

대역폭 효율과 복구시간을 트레이드 오프할 수 있는 자동차 이더넷 백본 네트워크의 결합 허용 알고리즘

임 성 현* · 김 용 근 · 장 주 욱

서강대학교 전자공학과

A Fault Tolerant Scheme for Vehicle Ethernet Which Tradeoffs Bandwidth Utilization and Recovery Time

Sunghyun Iem* · Yonggeun Kim · Ju wook Jang

Department of electronic Engineering, sogang University, Sinsu-dong, Mapo-gu, Seoul 121-110, Korea

Abstract : In current vehicle industry, research for Ethernet based In-Vehicle Network is actively progressed. In IEEE working group, the Audio and Video Bridging (AVB) technology promises a standard approach to Ethernet based In-Vehicle Network. For vehicle, reliability for the constraints and requirements in terms of the end-to-end delays is important problem. One important aspect is the delay of reconfiguration in In-Vehicle Network and Stream Reservation Protocol(SRP) for control data in AVB. However, the AVB technology was conceived without the need to support fast and determinable stream reconfiguration, there is no way to pre-determine delay of SRP.

In previous research, they proposed redundancy protocol based in RSTP and Mutiple Stream Reservation Protocol(MSRP). They reserve control stream for all path in network for redundancy communication paths. Because all path was reserved control stream, SRP does not need for redundant path after disruption on the link between sender and receiver. However, a side effect of this scheme is that certain amounts of bandwidth are wasted. In this paper, we propose new scheme which reserves control stream for all path but limits transmitting data for subset of all path. This scheme can decrease redundant protocol delay and usage of bandwidth.

Key words : Fault Tolerance(결함 허용), In-Vehicle Network(차량 내 네트워크), Ethernet(이더넷), AVB(에이브이비), SRP(Stream Reservation Protocol, 스트림 예약 프로토콜), Reconfiguration(재구성), Bandwidth(대역폭)

1. 서 론

최근 들어서, 자동차 산업은 단순한 운송 수단에서 보다 발전하여 지능형 자동차 기술을 개발하는 방향으로 나아가고 있다. 이미 많은 수의 Electronic Control Unit(ECU)가 차량 내부에서 사용되고 있으며 ECU간에 차량 내 네트워크를 구성할 때 CAN과

MOST가 적용되고 있다.

또한, 자동차 업계에서는 기존에 사용되고 있는 이더넷 기술을 차량 내 네트워크에 도입하기 위한 연구를 활발하게 진행하고 있다. 차량에 쓰이는 ECU의 숫자가 급증하고, 차량 원격 제어, 인포테인먼트 등의 수요가 증가함에 따라 높은 대역폭과 차량 외부 네트워크와의 융합이 필요하게 되었다. 차량 내 네트워크에 이더넷 기술을 도입할 경우 높은 대역폭을 제공할 수 있는 동시에 외부 네트워크와 호환성이 높으며 또한 기존의 케이블을 이더넷 케

* 임성현, homme@sogang.ac.kr

이블로 대체함으로서 차체 경량화를 구현할 수 있다. 이와 관련하여 IEEE에서는 Audio and Video Bridging(AVB) 기술을 적용하여 차량 내 네트워크를 구현하는 연구와 표준화를 진행하고 있으며 차량 내 CAN과 ethernet을 gateway로 연결하는 연구¹⁾, CAN network의 신뢰성을 향상 시키는 연구²⁾ 등 많은 연구가 진행되고 있다.

이 때, 필수적으로 고려되어야 할 사항 중 하나가 데이터 경로 손상 시 새로운 경로를 구성하여 네트워크를 복구하는 지연시간이다. 차량 내 네트워크의 이더넷은 기존의 이더넷 네트워크보다 지연 시간에 대한 신뢰성이 절대적으로 중요하다. 특히 AVB의 경우 제어 데이터를 전송하기 전에 데이터가 전송되는 경로에 자원을 예약하는 Stream Reservation Protocol(SRP)³⁾이 필수적이거나, 경로 복구 후 새로운 경로에 SRP가 적용될 경우 걸리는 delay에 대한 분석이 힘들다.

기존 연구의 경우 일반 데이터 전송 시 사용하는 Rapid Spanning Tree Protocol(RSTP)⁴⁾를 기반으로 하면서 모든 경로로 SRP를 미리 적용하여, 경로 손상 후에 경로가 재구성되더라도 추가적으로 SRP를 적용하지 않도록 하는 방식을 제안하였다. 이러한 방식을 사용할 경우 새로운 경로에 SRP를 적용하는 delay가 단축된다는 이점이 있다. 하지만 모든 경로로 SRP를 적용하였기 때문에 네트워크의 대역폭이 낭비된다. 그렇기에 본 연구에서는 SRP로 인한 delay를 줄이면서도 대역폭 낭비를 줄이는 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 관련 연구

네트워크 내 경로 설정과 차량 내 네트워크 복구 기법에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다. RSTP의 경우 네트워크 내 경로 설정을 위해 tree를 구성하는 기법으로 네트워크 내 loop를 방지한다. 차량 내 네트워크의 경우 신뢰성이 중요하며, 이에 따라 빠른 복구 시간을 가지는 차량 내 네트워크 복구 기법이 연구되고 있다.

2.1 RSTP

RSTP는 네트워크 내부에서 데이터를 전송하기 위한 경로를 설정하는 프로토콜 중 하나로서 802.1D를 통해 표준화 되어있다. 데이터를 전송하기 위해 loop를 방지하는 Tree 구조로 경로를 설정하는 특징이 있다. Tree를 형성할 때, node는 서로의 정보를 교환하기 위해 Bridge Protocol Data Unit(BPDU)를 주고받으며 BPDU 안의 {root id, cost, node id, port No.}를 이용해 서로 간의 우선순위를 정한다.

우선적으로 네트워크 내에서 가장 작은 node id를 가지고 있는 node가 tree의 root가 되는 것을 원칙으로 하며 이 정보가 root id에 들어간다. 네트워크 내부에서 root가 정해지면, 각 node는 주변 node들로부터 받은 BPDU의 cost를 참조하여 root까지 가는 경로를 선택한다(가장 낮은 cost를 가진 경로 선택). cost로 판단이 안 될 경우에는 BPDU를 전송한 node의 id나 port를 이용해 판단한다. 이러한 과정을 통해 tree가 형성되고 각 node는 라우팅 테이블을 형성하여 가지고 있으며 이를 이용해 데이터를 전송한다.

만약 경로가 손상될 경우, node는 다른 경로를 새롭게 생성하고 이를 네트워크 내 모든 node에게 전달한다. 경로 변경에 대한 정보를 받은 node는 테이블을 재설정하며, 네트워크가 최종적으로 안정될 때까지 (1) 만큼의 delay가 소요된다.

$$t_{rec} = t_{rec-protocol} + t_{FDB-flush} \quad (1)$$

where $t_{rec-protocol}$: redundancy protocol delay,
 $t_{FDB-flush}$: Filtering database flush delay

2.2 Fault-tolerant Ethernet network with MSRP

기존의 SRP를 적용하였을 경우, Talker로부터 Listener까지 control 데이터를 전송하는 경로가 손상되면 (2) 만큼의 복구 delay가 생긴다.

$$t_{rec} = t_{rec-protocol} + t_{rec-stream} \quad (2)$$

where $t_{rec-stream}$: stream reservation delay

하지만, 이러한 방식의 경우 경로를 재생성 한 후에 그 경로에 stream을 예약하는 $\text{delay}(t_{\text{rec_stream}})$ 를 정확하게 분석하기 힘들다. 또한 과정 자체가 라우팅 테이블을 새롭게 구성하는 일에 비해 복잡하기 때문에 많은 시간이 소요된다.

이를 해결하기 위해, Oliver Kleinberg⁵⁾는 차량 내 네트워크에서 control 데이터를 전송하기 위해 RSTP와 Multiple Stream Reservation Protocol(MSRP)를 동시에 적용하는 알고리즘을 제시하였다.

Talker가 전송할 control 데이터가 있는 경우에 이를 알리기 위해 Talker advertise(TA)가 포함된 Multiple Stream Registration Protocol Data Units(MSRPDUs)를 인접 node에게 전송한다. 데이터를 받은 node는 TA가 진입한 port를 제외한 모든 port에 TA를 전송한다. 이후, MSRPDUs를 받은 모든 node는 같은 방식으로 TA를 전송하며, MSRPDU가 네트워크 내부에서 무한정 돌아다니는 것을 방지하기 위해 이미 전송한 MSRPDU일 경우 전송하지 않도록 한다. TA를 받은 Listener 중에서 해당 데이터를 받아야 하는 listener는 Listener Ready(LR)을 TA와 왔던 경로를 통해서 전송한다. 모든 경로를 통해 TA와 LR을 주고받음으로서 SRP를 진행하고, 이를 통해 모든 경로에 control 데이터에 대한 자원이 예약된다.

모든 경로에 SRP를 적용함으로써, 네트워크 내부에 형성되어 있는 모든 경로로 데이터를 전송한다. 각 node에서는 데이터 중첩을 방지하기 위해 tree 경로를 통해 들어온 데이터만 유효하게 처리한다. 경로가 손상될 경우 새로운 경로에서 자원을 예약하는데 소모되는 $t_{\text{rec_stream}}$ 만큼의 delay를 단축할 수 있으며 새로운 경로를 통해서 이전부터 데이터가 들어오고 있었기 때문에 데이터 재 수신 속도 또한 빠르다. 이를 이용해 결함 허용이 가능한 네트워크 알고리즘을 제안하였다.

3. 제안 알고리즘 및 시뮬레이션

기존 연구의 경우, 새로운 경로로 새롭게 자원을 예약해야 하는 기존 방식을 개선함으로써 control 데이터에 대한 경로 복구 지연시간을 단축하였다. 하지만 기존 알고리즘은 경로가 손상된 경우를 제외

한 일반적인 경우에도 굳이 데이터를 전송할 필요가 없는 경로에 데이터를 전송하기 때문에 대역폭 효율 측면에서 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 이를 해결할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다.

3.1 제안 알고리즘

전체적인 동작은 5)와 유사하다. 일반 데이터는 RSTP 경로를 통해서 전송되며, control 데이터를 전송하기 위해 MSRP를 사용하여 모든 경로를 예약한다. 하지만, 제안 알고리즘의 경우 receiver가 모든 경로로 LR을 전송할 시에 TTL_hop을 설정하여 receiver의 주소와 함께 전송한다. TTL_hop 값은 node를 하나씩 거쳐 갈 때마다 1씩 감소한다. 각 node는 LR을 수신했을 시에 TTL_hop 값이 양수일 경우 이를 체크한다. 체크한 node는 control 데이터가 들어올 경우, 데이터를 수신한 port를 제외하고 나머지 port 중에서 control 데이터를 수신해야 하는 receiver로 갈 수 있는 port로만 데이터를 전송한다 (RSTP의 라우팅 테이블 참조). 즉, TTL_hop이 k일 경우 receiver로부터 k hop 이내에 있는 node는 모든 경로 중에서 sender로부터 receiver까지 가는 유일 경로를 제외한 나머지는 전송을 제한한다. 예를 들어, Fig.1의 경우 receiver가 k = 2로 설정하여 수신 제한 메시지를 전송한다. 2 hops 안에 있는 node(노란색 node)는 이를 인식하여 전송 제한을 설정한다. 결과적으로, 노란색 node가 형성하고 있는 경로 중에서 receiver로 가는 유일 경로로만 데이터가 전송된다 (black line).

이러한 기법을 이용해 대역폭을 절약한다. 또한, 경로가 손상되어 경로를 재설정하는 기간 동안에만 재설정 과정에 앞서 전송이 제한되었던 node에게 경로 손상에 대한 사실을 알려 전송 제한을 해제한다. 각 node는 새롭게 형성될 경로에 대해서 미리 알지 못하기 때문에 모든 경로를 통해서 데이터를 전송하며, 이를 통해 receiver는 새롭게 경로가 형성되어도 그 경로를 통해 데이터를 빠르게 받을 수 있다.

하지만 기존 기법의 경우 모든 경로를 통해 데이터가 전송되기 때문에 새롭게 경로가 생성된 후에 바로

데이터를 받을 수 있다. 이 때, 본 연구에서는 경로가 새롭게 생성된 후에 그 경로로부터 데이터를 수신하는 동안의 지연 시간을 복구 delay로 정의한다. 기존 알고리즘의 경우 복구 delay는 12usec이다. 하지만 본 연구의 경우, k hops만큼 전송이 제한되기 때문에 새로운 경로를 따라서 오는 데이터가 k hops만큼의 복구 delay를 가진다. 즉 전송 제한 범위 k와 복구 delay간에 trade-off가 존재한다.

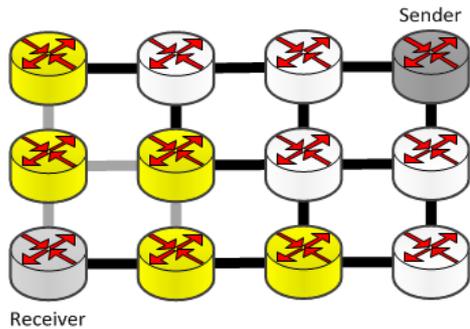


Fig. 1 Example for algorithm

3.2 시뮬레이션

제안 알고리즘을 시뮬레이션하기 위해 MATLAB을 사용하였으며, 이 때 구성된 Sample network는 Fig. 2과 같다.

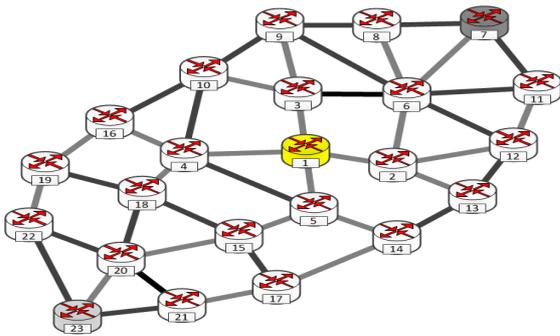


Fig. 2 Sample Network

node 1을 root로 하여 tree를 구성하였으며 전송 제한을 위한 TTL_hop의 경우 3으로 설정하였다. 이외의 시뮬레이션에 적용된 값과 결과는 Table 1과 같다. 실험에 있어서 receiver는 고정인 상태로 sender의 위치를 임의로 설정하여 전체 결과의 평균을 구하였으며 이 때의 평균 복구 delay를 측정하였다.

Table 1.을 통해, 제안 알고리즘이 기존 알고리즘의 사용량에 비해 평균 utilization은 0.429만큼만을 사용하는 것을 알 수 있으며 이러한 경우 평균 복구 delay는 평균 15.78usec으로 기존 연구에 비해 3.78usec 증가한다. 이를 통해 기존 알고리즘에 비해 크게 대역폭을 절약할 수 있는 반면 복구 delay가 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 1. 실험 설정 값 및 결과 값

node 수	23	receiver node No.	23
root node No.	1	TTL_hop	3
average utilization	0.429	average delay	15.78usec

4. 결론

본 연구에서는 경로 재구성 시 기존 기법과 동일하게 t_{rec_stream} 만큼의 delay를 줄이면서도 기존 기법에 비해 대역폭을 평균 42.90%만큼만을 활용하는 기법을 제안하였다. 하지만 본 연구의 경우, k hops만큼 전송이 제한되기 때문에 새로운 경로를 따라서 오는 데이터가 k hops만큼의 복구 delay를 가지며 k와 복구 delay간에 tradeoff가 존재한다. 그러므로 k 값이 증가할수록 복구 delay가 증가한다. 이 때, 복구 delay가 control 데이터의 end-to-end delay보다 클 경우 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 k 값을 설정할 시에 복구 delay가 end-to-end delay보다 작도록 고려하는 추가 연구가 필요하다.

Acknowledgment

This work supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded the Korea government (MEST) (NRF-2013R1A1A2011856)

References

- 1) Hyuntae Ju, Dongmin Kim, Yongmu Jeong, and Soo-Young Min, A Gateway Platform for Automotive Synchronous Ethernet Network System, Transactions of KSAE, 1177-1182, may 2013.
- 2) JongGap Lee, ManHo Kim, JeeHun Park, Suk Lee,

and KyungChang Lee, Implementation of IEEE 1451 based Dual CAN Module for Fault Tolerance of In-Vehicle Networking System, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Vol. No.7, 753-759, July 2009.

- 3) IEEE 802.1 Qat-Stream Reservation Protocol(SRP), <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1at.html>
- 4) IEEE 802.1 D Standard for local and metropolitan are networks, " Media Access Control(MAC) Bridges", June 2004
- 5) O. Kleineberg, P. Frohlich, and D. Heffernan, Fault-tolerant Ethernet networks with Audio and Video Bridging, Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on, 1-8, Sept. 2011