

## Technical Article

## ゾーンアーキテクチャとイーサネットが自動車の将来を推進



Madison Eaker

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担っています。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 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 ディファインド ビークル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 のようなローカル 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。自動車のケーブルを削減するために、ゾーンモジュールは (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、モーターや照明のようなローカル負荷を駆動します。

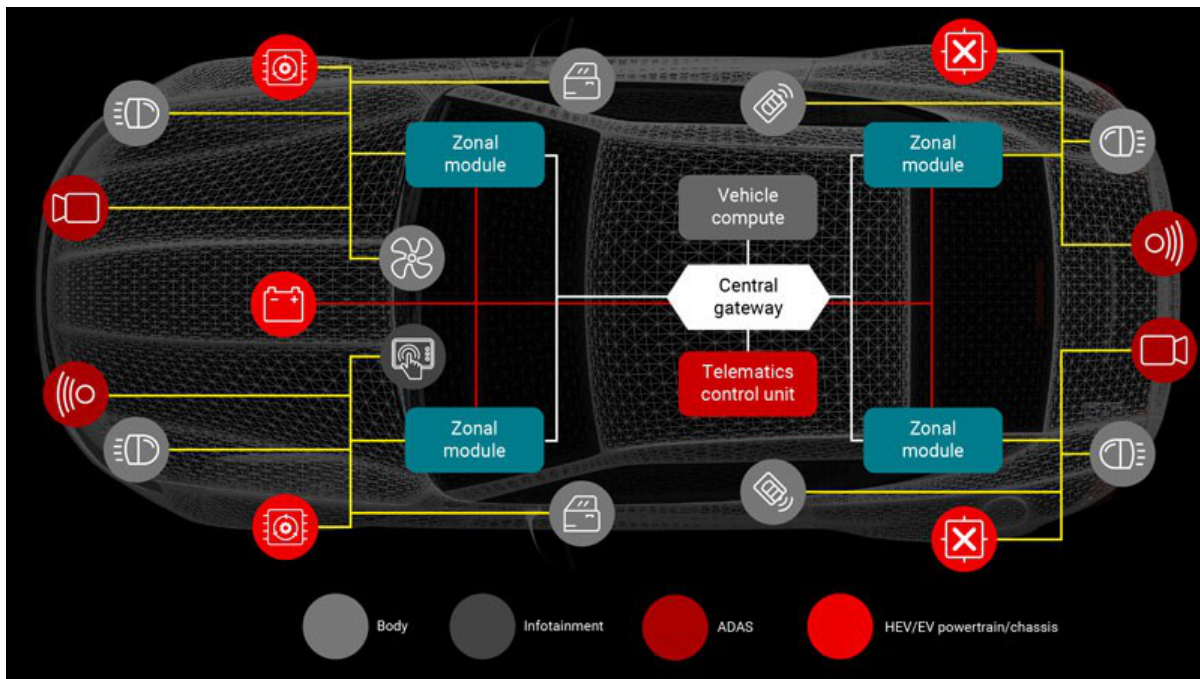


図 1. ゾーンアーキテクチャの例

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 からのデータを転送し、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) カメラ、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のような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 (SPE) は、IEEE 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 の速度をサポートします。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。10Mbps イーサネット PHY、または CController Area Network (CAN) 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、高速を確保するケースはより適しています。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。

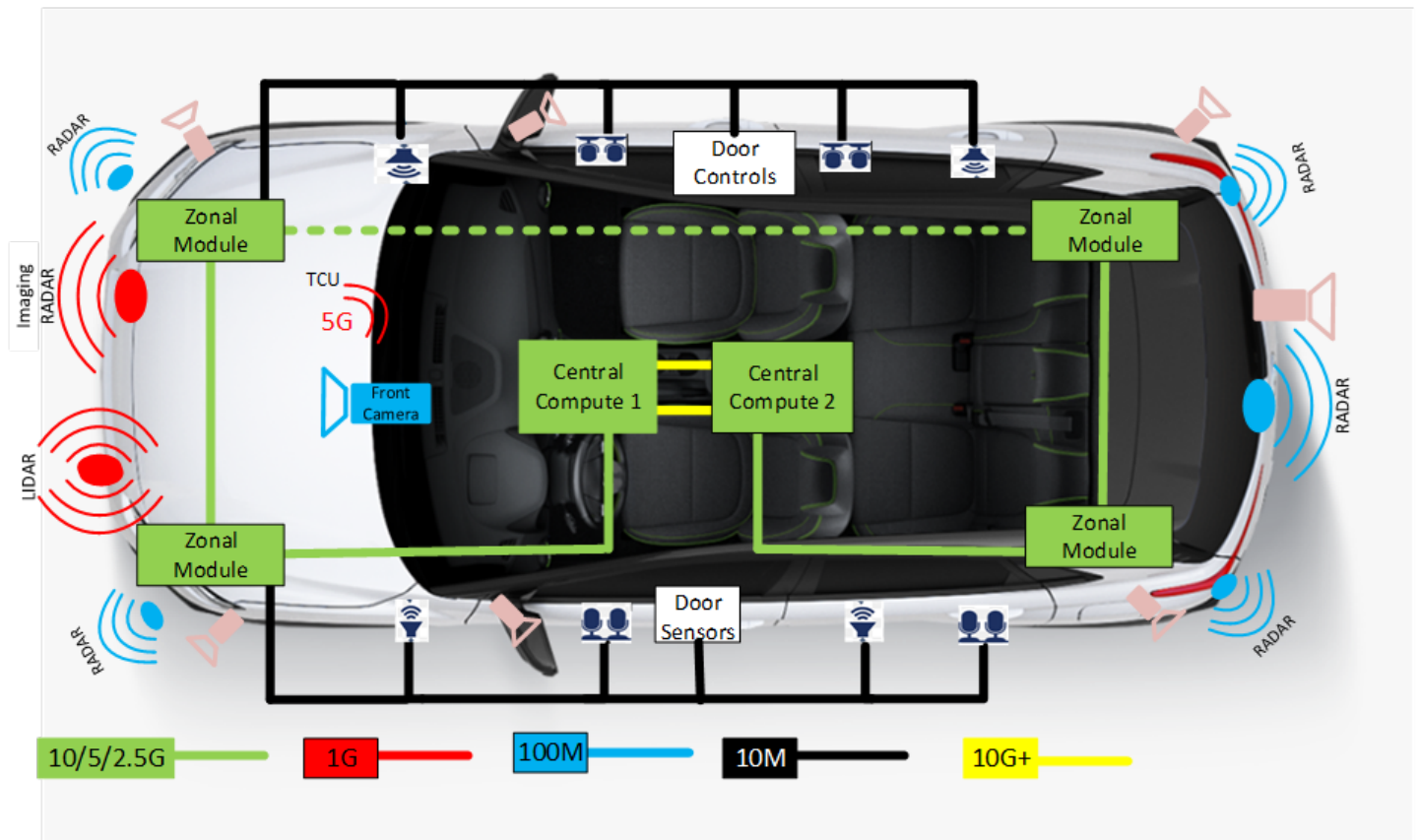


図 2. ゾーンアーキテクチャ内のイーサネット

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解説します。通常、レーダーシステムオンチップ (SoC) が Level 1 のデータを処理する場合、ゾーンモジュールとレーダーデータを通信するために CAN を使用します。未加工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、さまざまなレーダー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送信するには、より高い帯域幅が必要になるので、レーダーと LiDAR 内で 100Mbps~1Gbps のイーサネットのためのスペースが確保できます。

カメラにとって、一定レベルの ADAS データが増加したの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、FPD-Link 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のようなボディドメイン モジュールは従来、高帯域幅を必要としないので、CAN と Local Interconnect Network (LIN) 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-T1 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トポロジを採用していましたが、10Base-T1S イーサネットは、バ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 のような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 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。

ボディドメイン機能で必要とされるのは、10Mbps 以下です。ただし、レーダー、LiDAR、カメラのような ADAS 機能がゾーン アーキテクチャに組み込まれるので、センサ データの量に対応するために速度と帯域幅の要件を高める必要が生じます。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。カメラが生成するのは以下です: 500Mbps~3.5Gbps 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、6~12 個のカメラを搭載しています。ゾーン アーキテクチャを検討する場合、1つのゾーン モジュールに、2つのレーダー センサ、2つの LiDAR センサ、4つのカメラを搭載することができます。図 3 に、各センサが生成するデータの量と、これらすべてのセンサを組み合わせるときの生成されるデータを示します。

Type	Data Generated	Quantity of Sensors	Total Data Generated			
Radar	0.1 – 15 Mbps	2	0.2 Mbps	4 Mbps	14 Mbps	30 Mbps
Lidar	20 – 100 Mbps	2	40 Mbps	100 Mbps	160Mbps	200 Mbps
Camera	500 Mbps – 3.5 Gbps	4	2 Gbps	4 Gbps	8 Gbps	14 Gbps
Zonal Module	520 Mbps – 3.6 Gbps	8	2.1 Gbps	4.1 Gbps	8.2 Gbps	14.3 Gbps

100BASE – T1	1000BASE – T1	Multi-Gig 2.5Gbps	Multi-Gig 5Gbps	Multi-Gig 10Gbps
--------------	---------------	-------------------	-----------------	------------------

図 3. ゾーン アーキテクチャで生成されるデータ

生成された合計データから、Original Equipment Manufacturers (OEM) 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。全体として、ゾーン モジュールで ADAS 機能が多くなるほど、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、Firmware-Over-The-Air (FOTA) 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っ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・インスツルメンツのイーサネット PHY は  $-40^{\circ}\text{C}$  から  $125^{\circ}\text{C}$  までの範囲で動作が可能で、AEC-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、時間領域反射率測定、静電気放電 (ESD) センサなどの高度な診断機能を搭載した PHY は、エラーを検出し、適切に調整することができます。たとえば、ESD が発生した場合、PHY は割り込み信号を SoC / 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、SPE 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ため、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。

テキサス・インスツルメンツの DP83TC812-Q1 と 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 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自動車の未来を切り拓くことができます。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## 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むいかなる保証も、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、

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。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。

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

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated