

最新 ADAS アーキテクチャ内の通信 プロトコル

**Chanakya Mehta**

Systems and applications manager
FPD-Link™ SerDes

Shannon Lippincott

Product marketing engineer
Transceivers

Connie Lu

Product marketing engineer
PCIe products

最新の車両は、高速車載通信テクノロジーを活用してより高速かつより遠くまでデータを移動させ、車両の安全性と自律性を高めています。

概要

このペーパーでは、4つの車載通信プロトコルと、それらがどのように共存して車両の安全性と自律性を向上させるかについて説明しています。

- イーサネット**
イーサネットを使用すると、車両全体で高速データ転送が可能になります
- FPD-Link テクノロジー**
フラット・パネル・ディスプレイ (FPD)-Link は、カメラ入力からのデータを、リアルタイムの非圧縮データで効率化します。
- CAN バス**
コントローラ・エリア・ネットワーク (CAN) は、さまざまな電子制御ユニット (ECU) からのデータを優先順位付けします。
- PCIe テクノロジー**
PCIe (Peripheral Component Interconnect Express) は、高帯域幅で超低レイテンシの性能要件を満たします。

概要

車両の電気部品が最初に導入されたのは、1915年、フォード・モーターが電気灯と電気ホーンを自社のモデル T に導入したときです。それ以来、自動車の電気系と電子系への依存度は着実に高まっています。バッテリーに直接接続されたヘッドライトを制御するスイッチや、単調なスピーカを制御するリレーなど、初期のシステムは局所的で独立している傾向がありました。

アーキテクチャが進化するにつれて、自動車内のさまざまなサブシステムが通信を行うメカニズムも進化してきました。た

例えば、自動車が車外の環境光の減少を検出すると、ヘッドライトが自動的に有効になる場合がありますが、それだけではありません。すべてのディスプレイの輝度レベルの調整、すべてのカメラのホワイト・バランスの調整、前方車両との距離の延長、ブレーキ・モジュールをさらに重要視することは、すべてより安全な運転環境を実現するためです。

自律型車両が引き続き求められる中で、安全性、確実性、リアルタイム性を可能な限り高めるために、通信に対する負担が増えています。この課題は、送受信するデータの量が数百キロビット / 秒どころではなく数十ギガビット / 秒であるという事実によって深刻になるばかりです。

このペーパーでは、イーサネット、FPD-Link™ テクノロジー (独自の車載シリアライザ / デシリアライザ (SerDes) プロトコル)、CAN バス、PCIe バスという4つの車載通信プロトコルについて調査しており、[図 1](#) に示すように、各テクノロジーの中核的な微妙な違いを強調し、これらのテクノロジーが最新の車載運転支援システム (ADAS) アーキテクチャをサポートする例と機能を提示しています。



図 1. 車両内で注目されている通信プロトコル・テクノロジー。

イーサネット

イーサネットは、家庭やオフィスで最も一般的に使用されている高速インターフェイスの 1 つであり、車両の主流となる通信プロトコルになっています。一部の車両はイーサネットを使用してさまざまな高速データを転送しています。レーダーや LIDAR モジュールなどの車載アプリケーションは、シングルペア・イーサネット・テクノロジーを使用しています。シングルペア・イーサネットはイーサネット規格を使用していますが、データは単一のツイストペアのワイヤで送信されるため、車内のケーブル重量とコストを削減できます。

イーサネットはパケット化されたシステムであり、ネットワークのさまざまな部分にあるノード間のパケットが情報を転送します。また、CAN バスと同様に、イーサネットは双方向であり、システム上のノード数が増加すると、任意の個別リンクで可能な速度は低下します。シングルペア・イーサネットの場合、個別リンクの速度は 1 つの特定の速度 (10Mbps、100Mbps、1Gbps) に制限され、リンクで動的な速度変更が発生しない可能性があります。ただし、シングルペア・イーサネットは、CAN バスの最大 1,000 倍の速度でリンク経由でデータを転送できます。シングルペア・イーサネットに変更すると、CAN バス経由でのデータ転送速度が最適化されますが、ノードあたりのイーサネットのコストが高くなるので、おそらく CAN バスの代わりになるのではなく、CAN バスを強化することになります。

現在、一部の自動車は、バックアップ・カメラやレーダーなど、大量のデータが必要な要件に対応するために、シングルペア・イーサネットを使用しています。たとえば、テキサス・インスツルメンツ (TI) の **DP83TC812S-Q1** および **DP83TG720S-Q1** はシングルペア・イーサネット物理層 (PHY) であり、車載電子部品評議会 (AEC) の Q100 グレード 1 と 2 にスクリーニングされており、電気電子技術者協会 (IEEE) 802.3bw と 802.3bp の車載規格に準拠したシステム診断を容易にするループバック・テスト・モードを搭載しています。イーサネット・ネットワーク経由でビデオを転送するには、転送されているビデオ・チャンネルが 1 つだけであっても、ビデオをそのソースで圧縮してから、送信先で解凍し、FPD-Link™ テクノロジーとは異なりイーサネット帯域幅の制限を超えないようにする必要があります。これにより、ビデオ・データを圧縮せずに転送できます。バックアップ・カメラのようなアプリケーションでは、画像をイーサネット・ネットワークに十分に圧縮するために、カ

メラ内に比較的大電力のプロセッサを搭載する必要がありません。

したがって、大電力プロセッサが必要になると、カメラは物理的に大きくなり、高価になります。このカメラの消費電力は、大量の画像処理を必要としないアプローチよりも高くなります。このソリューションのもう 1 つの欠点は、ビデオの圧縮と解凍によってリンクにレイテンシが追加されることです。複数のカメラや他のビデオ・ソースが同じイーサネット・ネットワークを共有している場合、圧縮量 (および対応するビデオ品質) とサポートされているビデオ・チャンネル数との間にトレードオフが発生します。この制限を緩和するには、車内に複数のネットワークを階層構成で設定します。エンジン制御と診断のみを取り扱う 1 つのネットワーク、バックシート・エンターテインメントとオーディオ・システムを処理する 2 つ目のネットワーク、ビジョン拡張カメラなどの運転支援機能を処理する別のネットワークが存在する可能性があります。最終的に、シングルペア・イーサネットはレーダーや LIDAR のようなデータ送信用 CAN バスよりも高い容量を実現しますが、複雑さが増す一方で、ビデオのような最大帯域幅のアプリケーションをなんとか処理しようとしています。

FPD-Link テクノロジー

FPD-Link は、高帯域幅データをリアルタイムで圧縮せず送信する目的で開発された、独自の車載 SerDes テクノロジーです。特に FPD-Link は、ビデオ・データを車内に転送する目的で開発されたもので、運転支援アプリケーションでのデータ分析と処理を強化しています。たとえば、バック・チャンネルが外部前方カメラからプロセッサに情報を送信している間に、非圧縮ビデオをディスプレイに送信するために使用できます。このプロセッサは、画像処理とアルゴリズムを使用して、自動ブレーキなどのコマンド信号を自動車やドライバーに送り返すことができます。FPD-Link の物理層は、ツイストペアまたは同軸ケーブルです。この配線は専用なので、バックアップ・カメラに FPD-Link を使用する場合、カメラからプロセッサに 1 本のケーブルを接続し、2 本目のケーブルをプロセッサから車内のディスプレイに接続します。このアプリケーションで FPD-Link を使用する大きな利点は、圧縮と解凍が不要なため、カメラとディスプレイの両方で回路がはるかにシンプルになることです。

さらに、リンクは専用であるため、あるビデオ・システムの画質は、車両の他の画像とは無関係です。FPD-Link の順方向チ

チャンネル帯域幅は 25Gbps を超えた、低速の同時バック・チャンネルです。バック・チャンネルは、400kbps で I2C バスを転送するために使用することも、最高 1Mbps のレートで GPIO ラインを制御することもできます。バック・チャンネルを使用して、カメラの構成、ズーム・レンズの動作、タッチスクリーン情報のコントローラへの送信を行うことができ、フォワード・チャンネルでのビデオ・フローを中断することはありません。自律駆動型車両の場合、もう 1 つの重要な要因はリンクのレイテンシ量です。画像の圧縮と解凍に必要な処理により、このレイテンシは長くなります。バックシート・エンターテインメントなどのアプリケーションでは、DVD からのデータ読み取りと画面上のデータ表示との間の遅延は重要ではありません。ただし、車両の進路上にいる歩行者を探しているカメラから送信される画像では、レイテンシが非常に深刻な結果を招く可能性があります。FPD-Link は、高帯域幅と低レイテンシが最も重要な要因となるリンクに最適です。さらに、単一のツイストペアまたは同軸接続でバック・チャンネルと電力をサポートする機能により配線が簡素化され、システム設計全体の複雑さを低減できます。

図 2 に、2 台の異なるカメラに接続された OMAP™ ビデオ・プロセッサと、各ペリフェラルに接続される単一のツイストペア・ケーブルを使用したディスプレイを示します。このツイストペア・ケーブルは、カメラのビデオ・データ、タッチスクリーン、またはカメラのセットアップ・データに対応しています。このケーブルは、ディスプレイやカメラに電力を供給することもできます。各リンクは 1 つのペリフェラル専用であるため、2 台のカメラからの信号間の干渉のリスクが排除され、処理と分析のためのデータ整合性が向上するため、ADAS 機能の信頼性と精度が向上します。複数のカメラからデータを送信する機能は、自動駐車などのサラウンド・ビュー・アプリケーションに特に役立ちます。このようなアプリケーションでは、車両の周囲を 360 度視野に入れておくと、ドライバーは重要な情報を入力し、より安全な運転を体験できます。FPD-Link の基礎については、[FPD-Link について](#)をご覧ください。

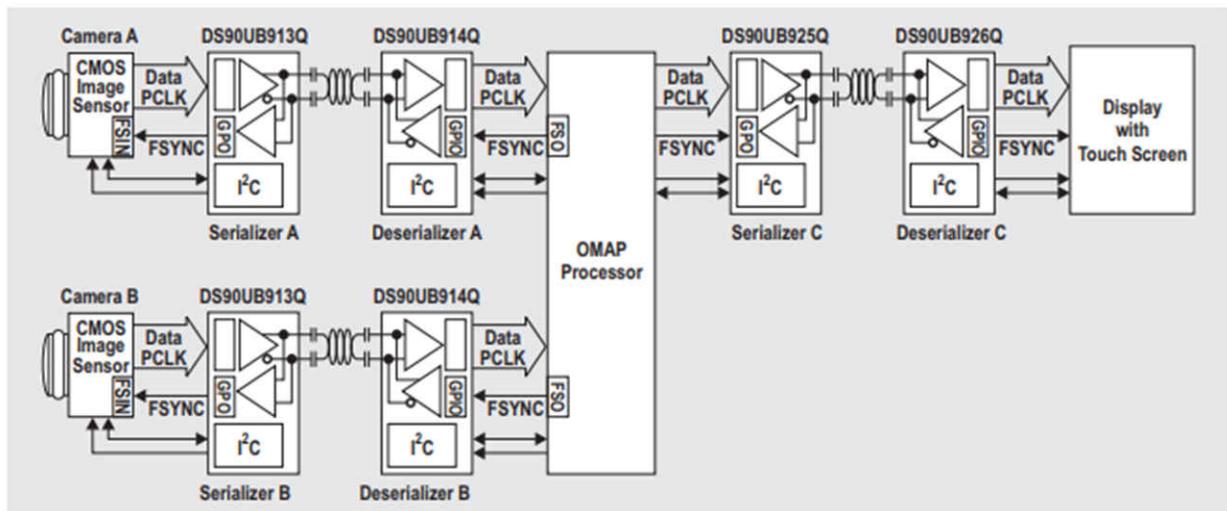


図 2. FPD-Link を搭載したマルチカメラ・システム。

CAN バス

CAN 通信は、1980 年代に Robert Bosch GmbH が開発して以来、大幅に進化してきました。マルチドロップ・ネットワーク・プロトコルにより、車両に必要なケーブル配線が大幅に削減されると同時に、バス上の最優先ノードへのバス・アクセスを許可するアービトレーション通信システムも実現できます。CAN プロトコルと物理層は、元来 1990 年代初めに最大 1Mbps のデータ・レート用に標準化されました。現在、CAN 通信は最大 10Mbps の速度に達しており、1990 年代の Classical CAN と、10Base-T などの低速車載イーサネット間のギャップを埋めています。

CAN はマルチ・コマンド・シリアル・バスです。つまり、個別のノードが CAN バスの読み取りと CAN バスへの書き込みを実行できるとき、単一のコマンド・ノードは制御を行いません。各メッセージ・フレームには、CAN メッセージの優先順位を確立する識別子が含まれています。複数のノードが同時に CAN バスに送信しようとする、優先順位が最も高い (またはアービトレーション ID が最も低い) ノードがバスを制御します。CAN 通信は過酷な環境でも信頼性が高く、ECU はシングル・ペアのワイヤのみで通信できます。

CAN が最初に 1980 年代に開発されたとき、1 台の車両に搭載されている ECU の数は比較的少なくなりました。現在、乗用車には 100 以上の ECU を搭載できるようになり、基本的なパワー・ステアリングから、シート・マッサージ機やステアリング・ホイール・ヒーターなどの高級機能まで、さまざまな機能を制御できるようになりました。ECU の増加と乗用車への高度な安全機能の必要性に伴い、CAN 通信も進化しています。

表 1 は CAN FD Light、CAN Signal Improvement Capability (SIC)、CAN Extra Long (XL) などの新しい規格を含む、CAN 通信ネットワークの詳細情報を示します。CAN の詳細については、「[コントローラ・エリア・ネットワーク \(CAN\) の概要](#)」を参照してください。

プロトコル	ビット・レート	標準	概要
CAN XL	10Mbps 超	CiA 610-1	CAN XL は最大ペイロードを 2KB に増やし、さらに高いビット・レートを実現しているため、CAN と低速イーサネットの間のギャップを埋めることができます
CAN FD SIC	8Mbps 未満	CiA 601-4	信号改善能力により、ドミナントからリセツブへのエッジでのリンギングが減少し、より複雑なトポロジを実現します
CAN FD Light	5Mbps 以下	CiA 604-1	CAN FD 物理層の堅牢性を備えた 2 線式コマンド・レスポンス・アーキテクチャ
CAN FD	5Mbps 未満	ISO 11898	フレキシブルなデータ・レートは最大ペイロードを 64 バイトから増やし、より高いビット・レートを実現しました
CAN	1Mbps 以下	ISO 11898	8 バイトの最大ペイロードに対応する 2 線式マルチ・コマンド・シリアル・バス
LIN (Local Interconnect Network)	1~20kbps	ISO 17987	単線式コマンド・レスポンス・アーキテクチャ

表 1. CAN の進化

PCIe テクノロジー

PCIe は、高帯域幅で非常に短いレイテンシの性能要件を満たす双方向高速シリアル・バス向けの通信規格です。産業用アプリケーションで一般的に使用されている PCIe は、メーカーがデータ・バックボーン・アーキテクチャの再検討を開始するにつれて、車載分野での使用が増加しています。これは、リアルタイム処理が必要なセンサ・データとユーザー情報の指数関数的な増加に対処する、高帯域幅で低レイテンシのシステムに対応するためです。

この課題を解決するために、集中型コンピューティング・ノードはさまざまなタイプのドメイン (ADAS、インフォテインメント、パワートレイン) に対応しています。この集中型コンピューティング・ボックスには通常、自動車のさまざまな機能に対応する数多くのモジュールが含まれており、自動車メーカーはドメイン・コントローラ全体を再設計することなく、自動車のスケールアップとスケールダウン、機能のカスタマイズを柔軟に実行できます。PCIe は多くのエンド・ポイントやレーシーバに対して 1 つのルート・コンプレックスまたは中央演算装置 (CPU) をサポートしているため、PCIe を使用して集中型およびモジュール型の設計を採用すると、自動車に必要な ECU とケーブル全体を大幅に削減できます。

自動車業界で、データ・バックボーン全体でコプロセッシングと冗長性を必要とし始めたとき、PCIe はますます魅力的になりました。多くの CPU にはネイティブ PCIe インターフェイスが内蔵されており、バックプレーン全体でインターフェイスを追加で変換する必要がないためです。PCIe には、オープン・ソフトウェア・リソースを備えた大規模なエコシステムがあり、その帯域幅は一貫して世代ごとに倍増しており、非常にスケーラブルな帯域幅を実現しています。したがって、PCIe プロトコルは、車載データ処理の急激な増加に伴って必要とされる帯域幅に対応できる可能性があります。

高速データ信号路を設計する場合、信号の劣化は大きな課題になる可能性があります。プリント基板の材質、ビア、コネクタ、またはケーブルの両端で挿入損失やノイズを回復および補償するために、リドライバやリタイマなどのシグナル・コンディショナが必要な場合があります。リドライバとリタイマはどちらも、PCIe エコシステムで信頼性が高く長い歴史を持っており、PCIe プロトコルを使用してデータを転送するための全体的なシグナル・インテグリティが向上します。表 2 に、リドライバとリタイマの違いを示します。PCIe 信号路を構成する要素の詳細については、[PCIe 信号の整合性に関する課題の解決](#)というビデオをご覧ください。

PCIe リニア・リドライバ	PCIe リタイマ
低消費電力 (ヒートシンク不要)	高消費電力 (ほとんどの場合ヒートシンクが必要)
非常に短いレイテンシ (100ps)	中程度のレイテンシ (PCIe 4.0 仕様の要件に基づいて 64ns 以下)
リンク・トレーニングには参加しない が、ルート・コンプレックス (CPU) とエンドポイント (EP) の間の調停に対して透過的 (プロトコルを意識しない)	ルート・コンプレックス (CPU) およびエンドポイント (EP) とのリンク・トレーニングに完全に参加 (プロトコルを意識する)
100MHz のリファレンス・クロックは不要	100MHz のリファレンス・クロックが必要
挿入損失の改善に寄与	挿入損失、ジッタ、クロストーク、反射、レーン間スキューの改善に寄与
イコライザ回路として通常 CTLE を使用	イコライザ回路として通常 CTLE、DFE、トランスミッタ FIR を使用
約 1 倍の総ソリューション・コスト	約 1.3~1.5 倍の総ソリューション・コスト

表 2. PCIe リドライバとリタイマの比較。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

FPD-Link™ and OMAP™ are trademarks of Texas Instruments.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

まとめ

車載通信に最適なインターフェイスはどれですか？これらはすべてですが、それぞれが独自の目的を持っています。レーダーや LIDAR データ転送などの帯域幅要件が上昇した場合、イーサネットは必要な帯域幅要件に対応します。自律型車両に入力を提供するサラウンド・ビュー・カメラ・システムなど、最大帯域幅と最小レイテンシのリンクが必要な場合、FPD-Link はこの課題に対応する準備ができています。CAN バスは、データの優先順位設定やエアバッグの展開など、コストが重視される低速制御アプリケーション向けに、ADAS サポートを継続的に提供します。PCIe は、リアルタイム処理を必要とするセンサ・データとユーザー情報の量を増大させ続ける需要に対応できます。これら 4 つの重要な車載通信プロトコルを組み合わせることで、ドライバーの安全性をリアルタイムでサポートし、増える一方の ADAS アーキテクチャの要件を満たす、統合型コネクテッド・カーを構築できます。[センサ・フュージョン](#)で、テキサス・インスツルメンツの先進的な通信テクノロジーを活用して、安全重視の運転支援アプリケーションの信頼性を向上させる方法をご確認ください。

関連資料

1. [FPD-Link について](#)
2. [テキサス・インスツルメンツ: CAN \(Controller Area Network\) の概要](#)
3. [PCIe 信号の整合性に関する課題の解決](#)

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](https://www.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 © 2023, Texas Instruments Incorporated