

링 형태의 이더넷 기반의 차량 내 네트워크 프로토콜

Circular Ethernet-based In-Vehicle Network Protocol

박부식*, 최종찬*, 윤종호**

Pu-Sik Park*, Jong-Chan Cho*, and Jong-Ho Yoon**

요 약

본 논문에서는 차량 내 편의장치를 제어하는 "body" 영역과 멀티미디어 데이터를 전송하는 "멀티미디어" 영역을 위해서 이더넷 기반의 차량 내 네트워크 프로토콜을 제안한다. 이더넷 기반의 차량 내 네트워크 프로토콜은 해당 응용 분야의 요구를 만족시키기 위해 각 노드에서 트래픽 제어를 수행하는데 이를 위해서 2계층과 네트워크 토폴로지를 수정하였다. 링 토폴로지를 갖는 기존의 MOST 프로토콜과 본 논문에서 제안하는 링 토폴로지의 이더넷 기반의 프로토콜을 시뮬레이션하여 그 성능을 비교 분석하였다. 그 결과 본 논문에서 제안하는 토폴로지 형태에서 15% 성능 개선을 확인하였다. 또한 리눅스 기반에서 구현한 시스템을 통해 실시간 멀티미디어 패킷이 베스트 에포트 패킷과 공존 시에 QoS를 보장 받는 것을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes the ethernet-based in-vehicle networking method for "body" and "multimedia" domains. The ethernet-based in-vehicle networking method should modify the topology and the layer 2 for traffic shaping. In this paper, we simulate the two ring networking systems, the Media Oriented Systems Transport (MOST) and the proposed system with the shaping by the network simulator 2 and evaluate each performance. In addition, we demonstrate the proposed networking system to exchange two kinds of traffic, i.e., QoS data and best-effort data, on the ring network constituting of three nodes. Finally this paper expects to substitute the ethernet-based in-vehicle network for the MOST in advance.

Key words : In-Vehicle Network, Ethernet, ITS, Shaping, Bridge

I. 서 론

자동차를 구성하는 많은 부품들은 네트워크를 기반으로 서로 유기적으로 동작한다. LIN 및 CAN은 저속이지만 엔진이나 새시 영역에서 제어 데이터를 교환하는 용도로 사용되고 있다. 최근에는 차량 내 네트워크 시스템이 점 차 고속화되어 백본 네트워크

시스템으로 High-speed serial data (HSSD) 통신 시스템이 적용되고 있는 추세이다 [1]. 차량에 장착되는 지능형 부품, 예를 들어 Electronic Control Unit(ECU), 스마트 센서 및 스마트 액츄에이터들이 고속의 HSSD를 통해 서로 연결된다 [2].

차량 내부를 구성하는 시스템은 그 특징에 따라 몇 가지 영역으로 나눌 수 있다. "Powertrain" (예. 엔

* 전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

** 한국항공대학교 (Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 박부식

· 접수일자 : 2007년 11월 12일

진 및 변속기 제어) 과 "chassis" (예. 완충장치, 조향장치, 및 제동장치) 영역은 실시간 제어와 차량의 안전에 관련된 영역으로, 매우 높은 신뢰도를 요구한다. "Body" 영역은 전동 시트 제어 및 에어컨 제어 등과 같이 대부분 편의 장치들을 포함하고, "멀티미디어" 영역은 DMB 혹은 DivX 미디어 재생과 같은 유희에 관한 장치들로 구성된다 [3].

물론 "powertrain" 과 "chassis" 영역은 차량의 운행 및 운전자의 생명과 관련되어 매우 중요하다. 그러나 최근에는 "body" 및 "멀티미디어" 영역의 요구가 빠르게 증가하고 있으며, 시장에서도 많은 이슈를 생산하고 있다. 이것은 자동차 사용이 매우 빈번한 미국의 경우 하루의 평균 9%를 차량에서 지낸다는 예만 보아도 그 상황이 쉽게 이해 될 것이다 [4].

이런 변화되는 환경 속에서 멀티미디어와 텔레매틱스와 관련된 제품들의 생산이 늘고 있으며, 그것들은 운전자에게 엔터테인먼트를 제공하고 있다 [5].

본 논문에서는 In-Vehicle Network 를 위한 2계층 프로토콜로서 이더넷을 제안하고, 개선된 토폴로지와 브릿지 방법을 제안할 것이다. 2 장에서는 MOST 와 이더넷에 관해서 소개하고, 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 차량 내 네트워크의 토폴로지와 L2 스위칭 방법을 제안한다. 4장에서는 제안하는 토폴로지와 기존의 MOST 토폴로지 간의 성능 비교를 시뮬레이션하고 5장에서는 본 논문에서 제안하는 L2 스위칭을 도입했을 경우의 QoS 성능을 평가하였다. 마지막으로 6장에서 결론을 내리겠다.

II. 프로토콜 비교

2.1. Media Oriented Systems Transport (MOST)

2001년도에 infotainment 네트워크 개방형 표준을 제정하기 위해서 차량 제조사와 부품 공급 업체 등이 참여하여 국제 컨소시엄을 설립한 것이 MOST corporations 이다 [4, 6].

차량 내의 전자기파 환경은 매우 열악하다. 이 때문에 MOST 는 전자기파 간섭을 받지 않는 광 통신

을 사용한다. 특히 플라스틱 재질의 광섬유인 Plastic Optical Fiber (POF) 를 이용하여 배선의 중량을 줄이고 유연한 망 구성이 가능하도록 하였다[1].

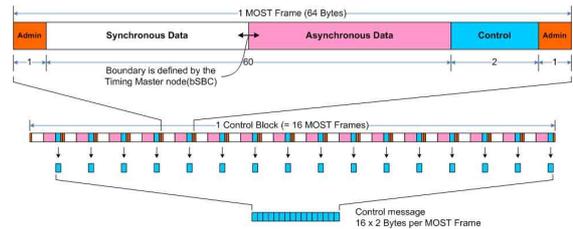


그림 1. MOST 수퍼프레임 구조.
Fig. 1. Structure of the superframe.

22.5Mbps 대역폭을 갖는 MOST 네트워크의 망은 MPEG과 같이 압축된 영상을 전송하는 사용 가능하다 [7]. 링 모양으로 각 노드들이 연결되어 배선을 줄이고 설치유연성을 높였다. 원형의 망에서 하나의 마스터와 다수의 슬레이브 노드들로 운영되는 Master-slave 구조를 갖는다. 마스터에 해당하는 노드는 주기적으로 수퍼프레임을 생성하고 이 수퍼프레임을 통해 링에 참여한 모든 슬레이브 노드들은 클럭을 제공받고 타이밍 동기를 수행한다.

수퍼프레임은 그림 1 처럼 제어 영역, 비동기 패킷 데이터 영역, 그리고 동기 스트리밍 데이터 영역으로 크게 세 개의 영역으로 구분된다. 제어 영역은 망 관리에 필요한 정보 및 저속의 응용 데이터 전송 용도로 사용되고, 비동기 패킷 데이터 영역은 Best-effort 서비스 혹은 인터넷 패킷 데이터 전송을 위해서 마련되었으며 경쟁 방식을 통해 사용된다. 마지막으로 동기 스트리밍 데이터는 멀티미디어 데이터와 같이 실시간성을 요구하는 응용에 사용된다.

2.2. Ethernet

이더넷은 1973년에 Xerox PARC 에서 최초로 개발된 프레임 기반의 비동기 유선 통신 기술로 IEEE 802.3 으로 표준화되었다. 간단한 시스템 구성, 저비용, 훌륭한 확장성 등의 이유로 1990년대부터 현재까지 가장 널리 사용되고 있는 LAN 프로토콜이다 [8].

1) 아직 표준화되지 않았지만, 일본에서 개발된 50Mbps를 지원하고 UTP 케이블을 사용하는 MOST50 상용 모델 IC 도 존재한다.

10Mbps, 100Mbps 뿐 아니라 현재 40Gbps와 100Gbps 이더넷이 IEEE 802.3ba²⁾로 표준 제정 진행 중이다.

최근에 이더넷은 집이나 회사의 LAN 을 구성하는 영역에서 산업용 네트워크를 비롯한 선박 및 항공기 내 네트워크 기술로 그 영역을 넓혀 가고 있다.

산업 현장에서는 특히, 공장 자동화 시스템 영역 등에서 이제 더이상 RS232 나 RS485와 같은 저속의 시리얼 통신에 만족하지 못한다. 10Mbps, 100Mbps, 더 나아가 1Gbps 급의 네트워크를 요구하고 있다. 이런 요구를 이더넷이 해결해 주고 있는게 현실이다.

하지만, 이더넷은 스위치 혹은 허브를 통해 망이 구성되는 특징 때문에 유연성이나 신뢰성에서 약점을 갖는다 [9]. 그러나 링 모양의 리던던시 이더넷 시스템과 토폴로지 적응형 망 관리 프로토콜은 토폴로지 변화에 따른 유연성을 개선하고 신속한 링크 복구가 가능하다 [9].

또한, 최근의 항공 우주 시스템 및 군용 시스템에는 상용으로 사용되고 있는 기술 중 오랜 기간 충분히 검증된 기술이 적용되고 있다. 대표적으로 항공기 내 제어 네트워크 용도로 리던던시를 갖춘 Commercial Off-The-Shelf (COTS)²⁾ 이더넷 시스템, AFDX(Avionics Full Duplex Switching) 기술이 적용되고 있다.

III. 이더넷 기반의 차량 내 네트워크

X-by-wire 는 차량 내 네트워크를 통해 차량의 부품들의 상태를 파악하고 제어하는 시스템이다. 운전자의 생명을 담보로 하는 안전에 관련된 차량 부품 예를 들어 엔진 및 제동 장치들은 CAN 이나 FlexRay 프로토콜로 네트워크를 형성해 운영된다. 본 논문에서 제안하는 차량 내 네트워크는 이런 "Powertrain" 혹은 "Chassis" 영역의 네트워크가 아닌 "Body" 및 "멀티미디어" 영역의 안전에 크게 문제되지 않지만 운전자로 하여금 편안한 운전이 가능하도록 도와 줄 수 있는 중요한 영역 중 하나이다.

앞 장에서 살펴봤던 MOST 뿐 아니라 IDB-1394 와 같은 유선 네트워크와 WiFi(IEEE 802.11) 및 WAVE (IEEE 802.11p) 등의 무선 네트워크 기술이 편안하고 즐거운 운전을 위한 백본 네트워크를 제공한다. 하지만 본 논문에서는 이더넷을 기반으로 하는 차량 내 네트워크를 제안하며, 이더넷이 차량 내 네트워크로 적합한 이유를 살펴보도록 하겠다.

첫 번째로, 이더넷은 근거리 통신 영역에서 비교적 광대역의 통신 대역폭을 제공하고 있다. 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps 및 10Gbps 이더넷이 제공되고 있으며, 40Gbps 및 100Gbps 이더넷 표준이 준비 중에 있다. 두 번째로, 브릿지 장비를 이용해 충돌 도메인을 분리시켜 성능을 보장한다 [10]. 세 번째는, 기존의 인터넷 인프라가 대부분 이더넷을 기반으로 하고 있기 때문에 별도의 장비나 비용 없이 인터넷에 접속할 수 있다. 그 뿐 아니라, 설치가 간편하고 널리 사용되고 있는 기술이라 비용이 절약되며 기존의 잘 만들어진 응용 프로그램 및 관리 솔루션이 풍부한 장점을 갖는다.

이런 이유 때문에, 이미 항공 우주 시스템 및 군용 시스템에 이더넷이 새로운 네트워크 기술로 적용되어 상용화되고 있다. AirBus 사의 대형 여객기인 A380 및 차세대 스텔스 전투기인 F-35 등에 이미 적용된 AFDX기술이 대표적인 예라 하겠다.

최근의 고급 사양의 차량은 4 km 이상의 배선이 필요하다. 이는 1955년에 생산된 차량에 필요한 배선이 45 m 에 불과한 것과 비교해 100배 가량 늘어난 것이다. 또한, 1998년도 보도 자료에 의하면 모토롤라는 BMW의 4개의 문을 제어하기 위해 LAN을 설치하여 그 성능을 향상시키면서 동시에 15 kg 의 무게를 줄일 수 있었다 [5].

이더넷을 차량에 적용하기 위해서는 이 배선의 총량의 문제를 해결해야 한다. 별 모양의 이더넷은 배선의 길이가 많아지는 단점을 갖기 때문이다. 본 논문에서는 이런 점을 극복하기 위해서 MOST 및 공장 자동화를 위해 산업용 이더넷에서 적용하고 있는 링 토폴로지를 사용한다. 그림 2 에서처럼 차량 내 모든 부품들은 인접 부품과 연결되며 링을 구성한다.

2) COTS 란 개발 기간과 비용을 줄이기 위해서, 이미 개발되어서 충분히 검증된 안정된 시스템을 도입하여 시스템을 개발하는 것을 의미함.

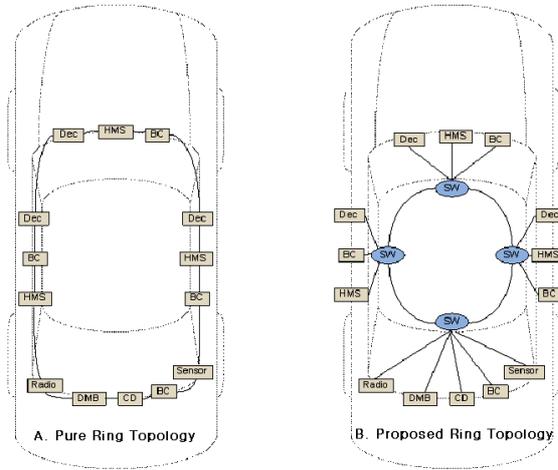


그림 2. 차량 내 네트워크 토폴로지.
Fig. 2. Topology of the In-Vehicle Network.

본 논문에서는 기존의 링 모양의 망 구성이 갖는 대역의 비효율성을 개선하기 위해서 그림 2의 우측 그림과 같은 망 구성을 제안한다.

기존의 이더넷 스위치를 사용하여 부품들을 연결시키고 각 스위치는 링을 구성한다. 이는 기존의 이더넷 스위치의 장점과 링의 장점이 발휘될 수 있는 구성이다. 스위치 간 링 구성은 특정 스위치가 고장이 나더라도 나머지 스위치들 간 통신 장애를 막을 수 있으며, 스위치를 통해 충돌 도메인을 분리시켜 전체 망의 대역폭 효율을 개선시킬 수 있다.

또한, 근접한 부품들 간 데이터 교환이 그렇지 않은 경우보다 빈번히 발생될 경우 전체 대역 효율이 향상된다. 뿐만 아니라, 기존의 MOST와 같은 링 구조는 모든 부품들이 동일한 속도를 지원하는 모뎀을 필요로 한다. 하지만 본 논문에서 제안하는 망 구성은 부품의 필요에 의해서 저속의 저가의 모뎀을 사용할 수도 있고 고속의 고가의 모뎀을 사용할 수도 있다. 스위치에서 이런 속도의 정합이 가능하기 때문이다. 이로써 부품에 필요한 모뎀의 불필요한 비용 증가를 막을 수 있다.

그림 3은 이더넷을 이용한 링 모양의 네트워크 구성 시 연결 예이다.

(A) 그림은 인접 부품과 송신 및 수신 케이블을 분리하여 연결하여 링을 구성한다. 이런 연결 구성을 위해서는 기존 RJ-45 커넥터의 변경이 요구된다. (B) 그림은 각 부품들이 2개의 이더넷 컨트롤러를 갖고 있으며 인접 부품들과 크로스 연결이 된다. 이와

같은 구성은 기존 커넥터를 그대로 사용 가능하다는 장점 뿐 아니라 이중 링 구성을 통해 신뢰성 있는 네트워크 구성이 가능하다.

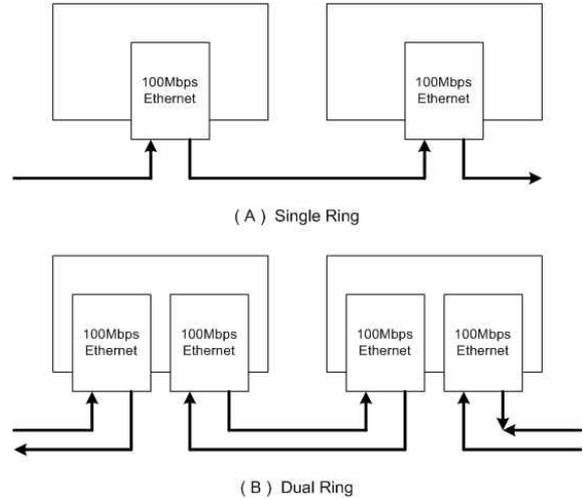


그림 3. 이더넷 연결.
Fig. 3. Ethernet Connection.

본 논문에서는 고려하지 않지만 "Powertrain" 과 "Chassis" 영역에 도입할 경우 가능한 망 구성이다.

본 논문에서 제안하는 차량 내 네트워크의 주요 용도는 "Body" 와 "멀티미디어"이다. 이 영역에서 발생하는 데이터는 "Body"영역의 제어 데이터와 "멀티미디어" 영역에 포함되는 QoS가 요구되는 멀티미디어 데이터와 그렇지 않은 인터넷 패킷 데이터로 구성된다. "Body"용 제어 및 모니터링 데이터와 QoS가 요구되는 멀티미디어 데이터는 Best-Effort 인터넷 패킷 데이터보다 높은 우선권을 갖고 전달되어야 한다. 현재 Residential Ethernet 혹은 synchronous ethernet 등의 기술로 L2 영역에서의 QoS 보장에 관한 연구가 한창이다. 본 논문에서는 이런 방법을 차량 내 네트워크의 백본 스위치 영역에 적용하고자 한다.

그림 4는 본 논문의 5장에서 구현한 시스템에서 적용한 간단한 트래픽 셰이퍼의 구조를 나타낸다.

두 개의 우선 순위를 제공하여 QoS를 보장한다. 긴급을 요구하는 "Body" 데이터와 QoS가 필요한 멀티미디어 데이터는 Sync 트래픽으로 간주되어 우선 순위 큐에 쌓이고 나머지 데이터는 일반 큐에 저장된다. 우선 순위가 요구되는 데이터와 그렇지 않은 데

이더를 구분하는 방법은 Ether-type, IP 주소, 포트 번호 등과 같이 다양하게 응용될 수 있다.

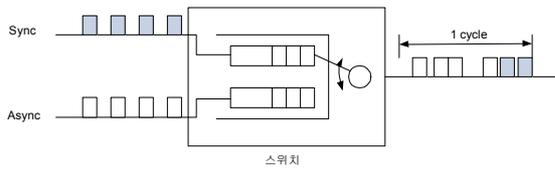


그림 4. 트래픽 셰이퍼.
Fig. 4. Traffic shaper.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 토폴로지의 네트워크와 MOST에 적용되고 있는 링 토폴로지 네트워크를 Network simulator 2 (ns-2)를 이용하여 각각 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션에 사용된 노드의 연결 구성은 그림 2와 같이 하였다. MOST의 경우는 10개의 부품이 링으로 구성되어 있고, 본 논문에서 제안하는 네트워크의 경우 4개의 백본 스위치와 10개의 부품들이 각각 스위치에 연결되었다.

본 논문의 시뮬레이션에서는 non-QoS 데이터를 대상으로 실험하였다. 트래픽 셰이퍼에 의해서 QoS 데이터를 보장되기 때문에 시뮬레이션에 제외시켰다. 토폴로지의 효율성을 측정하기 위해서 모든 데이터는 일반 데이터이고 서로 경쟁한다고 가정하였다.

각 링크는 128Kbps 대역을 갖는다. 이는 MOST 제어 채널의 대역을 참조하여 설정하였다. 그리고 스위치와 부품 간 링크는 full-duplex 연결이지만 스위치 간에는 simplex 연결로 링을 구성한다. 각 부품들은 32 바이트의 UDP 패킷을 주기적으로 발생시키도록 설정하였다.

그림 5와 그림 6은 두 가지 종류의 토폴로지에 대해서 트래픽 발생에 따른 패킷 지연 시간과 패킷 손실량을 시뮬레이션 한 결과이다.

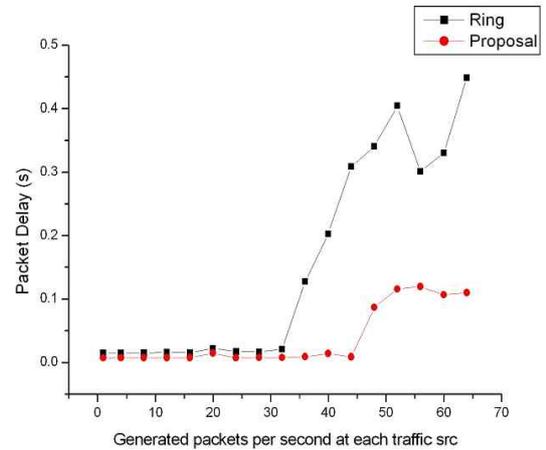


그림 5. 트래픽에 따른 패킷 지연 시간.
Fig. 5. UDP packet latency according to traffic.

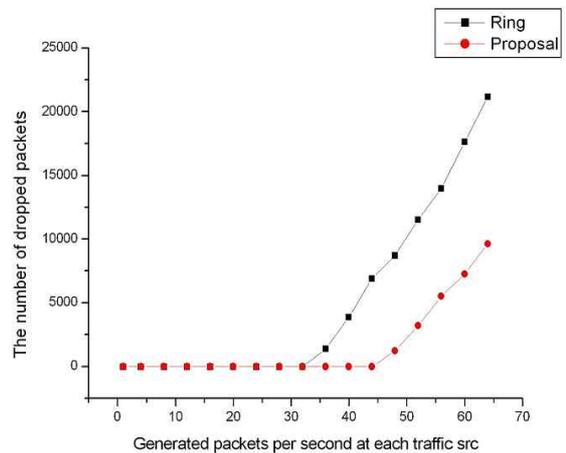


그림 6. 트래픽에 따른 패킷 손실.
Fig. 6. UDP packet loss according to traffic.

시뮬레이션 결과에 따르면 MOST와 같은 링 구조보다 본 논문에서 제안하는 구조가 33% 성능 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다. 이런 결과는 MOST와 같은 링의 경우 한 부품에서 발생한 패킷이 불필요하게 다른 부품들을 거쳐서 전달되어야 하기 때문에 생기는 대역의 비효율 때문이다.

V. 구현

본 논문에서 제안하는 이더넷을 이용한 링 형태의 차량 내 네트워크를 리눅스 브릿지와 PC를 이용하여 구현해 보았다. 망 구성은 그림 7과 같이 하였고 각 브릿지에는 그림 4와 같은 트래픽 셰이퍼를 구현하였다.

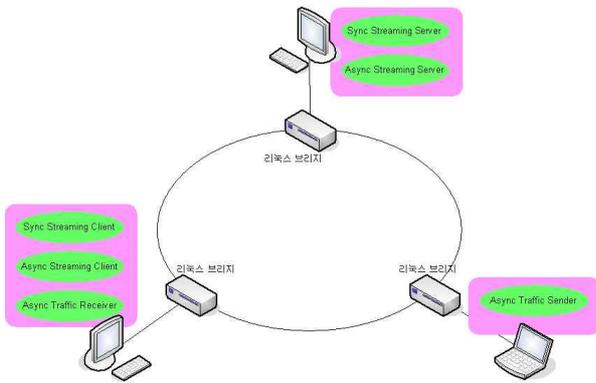


그림 7. 실험 네트워크 구성.
Fig. 7. Organization of the demonstration.



그림 8. 실험 영상 비교.
Fig. 8. Demonstration of two different traffics.

실험을 위해서 2 가지 종류의 비디오 데이터를 발생시켰다. 하나는 QoS가 지원되는 포트 번호를 사용하고 다른 하나는 다른 포트 번호로 설정하였다. 두 개의 스트리밍이 전송되는 도중에 UDPDump 프로그램을 통해 트래픽을 발생시키고 두 비디오 스트림의 수신 여부를 영상을 통해 확인하였다. 그림 8 의 왼쪽 영상은 QoS 지원 영상으로 UDPDump 프로그램에 동작 여부와 상관없이 잘 동작하고 오른쪽 영상은 UDPDump 동작 시 영상 데이터가 손실되는 것을 확인하였다.

VI. 결 론

COTS 이더넷은 산업 분야 및 항공 우주 분야에서 이미 검증된 신뢰할 수 있는 네트워크 기술이기 때문에 차량 내 “Body” 및 “멀티미디어” 영역을 담당하기에 충분하다.

특히, 본 논문에서 제안하는 토폴로지와 트래픽 관리 방법을 적용한다면 33% 성능 향상 뿐 아니라 QoS 보장이 가능하다.

그러므로 MOST에 비교해 가용 대역폭, 효율성, 설치 및 유지의 수월성 및 비용 등 대부분의 측면에서 우수하기 때문에 앞으로 차량 내 네트워크 기술로 이더넷이 널리 사용될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Birch et al., "Tech brief: High speed multiplexing," *Automotive Eng.*, vol. 101, no. 9, pp. 15-19, 1993.
- [2] F. H. Phail and D. J. Arnet, "In-vehicle networking - Serial communication requirements and directions," *SAE paper* 860.390, 1986.
- [3] Nicolas Navet, et. al., "Trends in Automotive Communication Systems", *Proc. of the IEEE*, vol. 93, no. 6, June, 2005.
- [4] MOST Cooperation Official. [Online]. Available: <http://www.mostcooperation.com>
- [5] Gabriel Leen and Donal Heffernan, "Expanding Automotive Electronic Systems," *Computer*, vol. 35, Issue 1, pp. 88-93, Jan., 2002.
- [6] C. Thiel and R. Konig, "Media oriented systems transport (MOST) standard for multi-media networking in vehicle environment", in *VDI Berichte*, vol. 1415, pp. 819-834, 1998.
- [7] Thomas Kibler, et al., "Optical Data Buses for Automotive Applications", *Journal of Lightwave Tech.*, vol. 22, no. 9, pp. 2184-2199, Setp. 2004.
- [8] Lothar Zier, et. al., "Ethernet-Based Public Communication Services: Challenge and Opportunity", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, Issue 3, pp 88-95, Mar., 2004.
- [9] Geon Yoon, et al., "Ring Topology-based Redundancy Ethernet for Industrial Network", *SICE-ICASE, 2006 International Joint Conf.*, pp. 1404-1407, 18-21 Oct., 2006.
- [10] Richardo Marau, et al., "Enhancing Real-Time Communication over COTS Ethernet Switches," *2006 IEEE International Workshop on Factory Comm. Systems*, pp. 295-302, June, 2006.

박 부 식 (朴富植)



1999년 2월 : 한국항공대학교 통신
정보학과(공학사)
2001년 8월 : 한국항공대학교 통신
정보공학과(공학석사)
2002년 1월~현재 : 전자부품연구원
전임연구원

관심분야 : In-Vehicle Network, VANET, 유무선 MAC

최 종 찬 (崔鍾讚)



1985년 2월 : 경희대학교 전자공학과
(공학사)
2002년 2월 : 서경대학교 VLSI(공학
석사)
2006년 2월 : 충북대학교 전자회로
및 통신공학(공학박사)
1985년 3월~1990년 10월 : 삼성 SDI

종합연구소

1992년 1월~현재 : 전자부품연구원 수석연구원

관심분야 : ITS, DSRC, 차세대 게임, 홈네트워크, RF

윤 종 호 (尹鐘浩)



1984년 2월 : 한양대학교 전자공학
과(공학사)
1986년 2월 : KAIST 전기 및 전자
공학과(공학석사)
1990년 8월 : KAIST 전기 및 전자
공학과(공학박사)
1992년 1월~현재 : 한국항공대학교

정교수

관심분야 : USN, WiMax, Ethernet, Security, XML