

이더넷이 소프트웨어 정의 차량으로의 전환을 가속화하는 방법

영역 아키텍처와 이더넷은 차량 네트워킹의 미래를 보여준다. 차량에 새로운 기능이 추가되면서 센서와 액추에이터를 영역 제어 모듈로 통합하는 흐름이 확산되고 있으며, 이러한 변화에는 고대역폭과 저지연을 동시에 충족하는 차량 내 통신 네트워크가 필요하다. 이더넷을 기반으로 한 영역 아키텍처는 이러한 요구를 충족하며 소프트웨어 정의 차량(SDV)의 성장을 가능하게 한다.

글 | Madison Ecklund, systems manager, Body Electronics & Lighting, 텍사스 인스트루먼트

영역 아키텍처와 이더넷은 차량 네트워킹의 미래를 보여준다. 차량에 새로운 기능이 추가되면서 센서와 액추에이터를 영역 제어 모듈로 통합하는 흐름이 확산되고 있으며, 이러한 변화에는 고대역폭과 저지연을 동시에 충족하는 차량 내 통신 네트워크가 필요하다. 이더넷을 기반으로 한 영역 아키텍처는 이러한 요구를 충족하며 소프트웨어 정의 차량(SDV)의 성장을 가능하게 한다.

오늘날 대부분의 차량은 도메인 아키텍처라 불리는 배선 및 ECU(전자 제어 장치) 구조를 기반으로 설계된다. 도메인 아키텍처는 차량 내 물리적 위치와 관계없이 기능을 기준으로 ECU를 분류하는 방식이다.

이에 반해 영역 아키텍처는 기능이 아닌 위치를 기준으로 통신, 전력 분배, 부하 제어를 구성한다. 그림 1과 같이 영역 제어 모듈은 차량의 중앙 컴퓨팅 시스템과 스마트 센서, ECU 등 로컬 엣지 노드를 연결하는 네트워크 데이터 브리지 역할을 수행한다. 또한 차량 내 케이블 수를 줄이기 위해 반도체 기반 스마트 퓨즈 기능을 활용해 여러 엣지 노드에 전력을 분

배하고, 저수준 컴퓨팅을 처리하며, 모터나 조명과 같은 로컬 부하를 직접 구동한다.

영역 제어 모듈은 엣지 노드 통신 네트워크를 통해 다양한 센서와 ECU에서 수집한 데이터를 전달하고, 이를 백본 통신을 통해 중앙 컴퓨팅 시스템으로 전송한다. 반대로 중앙 컴퓨팅 시스템에서 처리된 데이터는 백본 통신을 거쳐 영역 제어 모듈로 전달된 뒤, 다시 엣지 노드 네트워크를 통해 각 액추에이터로 전송된다. 이처럼 중앙 컴퓨팅 시스템과 영역 제어 모듈 간의 양방향 통신은 ADAS 센서, 차량 모션 제어, 적응형 주행 빔 등에서 생성되는 대규모 데이터를 처리해야 하므로, 고대역폭과 저지연을 동시에 지원하는 통신 백본이 필수적이다.

영역 아키텍처의 대역폭 요구 사항

차량 내 이더넷의 가치를 이해하기 위해 애플리케이션별 사용 사례를 살펴볼 필요가 있다. 새롭게 정의된 단일 페어 이더넷은 IEEE 802.3cg(10Mbps), 802.3bw(100Mbps),

802.3bu(1Gbps), 802.3ch (10Gbps)를 통해 10Mbps부터 10Gbps까지 다양한 속도를 지원한다. 이러한 이더넷 기술은 단일 페어 케이블을 사용하며 최대 15m 거리까지 통신할 수 있어 차량 내 가장 긴 링크를 충분히 커버할 수 있다. 또한 IEEE 802.1AS 타임스탬프를 활용해 센서 데이터의 시간 동기화를 지원함으로써 지연 시간을 줄일 수 있다.

이더넷은 매우 높은 속도를 제공하지만, 모든 애플리케이션에 고속 통신이 필요한 것은 아니다. 예를 들어 도어 제어 모듈이나 HVAC 시스템과의 통신에는 100Mbps 속도가 요구되지 않는다. 이러한 경우 DP83TD555J-Q1과 같은 10Mbps 이더넷 PHY나 CAN과 같은 대체 네트워크 프로토콜이 더 적합하다. 반면, 영역 제어 모듈에서 중앙 컴퓨팅 시스템으로 집계되는 카메라 및 자율주행 센서 데이터에는 더 높은 속도의 이더넷이 사용된다. **그림 2**는 영역 아키텍처에서 각기 다른 속도의 이더넷이 적용되는 위치를 보여준다.

그림 2를 기준으로 레이더, 라이다, 카메라, 차체 애플리케이션에서 사용되는 통신 속도를 살펴보면, 레이더 또는 라이다 SoC가 자체적으로 데이터를 처리하는 경우 CAN, 10Mbps 또는 100Mbps 이더넷을 통해 데이터를 영역 제어 모듈로 전달한다. 1차 또는 2차 수준의 데이터 처리만 수행되는 경우에는 100Mbps에서 1Gbps 이더넷을 사용해 데이터를 영역 모듈 또는 중앙 컴퓨터로 전송한다. 반면, 원시 라이다나 레이더

그림 1. 영역 아키텍처의 예

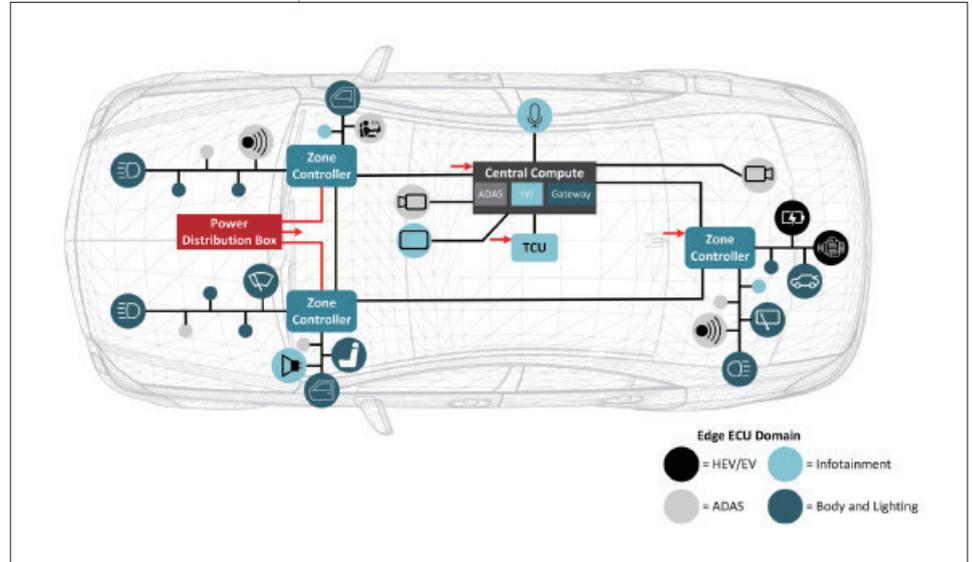
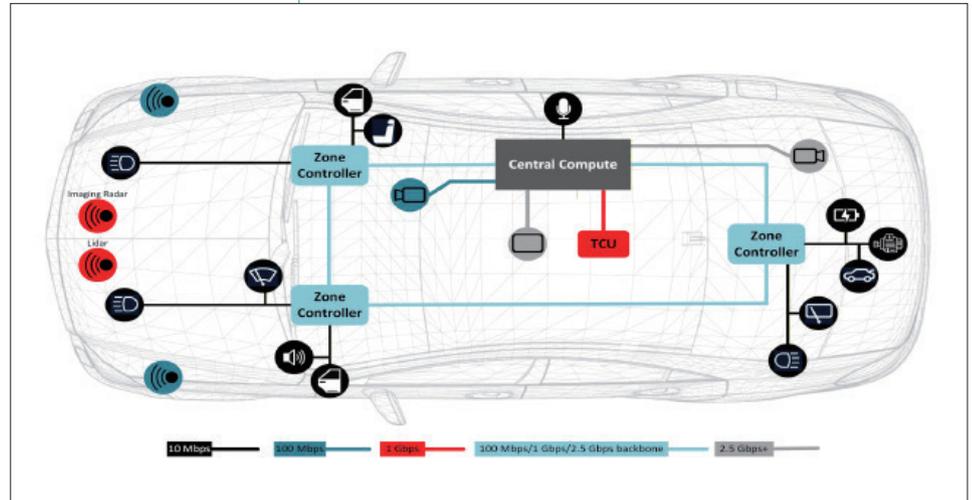


그림 2. 영역 아키텍처의 이더넷



데이터를 중앙 컴퓨팅 시스템으로 전달해 센서 융합을 수행하는 경우에는 SerDes 프로토콜이나 2.5Gbps 이상의 이더넷이 필요하다.

카메라의 경우, 향상된 ADAS 데이터 처리를 위해 전방 카메라의 모든 원시 데이터가 필요한 상황에서는 FPD-Link와 같은 SerDes가 가장 적합한 프로토콜이다. 다만 전방 카메라에서 데이터 압축이 가능하고 고급 ADAS 데이터가 필요하지 않은 경우에는 100Mbps 이더넷도 대안이 될 수 있다.

도어 핸들 센서, 윈도 리프트 제어 모듈, 사이드 미러 제어 모듈과 같은 차체 도메인 모듈은 전통적으로 CAN이나 LIN 프로토콜을 사용해 왔다. 이는 높은 대역폭이 필요하지 않기 때문이다. 앞으로도 CAN과 LIN은 계속 사용되겠지만, 차량 내 이더넷 적용이 확대됨에 따라 10Mbps 10BASE-T1S 멀티 드롭 이더넷의 활용 가능성도 커지고 있다. 기존 이더넷이 포인트 투 포인트 토폴로지를 사용한 반면, 10BASE-T1S는 버스 토폴로지를 지원하는 최초의 이더넷 표준이다.

영역 아키텍처의 멀티기가비트 이더넷

영역 아키텍처는 향후 단계적으로 진화할 것이다. 이러한 진화는 우선 차체 도메인 데이터를 집계하고, 전력 분배를 통합하며, 컴퓨팅을 중앙 집중화하는 것에서 시작된다. 이후 시간이 지남에 따라 영역 아키텍처는 ADAS와 인포테인먼트와 같은 다른 도메인에서 생성되는 데이터까지 점차 집계하게 될 것이다. 최종적으로는 모든 도메인을 영역 아키텍처로 통합하는 것이 목표다. 데이터가 어떤 도메인에서 생성되었는지와 관계없이, 영역 제어 모듈과 중앙 컴퓨팅 시스템은 동일한 백본 통신 네트워크를 통해 데이터를 전송하게 된다. 이 가운데 오디오는 오디오 비디오 브리징(Audio Video Bridging) 표준을 활용해 이더넷으로 데이터를 전송할 수 있어, 영역 제어 모듈로의 전환이 가장 먼저 이루어질 주요 대상 중 하나다.

차체 도메인 기능은 일반적으로 10Mbps 이하의 대역폭을 요구한다. 그러나 레이더, 라이더, 오디오, 카메라와 같은 ADAS 또는 차량 내 인포테인먼트 기능이 영역 아키텍처에 통합되면서, 안전에 중요하고 시간에 민감한 센서 데이터의 양이 급격히 증가한다. 이에 따라 더 높은 속도와 대역폭이 요구되거나, 이더넷 백본 토폴로지가 기존의 스타 구조에서 링 구조로 변경될 가능성도 있다.

오디오는 채널당 약 1.5Mbps의 데이터를 생성하며, 레이

더 센서는 일반적으로 0.1Mbps에서 15Mbps 수준의 데이터를 생성한다. 라이더는 20Mbps에서 100Mbps, 카메라는 최대 500Mbps에서 3.5Gbps에 이르는 데이터를 생성한다. 오늘날의 차량에는 일반적으로 4~6개의 레이더 센서, 1~5개의 라이더 센서, 12~20개의 오디오 스피커, 12~16개의 오디오 마이크, 6~12개의 카메라가 탑재된다. 표 1은 이러한 각 센서 및 장치 유형별 데이터 생성 범위를 보여준다.

OEM이 2.5Gbps, 5Gbps, 10Gbps 이더넷을 요구하는 주요 배경에는 이러한 총 데이터 생성량의 증가가 있다. 영역 아키텍처는 ADAS 센서에서 생성되는 방대한 데이터를 중앙 컴퓨팅 시스템으로 전송할 수 있는 고성능 백본 통신 네트워크를 필요로 한다. 특히 압축되지 않은 카메라 데이터는 이미 기존 이더넷의 처리 역량을 초과하고 있으며, 카메라는 해상도와 픽셀 수가 지속적으로 증가하고 있다. 차량이 자율주행 단계로 계속 진화함에 따라 센서 수 역시 증가할 것이며, 이에 따라 필요한 대역폭 요구 사항도 함께 커질 것이다.

OEM마다 요구하는 이더넷 속도가 서로 다른 이유는, 각 OEM이 영역 제어 모듈로 통합하려는 기능의 범위와 전환 일정이 서로 다르기 때문이다. 내부 스피커의 오디오 재생은 이더넷 백본에 가장 먼저 적용된 도메인 간 데이터 유형 중 하나다. 이는 20개의 오디오 스피커 채널이 생성하는 데이터가 약 30Mbps 수준으로 비교적 낮기 때문이다. 기존의 100Mbps 또는 1Gbps 이더넷 백본은 이러한 오디오 데이터 추가를 충분히 수용할 수 있다. 전반적으로 영역 제어 모듈에서 처리하는 데이터 기능이 많아질수록 요구되는 대역폭 역시 증가한다.

이더넷을 영역 아키텍처의 백본으로 활용하면 차량이 인터넷이나 원격 OEM 서버와 연결될 때 차량 내 네트워크를 통해 더 많은 데이터를 전송할 수 있다. 이를 통해 FOTA(펌웨어 무선 업데이트)를 기반으로 한 구독형 서비스와 차량 진단이 가능해진다. FOTA 업데이트 환경에서는 센서와 액추에이터

표 1. 영역 아키텍처에서 생성되는 데이터

| Type | Data Generated | Quantity of Sensors | Low | Mid | High |
|------------------|-------------------|---------------------|---------|---------|---------|
| Audio speaker | 1.5Mbps | 12 to 20 | 3.2Mbps | 24Mbps | 30Mbps |
| Audio microphone | 1.5Mbps | 12 to 16 | 3.2Mbps | 21Mbps | 24Mbps |
| Radar | 0.1 - 15Mbps | 4 to 6 | 0.4Mbps | 35Mbps | 90Mbps |
| Lidar | 20 - 100Mbps | 1 to 5 | 20Mbps | 100Mbps | 500Mbps |
| Camera | 500Mbps - 3.5Gbps | 6 to 12 | 3Gbps | 9Gbps | 42Gbps |

가 중앙 컴퓨팅 노드로부터 독립적으로 동작하기 때문에, 하드웨어와 소프트웨어 업데이트 주기를 서로 다르게 비동기적으로 운영할 수 있다. 이를 통해 새로운 차량 모델을 기다리거나 차량을 입고하지 않고도 기능 추가와 안전성 개선이 가능하다. OEM은 출시 이후에도 차량에 새로운 기능을 업데이트할 수 있으며, 소비자는 펌웨어 업데이트를 위해 대리점을 방문해야 하는 불편을 줄일 수 있어 양측 모두에게 이점이 있다.

영역 아키텍처의 PHY

이더넷은 고속 데이터를 안정적으로 송수신하기 위해 PHY가 필요하다. 차량용 이더넷 PHY는 차량 환경에서 발생할 수 있는 신호 품질 저하와 같은 문제를 해결해, 이더넷을 차량 배선 백본으로 안정적으로 사용할 수 있도록 한다. TI의 차량용 이더넷 PHY는 AEC-Q100 등급 1 표준을 준수해 -40°C에서 125°C에 이르는 다양한 온도 범위에서도 안정적으로 동작한다.

또한 차량용 이더넷 PHY는 이더넷 규정 준수 표준을 충족해야 하며, 차량 환경에서 요구되는 전자기 호환성과 전자기 간섭 관련 상호 운용성 및 안정성 기준은 물론, Open Alliance TC1과 TC12 표준에 명시된 IEEE 적합성도 만족해야 한다. PHY는 신호 품질 표시, 시간 영역 반사율 측정, 정전기 방전 감지 센서 등 고급 진단 기능을 통해 오류 발생을 감지하고, 이를 식별해 호스트 시스템이 사전에 대응할 수 있도록 한다. 예를 들어 정전기 방전이 발생하면 PHY는 SoC와 미디어 액세스 제어로 인터럽트 신호를 전송해 이벤트를 알리고, 시스템의 다른 구성 요소를 점검하도록 한다.

이더넷 PHY는 Open Alliance TC10 사양의 활성화 및 절전 기술을 활용해 단일 페어 이더넷 케이블을 통해 원격 ECU를 활성화할 수 있다. 이를 통해 ECU를 절전 상태에서 깨우기 위한 별도의 회선이 필요하지 않다. 또한 차량용 네트워킹에서 사이버 보안 위협이 커지고 있는 만큼, IEEE 802.1AE MACsec은 네트워크 ECU 인증과 데이터 암호화·복호화를 통해 보안을 강화하는 핵심 기술로 활용될 수 있다.

TI의 이더넷 PHY 포트폴리오

TI는 다양한 단일 페어 이더넷 PHY 제품을 제공한다.

DP83TC812-Q1, DP83TC815-Q1, DP83TC814-Q1 100BASE-T1 PHY는 고급 차량에 적합한 차세대 기능을 제공하며, DP83TC813-Q1은 인쇄 회로 기판 공간이 제한된 설계 환경에서 효과적인 선택지가 될 수 있다. DP83TG720-Q1과 DP83TG721-Q1은 영역 제어 모듈을 중앙 컴퓨팅 시스템이나 텔레매틱스 제어 장치와 같은 데이터 집약적 기능에 연결할 수 있어, 와이어링 하네스를 대폭 변경하지 않고도 최신 기능을 추가할 수 있는 설계 여유를 제공한다. 이러한 PHY를 조합하면 더욱 고도화된 차량 아키텍처 구현이 가능해진다.

TI의 단일 페어 이더넷 PHY 포트폴리오는 100BASE-T1 및 1000BASE-T1 PHY와 풋프린트 또는 핀 대 핀 호환성을 제공한다. 이를 통해 단일 보드 설계로 향후 하드웨어 변경 없이 기능 세트나 대역폭을 업그레이드할 수 있다. 이러한 접근 방식은 개발 주기를 단축하고 다양한 OEM 요구 사항을 충족하며, 출시 시간을 앞당겨 R&D 비용 절감에도 기여한다.

DP83TD555J-Q1 10BASE-T1S 직렬 주변 기기 인터페이스 MAC PHY는 기존 이더넷 백본 네트워크에 원활하게 통합돼 CAN이나 LIN 기반 엣지 노드를 직접 연결할 수 있다. 이를 통해 프로토콜 변환 게이트웨이와 이에 따른 지연 시간 및 처리 오버헤드를 제거할 수 있다. PoDL 기능을 통해 단일 연선 케이블로 전력과 10Mbps 데이터를 동시에 전송할 수 있어 케이블 무게와 시스템 비용을 줄일 수 있다. 또한 내장된 PHY 충돌 방지 기능은 각 노드에 보장된 전송 기회를 제공해 예측 가능한 통신 타이밍을 확보한다. 더 큰 이더넷 프레임 페이로드를 활용하면 차량 엣지 ECU에서 더 많은 데이터와 다양한 유형의 데이터를 추출할 수 있어, 실시간 성능을 유지하면서 고급 진단과 OTA 업데이트를 보다 용이하게 수행할 수 있다.

결론

차량용 이더넷 기술의 발전은 자동차 제조사가 새로운 차량에 더 많은 기능과 성능을 구현할 수 있는 기반을 제공한다. 이더넷을 기반으로 한 영역 아키텍처는 차세대 자율주행 기능을 지원하는 데이터 용량을 제공하고, 소프트웨어 정의 차량으로의 전환을 가속화함으로써 도로 위에 더 안전하고 스마트한 차량이 달릴 수 있도록 한다. 