

논문 2016-53-2-2

# 철도 차량을 위한 제어용 통신망에서 링크 장애 시 딜레이 보상 기법

## ( Delay Compensation Mechanism for a Link Failure in Control Networks of Railway Vehicles )

황 환 응\*, 김 상 현\*, 윤 지 훈\*\*

( Hwanwoong Hwang, Sanghyun Kim, and Ji-Hoon Yun<sup>Ⓞ</sup> )

### 요 약

철도 차량 내 전자 장치 연결의 높은 안정성을 위해 제어망은 링크 장애 발생 시에도 장치의 계속된 연결을 지원할 수 있어야 한다. 본 논문은 철도 차량용 이더넷 기반 제어망에서 링 토폴로지 적용 시 링크 장애가 발생하면 노드 위치에 따라 급격한 전송 딜레이 변화가 발생함을 보인다. 이 문제를 해결하기 위해, 장치별 딜레이 증가를 감안한 포워딩 우선순위를 설정하는 기법과 백업용 버스 망을 두어 장애 발생 시 일부 노드를 선택적으로 버스 망으로 스위칭 시키는 토폴로지 스위칭 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가에서, 포워딩 우선순위를 설정하는 기법은 큐잉 딜레이의 보상만 가능하여 제한된 효과를 얻는 반면, 토폴로지 스위칭 기법은 링크 수에 따른 딜레이 증가 측면에 대해 충분한 성능 개선이 있음을 보인다. 또한, 토폴로지 스위칭 기법의 딜레이 성능과 패킷 손실율은 버스 망에 연결된 노드 수에 영향을 받는 것을 보인다.

### Abstract

For higher reliability against a link failure of a control network in railway vehicles, a recovery mechanism is needed. We introduce a problem that, when a link failure occurs in a ring-topology control network, a node may experience a significant increase of transmission delay depending on its relative position within the network. We then propose two mechanisms to solve this problem: (1) differentiating and prioritizing node traffic in forwarding; and (2) switching some nodes to a backup bus-topology network. Our simulation study shows that, while the first mechanism achieves a limited gain by only compensating queuing delay, the second one gets a sufficient gain which is impacted by the number of nodes switched to the bus network.

**Keywords :** railway vehicles network, link failure, recovery, network topology, distributed control system

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

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

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: jhyun@seoultech.ac.kr)

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다(2015-1439).

Received ; November 26, 2015      Revised ; January 11, 2016

Accepted ; January 20, 2016

## I. 서 론

철도 차량에 분산되어 있는 많은 전자 제어장치를 차량의 운전실에서 관제하기 위해서는 중앙 장치와 분산 제어장치 간의 연결 및 데이터 교환이 필요하다. 이를 위해 제어용 네트워크 기술로서 널리 쓰이고 있는 CAN(Controller Area Network)<sup>[1]</sup>이나 철도 차량용 제어 네트워크 기술인 TCN(Train Communication Network)<sup>[2]</sup>을 사용할 수 있다. 하지만, 보다 높은 대역폭을 통해 폭넓은 종류의 데이터 전송을 수용하고 토폴로지 구성

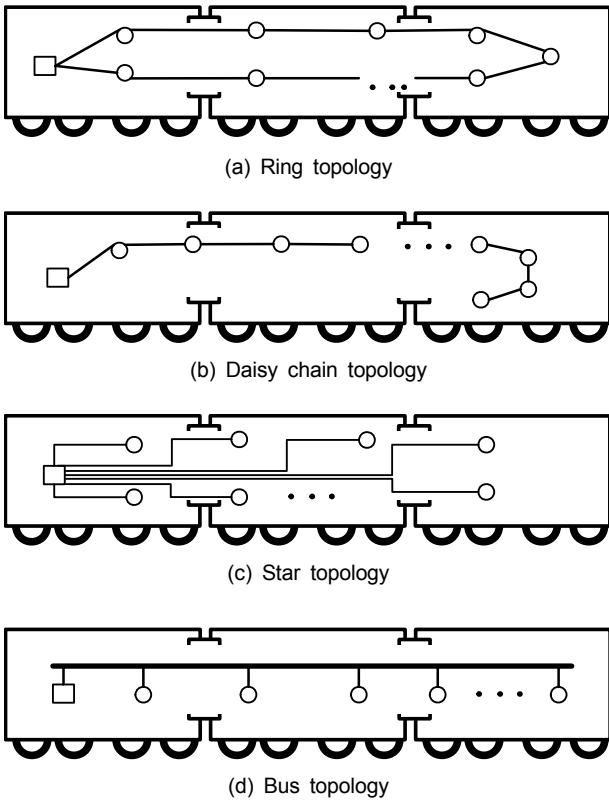


그림 1. 철도차량 제어망 토폴로지(○: 말단 제어장치, □ : 중앙 제어장치)  
Fig. 1. Illustration of in-vehicle network topologies (○: terminal operation unit, □: central operation unit)

등에서 유연성을 확보하기 위해 이더넷(Ethernet) 네트워크를 도입하는 것도 고려될 수 있다.

한편, 철도 차량은 연결기(coupler)를 통해 앞/뒤 차량과 서로 연결된다. 이를 통해 곡률을 갖는 철로를 운행할 수 있고, 또 차량의 탈부착이 가능해진다. 하지만, 운행 시에는 연결기에 상당한 충격과 진동이 가해지므로, 제어망 접속 포트, 케이블 등에 손상이 발생해 링크 연결이 끊기거나 불안정해질 가능성이 높다. 뿐만 아니라, 고온/고습 환경, 극심한 온도 변화에 제어장치가 노출되므로 트랜시버 등의 전자칩이 손상되어 일부 링크가 장애를 일으킬 수 있다. 따라서, 철도 차량용 제어망은 동작 중 발생할 수 있는 링크 장애를 복구하여 장치 간 계속된 연결을 제공할 수 있어야 한다.

철도차량의 제어망 구성을 위한 토폴로지로는 대표적으로 링, 데이지체인, 스타, 그리고 버스가 있을 수 있고(그림 1), 토폴로지 별로 장애 복구 관점에서 차이를 보인다. 스타 토폴로지는 스위치 노드에 다른 노드들이 연결되는 구조로 하나의 말단 노드에 문제가 발생해도 망 전체가 영향을 받지 않는 반면, 스위치 노드에 문제

가 생기면 전체 망이 불능이 될 수 있다. 링 토폴로지의 경우 링크에 장애가 발생하더라도 반대 방향 연결을 통해 모든 노드가 서로 간의 연결을 유지할 수 있다. 반면, 데이지체인 토폴로지는 노드 간 데이터 교환을 위한 경로가 한 방향만 존재하므로 장애가 발생한 노드의 위치에 따라서 전체 망의 연결이 큰 영향을 받는다. 버스 토폴로지는 노드에 장애가 발생하더라도 나머지 노드들은 정상적으로 통신을 할 수 있다. 하지만, 연결 노드들이 전송 매체를 공유하므로 트래픽 양이 증가할수록 전송 효율이 떨어지는 단점을 갖는다.

본 논문은 철도차량의 제어망을 위해 링 토폴로지 이용 시, 링크 장애 발생에 따른 딜레이 변동 문제를 제시한다. 그 후, 이를 해결하기 위해 (1) 장치별 딜레이 보상 포워딩을 수행하는 기법과 (2) 백업용 버스 망을 두어 장애 발생 시 일부 노드를 선택적으로 망 간에 스위칭시키는 토폴로지 스위칭 기법을 제안하고, 각 기법의 성능을 제시·분석한다. II장에서는 관련 연구를 소개하고, III장에서는 링 토폴로지에서 링크 장애 발생 시 딜레이 변동 문제점을 제시한다. IV장에서는 제안하는 해결 기법들을 기술하고, V장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 기법들의 성능을 분석한다. 끝으로 VI장에서 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

철도 차량의 제어망을 위해 설계된 TCN과 관련하여 망설계 기법에 관한 연구<sup>[3]</sup>, 전송속도 향상을 위한 연구<sup>[4]</sup>, 시뮬레이션 성능 평가<sup>[5]</sup> 등이 일부 이루어졌다. 또, 철도 차량에 이더넷망 도입시 토폴로지에 따른 전송 성능 비교·분석과 차량 간 연결링크 수 제한을 위한 하이브리드 토폴로지가 제안되었다.<sup>[6]</sup>

자동차 내 네트워크를 위한 연구는 보다 폭넓게 이루어졌고, 최근에 들어서 전자 장치의 연결을 이더넷망으로 통합하기 위한 연구도 시작되었다. 자동차 내에는 다양한 네트워크 기술이 혼재되어 있으므로 이더넷망이 도입되어 이들을 통합할 경우 성능, 연결성, 가격, 케이블링 등 여러 면에서 큰 장점을 갖게 된다. 이러한 연구의 일환으로, 토폴로지 구성과 패킷 우선순위 조절을 통한 전송품질 보장 연구<sup>[7]</sup>, 차량용 이더넷망의 실시간성 연구<sup>[8]</sup>와 이더넷 시스템에서 전송지연을 줄이기 위한 연구<sup>[9]</sup> 등이 이루어졌다.

하지만, 철도 차량을 위한 제어망과 장애 발생 시에 복구 방법에 대한 연구는 부족한 상황이고, 자동차용

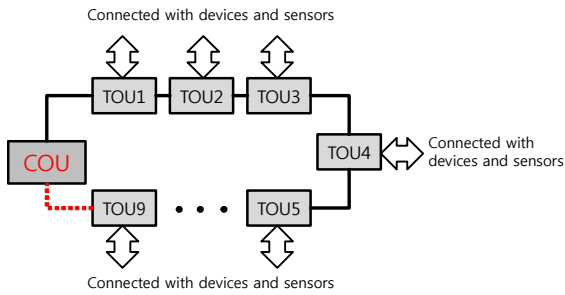


그림 2. 철도 차량용 제어망과 링크 장애의 발생  
Fig. 2. Control network for railway vehicles and a link failure.

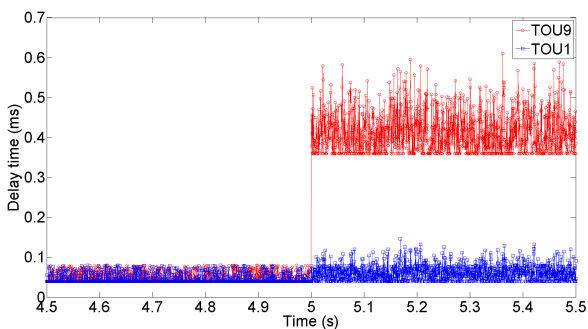


그림 3. 링 토폴로지에서 링크 장애 발생 시, TOU별 전송 딜레이 변화  
Fig. 3. Packet delay per TOU when a link failure occurs in a ring topology network.

망의 경우 멀티미디어를 포함한 복합 트래픽 전송, 전력 소모<sup>[10]</sup> 등이 주된 이슈이므로 철도 차량을 위한 별도의 연구가 필요하다.

### III. 링크 장애 발생 시 딜레이 변동 문제

그림 2는 링 토폴로지로 구성되어 있는 철도 차량용 제어망을 보이고 있다. 그림의 망에는 하나의 중앙 제어장치인 COU(Central Operation Unit)와 복수의 말단 제어장치 TOU(Terminal Operation Unit)가 연결되어 있다. 철도 차량에 분산되어 있는 제어장치와 센서들은 인접 TOU와 연결되어 이를 통해 COU 및 다른 장치와 통신한다. TOU를 통해 발생하는 대부분의 데이터는 COU로 전송되는 것을 가정하면, TOU1과 TOU9는 COU까지의 상대적 거리가 같고, 마찬가지로 TOU2와 TOU8도 COU까지의 상대적 거리가 같으므로 서로 비슷한 전달 소요시간(전송 딜레이)을 갖는다. 하지만, 링크 장애 발생 시, TOU들의 상대 거리가 바뀔 수 있고 이는 전송 딜레이에 큰 영향을 미치게 된다.

그림 2에서 붉은 점선의 링크에 장애가 발생 했을 때, TOU1과 TOU9에서 발생한 데이터 트래픽이 COU

까지 전송되는데 걸리는 시간 딜레이의 변동을 그림 3에 표시하였다. 각 TOU는 10Mbps로 전송 데이터를 생성하고, 각 패킷의 크기는 500바이트이며 각 링크는 Fast 이더넷에 해당하는 100Mbps의 전송 속도를 갖도록 하였다. 각 TOU는 0.1초에서 트래픽을 생성하기 시작하여 10초까지 COU로 패킷을 전송한다. 시뮬레이션 시간 5초에 붉은 점선의 링크에 장애가 발생한다.

그림 3에서 볼 수 있는 것처럼, 각 TOU는 장애 발생 전에 매우 낮은 레벨로 비슷한 전송 딜레이를 겪지만, 장애 발생 직후부터 TOU9의 전송 딜레이가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는, 링크 장애 이전에는 TOU9에서 생성된 패킷은 COU까지 하나의 링크를 거쳐 전송되지만, 장애 이후 TOU9와 COU 사이에 직접적으로 연결된 링크가 소실되어 TOU9의 트래픽은 반대 방향으로 8개의 링크를 거쳐 전송되기 때문이다. 뿐만 아니라, 링크 장애 이전에서는 TOU1과 TOU9 모두 패킷 지연시간의 지터(jitter)가 작은 양상을 보이지만, 링크 장애 이후 양쪽 TOU 모두에게서 지터가 큰 폭으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 이전에 장애 링크를 통해서 전송되던 트래픽이 반대 방향 링크로 몰리면서 큐잉 딜레이가 증가하기 때문이다.

이처럼 링 토폴로지는 링크의 장애 발생 시에도 반대 방향 링크를 통해 계속된 연결성을 유지할 수 있다는 장점을 갖지만, 일부 TOU의 패킷 지연시간 및 지터가 큰 폭으로 증가하게 되므로, 실시간성을 요하는 열차 제어의 안정성을 해할 수 있다.

### IV. 딜레이 보상 기법

본 장에서는 상기 딜레이 변동 문제를 해결하기 위한 두 가지 보상 기법을 제안한다. 제안된 기법들의 성능 결과는 V장에서 제시한다.

#### 4.1 포워딩 우선순위 조절을 이용한 보상 기법

앞 장에서 보인 것처럼, 링 토폴로지에서 장애 발생 시 모든 TOU의 트래픽이 단방향으로 전송되어 COU와 상대적 위치가 먼 TOU일수록 큰 패킷 지연시간 및 지터의 증가가 발생할 수 있다. 본 기법에서는 장애 발생 시 COU와의 상대적 거리에 따라 각 TOU에서 포워딩 시의 우선순위를 조절한다. 예를 들어, 그림 2의 장애 발생 경우에는 각 TOU에서 TOU9 패킷의 포워딩 우선순위를 최상위로 올리고, COU와 위치가 가장 가까운 TOU1 패킷의 포워딩 우선순위를 가장 낮게 부과하여

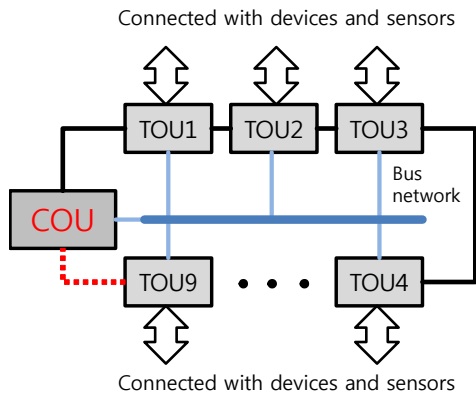


그림 4. 버스 망 스위칭을 통한 딜레이 보상 기법의 망 구성  
Fig. 4. Control network when the switching mechanism to a backup bus network is applied.

최하위가 되도록 설정한다. 이 기법은 각 TOU를 지나면서 매체 전송 시간 및 전파 시간이 계속해서 누적되는 문제를 해소하지는 못하지만, 각 TOU에서 포워딩 트래픽 증가로 인한 큐잉 발생 시에 상대적으로 거리가 먼 TOU가 겪는 큐잉 딜레이를 보상할 수 있다.

본 기법이 적용되기 위해서 제어망은 다음과 같은 동작 절차를 따른다. 먼저, 자신에게 직접 연결된 링크의 장애 발생을 감지한 TOU는 이를 COU에게 보고한다. 링크 장애의 감지는 Keep alive 패킷 교환 등의 다양한 방법을 통해 구현될 수 있다. 장애 보고를 수신한 COU는 전체 제어망에서 장애 링크의 위치를 파악하고, 장애에 따른 각 TOU의 새로운 전송 경로 및 딜레이 변동을 예측한다. 이를 통해 딜레이 변동이 클수록 높은 포워딩 우선순위가 부과되도록 각 TOU에 명령을 내린다.

#### 4.2 버스 망 스위칭을 통한 보상 기법

두 번째 제안 기법에서는 정상 동작 시 링 토폴로지 망을 사용하고, 장애 발생 시 과도한 딜레이 증가를 겪는 일부 TOU를 백업 버스 망으로 스위칭하여 지속적인 연결을 지원한다. 제안 기법은 각 TOU마다 버스망 연결을 위한 포트가 하나씩 추가된다. 이는 이중 링 토폴로지를 이용 시 두 개의 포트가 추가적으로 필요한 것과 대비하여 더 경제적이다. 그림 4는 이러한 망 구조를 보이고 있다. COU와 모든 TOU는 링 토폴로지 망과 백업용 버스 망에 연결되어 있다. 버스 망은 트래픽이 몰릴 시 전송 충돌로 인한 패킷 손실 및 랜덤 백오프로 인한 딜레이 변동성을 가지므로, 장애가 없을 경우에는 성능적으로 우수한 링 토폴로지를 이용한다. 그림 4에서 붉은 점선의 링크에서 장애가 발생하면, 앞

서 보인 바와 같이 COU와 상대적 거리가 먼 TOU의 패킷 딜레이가 큰 폭으로 증가하므로 TOU9부터 버스 망으로 스위칭시킨다. 즉, COU와 상대적 거리가 가까운 TOU들은 링 토폴로지 망 연결을 그대로 유지하고 망의 트래픽 상황에 따라 가장 먼 TOU부터 버스 망으로 스위칭하여 연결된다.

백업망으로 버스 토폴로지를 사용하면 COU 및 각 TOU에 추가적으로 하나의 연결 포트만 추가되므로 장치 제조 비용 및 폼팩터 관점에서 장점을 갖는다. 만약에 백업망으로 추가적인 링 토폴로지를 고려하는 경우에는 COU/TOU 별로 두 개의 추가적인 연결 포트가 필요하게 된다.

## V. 성능 결과

본 장에서는 제안한 기법들의 성능을 시뮬레이션을 통해 기존 방식과 비교하고 분석한다.

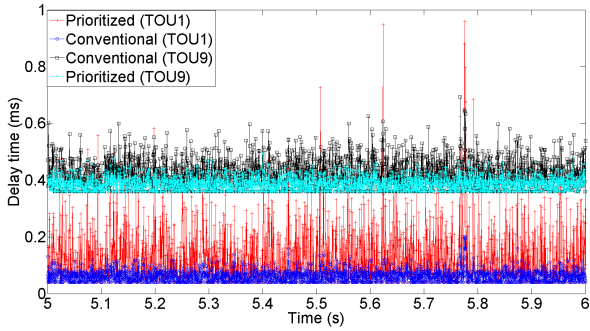
### 5.1 시뮬레이션 환경

철도 차량의 제어망 토폴로지는 그림 2와 그림 4의 것을 고려한다. 각 TOU는 10Mbps의 레이트로 UDP 패킷을 생성하고, 각 패킷의 크기는 500바이트인 상황을 고려한다. 각 TOU에서 생성 되는 패킷은 중앙 제어장치에 해당하는 COU로 전송된다. COU의 수는 하나이며, TOU는 9개인 상황을 고려하여, 제어망의 총 노드 수는 10개이다. 각 연결 링크는 양방향으로 100Mbps 전송 속도를 갖는 Fast 이더넷 기술을 기반으로 하며, 전파 지연시간(propagation delay)은 없는 것으로 간주한다. 시뮬레이션은 ns-2 시뮬레이터<sup>[11]</sup>를 이용해 수행한다. 매 시뮬레이션의 수행 시간은 10초이다.

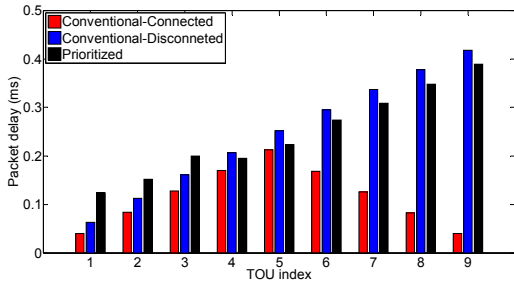
### 5.2 포워딩 우선순위 조절을 이용한 보상 기법 성능

그림 2의 제어망에서 제안한 우선순위 조절 기법이 적용될 경우, COU에서 상대적 거리가 먼 TOU일수록 더 높은 포워딩 우선순위를 갖는 것으로 설정하였다. 즉, TOU9가 가장 높은 우선순위를 갖고, TOU1이 가장 낮은 우선순위를 갖는다. 이를 통해, 각 TOU가 패킷을 인접 TOU(또는 COU)로 포워딩할 때, TOU9가 전송한 패킷이 존재할 경우 이를 가장 먼저 포워딩하고 그 다음 TOU8 패킷을 포워딩하는 순으로 동작한다.

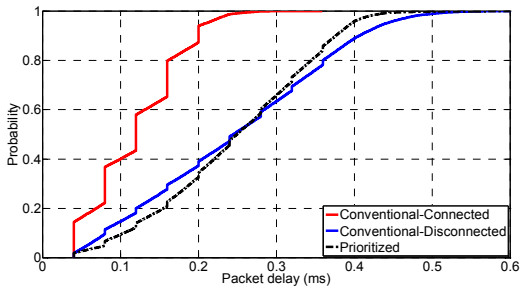
그림 5(a)는 제어망(그림 2)에서 붉은 점선의 링크에 장애 발생 시 TOU1과 TOU9에서 COU로 전송 딜레이의 시간에 따른 변화를 제안한 우선순위 조절 기법이



(a) Packet transmission delay over time



(b) Average packet delay per TOU

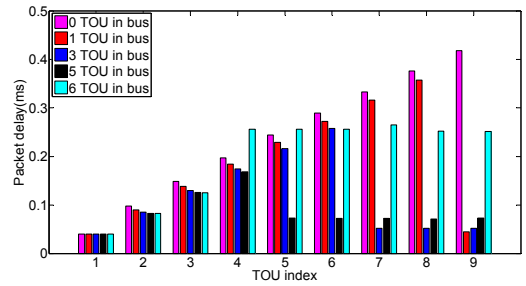


(c) CDF of packet delay

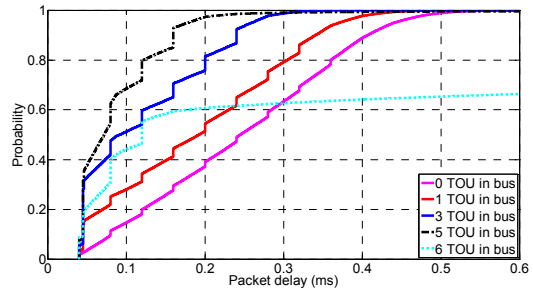
그림 5. 포워딩 우선순위 조절 기법의 성능 결과  
Fig. 5. Performance results of the forwarding prioritization mechanism.

적용되기 전(Conventional)과 후(Prioritized)에 대해서 보이고 있다. 기법 적용 전에는 TOU9에서 생성된 트래픽은 다수의 링크와 TOU를 거치고 각 TOU를 거치면서 발생하는 큐잉으로 인해 0.6ms 이상의 딜레이 값을 갖는 경우도 관찰된다. 하지만, 기법 적용 후에는 대부분 0.5ms 이하의 값을 갖는다. 반면, TOU1에서 생성된 트래픽은 우선순위가 최하위이기 때문에 큐잉 지연이 크게 증가하게 된다.

TOU별 평균 딜레이는 그림 5(b)와 같다. 링크 장애가 발생하기 전(빨간색)에는 TOU5가 COU로부터 가장 멀리 위치하기 때문에 가장 큰 딜레이를 갖지만, 링크 장애가 발생하면(파란색) TOU6~9는 전송 방향이 변경되면서 기존의 TOU5보다 더 큰 딜레이를 갖게 된다. 기법이 적용되면 우선순위가 낮은 TOU1~3은 딜레이가 더 커지지만, 다른 TOU에서는 감소하는 효과를 볼



(a) Average packet delay per TOU



(b) CDF of packet delay

그림 6. 버스 망 스위칭 기법의 성능 결과  
Fig. 6. Performance results of the bus-switching mechanism

수 있다. 즉, 제안 기법은 TOU별 전송 딜레이를 보다 공평하게 만들어주는 효과를 갖는다. 그림 5(c)의 CDF에서도 비슷한 경향을 볼 수 있다. 장애가 발생하지 않은 상황에서 딜레이 성능이 가장 좋게 나타나며, 기법을 적용한 경우는 적용 전과 대비하여 0.25ms 이하 범위에서는 딜레이가 증가하지만, 그 이상 범위에서는 딜레이가 더 짧아지는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 그림 5(b)에서 보인 것과 같이 COU와 상대적 거리가 짧은 TOU의 패킷 딜레이가 증가하고, 이후 TOU에서는 이득을 보기 때문이다.

앞서 보인 것처럼, 포워딩 우선순위 조절을 이용한 보상 기법은 COU로부터 멀리 위치한 TOU의 큐잉 딜레이를 줄여 딜레이 증가를 일정 정도 보상해주는 것을 볼 수 있다. 하지만, 멀리 위치한 TOU는 여전히 많은 수의 TOU를 거치면서 누적된 매체 전송시간으로 인해 총 딜레이는 크고, 큐잉 딜레이 보상으로 인한 효과는 이와 대비해서는 제한적이다.

### 5.3 버스 망 스위칭을 통한 보상 기법 성능

앞과 동일한 링크 장애 발생 시, 버스 망 스위칭 기법을 통해 가장 말단에 위치하는 TOU9부터 순서대로 버스 망에 연결되어 동작하는 경우를 고려한다. 즉, 1개 TOU가 버스 망에 연결된 경우는 TOU9만 버스 망에 연결된 경우이고, 6개 TOU가 버스 망에 연결된 경우는

표 1. 버스 망 스위칭 기법에서 버스 망 연결 TOU 수에 따른 패킷 손실율

Table 1. Packet error rate for a varying number of TOUs connected to a bus network in the bus-switching mechanism.

(Unit: %)

| TOU index<br>No. of TOUs in bus | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|---------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                               | - | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 0.00 |
| 2                               | - | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 0.00 | 0.00 |
| 3                               | - | -    | -    | -    | -    | -    | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| 4                               | - | -    | -    | -    | -    | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.03 |
| 5                               | - | -    | -    | -    | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.10 | 0.08 |
| 6                               | - | -    | -    | 1.03 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 7                               | - | -    | 1.19 | 1.26 | 1.31 | 1.31 | 1.36 | 1.25 | 1.12 |
| 8                               | - | 1.53 | 1.54 | 1.48 | 1.58 | 1.58 | 1.44 | 1.35 | 1.55 |

TOU4~9가 버스 망에 연결되었을 때이다. TOU가 버스 망에 연결되어 있지 않을 때는 “0 TOU in bus”로 표기하였고, 이는 그림 5에서 보인 기존 경우와 동일한 경우이다.

그림 6(a)는 버스 망에 연결된 TOU 수에 따른 딜레이 성능의 평균을 보이고 있다. 기존 대비 버스 망에 TOU9이 연결되면 TOU9이 겪는 전송 딜레이는 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 버스 망을 통해 다른 TOU를 거치지 않고 COU까지 바로 패킷이 전달 되기 때문이다. 버스 망에 연결되는 TOU 수를 늘릴 수록 버스 망에 연결된 TOU들의 딜레이는 소폭 증가하지만, 기존과 대비해서는 높은 폭의 딜레이 감소를 보인다. 하지만, 6개의 TOU가 버스 망에 연결될 때 매우 큰 폭으로 전송 딜레이가 증가하고, 심지어 TOU4와 TOU5는 기존 대비 증가한 딜레이를 겪는다. 이는, 과도한 트래픽이 버스 망에 인가되어 전송 충돌 및 백오프가 자주 발생하기 때문이다. 버스 망에 연결되는 TOU 수가 6개를 넘어서면 딜레이 증가폭은 더 높아진다. 그림 6(b)는 동일한 환경에 대한 딜레이 CDF를 보이고 있다. 그림에서 5개의 TOU가 버스 망에 연결될 때까지는 연결 TOU 수가 증가할수록 모든 패킷이 더 적은 딜레이를 겪게 됨을 볼 수 있다. 하지만, 6개의 TOU가 연결될 경우, 일부 패킷만 매우 낮은 딜레이를 겪고 나머지는 더 큰 딜레이를 겪는다. 특히, 약 40%의 패킷은 기존보다 더 큰 딜레이를 겪는다.

버스 망에 연결되는 TOU의 수는 딜레이 뿐만 아니라, 패킷 손실에도 영향을 미친다. 표 1은 버스 망에 연결되는 TOU 수에 따른 패킷 손실율이다. 버스 망에 연

결되는 TOU 수가 3개가 되면서부터 패킷 손실이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 동시에 전송하려는 노드가 증가하고, 충돌이 발생할 경우 이더넷은 재전송을 지원하지 않으므로 패킷 손실로 이어지기 때문이다. 패킷 손실은 버스 망에 연결되는 TOU 수가 증가할수록 계속해서 증가하는 것을 볼 수 있다.

따라서, 버스 망 스위칭을 통한 보상 기법을 적용할 때에는 각 TOU의 트래픽 발생율과 함께 딜레이 및 패킷 손실율을 감안하여, 장애 발생 시 버스 망에 연결될 수 있는 TOU의 수를 제한하여야 한다.

## VI. 결 론

본 논문은 철도차량의 제어망을 위해 링 토폴로지 이용 시, 링크 장애 발생에 따른 딜레이 변동 문제를 제시하였고, 이를 해결하기 위해 장치별 딜레이 보상 포워딩을 수행하는 기법과 백업용 버스 망을 두어 장애 발생 시 일부 노드를 선택적으로 망 간에 스위칭시키는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가에서 첫 번째 기법은 큐잉 딜레이 보상만 가능하여 제한된 효과를 얻는 반면, 두 번째 기법은 평균 성능뿐만 아니라 딜레이 분포에 있어서도 충분한 성능 개선이 있음을 보였다. 또, 이러한 성능 이득과 패킷 손실율은 버스 망에 연결되는 TOU 수에 큰 영향을 보임을 보였다.

## REFERENCES

- [1] Controller area network (CAN) - Part 6: High-speed medium access unit with selective wake-up functionality, ISO 11898-6:2013, 2013.
- [2] Electronic railway equipment - Train communication network (TCN), IEC 61375, 2012.
- [3] J. Jimenez et al., “A top-down design for the train communication network,” IEEE International Conference on Industrial Technology, 2003.
- [4] C. Rodríguez-Morcillo et al., “Broadband system to increase bitrate in train communication networks,” Computer Standards & Interfaces, Vol. 31, no. 2, pp. 261-271, 2009.
- [5] KUANG Chang-hong et al., “ARCNET train communication network modeling and simulation based on OPNET,” Railway Computer Application, Vol. 2008-05, 2008.
- [6] Hwanwoong Hwang, Jungtai Kim, Kang-Won Lee, and Ji-Hoon Yun, “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. 1741-1749, 2015.
- [7] Hyung-Taek Lim, Lars Volker, and Daniel Herrscher, “Challenges in a future IP/Ethernet-based in-car network for real-time applications,” in Proceedings of the 48th Design Automation Conference, pp. 7-12, 2011.
- [8] Mina Hwang et al., “Performance Evaluation of Low Complexity and Low Cost Automotive Real-Time Ethernet Network,” IEIE Conference, Vol. 36, no. 1, pp. 428-431, 2013.
- [9] Sung Woo Lee, “Performance Analysis and Experiment of Ethernet Based Real-time Control Network Architecture,” Journal of Energy Engineering, Vol. 14, no. 2, pp. 112-116, 2005.
- [10] Stefan Kunze, Rainer Pöschl, and Andreas Grzempa, “Comparison of Energy Optimization Methods for Automotive Ethernet Using Idealized Analytical Models,” Springer Lecture Notes in Mobility, pp. 187-198, 2015.
- [11] The Network Simulator - ns-2, [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

---

 저 자 소 개
 

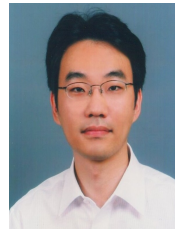
---



**황 환 응(학생회원)**  
 2014년 서울과학기술대학교 전기  
 정보공학과 학사 졸업.  
 2014년~현재 서울과학기술대학교  
 전기정보공학과 석사 과정.  
 <주관심분야 : 데이터네트워크>



**김 상 현(학생회원)**  
 2014년 서울과학기술대학교  
 전기정보공학과 학사 졸업.  
 2014년~현재 서울과학기술대학교  
 전기정보공학과 석사 과정.  
 <주관심분야 : 무선네트워크>



**윤 지 훈(정회원)**  
 2000년 서울대학교 전기공학부  
 학사 졸업.  
 2002년 서울대학교 전기컴퓨터공  
 학부 석사 졸업.  
 2007년 서울대학교 전기컴퓨터공  
 학부 박사 졸업.  
 2007년~2009년 삼성전자 네트워크사업부 책임연  
 구원.  
 2009년~2010년 미시건대학교 박사후연구원.  
 2010년~2012년 금오공과대학교 조교수.  
 2012년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학  
 과 조교수.  
 <주관심분야 : 통신망 설계, 무선통신>