

논문 2017-54-6-13

자율주행형 다관절 차량용 이더넷 TCN의 최적 토폴로지에 대한 실험적 검증

(Experimental Verification of the Optimized TCN-Ethernet Topology
in Autonomous Multi-articulated Vehicles)

김 정 태*, 황 환 응**, 이 강 원*, 윤 지 훈***

(Jungtai Kim[Ⓒ], Hwanwoong Hwang, Kang-Won Lee, and Ji-Hoon Yun)

요 약

본 논문에서는 자율주행형 다관절 차량용 제어 시스템 구축 시 장치 간 네트워크로 이더넷 기반의 Train Communication Network(TCN)를 적용할 경우 적합한 네트워크 토폴로지를 제안하고 실험을 통하여 그 결과를 측정하여 검증한다. 케이블 수, 포트 수 등 구조적인 제한조건과 네트워크 응답시간, 최대 전송량 등 성능적인 제한조건을 고려하여 네트워크 토폴로지를 제안한다. 스타 토폴로지, 테이저체인 토폴로지, 그리고 이들을 절충한 하이브리드 토폴로지를 각각 적용하여 비교하며 본 논문에서는 특히 하이브리드 토폴로지의 적절한 구성을 위해 그룹으로 묶이는 노드 수를 구한다. 적절하게 노드의 그룹이 구성된 하이브리드 토폴로지는 본 논문에서 최적 토폴로지로서 제안하는 구조이다. 먼저 시뮬레이션을 통해 각각의 토폴로지 구성 시의 네트워크 성능에 대한 예상치를 도출하며 이 후 실제 장치를 연결하여 네트워크를 구현한다. 다양한 네트워크 성능 측정 프로그램을 이용하여 각 토폴로지에서의 성능을 측정하고 비교를 통해 제안한 방안의 우수성을 기술한다.

Abstract

In this paper, we propose a suitable network topology for the Ethernet based Train Communication Network (TCN) for control system in a autonomous multi-articulated vehicle. We propose a network topology considering the structural constraints such as the number of cables and ports, and the performance constraints such as network response time and maximum throughput. We compare the network performances of star topology and daisy chain topology as well as hybrid topology, which is proposed in previous studies and a compromise between daisy chain and star topology. Here, the appropriate number of nodes in a group is obtained for the configuration of the hybrid topology. We first derive estimates of the network performance through simulation with different topologies, and then, implement the network by connecting the actual devices with each network topology. The performance of each topology is measured using various network performance measurement programs and the superiority of the proposed topology is described through comparison.

Keywords : train communication network, network topology, multi-articulated vehicle, Ethernet

* 정회원, 한국철도기술연구원 광역도시교통본부(Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute)

** 학생회원, 서울과학기술대학교 전기정보공학과(Department of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

*** 정회원, 서울과학기술대학교(Department of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail : jtkim@krri.re.kr)

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Received : April 12, 2017

Revised : May 13, 2017

Accepted : May 25, 2017

I. 서 론

산업화, 도시화가 진행됨에 따라 다양한 형태의 교통수단에 대한 수요가 발생하였다. 다관절 차량은 버스와 기차의 중간의 형태를 지닌 교통수단으로 중소도시의 시내외 교통에 적합하다. 그림 1은 국내에서 개발되어 시범운행 중인 다관절 차량을 보인 것이다^[1]. 다관절 차량은 2~3량의 차량이 일렬로 연결되어 있는 구조를 갖는데 이로 인해 다양한 센서와 제어기의 연결에 고려해야 할 사항이 많다. 특히 자동화 수준이 높아짐에 따라 장착되는 센서와 제어기의 수 뿐만 아니라 주고받는 데



그림 1. 한국형 다관절 차량의 예 (바이모달트램^[1])
Fig. 1. An example of multi-articulated vehicle (Bi-modal tram^[1])

이더의 크기도 증가하여 적합한 네트워크 구조의 수립이 중요하게 되었다.

네트워크에 대한 중요성은 일반 차량에서도 대두되어 기존의 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), CAN(Controller Area Network) 등에 대한 구조 분석에 대한 연구도 있었으며^[2] 이들을 단일 통신 규격으로 통합하기 위한 연구도 있었다. 특히 이를 위한 규격으로 이더넷이 제안되었으며^[3] 이때의 성능^[4]과 네트워크 구조^[5]에 대한 연구도 수행되었다. 철도 차량에서는 네트워크 구조의 통일성과 호환성 등을 위해 TCN(Train Communication Network)이 제정되었는데^[6] 마찬가지로 이더넷을 기반으로 하는 진화된 표준^[7]이 제정되었고 따라서 스위칭 허브를 이용하여 적합한 토폴로지의 적용이 가능하게 되었다.

철도 차량과 마찬가지로 다관절 차량에서도 일렬로 연결되는 구조의 특수성이 있으며 네트워크 토폴로지 구성 시 이를 반영하여야 한다. 이를 위해 하이브리드 네트워크 토폴로지가 제안되었는데^[8] 이는 높은 성능을 나타내는 스타 토폴로지와 구조적 효율성을 보이는 데이지체인 토폴로지를 절충하여 단순한 구조를 유지하면서도 성능을 높임으로써 철도차량에 적합하도록 한 토폴로지이다. 하이브리드 토폴로지에서는 각 차량을 적절한 수의 그룹으로 묶고 그룹 내의 연결은 스타 토폴로지를, 그룹 간의 연결은 데이지체인 토폴로지를 적용한다^[9]. 이를 통해 통신 성능(대역폭, 응답시간)을 유지하면서 스타 토폴로지의 단점인 차량 간 연결 케이블의 수가 증가하는 문제점을 해결할 수 있다.

시스템 설계와 제작을 고려하여 적합한 하이브리드 토폴로지를 적절하게 구성하기 위해서는 그룹 내 차량의 수를 적절히 선정해야 한다. 이에 대하여 각각 철도 차량에 대한 최적화^[9]와 다관절 차량에 대한 최적화^[10]

에 관한 연구가 있다. 여기에서는 시스템 설계 초기 단계에서 각 노드 간 데이터 전송량이 동일하다고 가정하고 기본적인 구성에 대한 관계식을 도출하였다. 그러나, 실제 시스템에 적용하기 위해서는 각 제어기와 센서의 데이터 전송량을 예측하고 측정된 후 이를 바탕으로 적합한 구조를 제안하고 구현, 측정하여 이를 검증하여야 한다.

본 논문에서는 실제 시스템에서 하이브리드 네트워크 토폴로지를 적용하기 위한 방안과 우수성에 대한 검증 내용을 기술한다. 이를 위해 먼저 II장에서는 시스템 구성과 각 장치의 데이터 전송 특성에 대하여 기술하고, III장에서 각각 데이지체인 토폴로지, 스타 토폴로지, 하이브리드 토폴로지 기반의 구조를 제안하고 이에 대한 성능 시뮬레이션을 수행한다. IV장에서는 각 장치를 실제로 연결하고 통신 성능을 측정함으로써 이에 대한 검증을 수행하며, 끝으로 V장에서 결론과 추가 연구 사항을 제시한다.

II. 시스템 구성

1. 시스템 구성요소

본 연구의 대상이 되는 시스템은 다관절 차량용 종합 제어장치이다. 그림 1의 다관절 차량에는 외산 제어장치가 장착되어 있으며 이에 대한 국산화 개발이 진행되고 있다. 개발 중인 제어장치는 기능상 다음과 같은 세 가지의 장치로 나눌 수 있다.

(1) COU(Central Operation Unit)

차량의 주요 제어를 담당하는 장치로 각종 장치의 제어와 인터페이스를 담당한다. 대부분의 각 장치와의 인터페이스는 TOU(Terminal Operation Unit)를 통해 수행된다.

(2) DIU(Display Unit)

운전자와의 인터페이스를 담당하는 장치이며 각종 장치의 상태를 화면에 표시하고 운전자로부터 (또는 운전자의) 제어명령을 받아 COU에 전달한다. 화면 표시장치를 제외한 나머지 하드웨어는 COU와 동일한 사양을 가지고 있으며 COU 불능 시 대체하여 동작하는 역할도 수행한다.

(3) TOU(Terminal Operation Unit)

입출력을 담당하는 장치이며 이더넷으로 연결되지 못하는 각 센서나 제어기, 장치 등을 연결하는 역할을

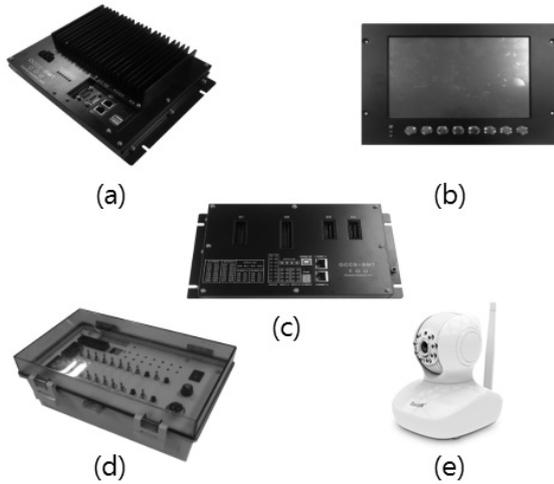


그림 2. 다관절 차량용 제어장치의 구성요소 ((a): COU, (b): DIU, (c): TOU, (d): IO시험기, (e): CCTV)
 Fig. 2. Components in the control assembly for a multi-articulated vehicle ((a): COU, (b): DIU, (c): TOU, (d): IO Tester, (e): CCTV)

수행한다. 이러한 장치들에는 제동장치, 추진장치, 속도 센서 등이 있다.

이외에 자율주행을 위해 CCTV가 장착되는데 TOU에 연결되지 않고 스위칭허브를 통하여 직접 DIU에 연결된다. 이는 전송속도와 전송대역폭을 고려하여 실시간 화상 정보를 DIU에 전시하기 위함이다. 이 밖에 실제 다관절 차량에 장착되는 각종 장치들을 모의하기 위하여 IO 시험기를 제작하였다. 그림 2에 각 장치들의 외관을 나타내었다.

2. 데이터 전송 특성

대상 시스템에는 총 9개의 TOU가 있으며 무부하 상태 시 15B(바이트)의 데이터를 5초 주기로 전달한다. 두 개의 CCTV에서는 각각 FullHD의 영상을 30 fps로 전달하는데 이를 영상 압축 없이 전송한다고 하면 119 MB/s의 대역폭이 필요하게 된다(8비트 데이터 형식 사용)^[11]. 그러나 이러한 데이터 전송량은 시스템에 많은 부하를 주므로 영상 압축, 비디오 코딩 제어 등 CCTV에서 지원하는 여러 기능을 이용하여 약 8 Mbps로 요구 대역폭을 저감하였다. 그러나 이 정도 대역폭으로 줄였어도 CCTV에 의해 발생하는 통신 부하는 TOU에 의한 부하보다 10^6 배 이상 크다. 이러한 데이터 전송 특성으로 인하여 TOU와 COU, DIU 간 데이터 전송 시 지연이 발생할 수 있다. 따라서 먼저 CCTV에서 발생되는 데이터를 고려하여 CCTV와 DIU를 직접 연결하고 COU, DIU, TOU간 연결은 각각의 대표적인 토폴로

지를 적용하여 연결하였다. 이에 대한 세부 구성은 다음 절에서 기술한다.

III. 네트워크 토폴로지 및 성능 시뮬레이션

1. 네트워크 토폴로지 구성방안

대상 시스템에 적용하기 위한 네트워크 토폴로지는 기존의 데이지체인 토폴로지와 스타 토폴로지, 하이브리드 토폴로지이다. 이 때, 하이브리드 토폴로지는 스타 토폴로지로서 우선 연결할 그룹 내의 TOU의 수를 선정하는 것이 중요하다. 이와 관련된 연구로는 Kim^[9]과 Kim^[10]이 있는데 본 시스템과 같이 다관절 차량을 대상으로 한 것은 Kim^[10]이나 중앙 제어기가 하나만 있을 경우 해당하는 것은 Kim^[9]이다. 이 때, Kim^[9]에서는 열차 내 각 차량에 스위칭허브가 있다고 가정하였는데 여기에서는 스위칭허브가 TOU에 해당하며 TOU 하위에 각종 장치가 연결된다.

본 다관절 차량에서도 제어기가 하나이므로 Kim^[9]에서 제시한 케이블 수 및 거치는 노드 수에 대한 비용함수를 적용한다. 이는

$$C_{CP} = C_C + C_P \\ = W_C \cdot M + W_P \cdot \frac{1}{2N} (NG - RG + 5N + R - 4) \quad (1)$$

로 정의하였는데 여기서 W_C 와 W_P 는 각각 연결에 사용되는 최대 케이블의 수와 전송 시 거치는 노드의 수에 대한 가중치이고, N 은 전체 차량의 수(여기에서는 TOU의 수)이며 R 은 $N+R$ 이 그룹 내 노드의 수 M 의 배수가 되도록 하는 수이다. 이를 G , 즉 그룹 내 TOU의 수에 대하여 최적화하였고 이 수식은 다음과 같다.

$$\widehat{G}_{\min} = \sqrt{2 \frac{W_C}{W_P} \cdot (N+R)} \quad (2)$$

이 때, \widehat{G}_{\min} 은 비용함수를 최소화 하는 그룹의 개수이다. R 은 G 에 따라 달라지므로 G 를 구하기 전에 알 수 없지만 Kim^[9]에서는 처음에 0으로 가정하고 재귀적으로 구하는 방법을 제안하고 있다.

식 (2)를 이용하여 최적의 G 값을 도출하면 2가 되며 이 때 그룹 내 노드의 수 M 은 5가 된다. 여기서, W_C 와 W_P 는 각각 1과 5로 설정하였다. 이는 차량 별로 스위칭허브가 있고 각각의 연결에서는 철도차량 연결기를 사용하는 것이 아니라 다관절 차량 내에서 노드(TOU)를 적절히 배치하고 관절 부분의 연결만 고려하면 되므

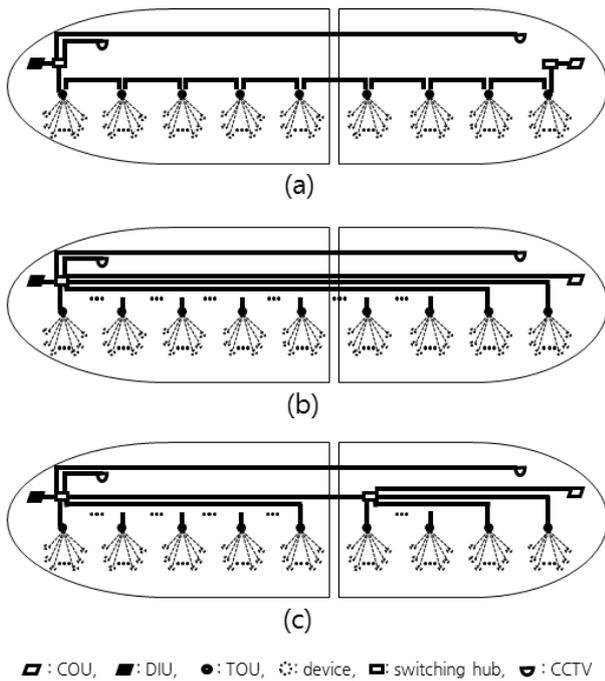


그림 3. 다관절 차량 대상 제어장치용 네트워크 토폴로지 구성방안 ((a): 데이지체인, (b): 스타, (c): 하이브리드)

Fig. 3. Network topologies for target control system in the multi-articulated vehicle ((a): daisy-chain, (b): star, (c): hybrid)

로 케이블의 수에 대한 가중치가 상대적으로 작기 때문이다.

앞에서 구한 최적의 하이브리드 토폴로지 구성방안 ($M=5$)을 데이지체인 토폴로지 및 스타 토폴로지와 함께 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 COU와 DIU를 네트워크의 양 끝단에 배치한 것을 확인할 수 있는데 이는 제어시스템을 분산형으로 설계하였기 때문이며 또한 양단에서 네트워크 성능 테스트를 수행하기 위함이다. 실제 차량에서는 제어시스템의 설계 및 구현이 집중형 시스템 혹은 분산형 시스템인가에 따라 COU와 DIU를 같은 차량에 배치할 수도 있고 분리하여 다른 차량에 배치할 수도 있다. 또한 앞에서 기술한 바와 같이 CCTV에서 DIU로 전송되는 데이터양이 많으므로 허브를 통해 바로 연결되도록 하였다.

2. 성능 시뮬레이션

이 절에서는 각각의 토폴로지에 대하여 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 예측해 본다. 시뮬레이션 도구로는 NS-2를 사용하였는데 이는 오픈소스 기반의 네트워크 시뮬레이터로써 라우팅 및 프로토콜에 대한 시뮬레이션을 손쉽게 할 수 있다^[12]. 앞에서 기술한 세 가지 방안

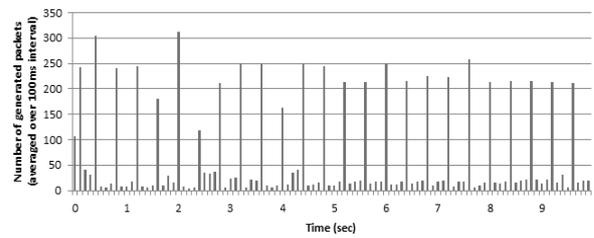


그림 4. 샘플 비디오의 시간 별 패킷 생성량

Fig. 4. Number of generated packets in the sample video file per time.

표 1. 시뮬레이션을 통한 전송 지연시간 예측치(ms)

Table1. Expected transmission delay(ms) by simulation.

Node	Daisy-chain	Star	Hybrid
DIU	3.85348	3.120372	3.191384
TOU1	3.07976	3.082393	3.085723
TOU2	3.162177	3.089403	3.095072
TOU3	3.263952	3.11853	3.121925
TOU4	3.2992	3.078852	3.08274
TOU5	3.412343	3.117885	3.12318
TOU6	3.464676	3.097512	3.177678
TOU7	3.541566	3.099853	3.180521
TOU8	3.604058	3.0906	3.168398
TOU9	3.726938	3.138251	3.22071
CCTV1	24.39263	23.94292	24.39262
CCTV2	24.51033	24.06062	24.51032
Avg.	11.21781	10.83864	11.03117
Avg. of control/sensing signals	3.440815	3.103365	3.144733

의 토폴로지에 대하여 CCTV 데이터 전송에 따른 COU 및 TOU 간 전송 지연시간의 예측값을 구한다.

CCTV에서 생성되는 영상 데이터는 영상 내용에 따른 압축 효율에 따라 데이터 생성량이 변하게 된다. 여기에서는 샘플 비디오 영상을 활용하여 CCTV에서 발생하는 영상 데이터를 모의하였다. 장착되는 시스템의 환경과 유사한 환경이 되도록 복도형 상점의 CCTV 데이터를 활용하였으며 그림 4에 시간에 따른 패킷 생성량을 나타내었다.

표 1은 각각의 토폴로지에 대하여 각 노드에서의 전송 지연시간 평균을 나타낸 것이다. 전체 노드 간 평균을 비교하면 스타 토폴로지, 하이브리드 토폴로지, 데이지체인 토폴로지 순으로 전송 지연 시간이 짧은 것을 알 수 있다. 데이지체인 토폴로지 및 하이브리드 토폴로지의 경우 전송 단계가 많은 노드의 경우 지연시간이

길어지기 때문이다. 표 1에서 TOU~9는 그림 3의 TOU 중 오른쪽부터 순서대로 왼쪽으로 배치되었음을 유의하여야 한다. 여기서는 편의상 COU와 가까운 순서에 따라 번호가 매겨졌으며 실제 시스템에서는 일반적으로 차량 내 배치 순서에 따라 번호가 매겨진다. 전체 지연 시간 중 CCTV에서의 지연 시간이 큰데 이는 데이터 사이즈가 커서 전송 시작부터 완료까지 시간이 많이 소요되기 때문이다. 이를 제외한 제어 및 센서 신호만의 지연 시간을 비교할 경우 하이브리드 토폴로지와 스타 토폴로지 간의 지연시간 차이가 단축되며 이는 약 1.3%에 불과하다.

그림 5와 6은 각각 해당 토폴로지에서 노드 별 전송 지연시간의 평균/표준편차 및 누적 분포를 나타낸 것이다. 분포의 특징으로는 그림 5에서 보인 바와 같이 표준편차가 평균에 비하여 크며, 그림 6에서 보인 바와 같이 약 60%의 확률로는 2ms 이내의 짧은 지연시간으로 전송이 이루어지나 전송 지연 시간이 20ms를 초과하는 경우도 약 20% 있는 등 균일하지 못하다는 점이 있다. 이는 CCTV에서의 패킷 데이터 생성량(그림 4)이 균일하지 않으며 이에 따라 전송 시 CCTV 데이터 전송과의 간섭이 균일하지 않게 이루어지기 때문이다.

IV. 실험 및 측정

각각의 토폴로지 별로 네트워크 성능을 측정하여 비교해 본다. 여기에서 네트워크 성능 측정방법으로 ping과 iperf를 사용하여 그 결과를 지표로 삼았다. Ping은 호스트에서 목적지에 IP(Internet Protocol) 방식으로 도달할 수 있는가를 확인하는 것으로 호스트에서 목적지에 메시지를 보내고 그 대답이 돌아오는 시간을 측정하여 그 결과를 나타낸다. 그런데 기본 ping은 ms 단위로 반응시간이 측정되므로 정밀한 측정을 위해 상용 프로그램인 hrping을 사용하였다. Hrping은 cfo software에서 제작한 프로그램이며 에코 메시지 등에 관하여 여러 설정을 할 수 있고 응답시간도 μs 단위로 측정되어 보다 정밀한 값을 확인할 수 있다^[13].

Ping 외에도 iperf를 사용하여 성능을 측정하였는데 iperf는 이더넷 네트워크 상 달성 가능한 최대 전송량을 측정하는 프로그램이다^[14]. Iperf는 서버와 클라이언트를 측정하고자 하는 네트워크의 노드 양 단에 설치한 후 실행하여 네트워크 성능을 확인 할 수 있다.

본 실험에서는 앞에서 제시한 3가지 네트워크 토폴로지의 성능을 비교하는 것으로 하며 이 때 기준이 되

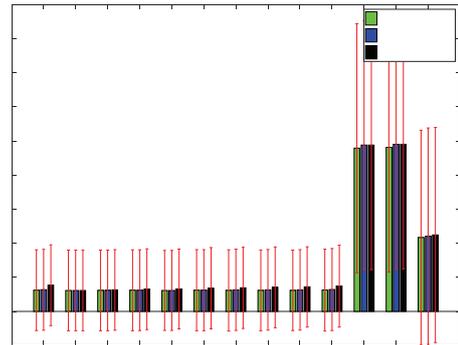


그림 5. 각 토폴로지에 대한 노드 별 전송 지연시간 분포 (평균 및 표준편차)
 Fig. 5. Distribution of transmission delays for each node for star, hybrid, and daisy-chain topology (averages and standard deviations)

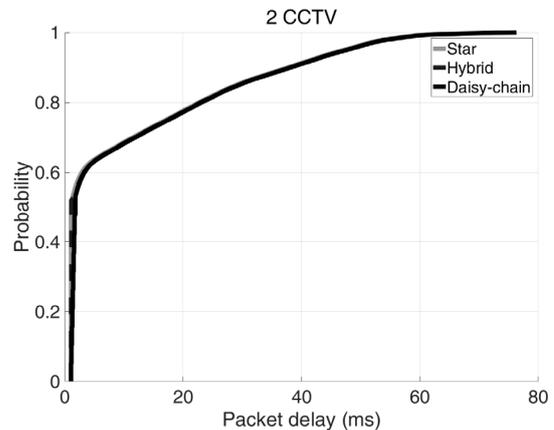


그림 6. 각 토폴로지에 대한 노드 별 전송 지연시간의 누적 분포
 Fig. 6. Cumulative distribution function of transmission delays for each node for star, hybrid, and daisy-chain topology.



그림 7. 시험 환경 사진: 시험 치구 및 각 구성요소 (COU, DIU, TOU, CCTV)
 Fig. 7. Picture of test environment: Test Jig and network components(COU, DIU, TOU, and CCTV)

는 링크는 COU와 DIU 사이의 링크로 선정하였다. 입출력 기능을 담당하는 TOU에 비해 COU와 DIU는 상호 데이터 백업 및 임무 분담, 유사시 임무 전환 등으로 데이터 전송이 빈번하게 일어나기 때문이다. 그림 7은 시험 환경을 나타낸 것인데 제어장치의 각 구성 요소(COU, DIU, TOU 등)들이 시험 치구에 장착되어 있다.

표 2. 각 토폴로지별 네트워크 성능 측정결과
Table2. Measurement of network performances for different topologies.

Features		Daisy-chain	Star	Hybrid
No. of cables	Total(N_T)	14	13	14
	Inter-vehicle(N_I)	2	6	2
No. of ports needed in a device	Max(P_{max})	2	1	1
No. of maximum nodes intervening(N_{max})		11	1	2
Response time(ms)	Max(T_{max})	55.275	20.110	21.256
	Min(T_{min})	1.346	1.308	1.682
	Avg(T_{avg})	3.847	2.270	2.628
	Std. Dev. (σ_T)	10.086	3.500	3.654
Maximum Throughput (Mbps, MT)		94.7	95.0	94.9
Cost function ($C_{CP} = W_C N_I + W_P T_{avg}$)		21.235	17.35	15.14

시험 치구는 네트워크 토폴로지를 용이하게 변경할 수 있도록 하는 기구물로서 이를 통해 각 장치를 적합한 위치에 장착하고 장치 간 네트워크 연결과 해제를 쉽게 할 수 있다.

표 2는 세 가지 네트워크 토폴로지에 대한 케이블 연결 특성과 응답시간, 최대 전송량 측정 결과를 기술한 것이다. 표 2에 정리된 네트워크 성능을 보면 전송 시 거치는 노드의 수에 비례하여 응답시간의 최대값이 차이가 남을 알 수 있다. Ping 응답은 처음에 ping 메시지를 보냈을 때 최대 지연시간이 발생하는데 이는 링크에 대한 정보가 없는 상태에서 처음 링크를 형성하는데 시간이 많이 소요되기 때문이다. 즉 IP주소로 메시지가 나가면 이를 유효한 물리적 노드로 매칭하는 과정이 필요한데 이를 ARP(Address Reduciton Protocol)라 한다. 이에 반하여, 평균 응답시간이나 전송량은 거치는 노드

의 수가 많아질수록 영향을 받긴 하나 그 크기가 최대 응답시간만큼 크지는 않다. 이는 일단 링크가 형성된 후의 메시지 전송에는 거치는 노드의 수 외에도 메시지 생성, 해석, 응답 등 다른 작업에 시간이 소요되기 때문이다. 표 1의 시뮬레이션 수치와 비교하면 구체적인 값은 약간 차이가 있으나 토폴로지 간 성능의 추세를 동일함을 알 수 있다. 수치가 차이가 발생하는 것은 CCTV 데이터 및 각 장치 내부에서의 데이터 처리 시간에 대한 설정 값에 차이가 있기 때문이라 사료된다.

식 (1)에서 네트워크 성능의 지표로 삼은 것은 전 TOU와 COU 간의 전송에 있어서 중간에 거치는 노드의 수의 평균이다. 그러나, 실험에서는 양단간의 주요 장치(DIU, COU) 간의 통신 성능을 측정하였으므로 동일하게 대입하여 비교하기 어렵다. 다만, 평균 응답시간을 성능 지표로 간주하고 앞에서의 가중치 값($W_C=1$, $W_P=5$)을 대입하여 비용함수를 계산하였을 경우 기존 연구에서 제안한 바와 같이 하이브리드 토폴로지가 최소의 비용함수 값을 나타냄을 확인할 수 있다.

시스템 부팅 시간과 최대 전송량에 대한 제한이 크지 않을 경우 데이지체인 토폴로지도 케이블 구성 면에서 좋은 대안이 될 수 있다. 그러나 이 경우 TOU에 2개의 네트워크 포트를 마련해야 하므로 TOU의 크기 및 역할 등도 같이 검토하여야 한다.

이러한 사항을 종합하여 고려할 때, 하이브리드 네트워크 토폴로지는 케이블 수나 포트의 수, 전반적인 네트워크 성능 면에서 전반적으로 좋은 특성을 나타내며 그림 3에서 보인 바와 같이 차량의 형상에 따른 각 장치의 배치하고도 부합하므로 대상이 되는 다관절 차량의 네트워크 구조로 적합하다.

V. 결론 및 추가 연구

본 연구에서는 다관절 차량의 제어 시스템에서의 최적 네트워크 토폴로지를 제안하고 실험을 통하여 이를 검증하였다. 대표적인 토폴로지인 데이지체인 및 스타 토폴로지와 함께 기존에 제안되었던 하이브리드 토폴로지를 비교하였으며 이 때 해당 시스템에 맞게 적절한 하이브리드 토폴로지의 구조를 도출하였다. 시뮬레이션을 통하여 토폴로지 간 성능의 추세를 확인하였고 실험을 통하여 결과와 함께 제안하는 토폴로지의 우수성을 검증하였다. CCTV 패킷이 균일하지 않음에 따라 전송 지연시간이 편차가 크게 되는데 이를 보완하는 것과 실제 다관절 차량에 탑재하여 운행 시 제어 시스템이 잘

동작하는 지 확인하고 보완하는 것은 추가적으로 연구를 수행하여야 할 부분이다.

REFERENCES

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Phileas_\(public_transport\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phileas_(public_transport))
- [2] Y. G. Bae, et. al., "Implementation of Node Mapping-based FlexRay-CAN Gateway for In-vehicle Networking System", Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 19, No. 6, pp. 37-45, Nov. 2011.
- [3] P. Hank, et. al., "Automotive Ethernet: In-vehicle Networking and Smart Mobility," in Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, pp. 1735-1739, 2013.
- [4] H. T. Lim, K. Weckemann, and D. Herrscher. "Performance Study of an In-car Switched Ethernet Network Without Prioritization." Communication Technologies for Vehicles. Springer Berlin Heidelberg, pp. 165-175, 2011.
- [5] O. Vermesan et al., "Advanced Electronic Architecture Design for Next Electric Vehicle Generation," Springer Lecture Notes in Mobility, pp. 117-141, 2015.
- [6] IEC 61375-2-1 Electronic railway equipment - Train Communication Network (TCN) - Wire Train Bus, Jun. 21. 2012.
- [7] IEC 61375-1 Ed.3: Electronic railway equipment - Train communication network - Part1: TCN - Train Communication Network General Architecture, Jun. 21. 2012.
- [8] H. Hwang et al., "Analysis of Network Topology for Distributed Control System in Railroad Trains," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 52, No. 10, pp. 21-29, Oct. 2015.
- [9] J. Kim et al., "Study on the Optimization of Hybrid Network Topology for Railway Cars," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers Vol.53. No. 4, pp. 27-34, 2016.
- [10] J. Kim et al., "Optimization of TCN-Ethernet Topology for Distributed Control System in Railway Vehicles," Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers Vol.53. No. 9, pp. 38-45, 2016.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Uncompressed_video
- [12] Information Sciences Institute, "The Network Simulator-ns-2," University of Southern California, 2010.
- [13] T. Fortunato, "Using hrPING v3.12", The technology firm, 2011
- [14] A. Tirumala, T. Dunigan, and L. Cottrell. "Measuring end-to-end bandwidth with Iperf using Web100." Presented at. No. SLAC-PUB-9733. 2003.

저 자 소 개



김 정 태(정회원)
1997년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업.
1999년 서울대학교 전기공학부 석사 졸업.
2011년 KAIST 전기및전자공학과 박사 졸업.

1999년~2012년 (주)LIG넥스원 수석연구원.
2012년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원.
<주관심분야: 열차제어, 신호처리, 임베디드시스템>



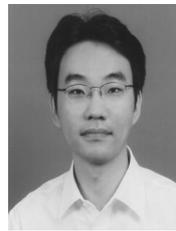
황 환 응(학생회원)
2014년 서울과학기술대학교 전기정보공학과 학사 졸업.
2016년 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사 졸업.
2016년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 박사 과정

<주관심분야: 데이터네트워크>



이 강 원(정회원)
1995년 충북대학교 전기공학과 학사 졸업.
2000년 충북대학교 전기공학과 석사 졸업.
2005년 충북대학교 전기공학과 박사 졸업.

2003년~현재 한국철도기술연구원 책임연구원.
<주관심분야: 철도차량용 제어기 설계, 고전압 신호처리>



윤 지 훈(정회원)
2000년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업.
2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사 졸업.
2007년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사 졸업.

2007년~2009년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원.

2009년~2010년 미시건대학교 박사후연구원.
2010년~2012년 금오공과대학교 조교수.
2012년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 부교수.

<주관심분야: 통신망 설계, 무선통신>