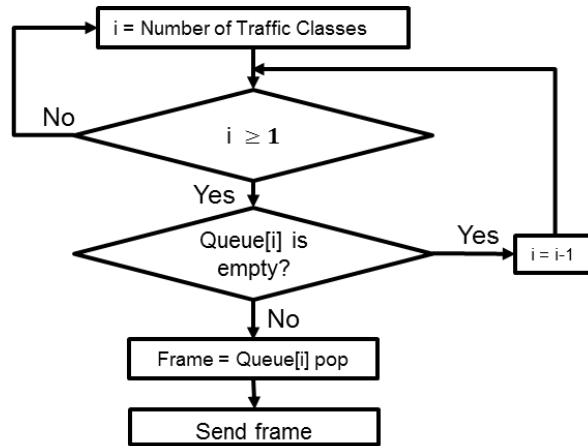


그림 3-4. Strict Priority Selection Algorithm 순서도

CBSA는 공정성에 기반을 둔 스케줄링 정책으로, 각 class의 큐들에 패킷들을 기아현상 없이 원활히 전송하기 위한 정책이다. 각각의 큐는 미리 정의된 credit 값을 가지고 있으며, 각각의 큐는 0 이상의 credit 값을 가질 때 패킷을 전송할 수 있다. 또한 패킷이 다른 큐의 전송으로 인해 대기 상태에 진입할 경우 credit 값은 설정된 idleslope의 비율로 증가하며, 다시 전송이 시작 될 경우 설정된 sendslope의 비율로 감소하게 된다. 그리고 해당 큐 내에 패킷이 없을 경우, credit 값은 0이 된다. 각각의 큐는 앞서 정의된 credit 값과 증감 비율을 통해 한번에 전송될 수 있는 패킷의 양을 다르게 설정할 수 있다. 그림 3-5는 CBSA의 동작을 순서도로 나타낸 것이다.

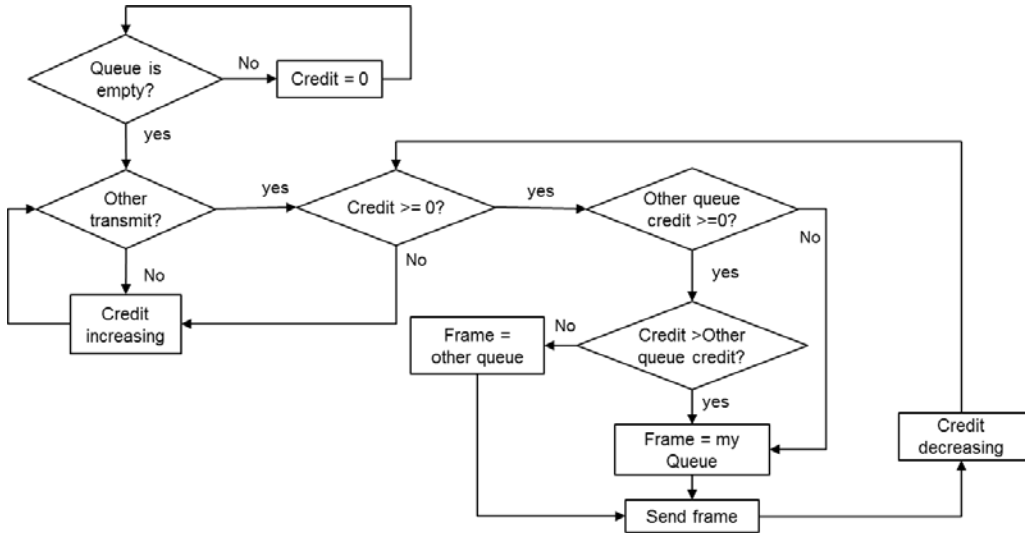


그림 3-5. Credit Based Shaper Algorithm 순서도

3.3 차량에 특화된 Ethernet AVB

기존의 Ethernet AVB가 차량에 적용되면서 과정은 크게 2가지의 형태로 구별할 수 있다. 첫 번째 단계는 Ethernet AVB가 적용되면서 기존에 분류된 차량 내 데이터가 Ethernet AVB에서 정의된 class에 매핑 되는 과정이다. 두 번째 단계는 차량 내에서 hard-real time 특징을 가지고 있는 데이터들을 처리하기 위해 TTE를 병합한 형태의 Ethernet AVB이다.

변화 과정을 언급하기 이전에 우선 차량 내에서 발생 가능한 데이터의 종류를 크게 4종류로 정의[17]한다. 먼저 차량 제어를 위한 데이터인 컨트롤 데이터는 작은 데이터 사이즈를 가지고, hard real-time 특징을 가지고 있다. 두 번째로, 차량 내 부착된 다양한 센서에서 발생하는 센서 스트림 데이터는 컨트롤 데이터와 비교하여 상대적으로 큰 데이터 사이즈를 가지며, ADAS을 위해 실시간으

로 전달이 되어야 하는 hard real-time적 특징을 가지고 있다. 세 번째로, 차량 내 엔터테인먼트 시스템을 위한 오디오, 비디오를 의미하는 멀티미디어 데이터는 큰 데이터 사이즈와, soft real-time적 특징을 가지고 있다. 마지막으로 best-effort 데이터는 실시간 전송이 필요 없으며, 차량 내 진단 정보 또는 내비게이션 정보가 담긴 데이터를 의미한다. 위의 4가지 데이터를 종합하여 정리한 표는 아래 표3-2와 같다.

표 3-2. 차량 내 발생 가능한 데이터 분류 및 특징

Classification	Characteristics	Usage
Control Data	Hard Real-Time	차량 제어
Sensor Stream Data	Hard Real-Time	ADAS에 사용되는 영상 및 센서 데이터
Multimedia Data	Soft Real-Time	Entertainment용 Audio 및 Video
Best-effort Data	Non-Real-Time	차량 진단, Navigation

3.4 차량에 특화된 Ethernet AVB 상세

3.4.1 자동차의 특성을 고려한 데이터 매핑 및 처리

Ethernet AVB가 2011년 표준으로 발표된 이후, Ethernet AVB를 차량 내 표준으로 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. [18, 19]에서 보이는 것과 같이 초기에는 AVB 내의 class 정의에 의거하여, 차량 내에서 발생하는 센서 스트림 데이터 중 특히 카메라에서 나오는 영상데이터를 SR class A로 지정하고, 차량 내 동작하는 엔터테인먼트 시스템을 위한 멀티미디어 데이터가 SR class B로 정의 되었다. 앞서 언급한 두 형태의 데이터는 스트리밍 형태로 전송

이 되며, 이는 Ethernet AVB에서 정의한 데이터의 형태와 동일하기 때문에 가장 높은 우선순위인 SR class A와 B에 각각 매핑 됨을 알 수 있다. 그러나 차량 내에서 가장 중요한 컨트롤 데이터 경우, AVB내에서 정의한 스트림 형태의 데이터에 부합하지 못하여 SR Class로 매핑이 되지 못했다. 따라서 컨트롤 데이터는 best-effort 큐들 중 가장 높은 priority로 매핑되어 전달되게 되었고, 결과적으로 이러한 매핑 형태는 컨트롤 데이터의 지연을 가져 오게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 [20]에서는 AVB에 정의된 class에 데이터를 중요도에 따라 매핑하였다. 가장 큰 변화는 기존에 best-effort class 내에서 가장 높은 우선순위를 가진 컨트롤 데이터를 가장 높은 priority를 가지는 SR class A로 매핑한 것이다. 기존의 센서 스트림 데이터는 그 우선순위를 유지하였고 이는 다시 말해 SR Class A 큐에는 ADAS에서 이용되는 센서 데이터와 컨트롤 데이터가 들어오고 전송되게 하는 것이다. 그 결과, [20, 21]에서 제시한 결과 값과 같이, 새로 적용된 데이터 매핑 방식은 기존의 매핑 방식과 비교하여, 컨트롤 데이터의 지연시간을 줄였고, 측정된 latency값은 [17]에서 제시하는 2.5ms이내의 값을 보였다.

그러나 위 논문들에서 제시한 해결방법 및 실험은 ADAS와 차량 내 멀티미디어만을 고려하였다. 즉, background data인 best-effort 데이터에 관련해 충분한 고려사항 없이, 오로지 SR class내 데이터만을 고려하여 실험을 진행하여 만족됨을 보인 것이다. best-effort data가 증가할 경우, 데이터의 혼재로 인해 SR class의

지연시간은 증가할 가능성이 존재한다. 이는 실시간 전송이 반드시 필요한 컨트롤 데이터 또는 센서 스트림 데이터에게 큰 영향을 초래하고, 이로 인해 발생할 수 있는 늦은 차량의 반응으로, 자칫 운전자에게 심각한 결과를 초래할 수 있다. 또한 실험을 통해 측정된 지연 시간은 [22]에서 제시하는 safety critical application의 지연 시간 요구사항인 $100\mu s$ 에 비해 아직 모자람을 확인할 수 있다.

3.4.2 Ethernet AVB 와 TTEthernet 기법의 병합

앞서 제시된 형태의 기법은 차량 내 컨트롤 데이터가 지연되는 경우가 발생한다. 우선 SR Class A에 해당하는 센서 데이터가 지속적으로 들어오다가, 일정 시간 이후 컨트롤 데이터가 들어올 경우, 큐에 쌓여있는 센서 스트림 데이터로 인해 지연이 발생한다. 또한 best-effort class에 속하는 최대 크기의 frame이 연속적으로 전송되면 상위 class의 frame들의 지연을 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, [23]에서는 컨트롤 데이터를 time-triggered 데이터로 정의하고, 이를 처리하기 위한 time-triggered scheduler (TTscheduler)를 추가하였다. 또한 매 주기마다 TTscheduler가 동작하기 위한 time slot을 할당하여 TTscheduler를 통해 전송되는 컨트롤 데이터가 지연 없이 처리가 가능하도록 보장하였다. 주기 내 time-triggered 데이터를 위해 할당한 time slot외의 시간대에서는 Ethernet AVB에서 정의한 클래스들의 데이터들이 CBS에 따라 처리가 진행된다. 이러한 동작형태는 아래 그림 3-6 과 같이 표

현할 수 있다.

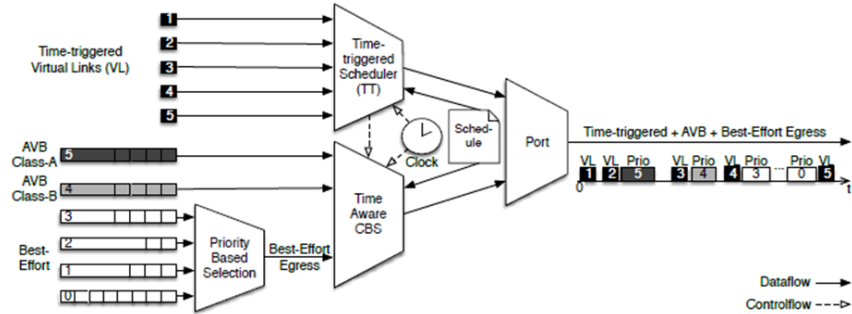


그림 3-6. TTscheduler와 CBS 합병형태 큐잉 메커니즘

그러나 이와 같이 제안된 타임 트리거드 스케줄러와 CBS의 합병된 형태의 메커니즘에도 한계를 보인다. 우선 타임 트리거드 형태의 스케줄러는 pre-run-time 스케줄을 해야 한다. 이는 run-time 스케줄 형태의 AVB에 비해 향후 차량 내 발생할 수 있는 변화된 상황에 대해 대처가 어려울 수 있다. 다음으로 주기적으로 반복되는 time slot내에 컨트롤 데이터가 전송되지 못하거나 데이터 손실이 일어날 경우, 재 전송을 위해선 한 주기만큼의 지연시간이 발생한다. 또한, [23]에서 계산된 결과값이 보여주는 것과 같이 SR class A 내의 데이터는 worst case 시나리오에서 기존 AVB표준 내에서 정의된 최대 지연시간의 2배인 4ms의 지연시간을 가진다. 이는 타임 트리거드 스케줄러를 구성하는 형태가 필요 이상으로 복잡하고, time slot의 크기가 타 클래스의 전송에 영향을 주기 때문이다. 마지막으로, 비 선점형 서비스형태로 인해, best-effort class와 같이

이전에 전송될 수 있는 하위 우선순위를 가지는 프레임이 time slot의 시작 시간을 침범하여 지속적 전송이 될 경우, 상위 우선순위를 가지는 사전의 정의된 컨트롤 데이터의 전송이 지연되거나 밀림으로 인해 time slot을 벗어나 전송 실패를 야기할 수 있다.

제 4장 자율주행 자동차 네트워크 시스템

본 장에서는 본 논문에서 핵심적으로 다룰 자율주행 자동차의 네트워크 시스템에 대해 분석하고 서술한다. 또한 자율주행 차량 내부에서 전송되는 데이터의 종류를 나열하고 이를 특징에 따라 분류한다.

4.1 자율주행 자동차의 네트워크 시스템 구성

자율주행 차량의 네트워크는 이더넷 기반의 백본 네트워크를 구성하기 위한 이더넷 스위치와 차량을 구성하는 샤시, 파워트레인, 바디, 인포테인먼트 및 센서 도메인으로 구성된다. 또한 각 도메인 내에는 백본 네트워크와 각 도메인 사이를 연결하는 Domain Control Unit (DCU)과 도메인 내 노드를 구성하는 Electronic Control Unit (ECU), 그리고 해당 도메인 내 네트워크를 별도의 세부 네트워크로 구성된다. 이들이 종합적으로 구성되는 형태는 아래 그림 4-1와 같이 표현될 수 있다.

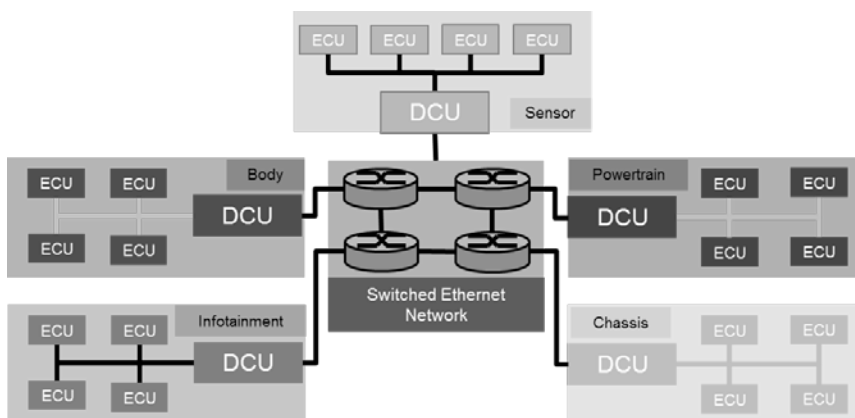


그림 4-1. 자율주행 차량 내 네트워크 시스템 구성

앞서 설명한 이더넷 스위치 경우 각 도메인 사이에 발생하는 데이터를 전송하기 위한 중개 역할을 한다. 전송되는 데이터들은 스위치의 포트를 통해 입출력이 이루어지며, 앞서 제시된 Ethernet AVB의 큐잉 메커니즘을 적용하여 지연시간 없이 원하는 도메인으로 필요한 데이터를 전송하게 된다.

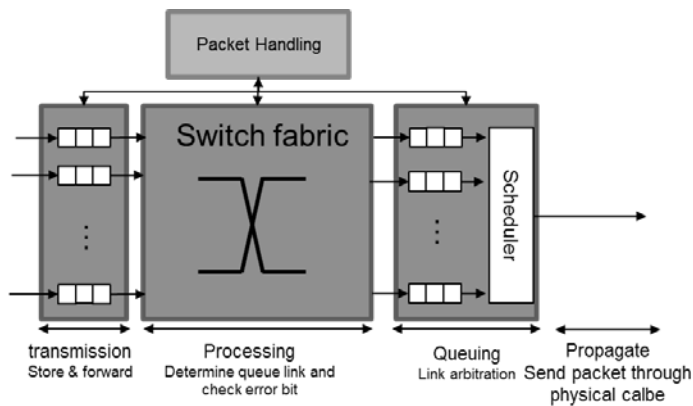


그림 4-2. 백본 네트워크 내 Ethernet switch 구조

또한 앞서 설명된 각각의 도메인들은 기존의 일반차량을 구성하는 도메인의 기능과 동일하다. 파워트레인 도메인 차량의 동력기관을 담당하는 도메인으로, 차량의 엔진 동작과 기어를 주로 담당한다. 샤시 도메인은 차량의 자세와 엑셀/브레이크, 스티어링 조작 기능을 담당하고 있으며 전송 받은 데이터를 통해 해당 부분을 조작하여 가·감속 또는 방향 변경을 한다. 바디 도메인 경우 차량의 움직임과 관련 없는 부분들을 의미하며, 차량 내 탑승해 있는 운전자와 승객의 편의를 위해 에어컨, 창문개폐 및 시트 조절 등의 기능들

을 담당한다. 인포테인먼트 도메인 역시 차량의 움직임과는 관계가 없으며, 차량 내 탑승자가 즐길 수 있는 오디오와 비디오재생과 같은 엔터테인먼트적 기능을 담당하게 된다. 마지막으로 센서 도메인 경우, 자율주행 기능을 위해 차량에 부착된 각종 센서를 통해 주변의 환경을 인식하고 발생하는 상황에 따른 대처를 하는 기능을 담당하게 된다.

백본 네트워크를 통해 각 도메인간 데이터 교환은 해당 도메인의 DCU를 통해 이뤄진다. 도메인 내 동작되는 기능들은 도메인 내 위치한 각각의 개별 ECU들이 기능적 처리를 담당하며, 내부 도메인에서는 각 도메인의 특성에 맞는 CAN, FlexRay 또는 Ethernet 과 같은 네트워크를 통해 각 ECU를 연결하게 된다.

4.2 시스템 내 발생 데이터

이와 같이 구성된 네트워크 시스템 중 특히 백본 네트워크를 구성하는 이더넷 스위치는 각 도메인에서 발생하는 다양한 데이터들을 전송해야 한다. 데이터는 샤시나 파워트레인 도메인을 제어하기 위한 데이터 또는 센서 도메인에서 스트리밍하는 센서 스트리밍 데이터, 제어 데이터 등이 있다. 또한 인포테인먼트 시스템에서 필요로 하는 오디오나 비디오 소스와 연관된 멀티미디어 데이터도 존재한다. 이 중 일반 차량과 가장 큰 차이를 보이는 부분은 차량 제어를 담당하는 데이터이다. 자율주행 자동차에서는 기존의 차량에서 없는 차량의 횡·종방향을 제어하기 위해 주기적으로 발생하는 컨트롤 데이터가 존재한다. 또한 돌발 상황 시 긴급 제동 또는 특정 부

분의 문제가 발생할 경우 정지 또는 운전자에게 운전 권한을 넘겨 대처할 수 있도록 하기 위해 비주기적으로 발생하는 컨트롤 데이터가 존재한다. 이러한 비주기적 컨트롤 데이터는 특정 상황이 발생할 경우 우선적으로 처리되어야 하는 특징을 가지고 있다. 또한 특정 상황 시 비주기적 컨트롤 데이터의 발생횟수는 한정된 횟수를 갖는다. 이는 즉 기존의 단일처리 방식이 아닌 분류된 처리방식을 이용하여 주기성을 가진 컨트롤 데이터와 비 주기성을 가진 컨트롤 데이터를 전송해야 됨을 의미한다. 따라서 차량 내 발생하는 데이터는 크게 비주기적 발생 컨트롤 데이터, 주기적 발생 컨트롤 데이터, 센서 스트림 데이터, 멀티미디어 데이터 및 best-effort 데이터로 구별할 수 있다.

표 4-1. 자율주행 차량 내 발생하는 데이터 및 특징

Classification	Characteristics	Usage
Aperiodic Control Data	Hard Real-Time	AUV's emergency brake., Domain error Alarm, Mode change etc.
Periodic Control Data	Hard Real-Time	AUV's lateral longitudinal control
Sensor Stream Data	Hard Real-Time	Image and sensing data from multiple attaching sensors
Multimedia Data	Soft Real-Time	Audio and Video for Entertainment
Best-Effort Data	Non-Real-Time	AUV's Background Service

제 5장 문제점 정의

본 장에서는 앞 장에서 서술한 자율주행 차량 네트워크 시스템을 구성하는 이더넷 스위치에 두 가지 기존 형태의 차량에 특화된 Ethernet AVB의 메커니즘이 적용될 경우 발생 할 수 있는 문제점을 서술하고, 이에 대해 분석한다.

5.1 비주기적 발생 컨트롤 데이터로 인한 전송지연 문제

자율주행 차량에서 비주기적 컨트롤 데이터가 발생되면 백본 네트워크의 스위치를 거쳐 데이터가 도메인에서 도메인으로 전송이 되며, 이때 스위치를 거치는 중에 지연시간이 발생한다. 이때 발생하는 지연시간은 크게 4가지로 분류할 수 있으며 이는 각각 d_{queue} , d_{trans} , d_{prop} , d_{proc} 이다.

여기서 d_{proc} 는 각 노드로 들어온 패킷의 정보를 확인하여 어느 목적지로 보낼지 결정하는 시간이다. d_{trans} 는 전송 지연 시간으로 전달하고자 하는 패킷의 모든 비트를 전송하기 위해서 모든 비트들을 링크로 밀어내는 시간을 의미한다. d_{prop} 는 전파지연시간을 의미하며 물리적인 통신 선로를 통해 전기적 신호가 송신자로부터 수신자까지 도달하는 시간을 의미한다. d_{queue} 는 큐잉 지연 시간을 의미하며 저장 후 전송되는 과정에서 각 노드에 먼저 들어온 패킷이 처리 완료될 때까지 일시적으로 대기하는 지연시간을 의미한다. 그러나 동일 백본 네트워크 선로와 동일 이더넷 스위치에서 데이터의 전송이 발생하면, 앞서 나열한 d_{trans} , d_{prop} , d_{proc} 는 동일한 값을 가

지게 된다. 따라서 전송 지연시간은 d_{queue} 와 관련이 있으며, 이는 즉 데이터의 전송지연에 영향을 주는 요소는 큐잉 메커니즘의 성능과 비례함을 의미한다. 따라서 적절한 큐잉 메커니즘을 적용하면 데이터의 전송 지연 시간을 감소시킬 수 있다.

그러나 앞서 제 3장에서 소개된 두 가지 타입의 차량에 특화된 Ethernet AVB의 큐잉 메커니즘 경우 자율주행 자동차 내 비주기적으로 발생하는 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송하는데 있어 문제점이 존재한다. 먼저 제안된 첫 번째 형태의 큐잉 메커니즘은 앞서 서술한 것과 같이, 컨트롤 데이터를 SR Class A에 매핑하여 이전 표준에 정의되어 있는 것과 같이 CBS형태로 전송을 하게 된다. CBS는 fairness scheduling 형태로 이전에 전송된 데이터가 버퍼에 쌓여 있거나, credit 값이 0이하가 될 경우 컨트롤 데이터의 전송에 지연이 발생하게 된다. 아래 그림 5-1과 같은 예시를 통해 확인할 수 있듯이 전송되어야 하는 컨트롤 데이터는 앞선 프레임의 누적으로 인해 실시간 전송이 불가능 해지며, 이는 컨트롤 데이터의 실시간 전송이 중요한 자율주행 차량에는 치명적인 결과를 야기할 수 있다.

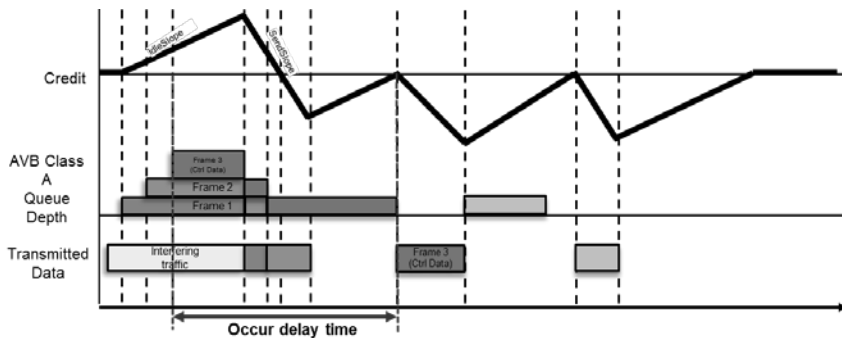


그림 5-1. CBS를 적용 시 컨트롤 데이터의 전송 지연

또한 이전에 제안된 두 번째 형태의 전송방식과 같이 컨트롤 데이터 전송이 가능한 특정 시간 할당을 통해 사전에 정의된 컨트롤 데이터를 전송하게 될 경우, 자율주행 자동차에서 발생할 수 있는 비주기적 컨트롤 데이터 전송에 대해 한계를 가지게 된다. 우선 컨트롤 데이터가 정의된 타임슬롯 외에 도착할 경우, 컨트롤 데이터가 전송될 수 있는 타임슬롯을 기다리기 위해 일정한 지연시간이 발생한다. 여기서 타임슬롯의 크기를 t 라고 정의하고, T 만큼의 주기를 가지고 이것이 반복된다고 하였을 때, 비주기적 컨트롤 데이터가 가질 수 있는 최대의 지연시간은 $T - t$ 이며, 이는 그림 5-2와 같이 보일 수 있다.

이어 비주기적 컨트롤 데이터가 컨트롤 데이터의 전송이 가능한 타임 슬롯 내에 도착하여 전송될 경우, 기존에 정의된 주기적 전송 형태의 컨트롤 데이터의 지연이 발생하게 되고, 만약 타임 슬롯을 넘어 갈 경우 전송이 실패될 수 있다.

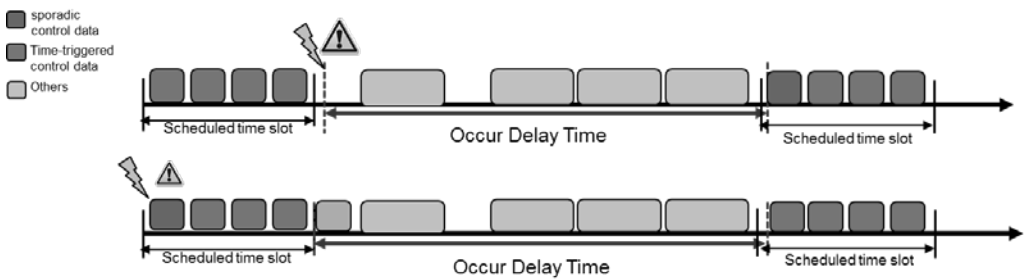


그림 5-2. TTE와 AVB 병합형태 적용 시 발생하는 전송 지연

결과적으로, 위에서 분석한 것과 같이 현재까지 제안된 Ethernet AVB의 큐잉 메커니즘은 자율주행 차량 내 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송하는데 부적절하며 이를 실시간으로 전송할 수 있는 새로운 메커니즘이 필요하다. 특히 새로운 메커니즘은 임의로 발생하는 컨트롤 데이터에 대한 처리가 필요하며, 어떤 상황에서도 우선적으로 처리할 수 있는 메커니즘을 가지고 있어야 한다.

5.2 사전 정의된 컨트롤 데이터의 전송 지연 발생

Ethernet AVB표준은 프레임을 전송하는데 있어 비선점형 스케줄링의 특성을 지니고 있다. 이는 한번 전송된 프레임은 MAC과 PHY단에서 전송을 중단할 수 없기 때문이다. 만약 타임 슬롯 이전에 하위 우선순위의 프레임 전송이 일어날 경우, 최대 프레임 사이즈만큼 사전에 정의한 타임슬롯을 침범하게 되고, 이 경우 기존에 스케줄되어 있던 상위 우선순위를 가진 컨트롤 데이터의 전송 지연이 발생되고, 최악의 경우, 타임슬롯이 종료되어 컨트롤 데이터의 전송이 실패하는 경우가 발생한다. 이러한 경우는 아래 그림 5-3과 같이 표현될 수 있다. 따라서 침범 가능성이 있는 프레임의 크기를 파악하고 이를 해결하기 위한 메커니즘이 필요하다.

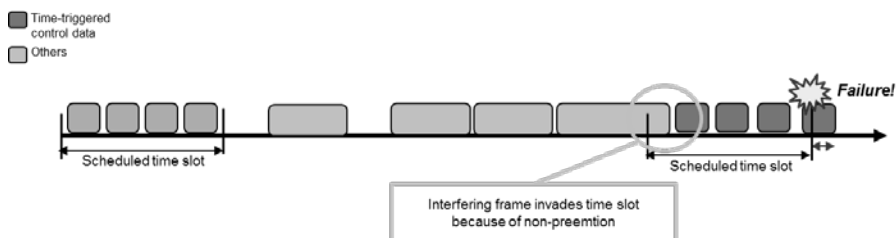


그림 5-3 비선점형 스케줄링에 의한 컨트롤 데이터의 전송지연

종합적으로 정리하면, 앞서 제시된 두 가지 문제점은 다음과 같이 정리될 수 있다.

1. 자율주행을 위해 주기적 비주기적으로 발생하는 컨트롤 데이터에 대해 기존의 차량에 특화된 Ethernet AVB 큐잉 메커니즘은 컨트롤 데이터를 전송하는데 지연을 야기할 수 있음
2. 비선점형 스케줄링 전송 방식으로 인한 하위 우선순위 프레임의 타임 슬롯 침범 및 이로 인한 예약된 컨트롤 데이터의 전송 지연 및 전송 실패 발생

제 6장 해결책 제안

본 장에서는 앞서 제시한 문제점을 해결하기 위한 방법에 대해 기술한다. 해결책은 자율주행 차량에서 발생하는 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송하는 것에 그 목적이 있으며, 이를 위해 차량 내 발생하는 데이터에 대한 재 분류 및 요구사항 도출, 실시간 전송을 위한 개선된 큐잉 메커니즘을 제안한다.

6.1 우선순위 기반 다중 스케줄링 큐잉 메커니즘

앞장의 문제점 정의를 통해 비주기적 컨트롤 데이터가 존재하는 자율주행 자동차는 기존에 존재하는 차량에 특화된 Ethernet AVB의 큐잉 메커니즘을 개선하여 실시간 전송이 가능하도록 해야 함을 알았다. 따라서 비주기적 컨트롤 데이터의 실시간 전송을 위해 크게 3가지 단계를 통해 차량에 특화된 Ethernet AVB의 개선 메커니즘을 제안한다. 우선 앞서 표 4-1을 통해 분석한 자율주행 차량 내 발생하는 데이터에 대해 우선순위를 부여하고, 해당 데이터들이 만족해야 하는 요구사항을 재정의를 한다. 차량 제어 및 경고 알림과 관련 있는 컨트롤 데이터는 최우선순위를 가지고 전송해야 하며, AVnu alliance [24]에서 제시한 것과 같이 차량 내 발생하는 컨트롤 데이터의 노드간 전송 지연시간은 100us를 만족해야 한다.

또한 새롭게 정의된 비주기적 발생 컨트롤 데이터를 처리하기 위한 추가적인 큐를 할당해야 한다. 이는 기존에 컨트롤을 처리하기 위해 단일 큐를 이용하여 오직 time triggered형태로 컨트롤 데이터를 처리하기 위한 큐 외에 비주기적 컨트롤 데이터 처리를 위한 큐

를 추가하여 구성함으로써, 서로 다른 처리방식을 적용하기 위함이다.

마지막으로 주기적 컨트롤 데이터를 처리하기 위한 정적 세그먼트 구역과, 비주기적 컨트롤 데이터와 센서 스트림 데이터, 멀티미디어 데이터 및 best-effort 데이터를 처리하는 동적 세그먼트 구역으로 분류한다. 따라서 시간에 따라 세그먼트가 전환되는 형태의 타임 셰이퍼를 도입하고 정적 스케줄링을 통해 세그먼트 전환 테이블을 구축하여 사이클 내 변환을 사전에 정의한다. 또한 발생하는 각 데이터들의 실시간 전송을 가능하게 하는 다 단계 형태의 스케줄링 정책을 적용한다. 우선 사이클 시간 내 필요한 타임슬롯을 할당하고 이를 통해 세그먼트 전환 테이블을 구성한다. 이를 통해 정적 스케줄링 된 컨트롤 데이터의 전송과 나머지 데이터의 전송을 구분 처리하고, 우선순위의 역전을 방지한다. 이어 동적 세그먼트 부분에서는 strict priority scheduler를 적용하여 최우선 순위를 가지는 비주기적 컨트롤 데이터의 우선적으로 전송함으로써, 해당 데이터의 실시간 전송을 보장 할 수 있다. 이전에 앞서 컨트롤 데이터 외 데이터인 best-effort data와 sensor stream data, multimedia data 를 전송하기 위한 스케줄링 정책은 기존의 strict priority scheduler 와 credit based scheduler를 유지한다. 앞서 설명한 것과 같이 best-effort data를 전송하기 위한 큐들 사이에서는 SPA를 적용하며, 스케줄링을 통해 전송된 데이터와 SR class queue내의 데이터들은 CBS를 통해 스케줄링 된다.

이를 종합하면, 기존 차량에 특화된 Ethernet AVB에 다음과

같은 특징을 통해 비주기적 컨트롤 데이터의 실시간 전송을 가능하게 한다. 또한 해당 개선점들이 적용된 구조는 아래 그림 6-1와 같이 표현될 수 있다.

1. 차량 내 데이터 재 분류 및 우선순위 부여
2. 재 분류된 타입 별 큐 할당
3. 데이터의 특징과 우선순위에 기반한 다중 스케줄링

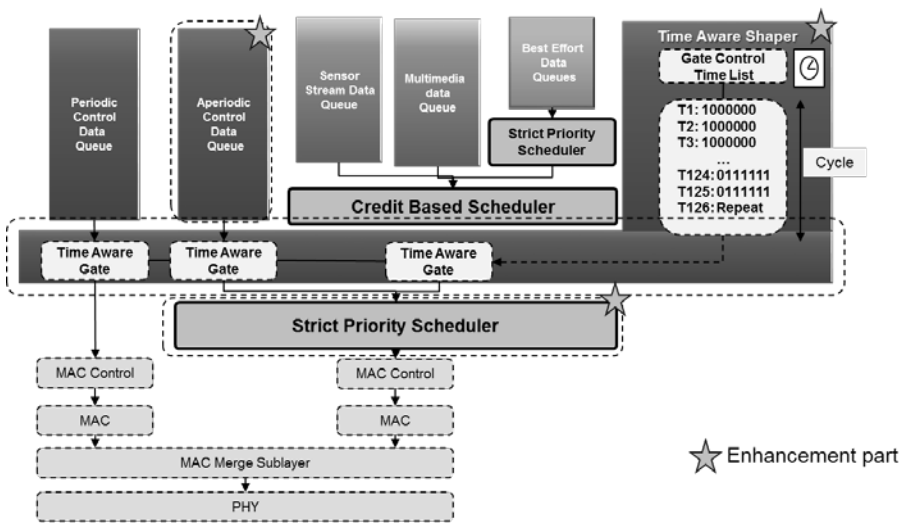


그림 6-1. 우선순위 기반 다중 스케줄링 큐잉 메커니즘

6.2 Guard-band 추가를 통한 타임슬롯 확장

앞서 서술한 것과 같이 비선점형 스케줄링 방식으로 전송이 이뤄지는 Ethernet AVB 경우, 하위 우선순위를 가지는 프레임의 전송이 지속될 경우 상위 우선순위를 가지는 데이터가 전송되지 못하는 지연이 발생할 수 있는 문제점이 존재한다.

따라서 하위 우선순위 프레임으로 인해 발생하는 전송 지연과 실패를 방지하기 위해 guard-band가 추가된 확장 형태의 타임슬롯

T_{slot_new} 할당이 필요하다.

$$T_{slot_new} = T_{slot} + T_{guard}$$

여기서 guard-band T_{guard} 크기는 침범할 수 있는 최대크기를 고려해야 한다. 이더넷 프레임이 가질 수 있는 최대 프레임 크기 $payload_{Max}$ 는 1522byte 이며, 일반적으로 한 프레임이 가지는 $Overhead$ 의 크기는 22byte이다. 또한 [25]에서 제시한 것과 같이 각 비트당 전송되는 속도는 약 $10\eta s$ 로 가정한다.

$$T_{guard} = (payload_{Max} + Overhead) * 8 * 10 \eta s$$

기존에 할당된 타임슬롯의 크기는 각 컨트롤 데이터의 크기 $payload_{TT}$ 와 $Overhead$, 프레임간 간격인 IFG 를 고려해야 한다. IFG 는 이며 12byte [22]이다. 또한 타임슬롯 내 할당 하려는 컨트롤 데이터의 개수 N_{TT} 에 따라 그 크기가 결정된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$T_{slot} = N_{TT} * (IFG + payload_{TT} + Overhead) * 8 * 10 \eta s$$

수식을 통해 계산한 T_{slot_new} 의 크기는 이다. 여기서 컨트롤 데이터의 크기는 [23]에서 제시한 값을 가정하여 46byte로 가정하였다.

그러나 제안된 방법은 앞선 프레임의 전송이 없을 경우 guard-band를 할당한 부분에 낭비가 발생하게 된다. 그러나 데이터를 지연 없이 전송하여 안전성을 보장해야 하는 자동차의 특성상 본 논문에서 제안된 방법은 안정성을 보장해줄 수 있는 유효한 방법이다.

제 7장 실험 설계 및 실험 결과 분석

본 장에서는 앞서 제안한 해결책을 검증하기 위한 실험 설계와 실험 결과 및 평가에 관해 기술한다. 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 차량과 유사한 네트워크 환경 구축을 하여 데이터를 전송함으로써 기존의 정책과 제안된 해결책을 적용할 시에 대한 차이점을 확인하고, 이를 통해 데이터를 전송하는 부분에 있어 요구사항을 만족하는지 여부를 확인한다.

7.1 실험 설계

본 절에서는 실험을 진행하는 목적과, 실험을 위해 사용하는 프로그램, 성능평가 지표 및 실험 시나리오에 대해 기술한다.

- 실험 목표

본 실험은 앞서 제안한 해결책 적용을 통해 자율주행 차량에서 발생 가능한 비주기적 컨트롤 데이터가 정해진 요구사항을 만족하는지 확인한다. 제시되는 요구사항은 앞서 설명과 같이 [24]에서 제안되는 요구사항이며 요구사항에 맞춰 비주기적 컨트롤 데이터는 100us내에 send 노드에서 receive 노드로 전송되어야 한다. 이외에도 타 데이터 타입에 대해서도 제안되는 요구사항을 만족해야 하며 제시되는 요구사항은 다음 표와 같다.

표 7-1. 데이터 타입에 따른 요구사항

Data Type	End-to-End Latency Requirement	Minimum Hops
Aperiodic Control Data	100us ^[1]	-
Periodic Control Data	100us	-
Sensor Stream Data	2ms	7
Multimedia Data	50ms	7
Best-Effort Data	None	-

● 실험 환경

실험은 컴퓨터 상에서도 차량 내 네트워크를 유사하게 설계할 수 있고 실제 전송 데이터 설정을 통해 각 데이터의 지연시간이 확인 가능한 네트워크 시뮬레이터 중 하나인 OMNeT++4.6을 이용하여 실험한다. 해당 시뮬레이터는 사용자가 원하는 형태로 각 노드와 스위치를 디자인 가능하다. 또한 서브 모듈을 지원하여 기본적인 이더넷 관련 프로토콜을 제공하며, 커뮤니티를 통해 실시간 이더넷을 지원하는 컴포넌트를 다운받아 수정, 사용할 수 있다. 이외에도 ns-3와 같이 타 네트워크 시뮬레이터들이 존재하나, [26]에서 언급한 것과 같이 현재 다양한 논문에서는 주로 OMNeT++을 채택하여 실험하고, 특히 차량 네트워크와 관련된 논문에서는 주로 OMNeT++을 사용하였기에, 본 논문 역시 해당 시뮬레이터를 이용하여 실험을 진행한다.

● 성능 평가 지표

개선된 큐잉 메커니즘을 확인하기 위해 본 실험에서는 end-to-

end latency를 성능의 평가 지표로 활용한다. End-to-end latency란, 데이터를 전송하는 노드의 어플리케이션 단에서부터 데이터를 전송 받는 리시브 노드의 어플리케이션까지의 전송 시간을 의미하며 그림 7-1와 같이 설명될 수 있다.

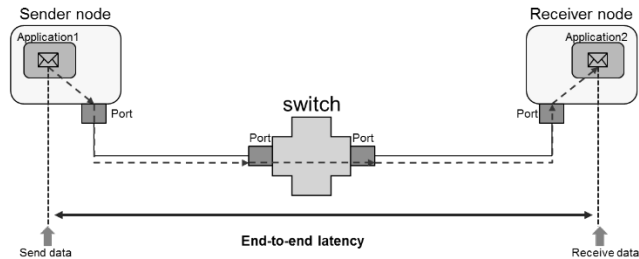


그림 7-1 End-to-End latency 설명

● 실험 시나리오

본 실험에서는 차량 내 네트워크와 유사한 네트워크를 구성하여 시뮬레이션을 진행한다. 네트워크의 토폴로지는 다수의 논문에서 기본적으로 채택하는 스타 토폴로지를 채택하며, 크게 4개의 노드와 한 개의 스위치로 차량 내 네트워크를 구성한다. 설계된 노드 중 AVB node 3은 발생한 모든 데이터를 전송 받아 모니터링 하는 역할을 하게 되며, 이를 제외한 나머지 노드에서는 자율주행 차량에서 발생할 수 있는 주기적인 컨트롤 데이터와 비주기적인 컨트롤 데이터, 센서 정보를 담은 센서 스트림 데이터 그리고 멀티 미디어를 데이터를 생성하여, Ethernet switch에 혼재상황을 야기시켜 실제 자율주행 차량의 네트워크와 유사한 상황을 가정하여 실험을 진행한다.

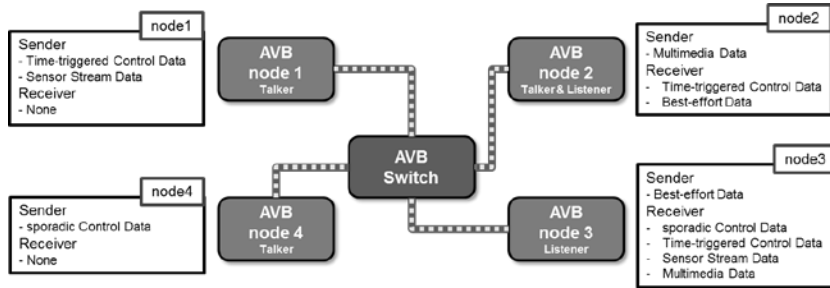


그림 7-2 실험 구성 시스템

7.2 실험 결과 및 분석

앞서 설계한 실험 시나리오에 맞춰 제안된 메커니즘이 비주기적 발생 컨트롤 데이터의 지연시간을 감소하는지를 검증하는 실험을 한다. 개선된 큐잉 메커니즘이 적용된 시스템과 legacy한 시스템의 비교를 통해 표 7-2와 같이 개선됨을 보였다. 특히 비주기적 발생 컨트롤 데이터를 실시간 처리하기 위한 큐와 스케줄러 도입을 통해, 비주기적 컨트롤 데이터와 주기적 발생 컨트롤 데이터의 지연시간을 대폭감소 하였음을 볼 수 있다. 주기적 발생 컨트롤 데이터는 비주기적 발생 컨트롤 데이터로 인한 밀림 현상이 없어져 다음 정적 세그먼트를 기다려야 되는 지연시간이 감소하였으며, 비주기적 발생 컨트롤 데이터는 데이터의 전송이 즉각 이뤄져 해당 지연시간이 감소하였음을 확인할 수 있었다.

또한 기존 차량 내 FlexRay에 기반한 컨트롤 데이터 전송 cycle time인 1~5ms 사이에 모두 동작됨을 확인하기 위해 가장 짧은 1ms, 중간 값인 3ms, 가장 긴 값인 5ms로 각각 설정을 달리하여 비주기적 컨트롤 데이터가 요구되는 중단 지연 시간 내에 전송

이 되는지를 확인하는 실험을 진행하였으며 아래 표 7-3을 통해 각각의 케이스에서 상당히 만족 됨을 보였다. 다만 만족되지 못한 부분은 동적 세그먼트 내에서 타 프레임으로 인한 밀림현상 발생과 시뮬레이션 자체가 가지고 있는 지연시간으로 인해 일부 비주기적 컨트롤 데이터의 지연시간이 원하는 요구사항을 만족하지 못함을 확인할 수 있었다.

표 7-2. 개선된 큐잉 메커니즘을 적용 시와 기존 메커니즘 비교

Data type	Current				Adopt Enhanced Mechanism			
	To satisfy requirement	Max End-to-end latency (μs)	Data transmission count (time)	Data Size (B)	To satisfy requirement	Max End-to-end latency (μs)	Data transmission count (time)	Data Size (B)
Aperiodic control	NO	753	4	46	Yes	103	4	46
Periodic control	NO	1368	333	46	Yes	58.69	333	46
Sensor stream	Yes	166	7989	350	Yes	167	7989	350
Multimedia	Yes	251	3993	350	Yes	251	3993	350
Best-effort	Yes	423	2830	1500	Yes	423	2830	1500

표 7-3. 다양한 주기 시간에서 제안된 메커니즘 동작 성능 측정

Cycle Time	Adopt Enhanced Mechanism				
	# of aperiodic control data occurred	# of requirement satisfaction	Success rate	Max Latency	Average Latency
1ms	16	15	93.7%	139 μs	66.5 μs
3ms	24	23	95.8%	133 μs	61.5 μs
5ms	30	28	93.3%	145 μs	67.9 μs

제 8장 결론

본 논문에서는 자율주행 차량에서 발생하는 비주기적 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송하기 위해 개선된 큐잉 메커니즘을 제시한다. 이를 위해 먼저 Ethernet AVB를 구성하는 프로토콜 중 데이터의 실시간 전송과 관련 있는 IEEE 802.1 Qat, Qav에 대해 설명하고, 또한 차량에 특화된 형태의 두 가지 Ethernet AVB 형태를 분석하고 서술하였다. 또한 자율주행 자동차를 구성하는 네트워크 시스템을 분석하고 내부에서 전송되는 데이터 분석을 통해, 기존의 차량에 특화된 Ethernet AVB의 메커니즘이 자율주행 차량에 적용될 경우 발생할 수 있는 문제점을 정의하였다. 따라서 이를 해결하기 위해 우선순위 기반 다중 스케줄링 큐잉 메커니즘과 guard-band 추가를 통한 타임슬롯 확장과 같은 두 가지 해결책을 제안하였으며, 실험을 통해 제시한 해결책이 자율주행 차량 내 발생하는 컨트롤 데이터를 실시간으로 전송되게 함을 보였다.

이처럼 제안한 본 해결책은 자율주행 자동차에서 발생하는 다양한 형태의 컨트롤 데이터를 고려하여 실시간 전송이 가능하게 처리함으로써, 이더넷에 기반한 백본 네트워크를 가진 자율주행차량의 안전성 향상에 도움을 줄 수 있다.

그러나 본 논문이 제안한 해결책에는 일부분의 제약 사항이 존재한다. 우선, 비주기적 발생 컨트롤의 데이터의 우선순위가 주기적 발생 컨트롤 데이터보다 높을 경우, 정적 세그먼트가 동작하는 시간에 비주기적 발생 컨트롤 데이터의 전송이 필요할 경우, 우선 순위 경쟁에서 밀리게 된다. 다음으로, 할당된 guard-band

에 앞선 프레임의 침범이 없을 경우, 시간이 낭비되는 현상이 발생 할 수 있다. 따라서 이러한 제약사항을 해결하기 위한 새로운 메커니즘의 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Bosch, R.: ‘CAN specification version 2.0’, Rober Bousch GmbH, Postfach, 1991, 300240
- [2] Consortium, L.: ‘LIN specification package, revision 2.0’, Munich, Germany, 2003
- [3] Consortium, F.: ‘FlexRay communications system protocol specification version 2.1’, Request online: http://flexray.com/specification_request.php, 2005
- [4] Hank, P., Suermann, T., and Müller, S.: ‘Automotive Ethernet, a holistic approach for a next generation in-vehicle networking standard’: ‘Advanced Microsystems for Automotive Applications 2012’ (Springer, 2012), pp. 79–89
- [5] Thomsen, T., and Drenkhan, G.: ‘Ethernet for AUTOSAR’, EB Automotive GmbH, 2008
- [6] Axer, P., Thiele, D., Ernst, R., Diemer, J., Schliecker, S., and Richter, K.R.: ‘Requirements on Real-Time-Capable Automotive Ethernet Architectures’, 2014
- [7] Steffen, R., Bogenberger, R., Hillebrand, J., Hintermaier, W., Winckler, A., and Rahmani, M.: ‘Design and realization of an ip-based in-car network architecture’, 2008
- [8] Lim, H.-T., Weckemann, K., and Herrscher, D.: ‘Performance study of an in-car switched ethernet network without prioritization’: ‘Communication Technologies for Vehicles’ (Springer, 2011), pp. 165–175
- [9] Steiner, W.: ‘TTEthernet Specification’. 2008,
- [10] Steinbach, T., Korf, F., and Schmidt, T.C.: ‘Comparing time-triggered Ethernet with FlexRay: An evaluation of competing approaches to real-time for in-vehicle networks’. Proc. Factory Communication Systems (WFCS),

2010 8th IEEE International Workshop on, Year pp. 199–202

- [11] Steinbach, T., Korf, F., and Schmidt, T.C.: ‘Real-time Ethernet for automotive applications: A solution for future in-car networks’. Proc. Consumer Electronics–Berlin (ICCE–Berlin), 2011 IEEE International Conference on, Year pp. 216–220
- [12] Rumpf, S., Steinbach, T., Korf, F., and Schmidt, T.C.: ‘Software Stacks for Mixed-critical Applications: Consolidating IEEE 802.1 AVB and Time-triggered Ethernet in Next-generation Automotive Electronics’
- [13] Heidinger, E., Geyer, F., Schneelee, S., and Paulitsch, M.: ‘A performance study of Audio Video Bridging in aeronautic Ethernet networks’. Proc. Industrial Embedded Systems (SIES), 2012 7th IEEE International Symposium on, Year pp. 67–75
- [14] Imtiaz, J., Jasperneite, J., and Weber, K.: ‘Approaches to reduce the latency for high priority traffic in IEEE 802.1 AVB networks’. Proc. Factory Communication Systems (WFCS), 2012 9th IEEE International Workshop on, Year pp. 161–164
- [15] IEEE_802.1AVB_TG: ‘IEEE 802.1Qat, Virtual Bridged Local Area Networks – Stream Reservation Protocol’, 2010
- [16] IEEE_802.1AVB_TG: ‘IEEE 802.1 Qav – Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams’, 2009
- [17] Rahmani, M., Tappayuthpijarn, K., Krebs, B., Steinbach, E., and Bogenberger, R.: ‘Traffic shaping for resource-efficient in-vehicle communication’, Industrial Informatics, IEEE Transactions on, 2009, 5, (4), pp. 414–428
- [18] Lim, H.–T., Herrscher, D., Walzl, M.J., and Chaari, F.: ‘Performance analysis of the ieee 802.1 ethernet

- audio/video bridging standard'. Proc. Proceedings of the 5th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, Year pp. 27–36
- [19] Lim, H.-T., Herrscher, D., and Chaari, F.: 'Performance comparison of ieee 802.1 q and ieee 802.1 avb in an ethernet-based in-vehicle network'. Proc. Computing Technology and Information Management (ICCM), 2012 8th International Conference on, Year pp. 1–6
 - [20] Steinbach, T., Lim, H.-T., Korf, F., Schmidt, T.C., Herrscher, D., and Wolisz, A.: 'Tomorrow's in-car interconnect? A competitive evaluation of IEEE 802.1 AVB and Time-Triggered Ethernet (AS6802)'. Proc. Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012 IEEE, Year pp. 1–5
 - [21] Alderisi, G., Caltabiano, A., Vasta, G., Iannizzotto, G., Steinbach, T., and Bello, L.L.: 'Simulative assessments of IEEE 802.1 Ethernet AVB and Time-Triggered Ethernet for Advanced Driver Assistance Systems and in-car infotainment'. Proc. VNC, Year pp. 187–194
 - [22] Kim, Y., and Nakamura, M.: 'Automotive Ethernet Network Requirements', 2011
 - [23] Meyer, P., Steinbach, T., Korf, F., and Schmidt, T.C.: 'Extending IEEE 802.1 AVB with time-triggered scheduling: A simulation study of the coexistence of synchronous and asynchronous traffic'. Proc. VNC, Year pp. 47–54
 - [24] Kim, Y.: 'Very Low Latency Packet Delivery Requirements and Problem Statements' , 2011
 - [25] Alderisi, G., Patti, G., and Bello, L.L.: 'Introducing support for scheduled traffic over IEEE audio video bridging networks'. Proc. Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2013 IEEE 18th Conference on, Year pp. 1–9

- [26] Weingartner, E., Vom Lehn, H., and Wehrle, K.: ‘A performance comparison of recent network simulators’. Proc. Communications, 2009. ICC'09. IEEE International Conference on, Year pp. 1–5

Abstract

Improvement of Ethernet AVB Queuing Mechanism to Guarantee Real-Time Transmission of Autonomous Vehicle's Control Data

Hanbhin Ryu

Graduate School of Convergence
Science and Technology. Seoul National University

Autonomous vehicle requires a large number of sensors to recognize surrounding environment and vehicle's position. This situation leads to congested condition caused by multiple type of data from vehicle. Therefore, autonomous vehicle needs next generation network to guarantee real-time transmission in congestion condition. Ethernet has emerged as next generation in-vehicle backbone network, various research is especially proceed to establish Audio Video Bridging (AVB) standard which guarantee real-time transmission of streaming data as an automotive Ethernet standard. This thesis analysis and describe technical mechanism of sub-standard which configure Ethernet AVB. And thesis also analysis various research of adopting Ethernet AVB on general vehicle to guarantee real-time transmission of in-vehicle data. In this thesis, we define two problem which can occur when adopt current Ethernet AVB on autonomous vehicle which is next generation type of vehicle. First, transmission mechanism of current researched Ethernet

AVB has limitation to transmit control data which generated periodically or aperiodically at autonomous vehicle in real-time. Second, lower priority frame can make higher priority frame's transmission delay or failure because of non-preemptive scheduling policy of Ethernet AVB. To solve these problems, thesis proposes the priority based multi scheduling form queuing mechanism to guarantee real-time transmission of control data of autonomous vehicle that generated periodically or aperiodically. We also propose guard-band to extend static segment for preventing failure of transmitting pre-defined control data in static segment. At last, we verify the proposed mechanism can satisfying real-time transmission of control data which send message between node to node in autonomous vehicle by comparing with legacy Ethernet AVB mechanism.

Keywords : Ethernet switch; Ethernet AVB; In-vehicle network Queuing mechanism; Real-time transmission

Student Number : 2013-22414