参考資料

Technical White Paper

*車載レーダーの進化：車載イーサネットと **PoDL** がセンシング アーキテクチャを変革する理由*

Hillman Lin

概要

最新の自動運転車は広帯域のレーダー データを必要とするため、車載イーサネットへの移行が求められています。本書では、この移行に伴う配線の重量と複雑さの増大を防ぐために、データ ライン経由の電力供給 (PoDL) の採用を提案します。PoDL は電力とデータを 1 本のケーブルに統合し、ハーネスの質量を最小限に抑えます。センサのコスト削減にもつながる可能性があり、次世代センシング アーキテクチャの熱管理を最適化します。

目次

1 概要.....2
2 従来の部品を使用する通信トポロジの課題とイーサネットの利点.....2
3 イーサネットの利点.....2
4 重要な課題：イーサネットへの移行に伴う電力供給.....3
5 解決策：データ ライン経由の電力供給 (PoDL).....3
6 実装上の課題と対策.....4
7 まとめ.....5

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 概要

自動車業界が先進運転支援システム (ADAS) のレベル 2+ から自動運転のレベル 3 および 4 へと移行するにつれ、高分解能イメージング レーダーへの需要が高まっています。この進化には、従来の通信プロトコルから車載イーサネットへの移行が不可欠です。しかし、データの広帯域化に伴い、新たな課題も生じます。車両に搭載するレーダーの数とレーダー 1 台あたりの電力需要が増加し、その結果、配線で電力損失が発生します。

本稿では、データ ライン経由の電力供給 (PoDL) が、レーダーへのイーサネット導入を可能にする重要な技術である理由を解説します。PoDL は電力と高速データを 1 組のツイスト ペアに統合し、最新の車両設計における主要な課題である重量、コストの制約、熱管理、アーキテクチャの拡張性に対応します。

2 従来の部品を使用する通信トポロジの課題とイーサネットの利点

従来、レーダー センサには CAN や LIN などの狭帯域のプロトコルが使用されていました。これらのプロトコルは単純な物体検出には十分ですが、次の理由から、最新のレーダー システムの要件を満たせません。

- **帯域幅のボトルネック**: 高分解能イメージング レーダーが生成する大量の未加工データのストリームは、従来のバスの処理能力を超えます。ADAS のレベル 2+ および 3+ の規格では、レーダー アプリケーションにおいて、アンテナ数の増加、帯域幅の拡大、未加工データの出力が求められます。
- **ローカルでの演算処理**: CAN や LIN は必要なスループットに対応できないため、レーダー処理の大部分を中央演算システムや IVI システムではなく、専用のレーダー ECU で実行する必要があります。その結果、ADAS スタックで利用できる未加工データが減り、測定精度とシステム全体の性能が低下します。
- **レイテンシとジッタ**: 自動運転の判断をリアルタイムで行うには、データを所定の時間内に確実に伝送する必要があります。従来のプロトコルには、レーダー データを他のセンサと同期させるために必要な、信頼性の高いタイム センシティブ ネットワーキング (TSN) 機能がありません。
- **複雑なトポロジ**: 従来の車載システムでは、レーダー向けの CAN インターフェイスとバックボーン通信用のイーサネットという、複数のインターフェイスを組み合わせています。この組み合わせにより、システムのハードウェアとソフトウェアの開発が複雑になります。

従来のシステムでは電力用とデータ用に個別の配線ハーネスが必要なため、車両の電気系統の構成が複雑になります。

3 イーサネットの利点

車載イーサネット (10BASE-T1S、100BASE-T1、1000BASE-T1) は、安全性が特に重要なセンサ フュージョンに必要な時間確定性 (TSN) を確保しながら、低コスト化が可能なコーナー レーダーから高性能な長距離センサまで対応できる、統一されたバックボーンを提供します。現在、主要な自動車メーカー (OEM) や Tier-1 サプライヤは、次世代レーダー プラットフォームの仕様にイーサネットを採用しています。

業界では、ADAS と自動運転の機能を向上させるため、中央演算ユニットで未加工データを処理する方式への移行も進んでいます。レーダー ECU から中央の ADAS プロセッサへ未加工のレーダー データを転送するには、通常 100Mbps、1Gbps、あるいはそれ以上の高速なリンクが必要です。そのため、CAN や LIN からイーサネットへの移行は、最新の自動運転アーキテクチャを実現する重要な要素になりつつあります。

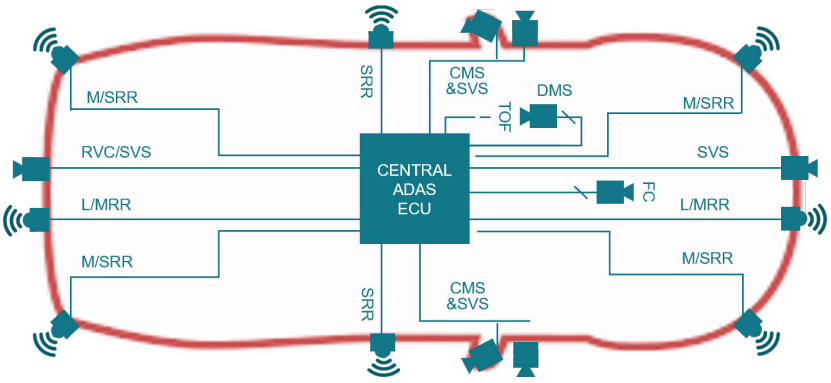


図 3-1. 車両に搭載されるレーダー

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 重要な課題:イーサネットへの移行に伴う電力供給

イーサネットへの移行はデータ帯域幅の問題を解決しますが、電力供給を考慮しなければ、物理層に大きな追加負担が生じます。データ ライン経由の電力供給 (PoDL) を使用しない従来のイーサネット実装では、各センサにデータ用と電力用の 2 組のケーブル ペアが必要です。

同時に、業界では、従来の 3 台のレーダー (前方、後方、側方) を使用するアーキテクチャから、車両 1 台に 5 台、さらには 8 台のレーダーを搭載する構成への移行が進んでいます。レーダーを 1 台追加するたびに給電経路も 1 つ増えるため、電源ケーブルのハーネス数はレーダー数に比例して増加します。

このため、イーサネット データを伝送するツイスト ペアで必要な電源電圧も供給する、データ ライン経由の電力供給が重要になります。電力専用の追加配線が不要になり、ハーネス全体の重量、コスト、複雑さを低減できます。

電力用とデータ用の配線を分離する場合の影響:

従来のレーダー インターフェイスでは、電源ケーブルとデータ ケーブルを別々に実装する必要があります。この分離により、表 4-1 に示す次のような欠点が生じます。

表 4-1. 従来のレーダー インターフェイス実装の欠点

	CAN + 電源	イーサネット + 電源	イーサネット + PoDL
センサあたりのケーブル重量	0.07kg	0.08kg	0.03kg
センサあたりのケーブル コスト	0.45 米ドル	0.90 米ドル	0.30 米ドル
ケーブル束とコネクタの数	2	2	1
コネクタの数 (変更なし)	2	2	1

- **重量とコスト**:CAN を使用するレーダー設計では、帯域幅の制限と遅延時間が確定しない特性のために、より多くのバスとノードが必要になります。
- **ハーネスの複雑さと取り付け時のリスク**:各レーダー センサに専用の電源ハーネスと個別の高速データ ケーブルを設けると、配線の束はたちまち太くなり、取り回しにくくなります。フロント バンパー、後部コーナーの衝撃を受ける領域、床下のレールなどの狭い場所では、太いケーブル束を最小曲げ半径より小さく曲げずに配線するのは困難で、絶縁被覆に亀裂が生じるおそれがあります。電線やコネクタを追加するたびに、故障が発生し得る箇所も増えます。車両が周囲全体を監視するレーダー アーキテクチャを採用すると、このような負担はさらに増大します。モジュールをわずか 2 台追加するだけで、電源配線とイーサネット ジャックの数がそれぞれ 2 倍になり、銅の総質量が数百グラム増える場合があります。この追加の銅は重量とコストを増加させるだけでなく、配電網の I^2R 損失も増加させます。つまり、バッテリのエネルギーがセンサに届く前に、より多くのエネルギーが熱として失われます。
- **熱管理**:電源配線は局所的に発熱します。高密度のハーネスでは、この発熱が冷却を難しくし、長距離の電源接続における電圧降下の一因にもなります。発熱箇所を局所化すると、電源ケーブルの束からレーダーの設置箇所へ伝わる熱を減らせるだけでなく、車載電源ケーブルでの発熱も低減できます。

5 解決策:データ ライン経由の電力供給 (PoDL)

IEEE 802.3bu 規格に基づく PoDL は、100Base-T1 および 1000Base-T1 のデータ伝送に使用する 1 組のツイスト ペアで、DC 電力も供給できるようにします。ECU またはゲートウェイに給電側機器 (PSE) を、レーダーに受電側デバイス (PD) を使用すると、システムは最大 50W を供給できます。これは、ほとんどのレーダー モジュールの一般的な電力要件である 10W 未満を大きく上回ります。

PoDL は電力と高速データを 1 組のツイスト ペアに統合し、電力用とデータ用の配線を分離するアーキテクチャに特有の非効率性を効果的に解消します。この統合により、銅の質量と必要なコネクタ数の両方を削減できるため、直接的な軽量化に加え、コスト削減も期待できます。ハーネスが細くなるため配線の取り回しが大幅に容易になり、バンパーやグリル内の狭いスペースにもケーブルを収めやすくなります。このような場所では、太いケーブル束を別々に配線すると、損傷や曲げ疲労が生じやすくなります。

さらに、PoDL への移行は、終端箇所の数と、擦れやコネクタの位置ずれなどの潜在的な故障要因を最小限に抑え、取り付け時のリスクを大幅に低減します。このアーキテクチャは組み立て面の利点に加え、熱管理と電力利用の効率も高めます。電源接続をレーダー周辺に集約すると、中央の電源ケーブル束で発生する熱を低減できます。また、電源接続を局所化すると、必要なケーブル長と I^2R 損失が減り、給電効率が向上します。PoDL はレーダー設計の拡張性も高めます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

従来の配線に伴う過度な重量増加や複雑化を抑えながら、より広いデータ帯域幅とより大きな電力負荷の両方を必要とする、アンテナ数の多いイメージング レーダーを導入できます。

6 実装上の課題と対策

高速データ ラインに DC 電力を重畳すると、シグナル インテグリティを損なうリスクが生じます。差動モード インダクタ (DMI) ネットワークを追加すると、ラインの差動インピーダンスが低下し、リターン ロス特性が悪化します。2 本の導体間の不平衡によりコモン モード電流が発生し、モード変換や電磁放射の増加を引き起こします。直列インダクタンスを追加すると、低周波側の差動インピーダンスが低下し、電圧ドループ特性が悪化します。

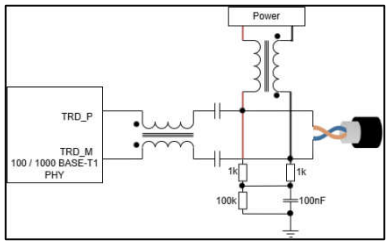


図 6-1. PoDL ネットワークの例

対策

- **磁気部品の選定:** PoDL の DMI ネットワーク向けに設計された、高い絶縁性能を持つ専用の磁気部品を使用します。DMI ネットワークの差動インピーダンスと結合係数は、PoDL の性能に大きく影響します。

  DMI ネットワークのインダクタンス値を大きくすると、リターン ロスと電圧ドループの改善に役立ちます。DMI ネットワークは通常、低周波側でラインに差動インピーダンスを付加します。インダクタンス値を大きくすると、差動インピーダンスが劣化する周波数域がさらに低い側へ移動し、動作周波数範囲への影響を防ぎます。

  結合インダクタを使用する DMI ネットワークを選択すると、独立した 2 個のインダクタを使用する DMI ネットワークと比べて、モード変換係数を低減できます。結合型の DMI ネットワークは、ライン上のコモン モード ノイズを除去し、モード変換の抑制に役立ちます。また、独立した 2 個のインダクタを使用する DMI ネットワークでは、通常、両インダクタの間に公差による多少のばらつきがあります。結合係数を高めると、差動ノイズをさらに低減でき、モード変換の測定結果も改善します。DMI ネットワークを結合型にするもう 1 つの利点は、相互インダクタンスが加わり、ラインの差動インダクタンスまたは差動インピーダンスが増加する点です。

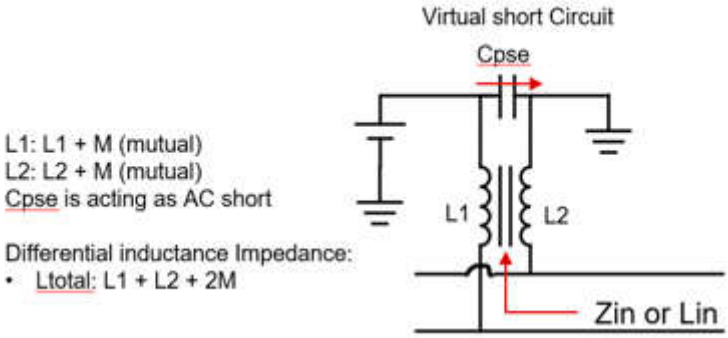
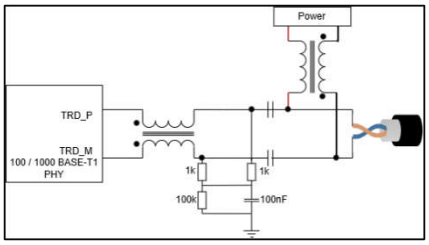


図 6-2. PoDL ネットワークのインピーダンス計算

ただし、DMI ネットワークでは、通常、インダクタンス値が大きいほど対応可能な電流が小さくなります。大電流を必要とするアプリケーションで信号特性も向上させるには、トレードオフとして DMI ネットワークの大型化が必要になります。

- **電力損失の最適化:** レーダー アプリケーションの高電圧システムでは、CMT ネットワークで生じる追加の電力消費が常に懸念事項となります。たとえば、48V システムでは、PSE 基板と PD 基板の両方で、V^2/R の追加の電力消費が常に発生します。ただし、図 6-3 に示す PoDL 設計は、この電力損失の問題の改善に役立つ可能性があります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated



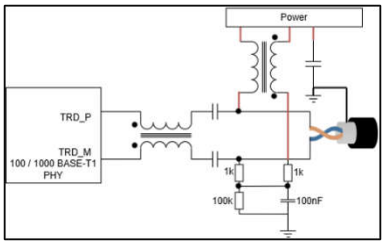


図 6-3.

図 6-4. 電力損失を解消する PoDL ネットワークの設計 1 と設計 2

- **設計 1 (左図)**:コモン モード終端を AC カップリング コンデンサの手前に移動します。この設計では、コモン モード終端で生じる電力損失を完全に解消できます。
- **設計 2 (右図)**:両方の電線を正電源に接続し、ケーブルのシールドをグランド基準として使用します。この設計もコモン モード終端の電力損失を解消でき、通常はシールド ケーブルを使用する場合に採用されます。

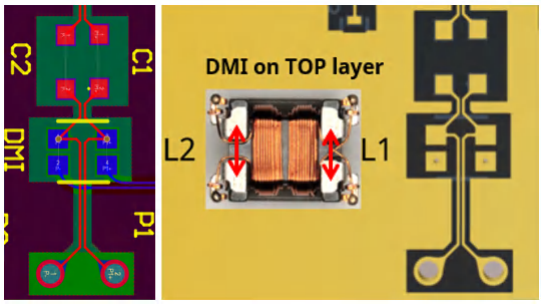
- **PCB レイアウトの最適化**:デカップリング ネットワークを徹底的に最適化し、インピーダンス制御配線を実現するには、次のレイアウト指針に従い、シグナル インテグリティ特性をさらに改善します。
  - DMI (差動モード インダクタ) ネットワークを MDI ラインと同じ層に配置します。
  - ビアを DMI のフットプリントに直接接続し、最上層で MDI ラインと接続するように配線します。
  - DMI と MDI ラインの間のスタブを最小限に抑えます。
  - インピーダンスの低下とモード変換を防ぐため、ビアを DMI に近づけすぎないようにします。
  - 最下層に配置した電源とグランドのポリゴン ベタを DMI ネットワークに接続します。
  - DMI および CMC ネットワークの直下には、銅箔を配置しない領域を設けます。
  - TI は、コモン モード終端を最下層に配置することを推奨します。
  - MDI ラインと DMI ネットワークの対称性を保ちます。
- 

図 6-5. PoDL レイアウトの推奨事項

- **PoDL ネットワークの実装に関するその他の考慮事項**:
  - **ケーブルの選定**:ケーブルは、イーサネットで必要な差動インピーダンス (100Ω) と、PoDL 負荷で必要な許容電流の両方の要件を満たす必要があります。
  - **安全性と信頼性**:電源障害によって、安全性が特に重要なセンシング データ ストリームの完全性が損なわれないよう、実装は厳格な車載安全規格 (ISO 26262) に準拠する必要があります。PSE デバイスを使用し、過電流や低電流、想定外のクラス判定、逆電圧、または電流保護の作動時に電力供給を停止できるようにします。

7 まとめ

レーダー センサの通信を従来の CAN や LIN バスから車載イーサネットに切り替えると、運転支援システムや自動運転システムに必要な帯域幅とタイミング特性を確保できます。課題は、イーサネットだけでは別途電源配線が必要で、重量、コスト、複雑さが増す点です。特に、車両のレーダー搭載数が 3 台から 5 台、さらには 8 台へと増加するにつれて、この課題は大きくなります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

データ ライン経由の電力供給 (PoDL) は、同じツイスト ペアで電力と高速データを伝送し、この問題を解決します。PoDL は、未加工データの処理に必要な高速リンクに対応しながら、ケーブル数とハーネス重量を削減し、配線を容易にします。コスト削減につながる可能性もあります。

つまり、PoDL は、車載レーダーの従来の通信プロトコルをイーサネットで全面的に置き換えるための選択肢です。現在および将来の自動運転車に向けて、軽量で拡張性が高く、低コスト化も期待できるセンサ ネットワークを実現します。

Copyright © 2026 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 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