

QEMU 기반 가상 ECU의 CAN-FD 네트워크 타이밍 정확도 측정

김진용, 설우현, 한우진, 양안나, 조정훈*
 드림에이스, *경북대학교

{red.kim, truman, wjhan, metamon}@drimaes.com, *jcho@knu.ac.kr

Measurement of vCAN-FD Network Timing Accuracy for QEMU-Based Virtual ECUs

Kim Jin Yong, Seol Woo Hyun, Han Woo Jin, Yang Anna, Cho Jung-hoon*
 DRIMAES., *Kyungpook National Univ.

요약

본 논문은 QEMU를 활용하여 구현한 가상 ECU를 기반으로 CAN-FD 통신의 가상 네트워크 타이밍 정확도를 측정하는 방법에 대해 설명한다. 이를 위해, 가상 네트워크에서의 CAN-FD 통신 소요 시간을 실제 CAN-FD 통신 시간과 비교하였다. 또한, 정확도를 측정하기 위한 프로그램을 개발하였고, 이를 통해 가상 네트워크의 타이밍 정확도를 측정하였다. 그 결과 가상 네트워크에서의 CAN-FD 통신 소요 시간이 이상적인 CAN-FD 데이터 송수신 시간 대비 약 7,596 배 느린 것으로 확인되었는데 이것은 가상 ECU가 CAN-FD 데이터 송/수신을 위해 연산 처리하는데 소요되는 시간을 반영하지 않아 발생하는 오차로 이를 극복하기 위해 가상 ECU에서 통신을 처리하기 위해 소요되는 시간을 계산하고 이를 반영하는 방식으로 가상 네트워크 정밀도를 측정하기 위한 방안에 대한 연구가 필요하다.

I. 서론

최근 전기차, 자율주행 등 전동화와 지능화로 인해 자동차에 탑재되는 소프트웨어의 비중이 증가하고 있다. 이에 따라 차량의 성능과 안정성을 향상하기 위해 소프트웨어 개발 프로세스를 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 우리는 기존의 연구로서 다양한 운영 체제 플랫폼에서 여러 종류의 하드웨어를 가상화하여 에뮬레이션할 수 있는 오픈소스 하드웨어 가상화 플랫폼인 QEMU(Quick Emulator) [2]를 활용한 가상 ECU 및 검증 시스템을 개발해 왔다. 그 결과로 우리는 실물 STM32F407ZGT를 참조하여 다양한 운영 체제 환경에서 ARM 기반의 아키텍처를 가지는 ECU를 개발하였으며, 구현된 가상 ECU에서 대표적인 차량 통신 프로토콜인 CAN과 CAN-FD를 지원하기 위하여 MCP2517FD를 구현하고, 가상화된 STM32F407ZGT와 연동하여 CAN-FD 통신이 가능함을 보였다 [3][4]. 본 논문에서는 기존에 개발한 CAN-FD를 지원하는 가상 ECU가 CAN-FD 통신에 송수신 시 소요되는 시간이 이론적으로 계산된 CAN-FD 통신 송수신 소요 시간과 동일하지 확인하기 위해 별도의 테스트 프로그램을 구현하여 가상 네트워크의 타이밍 정확도를 측정하고 그 결과를 보인다.

II. 본론

우선 가상 네트워크 정확도를 측정하기 위해서는 CAN-FD 통신에 소요되는 시간을 계산하고, 가상 ECU가 CAN-FD 통신을 할 때 소요된 시간을 측정하여 비교하여야 한다. 이를 위해서는 CAN-FD 표준 프로토콜에 대한 이해가 필요하다. 그림 1은 CAN-FD 표준 프로토콜의 구조로 CAN-FD 통신 프레임은 통신을 식별하기 위한 Arbitration Field, 오류 검출을 위한 CRC (Cyclic Redundancy Check) Field와 데이터 길이 코드 (DLC - Data Length Code)가 포함된 Control Field, 0~64 바이트까지 확장 가능한 Data Field 그리고 프레임 간 간격을 나타내는 IFS (Inter-Frame Space)로 구성되어 있다. 이상적인 CAN-FD 통신 시간을 구하기 위해서는 CAN-FD 통신 속도 및 총 비트 수를 구하여야 한다.

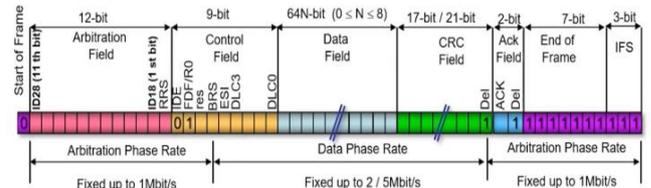


그림 1. CAN-FD 프레임

CAN-FD의 경우 Arbitration phase와 Data phase로 나뉘어 데이터를 보내게 되며 각 Phase별로 전송속도를 다르게 설정할 수 있는데 기존 CAN 통신에서 가장 널리 활용되는 통신 속도인 500Kbps로 설정한 것과 유사한 통신 속도를 도출하기 위한 데이터 전송 속도는 Arbitration phase는 500Kbps로 Data Phase는 2Mbps로 설정하여야 한다[5]. 하지만 본 논문에서는 계산의 편의를 위하여 모두 500Kbps의 전송속도를 갖는 것으로 가정한다. 총 비트 수의 경우 Data Field가 64 바이트로 설정하는 경우 총 579 비트가 된다.

표 1 CAN-FD Phase와 총 비트 수(FSB 포함)

# of bits for each phases		Field	Bit(s)
$B_{Arbitration(1)}$	17	Start of Frame (SOF)	1
		Arbitration	12
		Control	4
B_{data}	550	Data	512
		CRC	26+ 1
		SBC	6
		Ack	2
$B_{Arbitration(2)}$	12	End of Frame (EOF)	7
		IFS	3
Total			579

본 논문에서는 이상적인 CAN-FD 통신 시간에 있어서 송/수신 시간을 모두 고려한 전송속도(T_{CAN-FD})로 한다. 이때 CAN-FD

데이터 송/수신 시 소요되는 시간을 구하는 방법은 식 1 과 같다. 통신 속도가 500Kbps 일 때 1 비트를 전송하는데 걸리는 시간($BT_{500Kbps}$)은 2 usec 로 총 데이터 전송속도는 각 Phase 의 비트수를 통신속도로 곱한 값이 된다. 그 결과 Arbitration phase 의 전송속도 ($T_{arbitration}$)는 경우 58usec 이며 Data phase 의 전송시간 (T_{data})는 1,100usec 가 되어 CAN-FD 통신에 소요되는 총 전송시간(T_{CAN-FD})은 2.316 msec 으로 확인할 수 있다.

$$T_{CAN-FD} = (T_{arbitration} + T_{data}) * 2 * 1,000 \quad \text{-- (식 1)}$$

$$T_{arbitration} = (B_{Arbitration(1)} + B_{Arbitration(2)}) * BT_{500Kbps}$$

$$T_{data} = B_{data} * BT_{500Kbps}$$

본 논문에서 구성한 가상 네트워크의 경우 소켓

앞서 설명한 바와 같이 가상 ECU 에서 CAN-FD 통신에 대한 CAN-FD 가상 네트워크 정확도를 구하기 하여 우리는 정확도 측정 프로그램을 구현하였다. 그림 2 는 가상 네트워크 정확도를 측정하기 위한 동작의 구조를 보인다.

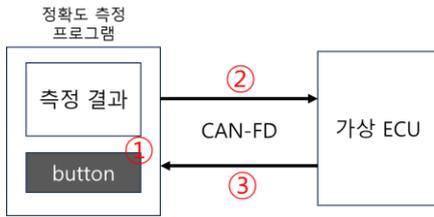


그림 2. 정확도 측정 프로그램을 통한 정확도 측정 방법

그림 2-①의 정확도 측정 프로그램의 버튼을 누르면 그림 2-②와 같이 가상 ECU 로 CAN-FD 프레임 보내는 데 걸린 시간(t_{tx})과 그림 2-③처럼 가상 ECU 가 CAN-FD 통신 프레임을 회신 받는데 걸린 시간(t_x)을 활용해 CAN-FD 을 1 회 송/수신하는데 소요되는 시간($t_{txrx} = t_{tx} + t_{rx}$)을 구한다. 이때, 송수신에 소요되는 시간에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 12 회에 걸쳐 CAN-FD 송수신을 수행한 후 송수신에 소요된 시간의 편차가 큰 2 개의 샘플 S_1 과 S_2 을 제거한 후 송/수신 시간의 평균값(μ)을 구하는데 그 결과는 표 4 에 보인다.

표 4 정확도 측정 결과 (단위: msec)

회수(N)	소요시간(msec)	회수(N)	소요시간(msec)
1	149.09	7	233.82
2	173.03	8	128.04
3	152.40	9	170.94
4	169.96	10	216.00
5	223.27	11	168.71
6	154.38	12	181.14

앞서 구한 CAN-FD 가상 네트워크의 송/수신 시간의 평균값(μ)을 이상적으로 소요되는 시간으로 이상적인 CAN-FD 전송 시간으로 나누어 식 2 와 같이 CAN-FD 의 가상 네트워크 타이밍 정밀도($accuracy_{vcan-fd}$)를 구한다.

$$accuracy_{vcan-fd} = \frac{\mu_{txrx}}{K_{CAN-FD}} * 100 \quad \text{----- (식 2)}$$

$$\mu_{txrx} = \frac{(\sum_{i=1}^N t_{txrx-i}) - S_1 - S_2}{N - 2}$$

식 2 를 정확도 측정 프로그램에 적용하여 계산 결과 그림 3 과 같이 CAN-FD 의 가상 네트워크의 정확도는 대략 7,595.65%로 가상 ECU 의 가상 네트워크 에서 CAN-FD 의 송수신 소요시간이 실제 ECU 의 CAN-FD 통신 네트워크 속도보다 대략 7,596 배 느린 것으로 확인되었다. 이는 가상 ECU 가 CAN-FD 데이터를 받아 처리 후 회신을 위한 연산처리에 소요되는 시간을 반영하지 않아 생기는 오차로 예상된다.

III. 결론

본 논문에서는 정확도 측정 프로그램을 구현하여 가상 네트워크에서 CAN-FD 의 네트워크 정확도를 측정하고 그 결과를

보였다. 가상 네트워크 정확도 측정을 위해서 기준이 되는 비트 수와 CAN-FD 통신속도를 정하여 이론적 CAN-FD 송수신 소요 시간을 기반으로 정확도 계산식을 구하였고, 가상 네트워크에서 CAN-FD 통신의 정확도 계산식을 구하였고, 가상 네트워크에서 CAN-FD 통신의 정확도 측정 방법을 제안하였다. 그 결과 이론적인 CAN-FD 통신 시간 대비 가상 ECU 기반으로 구현한 CAN-FD 의 가상 네트워크 통신 시간이 대략 7,596 배 느린 것으로 측정되었다. 이것은 가상 ECU 에서 CAN-FD 데이터 송/수신에 걸리는 연산처리 시간을 반영하지 않았기 때문에 발생하는 것으로 예상되며 향후에는 가상 ECU 의 연산처리 시간을 반영하여 가상 네트워크 정확도를 측정할 수 있는 방안 에 대해 연구하고자 한다.

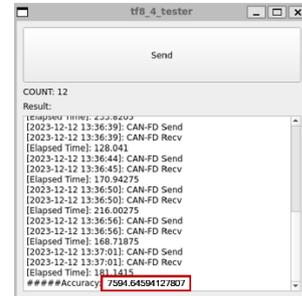


그림 3 네트워크 정확도를 측정 프로그램 및 정확도 출력 결과

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP) (No.1711160343, Development of virtual ECU-based vehicle ECU application software development and verification automation)

참 고 문 헌

- [1] [Online] Jeon Chanmin, “자율주행 안전성·신뢰성 검증, 시뮬레이션이 핵심이다”, Engineering Journal, 20. Aug. 2022, <http://www.engjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=1578>.
- [2] B. Choi and T. Suh, “A Study on Utility of Open Source Virtual Platform using QEMU,” Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, pp. 76-78, Oct. 2015.
- [3] Anna Yang, et al. “A Method for Reducing Simulation Timing Deviation in QEMU-Based Virtual ECU,” The 14th International Conference on ICT Convergence (2023), Oct. 2023.
- [4] Kim, Jin Yong, et al. “Virtual ECU Supporting for CAN-FD: Implementation and Integration of MCP2517FD”, KICS Fall Conference (2023), pp. 376-378.
- [5] Seo Sh, “Performance Analysis of CAN-FD Based Network Against Network Topology”, IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, vol. 12, no. 6, pp. 351-358, 2017.