

차량용 10Base-T1S 이더넷에서 인터럽트를 이용한 저지연 패킷 전송

민지현, 박영일

국민대학교 대학원 전자공학과

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

Transmission of Low-latency Packets in Automotive 10Base-T1S Ethernet by Using an Interrupt

Ji Hyeon Min, Youngil Park

Electronics Engineering Department, Kookmin University

요약

차량용 이더넷 중 하나인 10Base-T1S는 Physical Layer Collision Avoidance (PLCA) 기능을 통해 버스 토폴로지 통신망에 연결된 모든 노드에 순차적으로 전송기회를 제공한다. 그러나 최대 전송지연이 수 msec 이상이므로 수십 μ sec 미만을 요구하는 저지연 통신에는 사용하기 어렵다. 본 연구에서는 긴급한 전송을 요구하는 패킷에 높은 우선순위를 할당하고, 이의 전송을 위해 인터럽트를 사용함으로써 현재 전송 중인 패킷을 중단하고 우선적으로 전송할 수 있도록 하는 확장된 PLCA 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘의 구현방법을 제시하고 성능을 평가하였다.

I. 서론

10Base-T1S는 차량에서 사용될 수 있는 이더넷 중 하나로서, 그림 1과 같이 10 Mbps의 데이터 속도로 동작하고 버스 구조에서 사용될 수 있다는 장점이 있다[1]. 버스 구조는 점대점으로 연결할 때보다 총 사용 케이블 길이가 짧고, 차량 내 다수의 센서와 Electronic Control Unit (ECU)를 연결하는 데 적합한 구조로, Controller Area Network (CAN) 및 Local Interconnect Network (LIN) 등 전통적인 차량용 통신 방식들에서 많이 사용되고 있다[2]. 따라서 이들보다 더 빠른 데이터 속도를 가지며 기존에 많이 이용되는 이더넷 프로토콜의 적용이 가능한 10Base-T1S는 이들을 대체하는 데 사용될 수 있다.

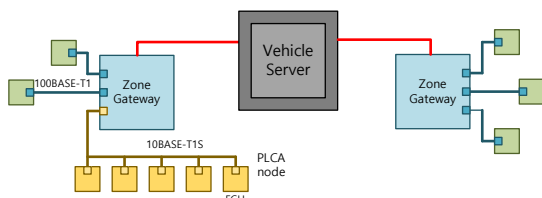


그림 1. 차량용 10Base-T1S 버스 네트워크

차량 내 네트워크의 지연시간 요구사항은 노드에 따라 달라지며, 그중 엔진과 파워트레인 도메인의 일부 ECU는 수 마이크로 초 단위의 매우 짧은 지연시간을 요구한다[3]. 10Base-T1S의 Physical Layer Collision Avoidance (PLCA) 기능은 각 노드에 ID를 지정하고 라운드-로빈 방식으로 전송 기회를 부여함으로써 충돌을 방지하고 낮은 지연시간을 갖도록 하지만, 자신의 순서가 돌아올 때까지 기다리는 과정에서 지연시간이 발생하기 때문에 저지연을 요구하는 노드의 요구사항을 충족하기 어렵다.

본 연구에서는 긴급 패킷에 높은 우선순위를 부여하고 해당 패킷 발생 시 인터럽트를 통해 전송 순서를 변경할

수 있도록 개선한 확장된 PLCA 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘을 구현하는 방안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 PLCA 알고리즘에서 높은 우선순위를 가진 패킷을 발생하는 노드, 즉, 우선노드는 앞선 노드의 전송이 끝나기 전에 현재의 전송을 중단시키고 대신 우선 패킷을 송신할 수 있다. 저지연 패킷이 발생할 때 우선노드가 다른 노드의 전송 중단을 요청하는 과정이 '인터럽트 요청'에 해당하며, 이후 저지연 패킷을 우선적으로 전송하고 중단되었던 패킷을 재전송하는 일련의 과정을 '인터럽트 처리'로 부른다. 그림 2는 인터럽트 발생 전후 10Base-T1S 버스에서 각 노드의 전송 순서를 나타낸다.

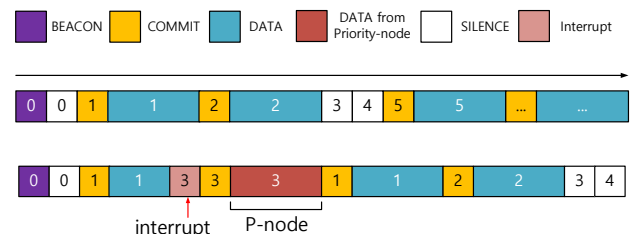


그림 2. 인터럽트를 이용한 우선노드 전송

(위: 인터럽트 없을 경우, 아래: 노드 3의 인터럽트 발생)

인터럽트 발생이 없을 경우 각 노드는 라운드-로빈 방식에 의해 미리 설정된 순서에 따라 순차적으로 데이터를 전송한다. 이때 Beacon은 프레임의 시작을 알려서 각 노드가 자신의 전송 순서를 판단하는 기준을 제공하며, Commit은 각 노드에서 자신의 차례가 왔을 때 데이터 전송을 알리는 신호, Silence는 노드가 전송할 데이터가 없을 경우에 각각 해당한다. 그림 2 아래와 같이 노드 1의 전송 도중 노드 3에서 저지연을 요구하는

패킷이 발생했을 때 노드 3은 인터럽트 요청신호를 버스에 내보낸다. 이 신호는 모든 노드에 의해 감지가 되고, 노드 1은 전송 중이던 패킷의 전송을 중단하며, 대신 노드 3이 'Commit' 신호 및 패킷을 전송한다. PLCA 알고리즘의 경우 각 노드의 전송이 종료되면 전송순서를 카운트하는 TO (Transmission Opportunity) 변수를 +1만큼 증가하지만 인터럽트 처리의 경우 증가하지 않도록 함으로써 인터럽트에 의해 전송을 중단했던 노드에게 다시 전송기회를 준다. 위 방법을 통해 우선노드는 인터럽트 요청을 위한 최소한의 시간만 대기 후 자신의 데이터를 전송할 수 있게 되므로 수십 μsec 미만을 요구하는 저지연 통신에 이용될 수 있다. 위 인터럽트 처리과정을 그림 3의 의사코드에서 제시한다.

```

begin
initialize all nodes on PLCA bus
generate packets at each node

while Current Time is smaller than T sec then
    Interrupt = rand [True, False]

    if Interrupt is True then
        transmit Interrupt request
        transmit priority data
    else if current node has data then
        transmit data
        Transmit_Opportunity (TO) ++
    else
        yield the transmit opportunity to the next node
        TO ++
    end if

    if TO > total number of nodes then TO = 1
    end if
end while

```

그림 3. 인터럽트 처리 알고리즘 의사코드

III. 제안된 PLCA 성능 분석

그림 3의 인터럽트 처리를 위한 확장 PLCA 알고리즘의 성능을 MATLAB 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그림 4는 4개의 노드를 가진 10Base-T1S 버스에 제안된 알고리즘을 적용한 결과로서, 각 노드에서 독립적으로 패킷을 발생하고, 노드 3에서 인터럽트 요청 및 저지연 패킷을 전송할 경우 이더넷 버스에서 전송되는 데이터 파형을 보여주고 있다.

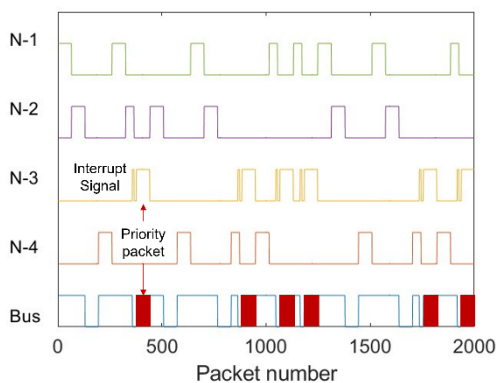


그림 4. 인터럽트에 의한 10Base-T1S 패킷 처리

그림에서 N-1, N-2, N-3, N-4는 버스에 위치한 4개의 노드를 의미하며, 이때 N-3은 인터럽트를 발생시켜 저지연 패킷을 전송하는 노드이다. 인터럽트 요청이 있을 때마다 기존 노드의 전송은 중단되고 N-3의 패킷을 우선적으로 전송하는 것을 볼 수 있다. 또한 N-3의 전송이 끝난 뒤에는 앞서 전송을 중단했던 노드에게

다시 전송 순서가 돌아간다. 그림 맨 아래의 Bus는 모든 노드와 연결된 이더넷 버스에서 전송되고 있는 데이터를 나타낸다. 여기에서 빨간색 패킷은 N-3가 인터럽트를 통해 전송하는 패킷과 동일함을 볼 수 있다. 이때 우선순위 패킷 및 일반 패킷 전송 지연은 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다. 식에서 R_b 는 전송속도, L_{INT} 는 인터럽트 요청, L_{comm} 은 각 노드에서 전송 요청을 위한 commit, L_{dprt} 는 우선순위 데이터, L_{bcn} 은 비콘, N 은 총 노드 개수, L_d 는 데이터, IPG는 패킷 갭을 각각 나타낸다.

$$T_{delay,prt} = \frac{1}{R_b} \{L_{INT} + L_{comm} + L_{d,INT}\} \quad (1)$$

$$T_{delay,reg} = \frac{1}{R_b} \{L_{bcn} + 2N(L_{comm} + L_d + IPG) + N(L_{INT} + L_{comm} + L_{d,INT} + IPG)\} \quad (2)$$

그림 5에서는 총 8개의 노드를 갖는 버스에서 일반 패킷 및 인터럽트 처리에 의한 우선패킷의 지연시간을 평가한 결과를 보여준다. 우선패킷의 경우 인터럽트 처리를 통해 즉시 전송을 하기 때문에 최대 지연시간과 평균 지연시간이 거의 비슷하게 3.2 μsec 에서 결정되는 것을 볼 수 있다. 반면 평균 지연시간은 부하에 따라 증가하며 부하 0.5에서 4 msec 이내로 측정된다.

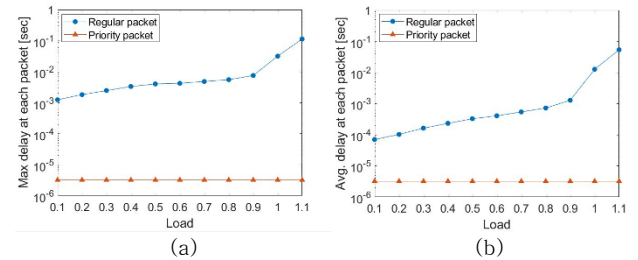


그림 5. 인터럽트에 의한 10Base-T1S 지연시간 비교
(a) 최대 지연시간 (b) 평균 지연시간

IV. 결론

본 연구에서는 10Base-T1S 이더넷이 더욱 짧은 지연시간을 요구하는 통신에도 이용될 수 있도록 노드 우선순위 지정 및 인터럽트를 도입한 확장 PLCA 알고리즘을 제안하였고, 높은 우선순위를 가진 노드의 경우 3.2 μsec 이내의 지연시간을 갖는 것을 확인하였다. 또한 일반 노드의 경우에도 수 msec 이내에 전송을 완료함으로써 10Base-T1S 버스가 기존 차량통신을 대체하는 용도로 활용할 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(NRF-2021R1F1A1048227)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] IEEE, "IEEE Standard for Ethernet Amendment 5: Physical Layers Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors", IEEE 802.3cg, 2019.
- [2] M. Sato, Automobile Network System, 1st Ed., Sungan dang, p. 20, 2010.
- [3] M Çakır, T. Häckel, S. Reider, P. Meyer, F. Korf, T. C. Schmidt, A QoS Aware Approach to Service-Oriented Communication in Future Automotive Networks, in: 2019 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE, 2019.