

차량용 CAN-Ethernet 게이트웨이에서 다중큐를 이용한 우선순위 데이터 처리

이창근, 이훈건, 김호중, 최제광, 류재민, 김한준, 민지현, 박영일
국민대학교 전자공학부

leeck722@kookmin.ac.kr

Implementation of Multi-Queue-Based Priority Data Processing at Vehicular CAN-Ethernet Gateways

Lee Chang Keun, Rhee Hun Geon, Kim Ho Joong, Choi Je Gwang,
Ryu Jae Min, Kim Han Joon, Ji Hyeon Min, Youngil Park
School of Electrical Engineering, Kookmin University

요약

차량 내 ECU(Electronic Control Unit) 개수 증가와 이더넷 인프라의 이용에 따라 차량 네트워크는 기존의 CAN(Controller Area Network)과 이더넷의 통합으로 발전하고 있다. 이러한 통합을 통해 차량 외부와의 통신이 더욱 원활해지고 향상된 대역폭을 제공할 수 있다. 그러나 이때 한 가지 문제점으로 CAN 통신의 ID 기반 우선순위 메시지 처리의 효율성을 이더넷과의 통합 이후에 충분히 활용하지 못하게 된다. 따라서 본 연구를 통해 CAN-Ethernet 통합 게이트웨이 내에서 우선순위에 따라 다른 큐를 이용하도록 하는 다중큐 기반 알고리즘을 이용하여 CAN 통신의 장점을 유지하며 TSN의 실시간 통신 기능을 강화하는 방식을 제안하고 라즈베리파이를 이용해 구현하였다. 또한 구현한 시스템의 성능을 CANoe를 이용하여 평가하였다.

I. 서론

차량 내에서 점차 고속 이더넷이 인프라에 이용되는 경우가 많아지고 또한 ECU(Electronic Control Unit) 개수가 늘어나면서, 기존의 CAN(Controller Area Network) 통신과 이더넷이 통합되어야 할 필요성이 커지고 있다. CAN 통신은 안정적으로 동작하며 ID에 따른 우선순위 처리로 실시간 성능이 좋다는 장점이 있다. 그러나 CAN은 전송 속도가 1 Mbps로 제한되어 있고, 한 번에 최대 8 바이트의 데이터만 처리 가능한 한계를 가진다. 따라서, ADAS(Advanced Driver Assistance Systems), 자율주행과 같이 높은 데이터 전송속도가 필요한 기술들의 발전에 따라 차량용 이더넷이 새롭게 도입되기 시작했다. 차량용 이더넷은 100 Mbps 및 1 Gbps, 또는 그 이상의 속도를 지원하며, 한 번에 최대 1,500바이트의 데이터를 처리할 수 있다.

이더넷은 고속으로 데이터를 전송할 수 있지만 상대적으로 고비용 구조이며, 대부분의 ECU에 적용되고 있는 CAN 통신을 완전히 대체하기에는 어려움이 있다[1]. 따라서 CAN과 이더넷 데이터를 상호 변환하기 위한 게이트웨이가 점차 많이 이용되고 있다. CAN-Ethernet 통합 게이트웨이를 사용하면 CAN 패킷은 이더넷 패킷에 포함되어 전송되는데, 이 과정에서 CAN 메시지가 갖는 우선순위는 사라지며, 부하가 커짐에 따라 지연시간에 민감한 데이터에 큰 지연이 발생하거나 심지어는 패킷 손실이 발생할 수도 있다.

본 논문에서는 이런 현상에 효과적으로 대처하기 위해 다중큐 기반 알고리즘을 제안한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 CAN-Ethernet 게이트웨이를 이용한

네트워크 구조를 보이고 있다. CAN-Ethernet 게이트웨이 구현에는 라즈베리파이를 사용되며 각 ECU 노드에는 아두이노를 이용하였다. 다중큐 알고리즘을 구현한 후 이를 적용한 통신 성능 평가에는 벡터사의 CANoe시스템을 이용하였다.

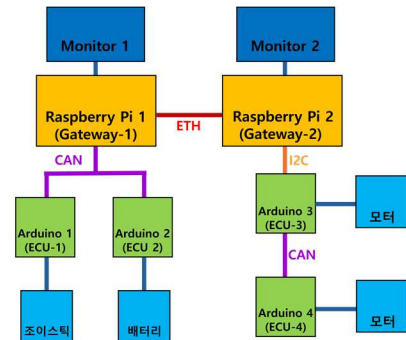


그림 1. CAN-Ethernet 게이트웨이 기반 차량네트워크

II. CAN-Ethernet 게이트웨이 구현

본 연구에서는 CAN-Ethernet 게이트웨이 구현을 위해 그림 2와 같이 CAN 패킷을 이더넷의 데이터 영역에 매핑하였다.

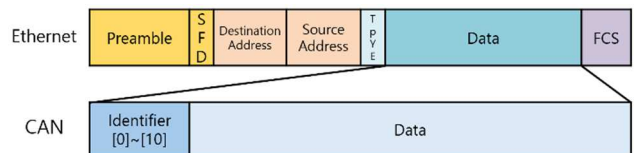


그림 2. CAN 메시지의 이더넷 매핑

이 과정에서 CAN의 11비트 ID와 최대 8 바이트 데이터는 모두 이더넷의 데이터 영역에 포함된다[2]. 이더넷 패킷의 Destination 및 Source Address는 이더넷 스위치 및 게이트웨이 등의 MAC 주소에 해당한다. 그림 3은 게이트웨이에 입력되는 CAN 데이터와 다중큐의 관계를 보여준다. CAN 프레임에서는 11 비트 ID 크기가 작을수록 우선순위가 높는데 일단 이더넷 패킷에 통합되면 이 특성을 잃어버리게 된다. 따라서 게이트웨이에 CAN 프레임이 입력되면 ID를 읽어 그 크기에 따라 우선순위 클래스를 나눈 후 이더넷 패킷으로 만들고, 지정된 우선순위에 따라 그림 3의 HP(High Priority) Queue 혹은 LP(Low Priority) Queue에 할당한다. HP-Queue에 데이터가 있다면 LP-Queue에 우선하여 처리를 함으로써 높은 우선순위를 갖는 데이터의 지연시간이나 손실을 최소화 한다.

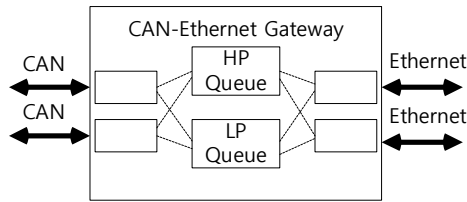


그림 3. 다중큐 기반 데이터 처리

그림 4는 다중 큐의 이더넷 프로토콜 변환을 위한 의사코드를 보여준다. 100이하의 CAN ID를 갖는 프레임은 HP-Queue로, 100초과의 ID를 갖는 CAN 프레임은 LP-Queue로 저장하며, 이들 HP 큐에 저장 데이터를 우선적으로 처리하는 과정을 보여주고 있다. 이때 큐의 개수나 우선순위 분류 기준은 목표로 하는 성능에 따라 다르게 설정할 수 있다.

```

Algorithm 1 Multi-Queue Gateway
1: Initialize HP-Queue and LP-Queue.
2: procedure RECEIVEDATA
3:   while True do
4:     frame ← GetData()
5:     id ← ExtractId(frame)
6:     if id is low then
7:       Enqueue(frame, HP-Queue)
8:     else
9:       Enqueue(frame, LP-Queue)
10:    end if
11:  end while
12: end procedure
13: procedure TRANSMITDATA
14:   while True do
15:     if HP-Queue is not empty then
16:       packet ← Dequeue(HP-Queue)
17:       Transmit(packet)
18:     else if LP-Queue is not empty then
19:       packet ← Dequeue(LP-Queue)
20:       Transmit(packet)
21:     else
22:       Print("No packets to transmit.")
23:     end if
24:   end while
25: end procedure

```

그림 4. 우선순위를 이용한 다중큐 분리 의사코드

본 논문에서 제안하는 CAN-Ethernet 게이트웨이 알고리즘의 성능 평가를 위해 그림 1에서 제시한 차량네트워크를 그림 5와 같이 구현하였으며, CANoe 시스템을 이용해 성능을 측정하였다. 이때 고우선순위 데이터는 8 바이트의 패킷 크기를 가지며 HP-Queue에 저장되며, 저우선순위 데이터는 1024바이트의 단일 패킷으로 변환되어 LP-Queue에 저장되도록 하였다.



그림 5. 성능평가를 위한 네트워크 구현

트래픽 발생에 따른 고우선순위 데이터의 손실률을 그림 6과 같이 측정할 수 있었다. 그림의 X축에는 1초 동안 발생하는 총 데이터 크기를 표시하고, Y축에는 데이터 손실률을 나타낸다. 다중큐를 도입하지 않은 경우 총 데이터의 증가에 따라 고우선순위 메시지의 평균 손실률이 급증하는 것을 확인할 수 있다. 반면 제안한 다중큐 알고리즘을 이용할 경우, 데이터의 증가에도 평균 손실률은 매우 작게 유지됨을 확인할 수 있었다. 이를 통해 CAN 패킷이 이더넷 게이트웨이를 지나더라도 CAN ID에 따른 메시지의 우선순위를 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

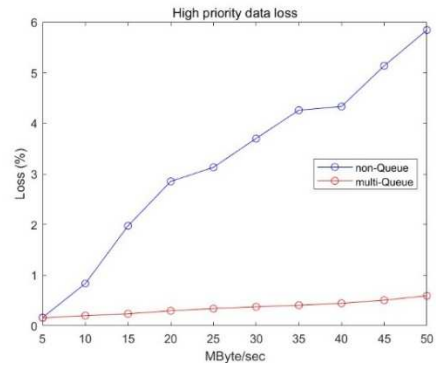


그림 6. 다중 큐의 이더넷 프로토콜 변환 알고리즘

III. 결론

CAN-Ethernet 게이트웨이는 큰 사이즈의 데이터를 빠르게 보낼 수 있는 특징이 있지만, 시간지연에 긴급 데이터의 지연시간을 보장하지 못하는 문제가 있다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 다중큐를 도입한 CAN-Ethernet 통합 게이트웨이 알고리즘을 제안하였고, 이를 통해 최소 지연시간 및 낮은 손실율을 유지함을 확인했다. 이 연구를 통해 실시간 성능이 우수한 CAN통신의 장점을 살릴 수 있었으며, 향후 이더넷 인프라를 이용한 차량용통신에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] 민지현, 박영일, "차량용 통신을 위한 10BASE-T1S 이더넷의 효율적인 운용에 관한 연구", 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2022.06.23.

[2] 민지현, 정소영, 박영일, "CAN-over-Ethernet을 이용한 차량용 PLCA 이더넷 성능평가", 한국통신학회논문지, 제46권 제9호, pp. 1449-1458, 2021.9.30.