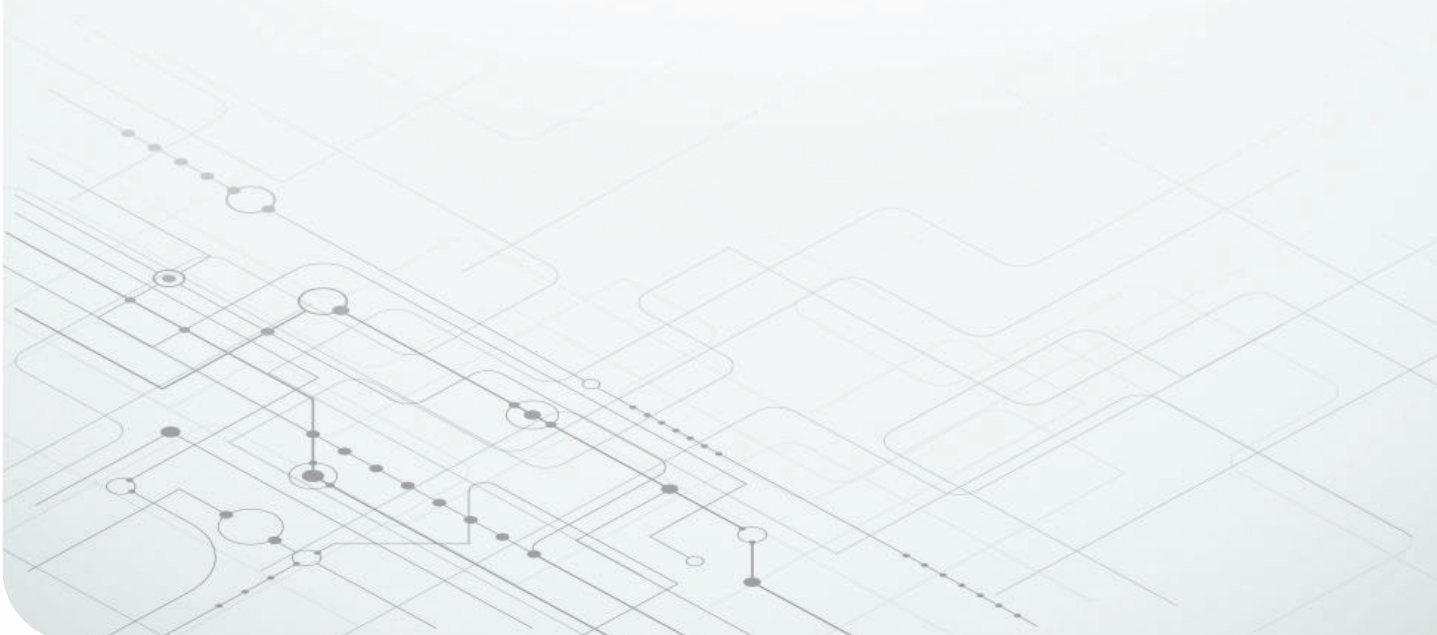


내일의 SDV 살펴보기: 원격 제어 에너지 노드 통합



Kate Hawkins
Systems Engineer
Body Electronics and Lighting



원격 제어 에지 기술은 차량용 네트워크를 혁신하여 SDV를 위한 더 중앙화된 아키텍처를 지원합니다.

한눈에 보기

- 1 기존 에지 노드와 원격 제어 에지 노드 비교
- 2 원격 제어 에지 노드의 장점
- 3 원격 제어 에지 노드 고려 사항

머리말

차량 내 네트워킹은 SDV(소프트웨어 정의 차량)의 새로운 기능을 지원하기 위해 진화하고 있습니다. 차량 플랫폼의 확장성을 높이고 OTA(Over-the-Air) 업데이트를 간소화하기 위해 ECU(전자 제어 장치) 수가 줄어들며 소프트웨어가 통합됨에 따라, 새로운 원격 제어 에지 개념은 배선을 최적화하면서 확장 가능한 에지 노드 소프트웨어를 가능하게 합니다.

에지 노드는 실외등을 위한 헤드라이트 모듈이나 도어 잠금, 창문, 사이드 미러 제어 모듈과 같은 특정 기능을 실시간으로 제어하는 특수 ECU입니다. 이 노드는 차내 네트워크를 통해 커맨더 ECU(영역 컨트롤러, 도메인 컨트롤러 또는 중앙 컴퓨팅)로부터 명령을 수신합니다. 에지 노드는 제어 루프 피드백을 위해 온도·압력·위치 센서를 모니터링하여 로컬 하드웨어를 제어하며, 하프 브리지와 고압측 및 저압측 스위치를 포함한 부하 드라이버를 통해 모터 및 솔레노이드 같은 기계식 액추에이터를 직접 제어합니다. **그림 1**에서는 영역 아키텍처에서의 에지 노드와 커맨더 ECU 간 차이점을 보여줍니다.

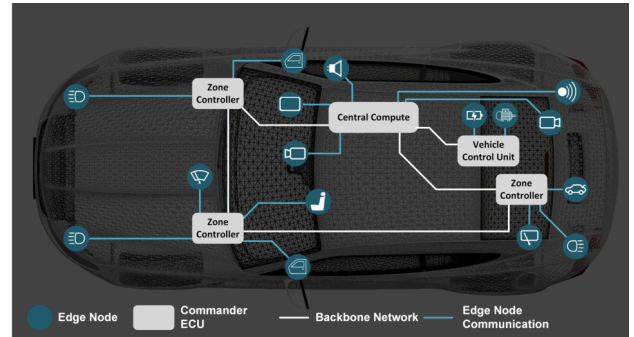


그림 1. 커맨더 ECU 및 다중 에지 노드가 있는 차량용 영역 아키텍처.

원격 제어 에지 아키텍처는 실시간 제어와 HAL(하드웨어 추상 계층)을 커맨더 ECU로 이동시키며, 커맨더 ECU가 에지 노드의 센서와 부하 드라이버를 위한 저수준 하드웨어 명령을 생성합니다. 원격 제어 에지 솔루션은 이더넷 또는 CAN(컨트롤러 영역 네트워크) 등의 ECU 간 고수준 네트워크 데이터 링크 계층을 SPI(직렬 주변 기기 인터페이스), I2C(상호 집적 회로), UART(범용 리시버 트랜스미터) 및 GPIO(범용 입력/출력) 등의 저수준 통신 인터페이스에 연결합니다. 이 방식을 통해 MCU(마이크로컨트롤러)뿐만 아니라 소프트웨어가 에지 노드에서 완전히 제거됩니다.

원격 제어 에지 체계는 SDV와 관련된 주요 전체적 추세를 지원하며, 커맨더 ECU에 소프트웨어를 중앙화해 와이어 하니스 수를 줄이는 동시에 부하 종속 하드웨어는 전기 기계식 액추에이터 가까이 있는 에지 노드에 유지합니다.

SDV에 대한 자세한 내용은 백서 **차량용 전자장치의 미래를 바꾸는 소프트웨어 정의 차량**을 읽어보세요.

기존 에지 노드와 원격 제어 에지 노드 비교

그림 2에서는 기존 에지 노드 블록 다이어그램을 보여줍니다. 전통적인 아키텍처에서는 로컬 MCU에 장치 소프트웨어가 하드웨어와 상호 작용하는 방법을 정의하는 소프트웨어인 HAL이 포함되어 있습니다. 에지 MCU는 네트워크 인터페이스(일반적으로 CAN FD(CAN Flexible Data-Rate)로컬 인터커넥트 네트워크)를 통해 컨트롤러 MCU로부터 명령을 수신하고, 컨트롤러의 지시에 따라 로컬 하드웨어를 제어합니다.

예를 들어 업스트림 컨트롤러 MCU가 에지 MCU 노드에 "운전석 창문 올리기" 명령을 전송하면, 에지 MCU는 이 메시지를 창문 올리기, 창문 소프트 클로즈 기능 수행, 모터 스톱 또는 창문 걸림 이벤트 방지 등을 포함한 특정 하드웨어 동작으로 변환합니다. 에지 노드 MCU는 필요한 SPI 메시지를 모터 드라이버에 전달하고, 하프 브리지 모터 드라이버에 대한 PWM(펄스 폭 변조) 출력을 통해 창문 모터의 실시간 제어 루프를 구현하며, 통합 ADC(아날로그-디지털 컨버터)를 사용해 모터 전류를 모니터링하고 창문 위치 추적을 위해 홀 효과 펄스를 계수합니다.

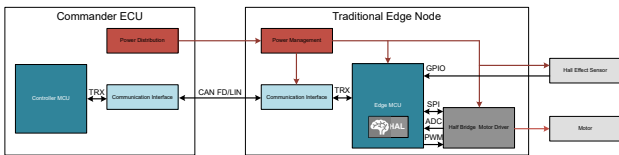


그림 2. 커맨더 ECU와 통신하는 기존 에지 노드의 블록 다이어그램.

그림 3에서는 원격 제어 에지 노드 블록 다이어그램을 보여줍니다. 이 아키텍처는 HAL 및 실시간 액추에이터를 업스트림으로 이동시켜 커맨더 ECU의 MCU에 포함시키며 에지 노드 MCU를 완전히 제거합니다. 컨트롤러 MCU는 이제 장치 통신 프로토콜 프레임 또는 주변 기기 제어(SPI, I2C, UART, PWM 출력 제어, ADC 샘플링, GPIO)가 포함된 명령을 전송할 수 있습니다.

창문 올리기 애플리케이션의 경우 컨트롤러가 표준 통신 프로토콜 데이터 페이로드(CAN FD light, 10BASE-T1S)에 포함된 네트워크를 통해 직접 제어 데이터(SPI 모터 드라이버 명령, PWM 출력 설정)를 전송합니다. 에지 노드의 통신 브리지가 이 프로토콜 데이터 페이로드를 추출해 해당 GPIO 핀으로 SPI 프레임과 PWM 신호를 출력합니다. 센서 피드백의 경우 이 브리지는 내부 또는 외부 ADC와 홀 효과 센서 데이터를 샘플링해 이를 커맨더 ECU에 다시 전송하여 제어 루프를 완료합니다.

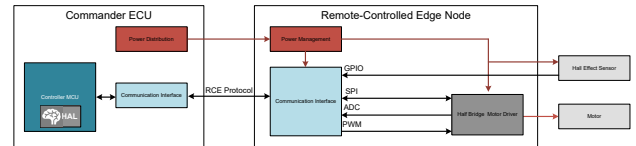


그림 3. 커맨더 ECU와 통신하는 원격 제어 에지 노드의 블록 다이어그램.

원격 제어 에지 노드의 장점

원격 제어 에지 아키텍처는 소프트웨어 중앙화, 소프트웨어 개발 비용 절감, 확장성 지원 및 OTA 업데이트 간소화를 비롯한 여러 이점을 제공합니다. 또한 원격 제어 에지 노드를 사용하면 커맨더 ECU에서 부하 드라이버를 제어 하면서 부하 배선을 최소화할 수 있습니다.

원격 제어 에지 노드는 소프트웨어 중앙화를 통해 시스템 비용을 절감할 수 있습니다. 에지 마이크로컨트롤러를 제거하고 더 적은 수의 ECU로 소프트웨어를 중앙화하여 회사는 소프트웨어 개발 및 관리 간접비를 절감하고, 차량의 많은 ECU에서 테스트 및 유효성 검사 요구 사항을 줄일 수 있습니다.

소프트웨어 중앙화는 확장성도 향상시킵니다. 개발자는 업스트림 커맨더 ECU 전용 소프트웨어만 개발하고 에지 노드에서 하드웨어를 표준화할 수 있습니다. 이러한 표준화를 통해 특수 에지 하드웨어를 사용할 필요 없이 여러 노드 및 ECU에서 차량 인프라가 간소화됩니다.

그림 4에서는 기존 방식(각 에지 노드 모듈이 여러 공급업체의 여러 MCU를 사용하여 여러 플랫폼에서 소프트웨어를 개발하고 관리해야 함)과 원격 제어 에지 방식(**그림 4**의 "RCE 솔루션 A, B 또는 C" 라벨은 여러 공급업체의 소프트웨어 미사용 옵션을 나타냄)을 비교하여 보여줍니다. 표준 기반 솔루션은 커맨더 ECU의 소프트웨어가 원격 제어 에지 솔루션 공급업체와 관계없이 일관되게 유지되므로 추가적인 장점을 제공합니다.

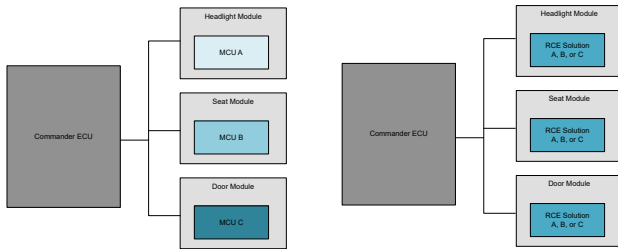


그림 4. 원격 제어 에지 노드와 기존 에지 노드의 하드웨어 확장성 비교.

제어 기능을 중앙화하면 자동차 제조사는 소프트웨어 관리와 OTA 업데이트를 간소화할 수 있어 자체 소프트웨어를 소유하고 관리하기가 쉬워집니다. OTA 업데이트를 출시할 때는 여러 모듈의 소프트웨어를 업데이트할 필요 없이 커맨더 ECU만 업데이트하면 됩니다.

커맨더 ECU에서 직접 부하를 구동하는 대신 에지 노드를 사용하면 부하 드라이버로 가는 배선 길이가 짧아집니다. 원격 제어 에지 노드는 이 장점을 유지하면서 HAL을 커맨더 ECU에 남겨둡니다. **그림 5**에서는 도어를 예로 사용하여 영역 아키텍처에서의 이러한 구성을 보여줍니다. 영역 컨트롤러가 두 개의 도어 모듈을 모두 제어하더라도, 도어 에지 모듈은 부하 배선이 줄어들어 기생 커패시턴스와 인덕턴스를 최소화함으로써 전자기 간섭 완화에도 기여합니다. 이는 특히 더 빠른 스위칭 시간이 요구되는 차세대 48V 차량에서 중요합니다.

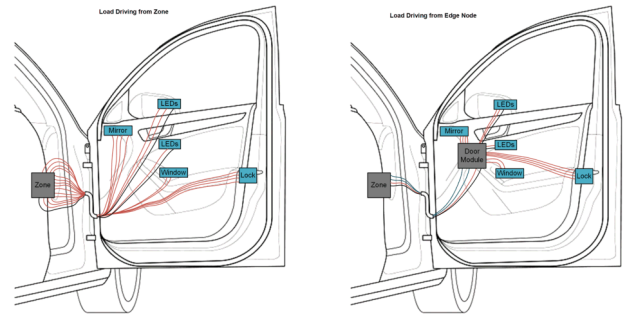


그림 5. 원격 제어 에지 노드와 기존 에지 노드의 케이블 감소 비교.

원격 제어 에지 노드 고려 사항

원격 제어 에지 기술 도입을 검토하는 OEM(완성차 제조업체)과 설계자는 지연, 기능 안전, 사이버 보안 및 비용을 고려해야 합니다.

지연은 중요한 설계 과제입니다. 에지의 데이터는 업스트림으로 전송되어 처리를 위한 결정이 이루어진 뒤, 다시 구현을 위해 다운스트림으로 에지에 전달되어야 하며, 이로 인해 실시간 제어 루프에 지연이 발생합니다. **그림 6**에서는 부하를 감지 및 제어하기 위한 이 프로세스를 보여줍니다. 기존 에지 노드는 2번 및 5번 단계만 필요로 하고, 원격 제어 에지 솔루션은 지연을 줄이기 위해 지능형 작업 또는 자율 폴링과 같은 기능을 구현합니다. 지능형 작업을 통해서 브리지 장치가 커맨더 ECU에 의한 초기 요청 없이 센서 데이터를 자동으로 전송하므로 1번 단계가 필요하지 않습니다. 자율 폴링은 브리지 장치가 센서에서 자동으로 샘플링하고 버퍼에 측정값을 저장하도록 해줍니다. 이를 통해 다른 단계 진행 중에 2번 단계를 진행하여 지연을 더 줄일 수 있습니다.

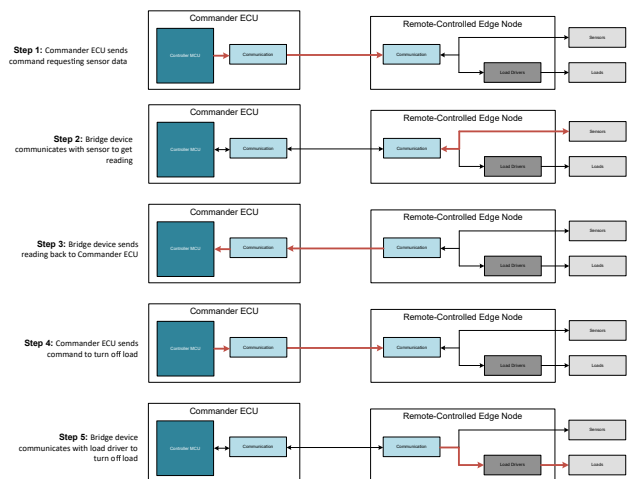


그림 6. 지연에 기여하는 원격 제어 에지 노드의 통신 단계.

더 이상 로컬 실시간 제어가 없으므로 기능 안전 관련 우려가 있을 수 있습니다. FTTI(결함 허용 시간 간격) 사양과 같이 엄격한 지연 요구 사항이 적용되는 에지 애플리케이션은 업스트림 통신 지연 문제를 겪을 수 있습니다. 더 새로운 기술인 1세대 원격 제어 에지 장치는 ASIL(Automotive Safety Integrity Level) 요구 사항을 충족하지 못하거나, 시스템 레벨에서 기능 안전을 달성하기 위해 추가 조치가 필요할 수 있습니다.

차량이 점점 더 소프트웨어에 의존하게 됨에 따라 사이버 보안 위험이 증가하고 있습니다. 적절한 보안 조치를 취하지 않으면 해커가 차량 네트워크에 접근해 차량 전반의 기능을 제어할 수 있으며, 이는 도난과 안전 위험으로 이어질 수 있습니다. 원격 제어 에지 노드에는 보안을 로컬로 관리할 MCU가 없으므로 사이버 보안을 구현하기가 더 어렵습니다. 따라서 OEM이 해당 사이버 보안 요건을 충족하는 솔루션을 선택하는 것이 중요합니다.

비용을 고려할 때는 하드웨어와 소프트웨어 비용의 균형을 맞춰야 합니다. 기존 에지 노드에서 현재 사용되는 저수준 MCU를 원격 제어 에지 노드 장치로 교체하는 것은 잠재적으로 더 많은 비용이 들 수 있습니다. 그러나 하드웨어 비용이 증가하더라도 소프트웨어 개발 및 관리 비용은 상당히 절감할 수 있다는 점에 주목해야 합니다.

원격 제어 에지는 자동차 제조사가 더 많은 소프트웨어를 내부에서 관리할 수 있도록 하며, OEM은 이러한 절충안을 평가해야 합니다.

원격 제어 에지 애플리케이션

원격 제어 에지 기술은 조명, BMS(배터리 관리 시스템), ADAS(첨단 운전 보조 시스템), 차량 액세스 및 차체 모터 등 많은 애플리케이션에서 가치를 제공합니다. 표 1에는 이러한 애플리케이션과 원격 제어 에지 노드의 장점이 열거되어 있습니다.

애플리케이션	원격 제어 에지 노드를 사용해야 하는 이유
헤드라이트	저수준의 단일 프로토콜만 필요함 (UART, SPI 또는 둘 다)
주변광	
BMS	차량의 여러 노드가 하드웨어 확장성 기회를 제공함
레이더	
초음파 센서	
차량용 액세스	

애플리케이션	원격 제어 에지 노드를 사용해야 하는 이유
시트 모듈	이제 부하 드라이버가 더 많은 진단 기능을 통합함
도어 모듈	

표 1. 다양한 원격 제어 에지 노드 애플리케이션 및 이를 사용해야 하는 이유.

원격 제어 에지 프로토콜

원격 제어 프로토콜을 위한 솔루션에는 10BASE-T1S, CAN FD Light 및 CAN을 통한 UART가 포함됩니다. 이러한 프로토콜은 반이중 방식으로 작동하여 두 장치 간에 비동시 양방향 데이터 전송을 지원합니다. 반이중 방식은 두 개 이상의 장치가 동일한 버스에서 통신하는 멀티드롭 기능을 지원하여 커맨더 ECU의 단일 네트워킹 장치만 여러 에지 노드와 상호 작용하도록 합니다. 그림 7에서는 멀티드롭 토폴로지의 예를 보여줍니다.

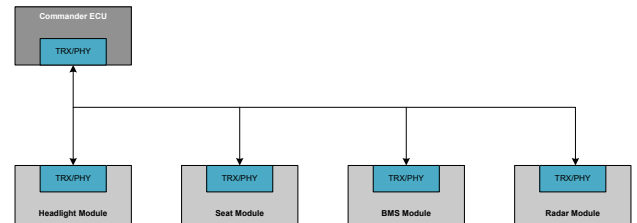


그림 7. 커맨더 ECU-에지 노드 멀티드롭 토폴로지.

10BASE-T1S, CAN FD Light 및 CAN을 통한 UART는 멀티드롭 및 버스 토폴로지에서 속도, 페이로드 용량 및 노드 수가 서로 다릅니다. 표 2에서는 이 프로토콜을 비교합니다.

	10BASE-T1S	CAN FD Light	CAN을 통한 UART
네트워크 프로토콜	이더넷	CAN	UART
속도	10Mbps	1-5Mbps	0.1-1Mbps
페이로드	46~1,500바이트	1~64바이트	1~64바이트
최대 노드 수	16	64	64
토폴로지	라운드 로빈	커맨더 리스폰더	커맨더 리스폰더

표 2. 10BASE-T1S, CAN FD Light 및 CAN을 통한 UART 간 원격 제어 에지 네트워킹 프로토콜 비교.

그림 8에서는 라운드 로빈과 커맨더 리스폰더 토폴로지 간의 차이점을 보여줍니다. 라운드 로빈 토폴로지는 노드 ID를 기준으로 각 노드에 사이클별 고유한 전송 기회가 주어지는 순환 방식으로 작동합니다. 이 방식은 중재 과정을 자동화하지만 버스에서 낮은 우선순위 데이터 때문에 높은

우선순위나 시간 민감 데이터가 지연되지 않도록 보완이 필요합니다. 커맨더-리스폰더 토폴로지는 커맨더 ECU가 버스에 데이터를 전송하기 전에 다운스트림 노드를 프롬프트해야 합니다. 전송 순서는 노드 ID에 의해 결정되는 것이 아니라 커맨더 ECU에 의해 결정됩니다.

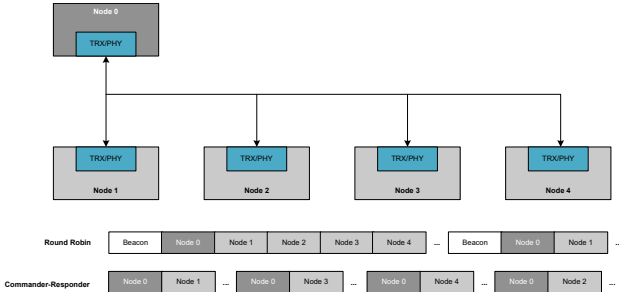


그림 8. 라운드 로빈과 커맨더 리스폰더 간 전송 비교.

IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3cg에서 표준화된 10BASE-T1S는 Technical Committee 18에서 표준화한 원격 제어 프로토콜을 사용합니다. 이는 10Mbps로 동작하며 라운드 로빈 멀티드롭 토폴로지로 작동합니다. 이더넷 프로토콜인 10BASE-T1S는 MACSec(Media Access Control Security), TSN(Time-Sensitive Networking), AVB(Audio Video Bridging) 및 PoDL(Power over Data Line)과 같은 이더넷 기능을 포함합니다. 표 3에서는 이 4개의 기능에 대해 설명합니다. 또한 이미 고속 이더넷 백본을 사용 중인 시스템은 모두 이더넷으로 구성된 네트워크에서 간소화된 소프트웨어를 사용하는 이점을 누릴 수 있습니다.

기능	설명	표준
MACSec	계층 2, 이더넷을 위한 포인트-투-포인트 사이버 보안 프로토콜	IEEE 802.1AE
TSN	이더넷 네트워크를 통해 데이터 동기화를 위한 결정론적, 실시간 통신을 지원하는 표준	IEEE 802.1Q IEEE 802.1AS
AVB	오디오 및 비디오 애플리케이션을 위한 TSN을 정의하는 표준	IEEE 802.1BA IEEE 1722
PoDL	포인트-투-포인트 이더넷에 사용되는 차폐 연선 케이블을 통한 전력 전송	IEEE 802.1cg

표 3. 10BASE-T1S 이더넷 기능 및 표준 목록과 설명.

ISO(국제 표준화 기구) 11898-1:2024 표준을 기반으로 하는 CAN FD의 변형 버전인 CAN FD Light는

1Mbps~5Mbps의 속도로 작동합니다. (노드가 동시에 전송할 때 가장 낮은 노드 ID의 노드가 우선권을 갖는) CAN 중재를 따르는 기존 CAN과 달리 CAN FD Light는 커맨더 리스폰더 토폴로지 방식을 사용해 동작합니다. 에지 노드에는 CAN FD Light 리스폰더를 사용하며, 커맨더 ECU는 CAN FD Light 커맨더 또는 CAN FD 트랜시버를 사용합니다. 기존의 많은 아키텍처에서 이미 CAN FD 트랜시버를 사용하여 에지 노드와 통신하기 때문에 기존 아키텍처로 CAN FD Light를 통합하는 것은 쉽습니다. 1Mbps를 초과하는 속도를 달성하려면 CAN FD Light 커맨더가 필요하지만, 컨트롤러 중재 위상 제약이 있습니다.

10BASE-T1S 및 CAN FD Light 프로토콜은 모두 이더넷과 CAN을 SPI, I2C, UART, GPIO 및 PWM과 같은 다른 프로토콜에 연결합니다(그림 9 참조). 이 브리징은 10BASE-T1S 및 CAN FD Light를 통해 여러 센서와 드라이버를 원격으로 제어할 수 있게 하여 두 솔루션을 다양한 최종 애플리케이션에서 다목적으로 활용할 수 있게 합니다.

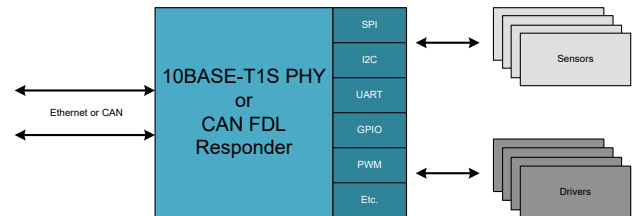


그림 9. 10BASE-T1S 또는 CAN FD Light 에지 노드의 블록 다이어그램.

CAN를 통한 UART는 CAN 트랜시버를 사용하여 CAN PHY(물리 계층)를 통해 UART 패킷을 전송합니다(그림 10 참조). 커맨더-리스폰더 토폴로지에서 1Mbps 이하의 속도로 동작하는 UART over CAN은 비용 효율적인 솔루션을 제공하지만, UART 기반 LED 드라이버나 실시간 제어 및 진단 기능이 통합된 모터 드라이버에 의존합니다.



그림 10. CAN을 통한 UART 에지 노드의 블록 다이어그램.

실시간 제어 기능이 통합된 스마트 드라이버는 업스트림 제어 요구 사항을 줄여 원격 제어 에지 솔루션을 보완합니다. TI(텍사스 인스트루먼트)는 BLDC(브러시리스 DC) 모터 드라이버 및 통합 전류 감지를 위한 센서리스 자속 기준

제어 및 스테퍼 모터 드라이버를 위한 정지 감지를 비롯한 센서리스 모터 시스템을 위한 제어 기능이 통합된 스마트 모터 드라이버를 제공합니다. 스테퍼 모터는 회전 정확도가 높아 업스트림 진단 데이터가 덜 필요하므로 특히 원격 제어 에지 애플리케이션에 적합합니다. 표 4에는 일부 TI 장치가 나열되어 있습니다.

장치	유형	전계 효과 트랜지스터
MCF8329A-Q1	BLDC 모터 드라이버	외부
MCF8316C-Q1	BLDC 모터 드라이버	내부
MCF8315C-Q1	BLDC 모터 드라이버	내부
DRV8889-Q1	스테퍼 모터 드라이버	내부

표 4. TI의 모터 드라이버 제품.

원격 제어 에지 시스템 솔루션

그림 11에서는 10BASE-T1S 또는 CAN FD Light를 사용한 헤드라이트로서의 원격 제어 에지 노드를 보여줍니다. PHY 또는 리스폰더는 이더넷 또는 CAN FD light 메시지를 다양한 로컬 프로토콜로 변환해 온도 센서, LED 드라이버, 모터 드라이버 및 고압측 스위치를 제어합니다. 커맨더 ECU는 PHY 또는 리스폰더에 명령을 전송해 UART, SPI, GPIO 또는 기타 프로토콜을 통해 부하 드라이버를 활성화하여 액추에이터를 온·오프합니다. 그 후 PHY 또는 리스폰더는 센서 데이터와 액추에이터 피드백을 업스트림으로 커맨더 ECU에 전송합니다.

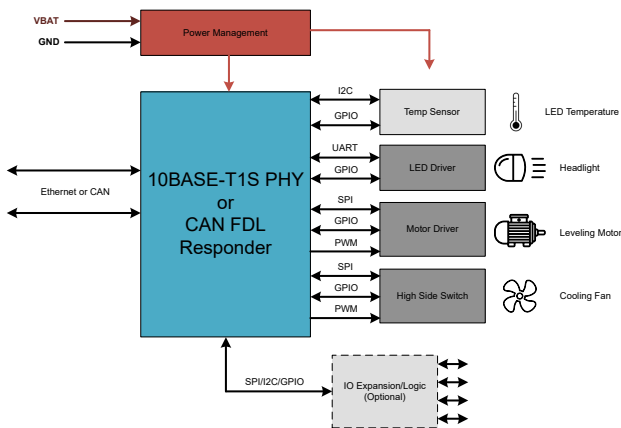


그림 11. 10BASE-T1S 또는 CAN FD Light를 사용한 원격 제어 헤드라이트 모듈의 블록 다이어그램.

TI는 스테퍼 모터 사다리꼴 제어 및 **DRV8434A-Q1** 스테퍼 모터 드라이버가 통합된 **TPS92544-Q1** 스위칭 LED 드라이버를 사용하여 CAN를 통한 UART로 원격 제어 에지 헤드라이트 솔루션을 제공합니다. TPS92544-Q1은 단일 UART 인터페이스를 통해 LED와 모터를 모두 제어하여 헤드라이트 모듈에 적합한 효율적인 솔루션입니다. 그림 12에 표시된 것처럼 CAN 트랜시버는 커맨더 ECU의 UART 패킷을 위한 하드웨어 매개체로 기능합니다.

이러한 UART 패킷은 TPS92544-Q1을 제어해 헤드라이트를 활성화하고, 레벨링 모터를 위한 DRV8434A-Q1의 스테퍼 모션 제어를 구동합니다.

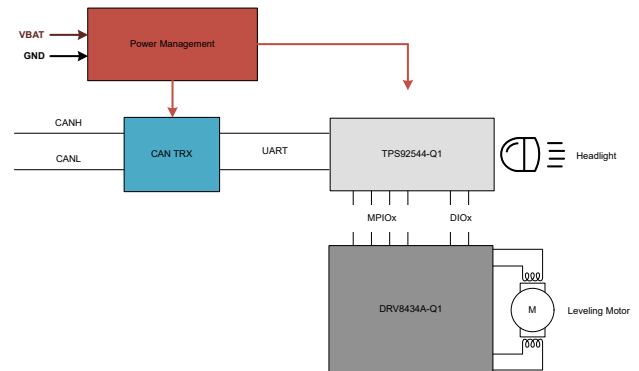


그림 12. CAN을 통한 UART에 TPS92544-Q1을 사용한 원격 제어 헤드라이트 모듈의 블록 다이어그램.

결론

자동차 시장에서 영역 아키텍처를 통해 SDV와 ECU 통합을 수용함에 따라 확장성과 배선 감소를 위해 소프트웨어를 중앙화하려는 움직임이 증가할 것입니다. 원격 제어 에지 노드는 소프트웨어를 업스트림으로 이동시키고 더 적은 수의 ECU로 통합하며 OTA 업데이트를 간소화함으로써 이러한 이니셔티브를 지원합니다.

10BASE-T1S, CAN FD light 및 CAN을 통한 UART와 같은 다양한 솔루션은 시스템 설계자에게 특정 설계 요구 사항에 맞는 선택지를 제공합니다. 또한 진단 및 제어 기능이 통합된 스마트 드라이버는 원격 제어 에지 구현을 더욱 최적화합니다.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated