

CAN FD 를 활용한 ECU 내부 신호 측정 및 재프로그래밍



CAN FD 기술은 일반적인 CAN 네트워크 기술만큼 복잡하지만, 훨씬 넓은 대역폭을 제공한다. 때문에, CAN FD 를 FlexRay 나 Ethernet 네트워크의 대안으로 간주하고 있다.

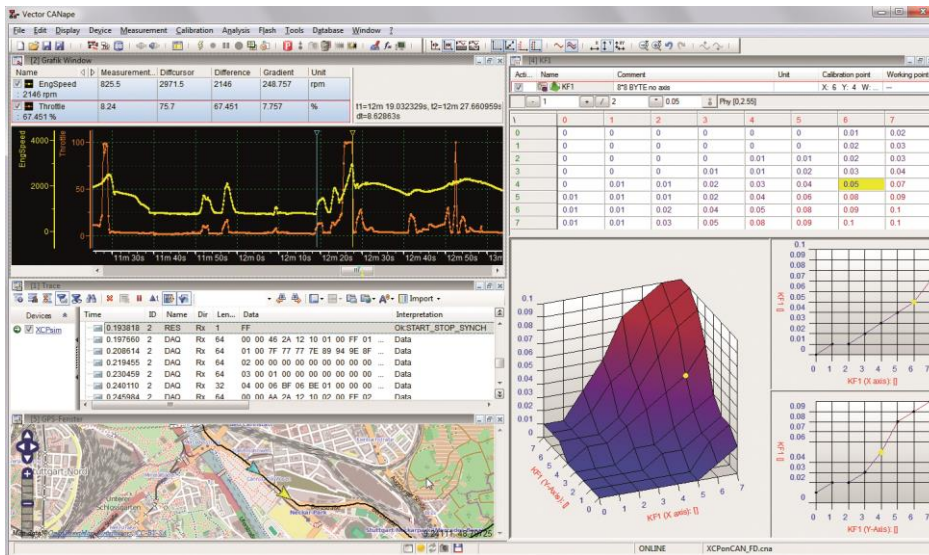
CAN 기반의 프로토콜로 유연한 데이터 전송속도를 갖춘 CAN FD 는 FlexRay 보다는 덜 복잡하면서 CAN 보다 넓은 대역폭을 제공한다. 벡터의 네트워크 전문가들은 CAN FD 시스템을 활용하여, XCP 를 통한 ECU 내부 신호 측정 및 ECU 재프로그래밍에 대해 분석하였다.

CAN FD 상에서 XCP 를 활용한 ECU 측정

ECU 개발에서 대표적인 캘리브레이션 사용 사례는 개방 및 폐쇄 루프 제어 알고리즘을 대상으로

기술 기사

다양한 신호와 파라미터를 측정 및 캘리브레이션하는 하는 것이다. ECU 개발자들은 ASAM e.V 에 의해 표준화된 XCP 측정 및 캘리브레이션 프로토콜을 선호한다. 현행 프로토콜 버전 1.2 에서 CAN FD 는 새로운 XCP 전송 계층으로 도입되었다. XCP 를 활용하여 벡터의 CANape(그림 1)와 같은 측정 및 캘리브레이션 툴로 파라미터를 실시간으로 수정하고 ECU 의 변경된 속성을 측정하는 것이 가능하다. CAN 시스템을 고려했을 때, 관찰되는 신호 수에 따라 전송 매체의 대역폭이 빠르게 줄어들 수도 있다. XCP on CAN FD 는 데이터 전송 단계에서 최대 페이로드 64 바이트, 최소 데이터 전송속도 5Mbit/s 까지 그 기능을 확장할 수 있다.



[그림 1: CANape 를 활용하여 XCP on CAN FD 를 측정]

XCP on CAN FD 의 데이터 전송속도

XCP on CAN FD 대비 XCP on CAN 에 대해 사용 가능한 최대 데이터 전송속도를 추산하기 위해, 프레임 크기 대 프레임 내 가용한 페이로드를 조사하였다. 데이터 전송속도는 버스 부하가 100%라는 가정하에 계산되었다. CAN 및 CAN FD 에 대한 프레임 영역의 실제 크기는 표 1 과 표 2 에 제시되어 있다. 단, CAN 이나 CAN FD 에 대한 프레임 크기를 정확히 예측하는 것은 불가능하다. 버스 노드를 신호 전이 상태에 동기화시키기 위해, 콘텐츠에 따라 양이 변하는 추가 스텝 비트가 해당 프레임에 삽입된다.

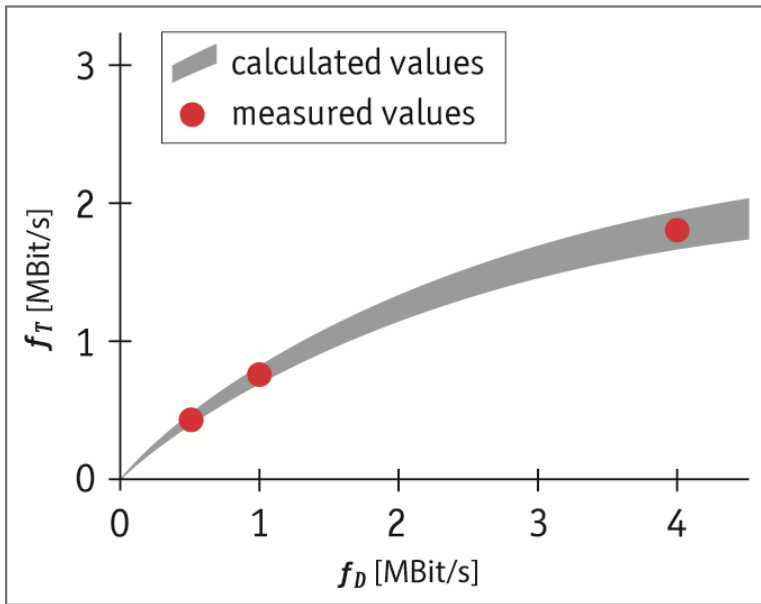
Name	Size [Bit]
Start of Frame	1
Arbitration Field	12
Control Field	6
Data Field	≤ 64
CRC Field	15
Acknowledge Field	2
End of Frame	10

[표 1: CAN 프레임의 구조]

Name	Size [Bit]
Start of Frame	1
Arbitration Field	12
Control Filed (1 st part)	4
Control Field (2 nd part)	5
Data Field*	≤ 512
CRC Field*	18 / 22
Acknowledge Field	2
End of Frame	10

[표 2: CAN FD 프레임의 구조]

프레임의 크기에 따라 스텝 비트의 설계하기 위해, 최상 및 최악의 케이스 시나리오를 분석하였다. 데이터 전송 속도에 대한 계산 결과는 도표상에 부채꼴 모양으로 나타나며(그림 2, 표 3), 실제 내용에 따라 프레임이 존재할 수도 있다. 이론적인 계산을 검증하기 위해, 실제 측정 활용 사례가 반영된 실질적인 측정을 시뮬레이션 환경에서 실시하였다. CANape 측정 및 캘리브레이션 소프트웨어, 인터페이스 하드웨어, PC 기반의 ECU 에뮬레이션으로 구성된 실험 환경에서, CAN/CAN FD 드라이버의 입/출력 사이의 전파 시간을 양방향으로 측정하였다. 실험을 통해 측정된 값이 수학적 추정값과 상당히 일치했으며(그림 2, 표 5), 이를 통해 이용 가능한 데이터 전송 속도의 모델링을 검증하였다. 각각 CAN 과 CAN FD 사용 시 데이터를 전송하는 데 필요한 데이터를 비교하였을 때, CAN FD 의 데이터 전송 속도가 시스템 환경 설정에 따라 1.3 에서 최대 5.4 배까지 증가한 것으로 나타났다.(표 4)



[그림 2: ECU 측정시 측정 및 계산된 CAN FD 데이터 전송속도]

f_D [kBit/s]	\bar{f}_T [kBit/s] Best Case	\bar{f}_T [kBit/s] Worst Case
500	407	341
1000	753	635
4000	2130	1825

[표 3: XCP on CAN FD 를 이용한 데이터 측정 기법으로 계산한 데이터 전송속도 (fA=500 kbit/s)]

	Measured CAN	Measured CAN FD	Factor
Min.	294 kBit/s	380 kBit/s	1.3
Max.	318 kBit/s	1712 kBit/s	5.4

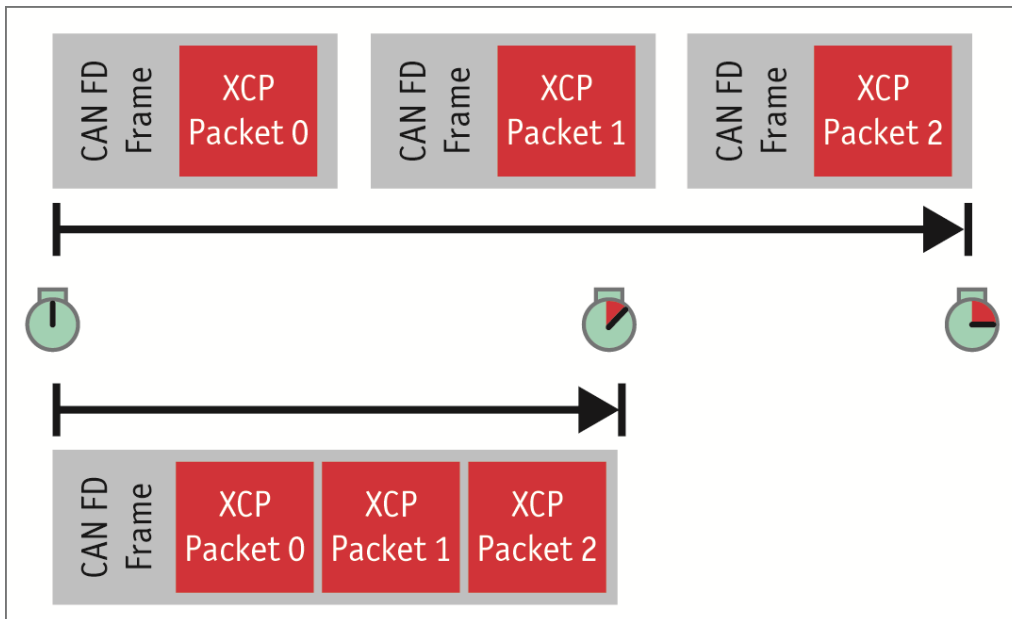
[표 4: XCP on CAN 과 XCP on CAN FD 를 각각 이용하여 측정된 데이터 전송속도 비교]

f_D [kBit/s]	f_T [kBit/s]
500	401 ± 21
1000	724 ± 46
4000	1884 ± 172

[표 5: XCP on CAN FD 를 이용한 데이터 측정 기법으로 측정된 데이터 전송속도 (fA=500 kbit/s)]

이미 향상된 대역폭 외에도, XCP on CAN FD 는 추가로 향상될 수 있는 부분이 있다. CAN 과 CAN FD 의 물리적인 통신 기반이 동일하기 때문에, CAN FD 로 마이그레이션 된 후에도 기존 ECU

소프트웨어의 통신 경로가 8 바이트 데이터 전송으로 제한될 가능성이 높다. 이러한 경우, XCP 를 빨라진 데이터 전송속도로 인한 혜택을 받을 수는 있지만, CAN FD 프레임에서 이용가능한 최대 페이로드인 64 바이트를 충분히 활용할 수는 없다. 따라서 데이터 전송속도를 최적화하기 위해서는, 소용량 XCP 패킷의 페이로드를 대용량 CAN FD 프레임으로 연결할 수 있다. (그림 3) 벡터는 앞으로 XCP 사양에 XCP on CAN FD 를 위한 패킷 연결이 가능한 조건을 포함할 예정이다.



[그림 3: 하나의 CAN FD 프레임에 통합된 XCP 패킷에 의해 더욱 빨라진 데이터 전송]

플래시 프로그래밍

플래시 메모리의 (재)설정은 두 번째 이용 사례로, 고속 네트워크 프로토콜을 활용하여 상당한 성능 개선을 실현할 수 있다. “삭제”, “다운로드/설정”, “검증”, 이 세 가지 플래시 메모리 단계에서, 일반적으로 CAN 시스템의 다운로드 시간은 매우 중요한 요소이다. 이때 FlexRay, Ethernet, CAN FD 와 같이 더 빠른 버스 시스템으로 CAN 시스템상의 다운로드 시간을 가속화 할 수 있다.

전송 프로토콜과 상관없이, 데이터 압축, 파이프라인 방식의 프로그래밍과 같이 다운로드를 위한 추가적인 최적화 기법을 적용하는 것이 바람직하다. LZSS(Lempel-Ziv-Storer-Szymanski) 알고리즘에 의한 데이터 압축은 전송하게 될 데이터 양을 대폭 줄이기는 하지만, 그 효율성은 데이터 구조에

따라 매우 다르며, ECU 상에서 데이터 추출로 인해 CPU 에 추가적인 부담을 주게 된다. 반면, 파이프라인 방식의 프로그래밍은 병렬화를 지원하기 때문에, 하나의 데이터 세그먼트가 ECU 에 저장되는 동안에 다음 데이터 세그먼트의 전송이 동시에 실행된다. 따라서 파이프라인 방식의 프로그래밍을 통한 성능 개선은 프로그래밍 시간이 데이터 전송 시간보다 빠를 때 최대화된다.

FlexRay 는 10Mbit/s 의 전송 속도를 제공하지만, (재)프로그래밍을 완벽하게 지원하지는 못한다. TTP(Time Triggered Protocol)의 주기적인 통신 시퀀스의 경우, 모든 PDU(Protocol Data Unit)가 고정 슬롯에서 사전 정의된다. 예를 들어 다운로드를 하기 위해 진단 서비스에 많은 슬롯을 할당할 경우, 실질적으로 사용될 데이터에 대한 대역폭은 줄어들게 된다. 실제 설정은 진단 서비스를 위해 PDU 4 개에서 8 개를 주기 별로 42 바이트에서 255 바이트로 제공한다. 벡터의 엔지니어들은 파이프라인 방식의 프로그래밍을 활용하여 40~60 kB/s 수준의 다운로드 속도를 측정하고 있다.

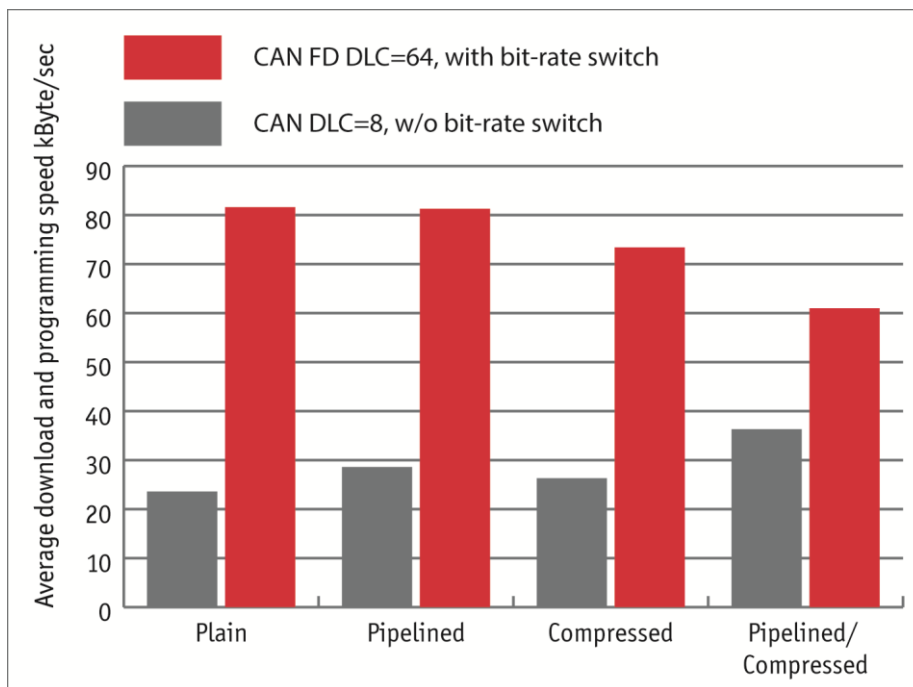
또한, Ethernet 을 ISO 13400-2 별 DoIP(Diagnostics over IP)와 함께 활용하여 ECU 를 빠르게 재프로그래밍할 수 있다. 100Mbit Ethernet 과 플래시 메모리 쓰기의 순수 속도가 180kB/s 인 일반 마이크로컨트롤러를 테스트한 결과, Transfer-Data 서비스의 버퍼 크기가 매우 중요한 요인으로 밝혀졌다. 16KiB 버퍼를 통해 150kB/s 의 전송속도에 도달했는데, 이는 테스트에 사용된 플래시 메모리의 최대치에 가까운 수치였다.

CAN FD 를 통한 재프로그래밍

반도체 회사들이 아직 CAN FD 를 지원하는 마이크로컨트롤러를 제공하지 않기 때문에, 벡터의 네트워크 전문가들은 CAN FD 측정을 위해 FPGA 상에 CAN FD 컨트롤러가 구현된 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 보드 상의 소프트웨어 스택은 표준 Vector UDS 부트로더로 구성되어있다. CAN FD 지원을 위해 ISO 15765-2 전송 계층과 CAN 드라이버를 확장하였다. 다운로드 테스트를 위한 신속한 설정을 위해, CAN FD 를 지원하는 CANoe 시뮬레이션 및 테스트 툴을 활용하였다. 해당 소프트웨어는 플래시 프로그래밍 및 전송 계층 기능을 제공하는 외부 DLL 을 사용한다. 벡터는 CAN FD 용 플래시 툴인 Vector 'vFlash' 를 출시할 예정이다.

기술 기사

전송 계층의 사용과 함께, CAN FD 상에서 플래시 메모리의 이론적인 최대 전송속도는 CAN FD 데이터 전송 단계에서 4Mbit/s 기준으로 270kB/s~37 kB/s 수준이다. 그러나 실제로 측정된 값은 이러한 최대치보다 훨씬 작다. (그림 4) 놀라운 사실은, 데이터 압축 및 파이프라인 방식의 최적화 전략이 테스트 환경 하의 CAN FD 에 오히려 역효과를 초래했다는 것이다. 이는 연구실 환경 하에서 내장 플래시 메모리에 대한 프로그래밍 시간이 플래시 과정에서 오히려 제한 요인으로 작용했기 때문이다. 이 때문에, 다운로드 단계에서 최적화 작업이 효과적이지 못했다. 그러나 데이터 전송 속도와 최적화 효과에 대해 일반적인 결론을 내리기 위해서는 보다 강력한 CPU 를 기반으로 한 추가적인 테스트가 필요하다. 결론적으로, CAN 기술과 비교했을 때 CAN FD 기술은 월등히 빠른 데이터 전송속도를 제공하며 (그림 4), 마이그레이션 절차도 매우 간단하다.



[그림 4: 다운로드 및 설정 시간 비교: CAN vs. CAN FD]

요약 및 전망

다양한 마이크로컨트롤러의 종류와 여러 가지 제약들로 인해 CAN FD, FlexRay 및 Ethernet 기반의 직렬 버스 시스템들을 객관적으로 비교하는 것은 여전히 매우 어렵지만, 이들 사이에 차이점은 분명 존재한다. FlexRay 의 경우, 빠른 다운로드 속도와 실시간 데이터 페이로드에 대한 높은 성능을

동시에 확보할 수 없다. 100Mbit Ethernet 의 경우는 가장 빠른 전송속도를 제공하긴 하지만, 복잡한 소프트웨어 설정과 FlexRay 의 하드웨어 비용이 CAN FD 보다 높다는 단점이 있다.

CAN FD 는 빠른 데이터 전송 속도를 제공하고, 이를 통해 저렴한 비용으로 추가적인 기능 개선 또한 가능하므로 가장 적절한 솔루션으로 여겨진다. 또한, CAN 과 CAN FD 간의 유사성으로 인해 향상된 CAN 으로의 마이그레이션 하는 것 역시 비교적 간단하다. 게다가, 두 프로토콜 모두 동일한 물리적 구조를 가지고 있기 때문에, 트랜시버, 배선 및 버스 토폴로지의 재사용도 가능하다. 통신 규약 역시 변경되지 않았기 때문에, 기존의 노하우를 역시 동일하게 적용할 수 있다. 또한, 캘리브레이션 및 재프로그래밍 시 소프트웨어 계층에 대한 변경사항도 상대적으로 미미한 수준이다.

ECU 측정 및 (재)프로그래밍 시, CAN FD 를 이용해 데이터 전송 속도를 상당히 개선할 수 있으며, 이로 인해 플래시 메모리에 병목현상이 생길 수 있다. MCU 에 대한 메모리 액세스 시간을 줄이기 위한 개발을 통해 추가적인 성능 개선도 가능하다. 벡터는 CAN FD 에 연결된 패킷을 포함하기 위해 XCP 사양을 확장하기 위한 노력을 하고 있으며, 이를 통해 신규 프로토콜의 성능 개선을 기대하고 있다.

독일 출판물 CAN Newsletter 2014 년 3 월호 CAN FD 관련 기사 번역판

링크:

벡터 홈페이지: www.vector.com

저자:



아민 하펠(Armin Happel)



에릭 스파르(Erik Sparrer)



피터 데커(Peter Decker)

본 자료 배포시 최종 인쇄물을 당사에 보내주시면 감사하겠습니다.
배포와 관련하여 문의사항이 있으시면 언제든지 연락주시기 바랍니다.

벡터코리아 편집자 연락처:

마케팅팀 전은영

서울특별시 용산구 한남대로 11 길 12 고막스빌딩 5 층

Tel. 02-807-0600 Ext.5014, Fax. 02-807-0601

E-mail: eunyoung.jeon@vector.com