

Technical Article

イーサネットによってソフトウェア定義自動車への移行を加速する方法



Madison Ecklund, systems manager, Body Electronics & Lighting

ゾーンアーキテクチャとイーサネットは、自動車のネットワーク機能の将来を表しています。自動車の新機能採用と、各種センサやアクチュエータのゾーン制御モジュールへの集約を実現するには、車内通信ネットワークで高帯域幅と低レイテンシを確保する必要があります。イーサネットを実装するゾーンアーキテクチャを活用して、ソフトウェア定義の自動車という成長中のトレンドを実現します。

現在の自動車の大半は、ドメインアーキテクチャと呼ばれる一種の配線と電子制御ユニット (ECU) アーキテクチャが組み込まれています。ドメインアーキテクチャは、自動車内の物理的な位置に関係なく、特定の機能に基づいて ECU をドメインに分類します。

ゾーンアーキテクチャは、ドメインアーキテクチャとは対照的に、図 1 に示すように、機能ではなく場所ごとに通信、電力分配、負荷制御を体系化します。ゾーン制御モジュールは、自動車のコンピューティングシステムと、スマートセンサや ECU などのローカルエッジノードを結ぶ、ネットワークデータブリッジのような役割を果たします。また、自動車のケーブルを削減するために、ゾーン制御モジュールは (半導体スマートヒューズ機能を実装することで) さまざまなエッジノードに電力を分配し、ローレベルコンピューティングを処理して、モーターや照明などのローカル負荷を駆動します。

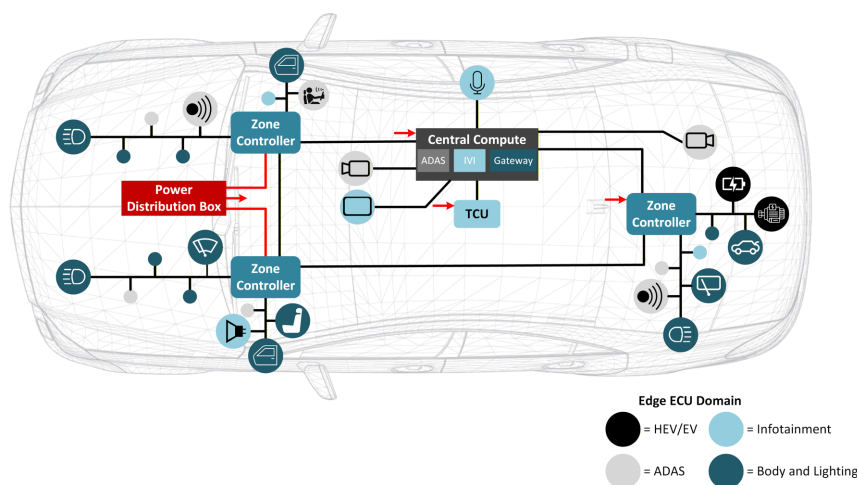


図 1. ゾーンアーキテクチャの例

ゾーン制御モジュールは、エッジノード通信ネットワークを介してさまざまなセンサと ECU からデータを転送し、統合されたセンサデータをバックボーン通信を介してセントラルコンピューティングシステムに転送します。同様に、ゾーン制御モジュールは、セントラルコンピューティングシステムから受信したデータをさまざまなアクチュエータに転送します。この場合もバックボーン通信を介して、エッジノード通信ネットワークを経由します。セントラルコンピューティングシステムとゾーン制御モジュールの間のこの双方向通信は、複数の先進運転支援システム (ADAS) センサ、車両のモーション制御、アダプティブドライビングビームなどの機能によって生成される大量のデータを処理するために、高帯域幅で低レイテンシの通信バックボーン通信を必要とします。

ゾーンアーキテクチャの帯域幅要件

自動車イーサネットを使用することの価値を理解するために、アプリケーションごとにイーサネットの使用状況を分類します。新しく定義されたシングルペアイーサネットは、IEEE (電気電子技術者学会) 802.3cg (10Mbps)、IEEE 802.3bw (100Mbps)、IEEE 802.3bu (1Gbps)、および IEEE 802.3ch (10Gbps) によって定義される 10Mbps ~ 10Gbps の速度に対応しています。これらの新しいイーサネットテクノロジーはいずれもシングルペアケーブルを使用して動作し、最大 15m の距離で通信を実施することができます。この距離は、自動車内で最長のリンクを網羅するのに十分な長さです。また、イーサネットでは、IEEE 802.1AS タイムスタンプ機能を使用してセンサデータの時間同期を実現し、待ち時間を短縮することもできます。

イーサネットは高速を実現できますが、高速はあらゆる状況で必要とは限りません。たとえば、ドア制御モジュールや暖房、換気、空調システムとの通信では、100Mbps のデータレートは必要ありません。DP83TD555J-Q1 などの 10Mbps イーサネット PHY、または CAN (Controller Area Network) などの代替ネットワークプロトコルは、低速で、帯域幅の消費が少ないユースケースに適しています。しかし、集約されたカメラデータと自律運転センサデータをゾーン制御モジュールからセントラルコンピューティングシステムに送信するためには、より高速な通信を確保する必要があります。図 2 に、ゾーンアーキテクチャ内で異なる速度のイーサネットを使用するケースを示します。

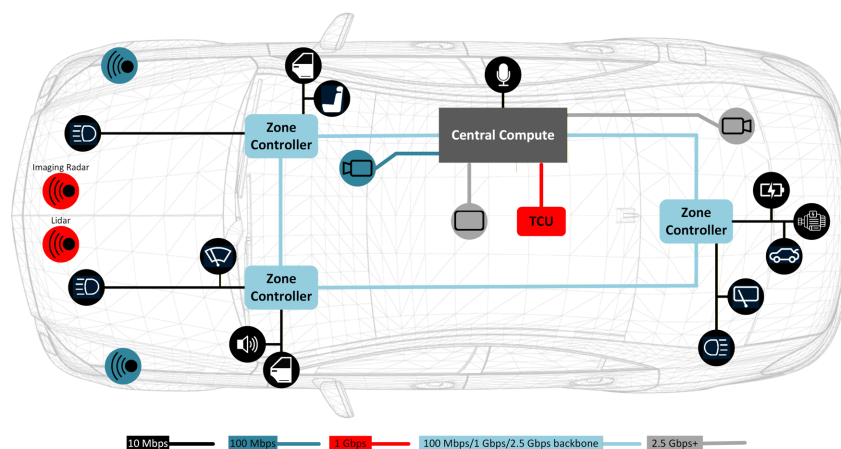


図 2. ゾーンアーキテクチャ内のイーサネット

図 2 を使用して、レーダー、LiDAR、カメラ、ボディのアプリケーションで使用される通信速度を詳細に観察します。レーダーまたは LiDAR の SoC (システムオンチップ) がデータを処理する場合、通常は CAN、10Mbps イーサネット、または 100Mbps イーサネットがゾーン制御モジュールに LiDAR またはレーダーデータを通信します。これは、1 レベルまたは 2 レベルのデータ処理のみが発生した場合、100Mbps ~ 1Gbps イーサネットがゾーンモジュールまたは中央コンピュータにレーダーまたは LiDAR データを通信します。未加工の LiDAR またはレーダーデータをセントラルコンピューティングシステムに送信して処理を進めると、さまざまなセンサのセンサフュージョンを通じて、より多くの情報を抽出できます。このような大量の未加工データを転送するには、より高い帯域幅が必要になります。通常は、シリアル/デシリアライザ (SerDes) プロトコル、あるいは 2.5Gbps とイーサネットです。

カメラにとって、一定レベルの ADAS データの増加でフロントカメラからの未加工データすべてを後処理する必要がある場合、フラットパネルディスプレイ (FPD)-Link などの SerDes が最適なプロトコルです。

フロントカメラから取得したデータを圧縮できる場合で、このような高レベルの ADAS データは必要ない場合、100Mbps イーサネットを代わりに使用できます。

ドアハンドルセンサ、ウィンドウリフト制御モジュール、サイドミラー制御モジュールなどのボディドメインモジュールは従来、高帯域幅を必要としないので、CAN と LIN (Local Interconnect Network) の各プロトコルを使用して通信を実施してきました。設計者は CAN と LIN を引き続き使用する予定ですが、車内のイーサネット使用量の増加に伴い、10Mbps の 10BASE-T1S マルチドロップイーサネットも使用できるようになりました。イーサネットは従来、ポイントツーポイントポロジを採用していましたが、10BASE-T1S イーサネットは、パストポロジを使用して機能する初のイーサネット規格です。

ゾーン アーキテクチャ内のマルチギガビット イーサネット

ゾーン アーキテクチャはどのように進化していくのでしょうか。まず、ボディドメイン データの集約、パワー ディストリビューション、セントラル コンピューティングから始まります。時間の経過とともに、ゾーン アーキテクチャは ADAS やインフォテインメントなどの他のドメインからのデータ集約を開始します。最終的な目標は、すべてのドメインをゾーン アーキテクチャに組み込むことです。データがどのドメインに属しているかにかかわらず、ゾーン制御モジュールとセントラル コンピューティング システムは引き続き同じバックボーン ネットワークを使用してデータを転送します。オーディオは、ゾーン制御モジュールに移行する主要なターゲットです。オーディオ ビデオ ブリッジ規格を使用してイーサネットを介してオーディオ データを送信できるためです。

ボディドメイン機能は通常、10Mbps 以下を必要とします。ただし、ADAS、またはレーダー、LiDAR、オーディオ、カメラのような車載インフォテインメント機能がゾーン アーキテクチャに組み込まれるにつれて、速度と帯域幅の要件は向上する必要があります。また、イーサネット バックボーン トポロジがスターからリングへと変化し、安全性の確保が重要で時間に制約のあるセンサ データの量に対応できるようになる可能性があります。

オーディオはチャンネルあたり約 1.5Mbps を生成し、レーダー センサは通常、0.1Mbps ~ 15Mbps を生成します。LiDAR は 20Mbps ~ 100Mbps を生成します。カメラは最も大きく、500Mbps ~ 3.5Gbps を生成します。現在の自動車は通常、4 ~ 6 個のレーダー センサ、1 ~ 5 個の LiDAR センサ、12 ~ 20 個のオーディオ スピーカ、12 ~ 16 個のオーディオ マイク、6 ~ 12 個のカメラを搭載しています。各タイプによって生成されるデータの範囲を表 1 に示します。

表 1. ゾーン アーキテクチャで生成されるデータ

タイプ	生成されたデータ	センサの数	低	中	高
オーディオ スピーカー	1.5Mbps	12~20	3.2Mbps	24Mbps	30Mbps
オーディオ マイク	1.5Mbps	12~16	3.2Mbps	21Mbps	24Mbps
レーダー	0.1 - 15Mbps	4~6	0.4Mbps	35Mbps	90Mbps
Lidar	20 - 100Mbps	1~5	20Mbps	100Mbps	500Mbps
カメラ	500Mbps~3.5Gbps	6~12	3Gbps	9Gbps	42Gbps

生成された合計データから、OEM (Original Equipment Manufacturers) 各社は 2.5Gbps、5Gbps、10Gbps の各イーサネットを推進しています。ゾーン アーキテクチャには、ADAS センサによって生成された膨大な量のデータをセントラル コンピューティング システムに送信できるバックボーン ネットワークが必要です。非圧縮カメラ データはすでに現在のイーサネットが処理できる量を上回っており、カメラの解像度とピクセル数は増加を続けています。自動車が自律走行の実現を目指している中、センサの数は増加する見込みです。したがって、カメラの分解能とセンサの向上をサポートするために必要な帯域幅は、それに応じて増大します。

OEM が要求するイーサネット速度は、ゾーン制御モジュールにさまざまな機能を組み込むための移行スケジュールによって異なる可能性があります。車内スピーカーでのオーディオ再生は、イーサネット バックボーンで使用される最初のクロスドメイン データ型の 1 つです。これは、20 個のオーディオ スピーカー チャンネルが約 30Mbps を生成するため、比較してデータ生成が低いことが原因であると考えられます。既存の 100Mbps または 1Gbps イーサネット バックボーンは、オーディオ再生データの追加に簡単に対応できます。全体として、ゾーン制御モジュールでデータ機能がより高度になるほど、帯域幅要件は高くなります。

ゾーン アーキテクチャのバックボーンとしてイーサネットを使用すると、自動車がインターネットまたはリモート OEM サーバーに接続していれば、車内ネットワーク経由でより多くのデータを転送できるようになります。これにより、FOTA (Firmware-Over-The-Air) の更新を通じて、サブスクリプション ベースのサービスと車両診断を実現できます。FOTA の更新は、セントラル コンピューティング ノードからセンサやアクチュエータが独立しているため、異なるハードウェアおよびソフトウェアの更新サイクルが可能になります。また、FOTA 更新を実施すると、新しいモデルを待っていたり、車両を持ち込んで作業することなく、機能の追加や安全性の向上を実施できます。OEM は発売後に追加機能を伴う車両の更新を管理できるため、OEM にとっても顧客にとってもメリットがあります。また、消費者はディーラーに行つてファームウェアを更新するという煩わしさから解放されます。

ゾーン アーキテクチャ内の PHY

イーサネットでは、高速データを送受信するために PHY を使用する必要があります。車載用イーサネット PHY を使用すると、このような不安定な環境での信号品質の低下など、イーサネットを車内配線のバックボーンとして使用する際の多く

の懸念事項を解消できます。テキサス インストルメンツ (TI) のイーサネット PHY は -40°C から 125°C までの範囲で動作が可能で、Automotive Electronics Council-Q100 Grade 1 に準拠しています。

また、イーサネット PHY はイーサネットの各種準拠規格に合格しているため、適合性と電磁干渉に関する特定の相互運用性と信頼性規格、さらには Open Alliance の TC1/C12 で規定されている IEEE 規格に準拠しており、自動車環境での動作も可能です。信号品質表示、時間ドメイン反射率測定、静電放電センサなどの高度な診断機能を搭載した PHY は、エラーが発生したことを検出し、これらの障害を特定して、ホストシステムが予防的に対応できるようにします。たとえば、静電放電 (ESD) が発生した場合、PHY は割り込み信号を SoC やメディア アクセス制御に送信して ESD 発生を通知した後、システム内の他の部品をチェックします。

また、イーサネット PHY は Open Alliance TC10 仕様のウェークアップとスリープを使用して、シングルペア イーサネット ケーブル経由でリモート ECU をウェークアップすることもできます。その結果、スリープ状態から ECU をウェークアップするための個別の配線が不要になります。また、サイバー攻撃は自動車ネットワークに対する最大の脅威になるので、IEEE 802.1AE Media Access Control Security (MACsec) は、ネットワーク ECU の認証を可能にし、サイバー攻撃を回避するためのデータの暗号化 / 復号化を行うための重要なテクノロジーになる可能性があります。

その他のイーサネット PHY:

- TI の [DP83TC812-Q1](#)、[DP83TC815-Q1](#)、および [DP83TC814-Q1](#) 100BASE-T1 PHY は高級車で求められる次世代機能を備えています。一方、より小型の [DP83TC813-Q1](#) 100BASE-T1 PHY は、プリント基板面積が重視される状況で魅力的な選択肢になる可能性があります。[DP83TG720-Q1](#) および [DP83TG721-Q1](#) は、ゾーン モジュールを、データ集約型のセントラル コンピューティング システムやテレマティクス制御ユニットなどに接続できるため、配線ハーネスに大きな変更を加えることなく、後のモデルで追加機能を搭載するための余裕が生まれます。これらの PHY を組み合わせることで、より高度で高性能な路上走行車両のドアを開けることができます。
- TI のシングルペア イーサネット PHY 製品ラインアップは、TI の 100BASE-T1 PHY と 1000BASE-T1 PHY の両方とフットプリント互換またはピン互換を保つように設計されています。単一のボード設計を採用すると、ハードウェアを変更せずに、将来の開発で機能セットや帯域幅をアップグレードすることができます。このアプローチは、開発サイクルの迅速化、さまざまな OEM の要件への対応、市場投入期間の短縮に寄与し、研究開発コストの削減に寄与します。
- [DP83TD555J-Q1](#) 10BASE-T1S シリアル ペリフェラル インターフェイス MAC PHY は、既存のイーサネット バックボーン ネットワークにシームレスに統合されており、従来の CAN/LIN エッジ ノードを接続する際に、プロトコル変換ゲートウェイや関連するレイテンシおよび処理オーバーヘッドが不要になります。このデバイスは、データライン経由の電力供給をサポートしており、単一のツイストペア ケーブルで電力と 10Mbps データの両方を提供できるため、ケーブルの重量とシステム コストを低減できます。内蔵の PHY 衝突回避機能は、各ネットワーク ノードで確実な送信機会を持つ確定的なスケジューリングを提供し、予測可能な通信タイミングを保証します。イーサネット フレーム ペイロードが大きいほど、自動車のエッジ側にある ECU からより多くのデータ量とより多様なデータ タイプを抽出できるため、高度な診断機能とワイヤレス更新が容易になり、リアルタイム性能を維持できます。

まとめ

車載イーサネット テクノロジーの進歩により、自動車メーカー各社は新車により多くの機能や能力を付与できるようになります。イーサネットを実装するゾーン アーキテクチャは、次世代の自動運転機能に対応するデータ容量を提供することで、ソフトウェア定義車両への移行を加速します。その結果、路上で走行している車両の安全性とスマート化につながります。

その他の資料

- ホワイト ペーパーを読む。『[車載ゾーン アーキテクチャでの TSN:イーサネット リング アーキテクチャと AVB 分散オーディオの実現](#)』では、Time-Sensitive Networking によって車両ネットワークの信頼性を向上させる方法を解説しています。
- ゾーン アーキテクチャに関する追加の概要については、ホワイト ペーパー『[ゾーン アーキテクチャによって実現する完全なソフトウェア定義の自動車](#)』をご覧ください。
- Open Alliance TC10 の仕様の詳細については、アプリケーション ノート『[DP83TC812-Q1 TC10 システムのタイミング測定](#)』を参照してください。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月