

5G V2X 서비스를 위한 이더넷 TSN 기반 10Base-T1S 알고리즘

민지현, 김기두, 박영일
국민대학교 대학원 전자공학과

jhmin@kookmin.ac.kr, kdk@kookmin.ac.kr, ypark@kookmin.ac.kr

Ethernet TSN Based 10Base-T1S Algorithm for 5G V2X Service

Ji Hyeon Min, Ki-Doo Kim, Youngil Park
Electronic Engineering Department, Kookmin University

요약

차량용 이더넷은 차량 내부 네트워크에서 지연 시간, 지터(jitter), 시간 동기화 등 다양한 QoS (Quality of Service) 요구사항을 충족하기 위하여 이더넷 TSN (Time-Sensitive Networking) 표준을 따르고 있다. 그러나 10Base-T1S와 같은 버스 토폴로지의 차량용 이더넷에서는 프레임 선점과 스케줄이 고정된 트래픽에 대한 표준인 IEEE 802.1Qbu를 PLCA (Physical Layer Collision Avoidance) 기능과 함께 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이더넷 TSN 패킷의 우선순위와 10Base-T1S의 PLCA가 함께 적용될 수 있도록 확장된 PLCA 알고리즘을 제안한다.

I. 서론

이더넷 TSN (Time-Sensitive Networking)은 제한된 지연 시간 내 패킷 전송과 시간 지연에 민감한 어플리케이션의 성능을 보장하기 위한 IEEE 802 네트워크의 표준들의 집합으로, 차량 내부 네트워크에서 지연 시간, 지터(jitter), 시간 동기화 등 다양한 QoS (Quality of Service) 요구사항을 충족하기 위해 사용되고 있다[1]. 특히 5G 기반 V2X 서비스를 차량 내부 네트워크에 적용하기 위해서는 이더넷 TSN 기반의 인프라가 필요하다. TSN 표준 중 IEEE 802.1Qbu는 각 패킷의 우선 순위에 따른 프레임 선점과 스케줄이 고정된 트래픽에 대한 표준으로 차량용 이더넷에서 다양한 우선 순위를 가진 패킷들이 QoS 요구사항을 충족하며 전송될 수 있게 한다. 이때 트래픽의 종류에 따른 허용 지연 시간, 주기 및 데이터 크기를 표 1에 나타낸다[2].

표 1. 차량 내부 네트워크 트래픽 종류 [2]

우선 순위	트래픽 종류	지연시간 (μ s)	주기 (ms)	크기 (Byte)
7	Control-1	333	1-20	64-512
6	Reserved	N/A		
5	AVB_A	667	16	1518
4	Control-2	33,333	21-500	64-1518
3	Network Control	33,333	Variable	64-500
2	Reserved	N/A		
1	AVB_B	16,667	32	1518
0	Best Effort	666,667	Variable	64-1518

10Base-T1S는 10 Mbps 전송속도를 갖는 차량용 이더넷으로, 멀티드롭 모드에서 버스 토폴로지 사용될 수 있으며, 기존의 CAN 통신을 대체함으로써 차량

네트워크를 이더넷 기반으로 변경하는데 유용하다. 그림 1은 5G V2X 서비스와 연계한 차량용 이더넷으로 V2X 서비스를 원활하게 지원하기 위해 이더넷 TSN 프로토콜을 이용해야 함을 보이고 있다. 그러나 10Base-T1S에 이용되는 프로토콜 특성으로 인해 높은 시간지연에 민감한 신호의 조건을 맞추기가 용이하지 않았다. 본 연구에서는 이런 환경에서 10Base-T1S의 PLCA 알고리즘에 이더넷 TSN을 적용할 수 있게 함으로써 5G V2X 서비스를 차량 내부 다양한 ECU와 센서에 적용할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

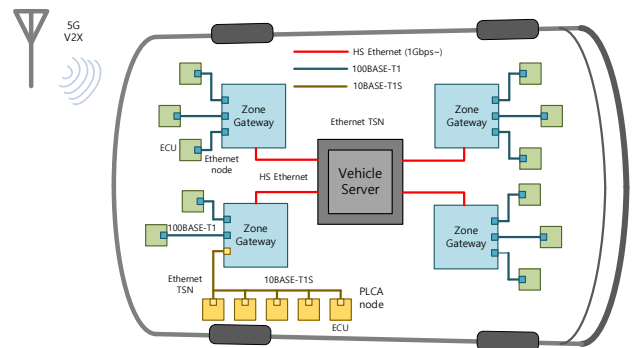


그림 1. 이더넷 TSN 기반 차량용 네트워크 구조

II. 본론

본 연구를 통해 버스 구조의 차량용 네트워크에서 이더넷 TSN을 이용하는 방법을 제안하려고 한다. PLCA(Physical Layer Collision Avoidance)를 사용하는 10Base-T1S 이더넷 버스를 그림 2와 같이 나타냈다. 이 방식은 라운드-로빈 방식으로 각 노드에 전송 기회를 부여함으로써 물리계층에서의 충돌을 방지한다. Primary Node는 ID가 0인 노드로, 모든 노드에 비콘 신호를

전송하여 PLCA 사이클을 시작하는 역할을 한다. 본문에서 Primary Node는 이더넷 스위치와 결합되어 있다고 가정한다. 또한, 이더넷 TSN 표준에 따라 우선순위를 갖는 이더넷 TSN 트래픽을 이더넷 TSN 패킷이라 부르기로 하며 패킷을 전송하는 환경 및 상황을 다음 두 가지로 나누었다. 첫째, 다운링크 패킷은 Primary Node가 이더넷 패킷을 버스에 연결된 모든 노드로 전송한다. 둘째, 업링크 혹은 사이드링크 패킷은 버스에 연결된 모든 노드가 이더넷 TSN 패킷을 Primary Node를 포함한 다른 노드로 전송하는 경우를 말한다.

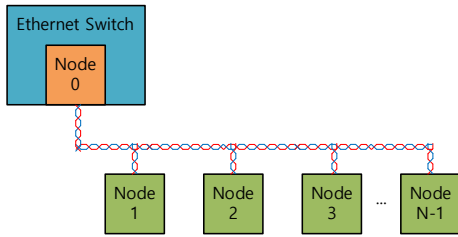


그림 2. 10BASE-T1S 버스 토폴로지

그림 3은 두 가지 경우의 PLCA 전송 시퀀스를 나타낸다. 그림 3(a)는 노드 0만 Scheduled Traffic (ST) 패킷을 전송하는 경우에 해당한다. ST 패킷은 엄격한 지연 시간 요구조건 아래 전송되어야 하는 가장 높은 우선 순위 패킷에 해당하며, 전체 프레임은 ST 구간과 그 외 다른 패킷이 전송될 수 있는 Non-ST 구간으로 나뉜다. Non-ST 구간에서는 기존 PLCA에서처럼 라운드-로빈 방식으로 각 노드에 전송 기회를 부여하고 전송할 패킷이 없는 경우 다음 ID를 가진 노드에게 전송 기회를 양보한다. Non-ST 구간에서 전송 기회를 얻을 수 있는 노드의 개수는 Primary Node가 전송하는 ST의 주기와 각 노드가 전송하는 패킷의 크기에 따라 결정된다. 이더넷 패킷이 전송할 수 있는 최대 페이로드 크기는 1,500 바이트이며, 해당 크기의 패킷을 전송하는 데 걸리는 시간은 약 1.2 msec이므로 10Base-T1S 버스 토폴로지에서 전송될 수 있는 ST의 최소 주기는 1.2 msec 이상이 되어야 한다. 만약 ST 외로 짧은 지연을 요구하는 AVB 패킷이 발생하는 경우 [3]에서 제안한 Interpacket gap (IPG) 구간에 우선 전송 요청 신호를 전달하는 방법에 따라 패킷을 전달할 수 있다. 우선 전송 요청 신호에 따라 패킷을 전달한 다음에는 기존 TO 순서로 돌아간다.

그림 3(b)는 모든 노드에서 ST 패킷 혹은 AVB 패킷을 보낼 수 있는 경우의 PLCA 전송 시퀀스에 해당한다. 이때의 프레임은 ST 구간과 Non-ST 구간, 그리고 Mini-Guardband (GB) 구간으로 나뉜다. 모든 노드는 ST 구간에서 TDMA (Time Division Multiplexing Access) 방식에 따라 ID 순서대로 ST를 전송한다고 가정하며, 이에 따라 ST 구간의 길이는 그림 3(a) 경우와 비교해 증가한다. GB 구간은 Non-ST 구간에서 TO를 가진 노드가 전송을 시작하기 이전에 위치하며, 전송할 패킷이 있는 노드들이 자신이 가진 패킷의 우선 순위를 서로 비교하여 가장 우선 순위가 높은 노드가 앞서 [3]에서 제시한 우선 전송 요청 신호에 따라 패킷을 전송할 수 있도록 한다. 이때 GB 구간은 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며, GB 구간의 길이는 노드의 개수에 따라 결정된다. 각 노드는 GB 내 자신의 우선 전송 요청 구간에 자신의 PCP (Priority Code Point)에 해당하는 비트열을 전송할 수 있다. 가장

높은 PCP를 전송한 노드는 GB 구간이 끝난 후 전송 기회를 획득하여 패킷을 전송한다. 위와 같은 방법으로 각 노드는 이더넷 TSN 패킷을 전송할 수 있게 된다.

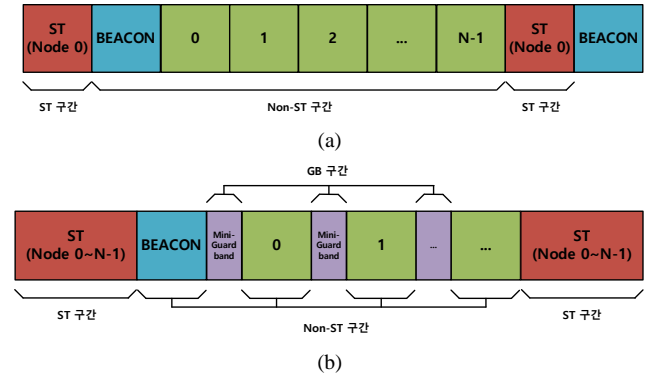


그림 3. TSN 서비스를 위한 PLCA 프레임 구조
(a) 단일 ST 고려한 프레임 (b) 다중 ST 및 우선순위 고려한 프레임

$2 \times N$ bits (N: 노드 개수)

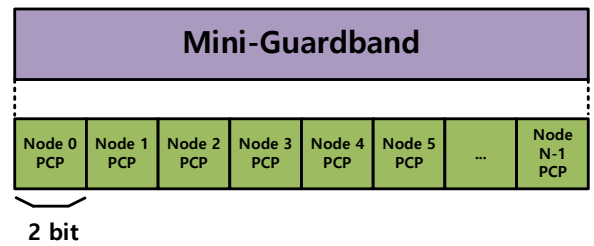


그림 4. Mini-Guardband 구간 구성도

III. 결론

본 연구에서는 10Base-T1S 이더넷이 TSN 지연 시간 요구사항을 충족하는 동시에 PLCA를 함께 사용할 수 있도록 확장한 PLCA 알고리즘을 제안하였다. 그 과정에서 기존 연구에서 제안한 우선 순위 전송 기법, 인터럽트 전송 기법 등을 함께 사용하였으며, 추가 분석을 통해 제안한 방법을 이용할 때의 지연 시간과 처리율 등을 확인할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지원을 통한 기초과학연구 프로그램(NRF-2022R1A2C2010298) 및 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks," IEEE Std 802.1Q-2022 (Revision of IEEE Std 802.1Q-2018), pp.1-2163, 2022.

[2] J. H. Kim, Y. S. Do, J. J. Lee and J. W. Jeon, "A Preemption Method for QoS Based on Time-Sensitive Network," 2023 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC-CSSC), pp. 1-6, 2023.

[3] J. Min and Y. Park, "Interrupt-enabled Physical Layer Collision Avoidance for 10BASE-T1S Automotive Ethernet," IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2023.