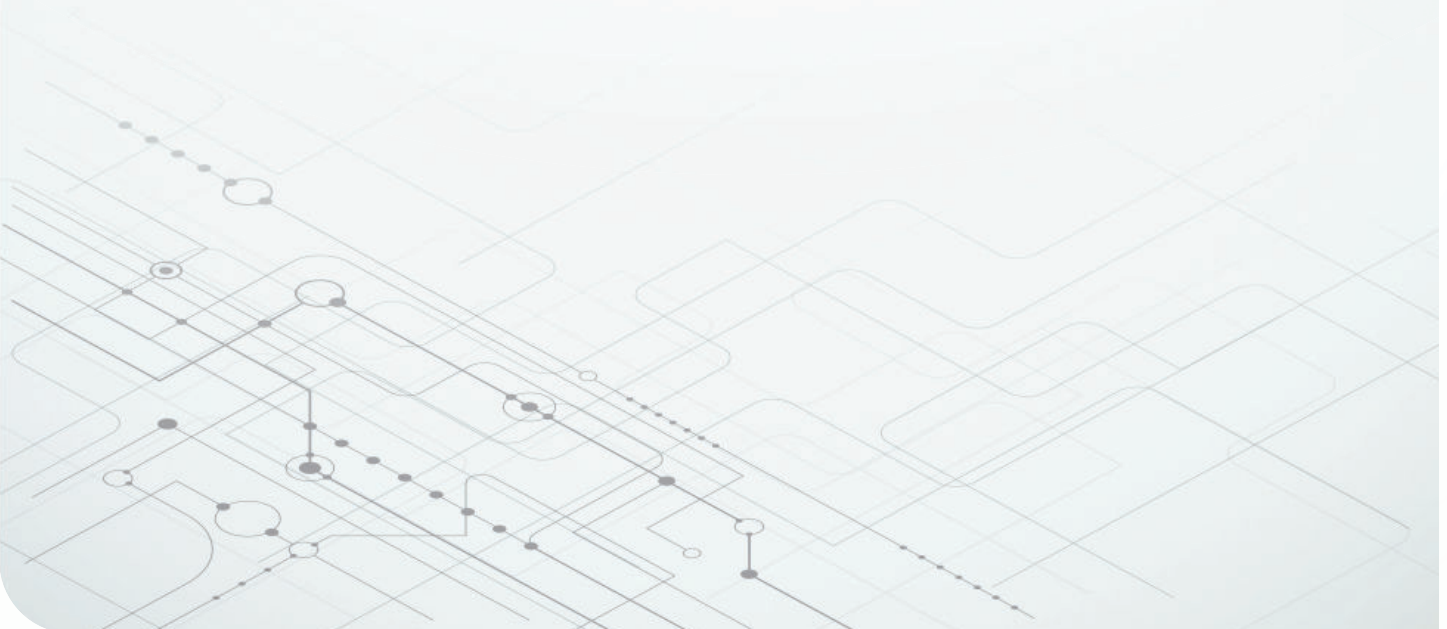


将来の SDV の内部: リモート制御エッジノードの統合



Kate Hawkins
Systems Engineer
Body Electronics and Lighting



リモート制御エッジ技術は車載ネットワークを変革し、SDV に向けてより集中化されたアーキテクチャを可能にします。

概要

- 1 来型とリモート制御のエッジ ノードの比較
- 2 リモート制御エッジ ノードの利点
- 3 リモート制御エッジ ノードに関する検討事項

はじめに

自動車の車載ネットワークは、ソフトウェア定義車両 (SDV) の新機能に対応するために進化しています。ソフトウェアがより少ない数の電子制御ユニット (ECU) に統合され、車両プラットフォーム全体でのスケラビリティ向上や無線 (OTA) 更新の効率化が進む中、新しいリモート制御エッジのコンセプトは、配線を最適化すると同時に、スケラブルなエッジ ノードソフトウェアを可能にします。

エッジノードとは、特定の機能のリアルタイム制御を担う専用 ECU であり、外部照明用のヘッドライト モジュールや、ドア ロック、窓、サイドミラー用の制御モジュールなどが例として挙げられます。これらのノードは、車載ネットワーク全体でコマンド ECU (ゾーン コントローラ、ドメイン コントローラ、集中型コンピューティング) からコマンドを受信します。エッジノードは、制御ループの帰還のために温度、圧力、位置などのセンサを監視しつつ、ハーフブリッジやハイサイド/ローサイド スイッチを含む負荷ドライバを介してモーターやソレノイドといった機械式アクチュエータを直接制御することで、ローカル ハードウェアの制御を行います。図 1 は、ゾーン アーキテクチャにおけるエッジ ノードとコマンド ECU の違いを示します。

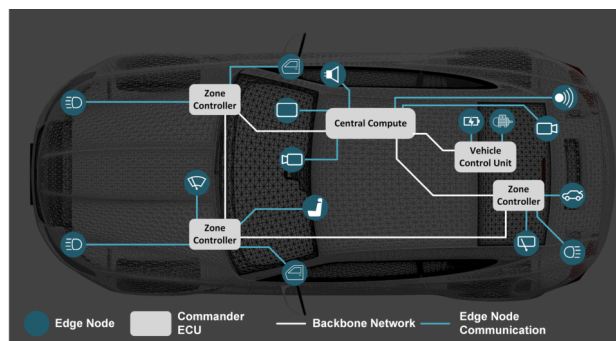


図 1. コマンド ECU と複数のエッジ ノードを搭載した車載ゾーン アーキテクチャ。

リモート制御のエッジ アーキテクチャでは、リアルタイム制御とハードウェア抽象化レイヤ (HAL) を上位のコマンド ECU に移動し、それがセンサや負荷ドライバ向けの低レベルなハードウェア コマンドを生成して、エッジ ノードに送信します。リモート制御型エッジ ソリューションは、イーサネットやコントローラ エリア ネットワーク (CAN) といった ECU 間の上位ネットワーク データリンク層と、シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI)、集積回路間インターフェイス (I2C)、ユニバーサル非同期受信送信器 (UART)、汎用入出力 (GPIO) などの低レベル通信インターフェイスを橋渡しします。このアプローチにより、マイクロコントローラ (MCU) と、エッジ ノードのソフトウェアはすべて不要になります。

リモート制御エッジ方式は、SDV をめぐる主要かつ包括的なトレンドを支援し、ソフトウェアをコマンド ECU に集中させることでワイヤ ハーネスの量を削減します。一方で、負荷に依存するハードウェアは電気機械式アクチュエータに近いエッジ ノードに残ります。

SDV の詳細については、[ソフトウェア定義車両が、自動車エレクトロニクスの未来を加速させる](#) ホワイト ペーパーをご覧ください。

来型とリモート制御のエッジ ノードの比較

図 2 は従来型エッジ ノードのブロック図を示しています。従来のアーキテクチャでは、ローカル MCU に HAL が含まれ、これは、デバイス ソフトウェアドライバがハードウェアとどのようにやり取りするかを定義するソフトウェアです。エッジ MCU は、コントローラ MCU からネットワーク インターフェイス経由でコマンドを受信し（一般的には CAN フレキシブル データレート (CAN FD) または ローカル インターコネクト ネットワーク）、その命令に従ってローカル ハードウェアを制御します。

たとえば、上流コントローラ MCU がエッジ MCU ノードに「運転席側の窓を閉める」というコマンドを送信した場合、エッジ MCU はこのメッセージを具体的なハードウェア動作に変換します。その内容には、窓を上げる動作、ソフト クローズの実行、モーターの停止や窓の挟み込み事故を防ぐ保護機能などが含まれます。エッジ ノード MCU は、モータードライバに必要な SPI メッセージを送信し、パルス幅変調出力 (PWM) を用いてハーフブリッジ モータードライバを駆動することで、ウィンドウのモーターのリアルタイム制御を実装します。また、内蔵 A/D コンバータ (ADC) を使用してモーター電流を監視し、ホール効果パルスをカウントして窓の位置を追跡します。

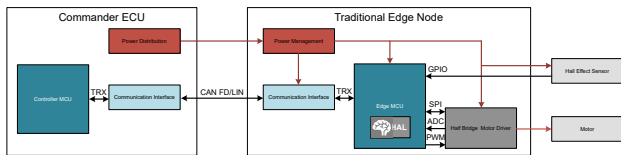


図 2. コマンダ ECU との通信を実施する従来型エッジ ノードのブロック図。

図 3 に、リモート制御エッジ ノードのブロック図を示します。このアーキテクチャでは、HAL とリアルタイム アクチュエータをアップストリーム側のコマンド ECU の MCU に移し、エッジ ノード MCU を完全に排除します。これで、コントローラ MCU はデバイスの通信プロトコル フレームまたはペリフェラル制御 (SPI、I2C、UART、PWM 出力制御、ADC サンプルング、GPIO) を含むコマンドを送信できるようになりました。

パワーウィンドウ用途では、コントローラは直接制御データ (SPI によるモータードライバコマンドおよび PWM 出力設定) をネットワーク経由で送信します。これらは、標準的な通信プロトコルのデータ ペイロード (CAN FD light または 10BASE-T1S) に埋め込まれています。エッジノード内の通信ブリッジは、これらのプロトコル データ ペイロードを抽出して、SPI フレームと PWM 信号を適切な GPIO ピンに出力します。センサ フィードバックの場合、このブリッジは内部または外部 ADC とホール効果センサのデータをサンプリングし、コマンド処理中の ECU に送り返して、制御ループを完成させます。

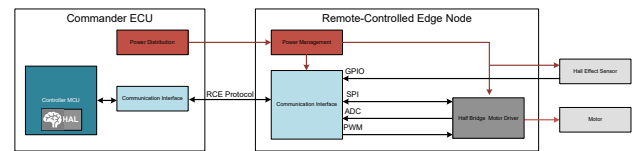


図 3. コマンダ ECU との通信を実行するリモート制御エッジ ノードのブロック図。

リモート制御エッジ ノードの利点

リモート制御エッジ アーキテクチャには、ソフトウェアの一元化、ソフトウェア開発コストの削減、スケーラビリティの実現、OTA 更新の簡素化など、複数の利点があります。また、リモート制御エッジ ノードを使用すると、負荷配線を最小限に抑えながら、コマンド ECU から負荷ドライバを制御することができます。

リモート制御のエッジ ノードは、ソフトウェアの一元化によってシステム コストを削減できます。エッジ マイコンを排除し、ソフトウェアをより少数の ECU に集約することで、企業はソフトウェア開発や管理の負担を軽減でき、車両内の多数の ECU にわたるテストや検証の要件を減らすことが可能になります。

ソフトウェアの集中化により、スケーラビリティも向上します。開発者はアップストリーム コマンダ ECU 向けにのみソフトウェアを作成し、エッジ ノード側ではハードウェアを標準化できます。この標準化により、専用のエッジハードウェアを必要とする代わりに、複数のノードや ECU にわたる自動車インフラストラクチャが簡素化されます。

図 4 では、従来型アプローチ (各エッジ ノード モジュールが異なるサプライヤの異なる MCU を使用し、その結果、複数プラットフォームにわたるソフトウェア開発および管理が必要となる) と、リモート制御エッジ アプローチ (図 4 に示す「RCE ソリューション A、B、C」のラベルは、複数サプライヤから提供されるソフトウェア不要の選択肢を表す) を対比しています。標準規格に基づくソリューションは追加のメリットをもたらしません。なぜなら、リモート制御エッジ ソリューションのサプライヤに依存せず、コマンド ECU のソフトウェアが一貫して維持されるからです。

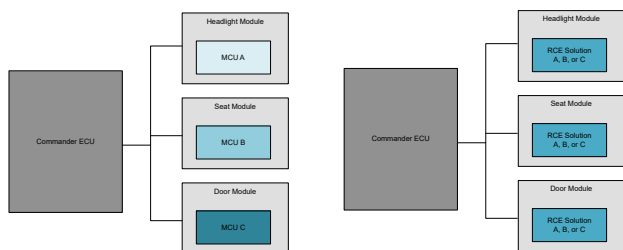


図 4. リモート制御型エッジ ノードと従来型のエッジ ノードのハードウェア拡張性。

制御を集中化することで、自動車メーカーはソフトウェア管理や OTA アップデートを効率化でき、自社ソフトウェアの保有と管理を容易にします。OTA 更新をリリースするには、複数のモジュールのソフトウェアを更新するのではなく、コマンド ECU のみを更新する必要があります。

コマンド ECU から負荷を直接駆動する代わりにエッジ ノードを使用すると、負荷ドライバまでの配線長が短くなります。リモート制御エッジ ノードはこの利点を維持すると同時に、コマンド ECU 内に HAL を維持します。図 5 は、ゾーンアーキテクチャにおけるこの構成を、ドアを例に示しています。ゾーンコントローラは両方のドア モジュールを制御しますが、ドアエッジモジュールは負荷ケーブルを短縮し、寄生容量や寄生成分インダクタンスを最小限に抑えることで電磁干渉を軽減する効果もあります。これは、より高速なスイッチング時間を必要とする次世代の 48V 車両にとって特に重要です。

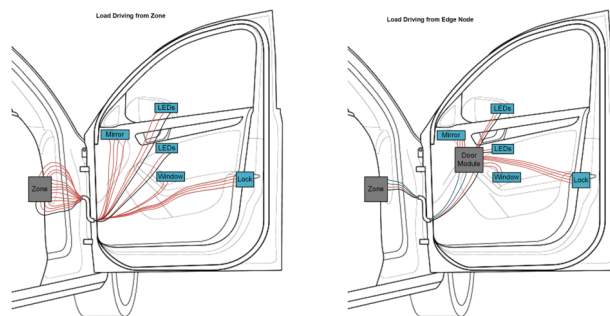


図 5. リモート制御エッジ ノードと従来型のエッジ ノードのケーブル削減。

リモート制御エッジ ノードに関する検討事項

リモート制御エッジ テクノロジーを検討している相手先ブランド製造業者 (OEM) や設計者は、レイテンシ、機能安全、サイバーセキュリティ、コストを考慮する必要があります。

レイテンシは設計上の重要な課題です。エッジからのデータは上流へ送られ、そこで処理のための判断が行われ、その後実装のために再び下流のエッジへ戻されます。このプロセスにより、リアルタイム制御ループにレイテンシが追加されます。負荷の検出と制御を行うこのプロセスを図 6 に示します。従来型のエッジ ノードはステップ 2 とステップ 5 のみを必要としますが、リモート制御エッジ ソリューションではレイテンシを削減するために、インテリジェントな動作や自律ポーリングといった機能を実装します。インテリジェント アクションにより、ブリッジ デバイスはコマンド ECU からの初期プロンプトなしでセンサ データを自動送信でき、ステップ 1 を不要にします。自律ポーリングにより、ブリッジ デバイスはセンサから自動的にサンプリングを行い、読み取り値をバッファに保存できます。これにより、他のステップでステップ 2 を実行できるため、レイテンシをさらに短縮できます。

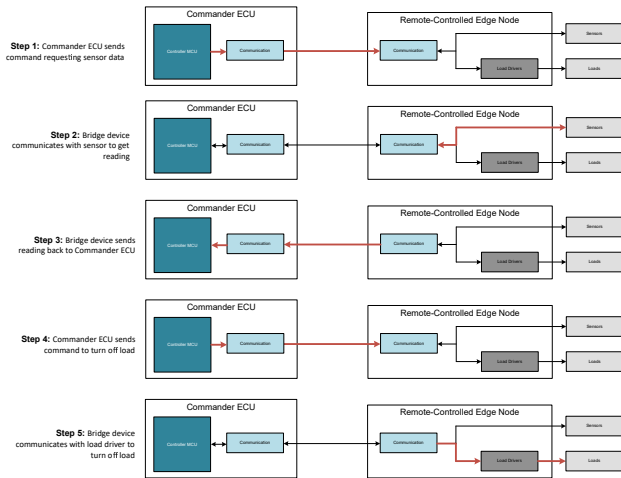


図6. レイテンシに寄与する、リモート制御エッジノード向けの通信ステップ。

ローカルのリアルタイム制御が存在していないので、機能安全に関する懸念が生じる可能性があります。フォルトトレラントタイム インターバル仕様による厳しいレイテンシ要件など、厳格な要件を持つエッジアプリケーションは、上流通信の遅延に苦勞する可能性があります。新しい技術であるため、第1世代のリモート制御エッジ デバイスは、自動車安全水準の要件を満たさない場合や、システム レベルで機能安全を実現するために追加の対策が必要となる場合があります。

自動車がソフトウェアに依存するようになるにつれて、サイバーセキュリティのリスクが増大します。適切なセキュリティ対策がなければ、ハッカーは車両全体の車両ネットワークにアクセスして、車両全体の制御機能にアクセスできるため、盗難や安全に関するリスクにつながる可能性があります。リモート制御エッジ ノードにはローカルでセキュリティを管理するMCUが存在しないため、サイバーセキュリティの実装はより困難です。そのため、OEM は自社のサイバーセキュリティ要件を満たすソリューションを選択することが重要です。

コストの考慮事項については、ハードウェアとソフトウェアの費用のバランスをとる必要があります。従来のエッジ ノードで現在使用されている低レベル MCU をリモート制御エッジ ノードデバイスに置き換えることは、コストが高くなる可能性があります。ただし、ハードウェア コストが増加しても、ソフトウェアの開発および管理コストは依然として大幅に削減されることを覚えておくことが重要です。

リモート制御エッジにより、自動車メーカーはより多くのソフトウェアを社内で管理できるようになりますが、OEM はそのトレードオフを評価する必要があります。

リモート制御のエッジ アプリケーション

リモート制御エッジ技術は、照明、バッテリー管理システム (BMS)、先進運転支援システム (ADAS)、カー アクセス、ボディモータなど、多くのアプリケーションに価値を提供します。表1に、これらのアプリケーション、およびリモート制御エッジノードの利点を示します。

アプリケーション	リモート コントロール エッジ ノードを選択する理由
ヘッドライト	単一の低レベル プロトコル (UART、SPI、またはその両方) のみで必要
周辺光	
BMS	
レーダー	車両全体に多数のノードが存在し、ハードウェアを拡張する機会が得られます
超音波センシング	
カー アクセス	ロードドライバは、より多くの診断機能を統合しています
シート モジュール	
ドア モジュール	

表1. リモート制御のさまざまなエッジ ノード アプリケーションと、それが最適な理由。

リモート制御エッジ プロトコル

リモート制御プロトコル向けのソリューションには、10BASE-T1S、CAN FD light、および UART over CAN が含まれます。これらのプロトコルはハーフ デュプレックスで動作し、2つのデバイス間で非同時双方向データ転送を可能にします。ハーフ デュプレックスはマルチドロップ機能を可能にします。これにより、複数のデバイスが同一バス上で通信でき、コマンド ECU 内の単一のネットワーク デバイスだけで複数のエッジ ノードとやり取りできます。図7に、マルチドロップ システムの例を示します。

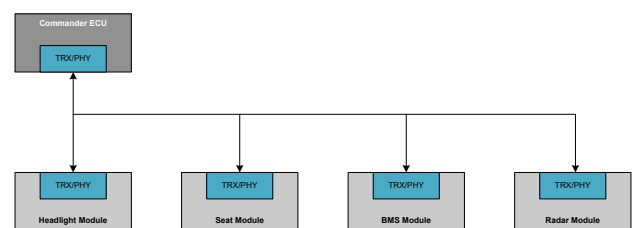


図7. コマンド ECU からエッジ ノードまでのマルチドロップトポロジ。

10BASE-T1S、CAN FD light、UART over CAN は、速度、ペイロード容量、マルチドロップとバスのトポロジでのノード数が異なっています。表 2 に、これらのプロトコルを比較します。

	10BASE-T1S	CAN FD light	CAN 経由の UART
ネットワークプロトコル	イーサネット	CAN	UART
速度	10Mbps	1-5Mbps	0.1-1Mbps
ペイロード	46 - 1,500 バイト	1 - 64 バイト	1 - 64 バイト
ノードの最大数	16	64	64
トポロジ	ラウンドロビン	救急隊長	救急隊長

表 2. 10BASE-T1S、CAN FD light、CAN 経由の UART の間でのリモート制御エッジ ネットワーキング プロトコルの比較。

図 8 に、ラウンドロビントポロジとコマンドレスポンドトポロジの違いを示します。ラウンドロビントポロジは周期的に動作し、各ノードはノード ID に基づいて、サイクルごとに専用の送信機会を持ちます。これはアービトレーションを自動化しますが、バス上で優先度の低いデータによって高優先度または時間的に重要なデータが遅延しないように調整が必要です。コマンドレスポンドトポロジでは、コマンド ECU がバスにデータを送信する前に下流ノードをプロンプトする必要があります。送信の順序はノード ID ではなく、コマンド ECU によって決定されます。

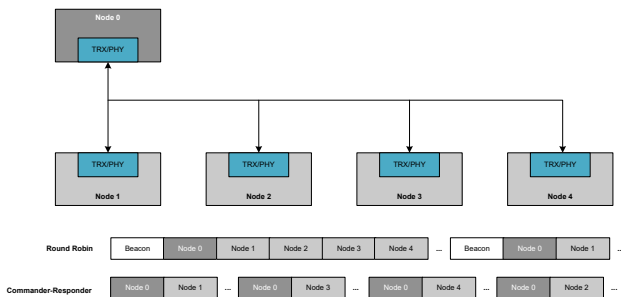


図 8. ラウンドロビントポロジとコマンドレスポンドトポロジの送信の比較。

IEEE 802.3cg によって標準化された 10BASE-T1S は、技術委員会 18 によって標準化されたリモートコントロール プロトコルを使用します。この製品は 10Mbps で動作し、ラウンドロビン マルチドロップトポロジで動作します。イーサネットプロトコルとして、10BASE-T1S は、メディア アクセス制御セキュリティ (MACSec)、時間限定ネットワーク (TSN)、オーディオビ

デオブリッジ (AVB)、データライン経由の電力供給 (PoDL) などのイーサネット機能を搭載することができます。表 3 に、これら 4 つの機能を示します。さらに、高速イーサネットバックボーンをすでに使用しているシステムは、オールイーサネットネットワークを備えた簡素化されたソフトウェアの利点を活用できる可能性があります。

機能	説明	標準
MACSec	レイヤ 2、ポイントツーポイントのイーサネットサイバーセキュリティプロトコル	IEEE 802.1AE
TSN	イーサネットネットワーク全体で、データ同期のためのデタミニスティックリアルタイム通信を実現する規格	IEEE 802.1Q IEEE 802.1AS
AVB	オーディオ / ビデオアプリケーション向けに TSN を定義する規格	IEEE 802.1BA IEEE 1722
PoDL	ポイントツーポイントイーサネットに使用されるシールド付きツイストペアケーブルを介した電力伝送	IEEE 802.1cg

表 3. 10BASE-T1S イーサネットの機能と規格のリストと説明。

CAN FD light は、国際標準化機構 (ISO) 11898-1:2024 規格に基づく CAN FD のバリエーションであり、1Mbps ~ 5Mbps で動作します。従来の CAN は CAN アービトレーション (複数のノードが同時に送信し、最も低いノード ID を持つノードが優先される方式) に従いますが、CAN FD light はコマンドレスポンドトポロジを採用して動作します。エッジノードは CAN FD light レスポンドを採用しているのに対し、コマンド ECU は CAN FD light コマンドまたは CAN FD トランシーバを使用します。多くの既存アーキテクチャはすでに CAN FD トランシーバを使用してエッジノードと通信しているため、CAN FD light を現行アーキテクチャに統合するのは容易です。1Mbps を超える速度を達成するには、コントローラのアービトレーションフェーズの制約を考慮すると、CAN FD light のコマンドが必要となります。

10BASE-T1S と CAN FD light の両方のライトプロトコルは、イーサネットと CAN を、SPI、I2C、UART、GPIO、PWM などの他のプロトコルにブリッジするものです (図 9 を参照)。このブリッジ接続により、10BASE-T1S と CAN FD light を使

用して複数のセンサとドライバのリモートコントロールが可能になり、両方のソリューションがさまざまな最終アプリケーションで多用途に利用できるようになります。

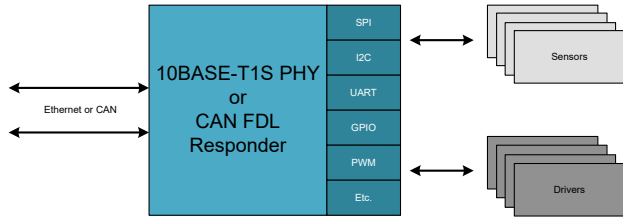


図9. 10BASE-T1S または CAN FD light エッジノードのブロック図。

UART over CAN は、CAN トランシーバを使用して、CAN 物理層 (PHY) 経由で UART パケットを送信します (図 10 を参照)。コマンドレスポンストポロジで 1Mbps 以下で動作する場合、CAN 上の UART はコスト効率の高いソリューションを提供しますが、LED やリアルタイム制御および診断機能を統合したモータードライバといった、UART ベースのドライバに依存します。



図10. CAN エッジノード経由の UART のブロック図。

リアルタイム制御を統合したスマートドライバは、上流側の制御要件を減らすことで、リモート制御エッジソリューションを補完します。テキサス インストルメンツ (TI) は、センサレスモーターシステム向けに制御を統合したスマートモータードライバを提供しています。これには、ブラシレス DC (BLDC) モータードライバ向けのセンサレスベクトル制御や、ステッパモータードライバ向けの電流検出および停止検出機能が含まれます。ステッパモーターは、回転精度が高いことから、上流の診断データを必要としないため、リモート制御のエッジアプリケーションに特に適しています。表 4 は、一部の TI デバイスを示しています。

デバイス	タイプ	電界効果トランジスタ
MCF8329A-Q1	BLDC モータードライバ	外部
MCF8316C-Q1	BLDC モータードライバ	内部
MCF8315C-Q1	BLDC モータードライバ	内部

デバイス	タイプ	電界効果トランジスタ
DRV8889-Q1	ステッパモータードライバ	内部

表 4. TI のモータードライバ製品です。

リモート制御のエッジシステムソリューション

図 11 は、10BASE-T1S または CAN FD light を使用したリモート制御エッジノードをヘッドライトとして示します。PHY またはレスポンスは、イーサネットや CAN FD light のメッセージをさまざまなローカルプロトコルに変換し、温度センサ、LED ドライバ、モータードライバ、ハイサイドスイッチを制御します。コマンド ECU は、UART、SPI、GPIO などのプロトコルを介してロードドライバを有効化するコマンドを PHY またはレスポンスに送信し、アクチュエータのオン / オフを制御します。次に、PHY またはレスポンスはセンサデータとアクチュエータの帰還をコマンド ECU に送信します。

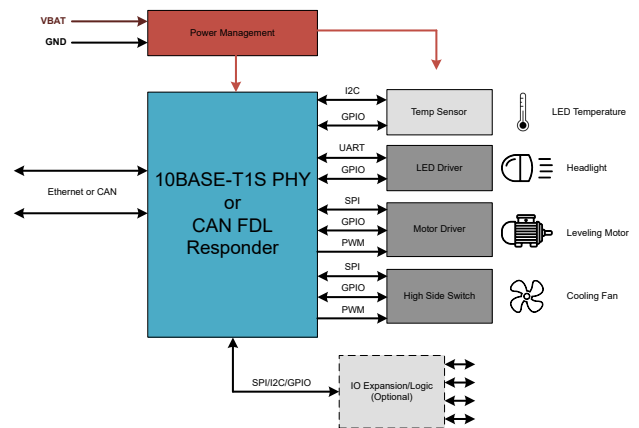


図11. 10BASE-T1S または CAN FD light を用いたリモート制御ヘッドライトモジュールのブロック図。

TI は、TPS92544-Q1 スイッチング LED ドライバ (ステッパモーターの台形制御を統合) と DRV8434A-Q1 ステッパモータードライバを用いた、CAN 上の UART によるリモート制御エッジヘッドライトソリューションを提供しています。

TPS92544-Q1 は単一の UART インターフェイスを介して LED とモーターの両方を制御し、ヘッドライトモジュールに効率的なソリューションを提供します。図 12 に示すように、CAN トランシーバは、コマンド ECU からの UART パケットのハードウェアメディアとして機能します。

これらの UART パケットは、TPS92544-Q1 を制御してヘッドライトを有効化するとともに、DRV8434A-Q1 デバイスのステップモーション制御を駆動し、レベリング モーターを動作させます。

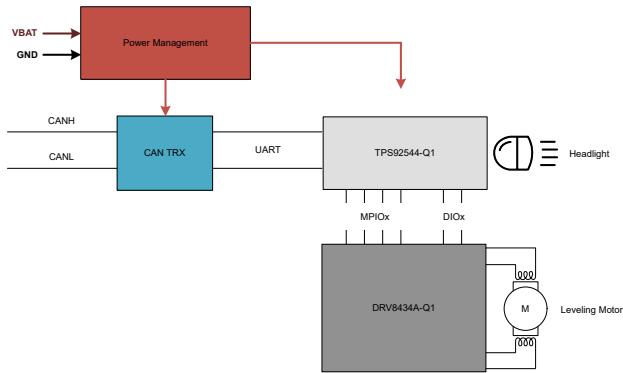


図 12. CAN 上の UART 用に TPS92544-Q1 を使用したリモート制御ヘッドライト モジュールのブロック図。

まとめ

自動車市場が SDV を導入し、ゾーン アーキテクチャによる ECU 集約を進める中で、スケーラビリティ確保と配線削減を目的としたソフトウェア集中化の推進は一層加速すると考えられます。リモート制御エッジ ノードは、ソフトウェアを上流へ移行し、より少ない ECU へ統合して OTA アップデートを簡素化することで、この取り組みを支援します。

10BASE-T1S、CAN FD light、UART over CAN など複数のソリューションを使用することで、システム アーキテクトは個別の設計ニーズに応えるオプションを利用できます。さらに、診断機能と制御機能を内蔵したスマートドライバは、リモート制御エッジの実装をさらに最適化します。

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。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated