Technical White Paper

*雷达应用的以太网 **PHY** 选型指南*

摘要

汽车雷达系统正朝着更高的传感器密度和更紧密的传感器融合方向发展，这要求以太网网络能够灵活扩展，以支持从远距离 ADAS 雷达到紧凑型近场雷达的多种应用。所需的以太网数据速率取决于信号处理在何处执行 — 从边缘处理目标列表时的几 Mbps，到将原始数据流传输到中央计算平台时的数 Gbps。本白皮书指导读者在 TI 汽车以太网 PHY 产品系列（10BASE-T1S、100BASE-T1、1000BASE-T1）中进行选择，涵盖以尺寸兼容封装提供的关键特性：TC10 低功耗睡眠、IEEE 802.1AS 时间同步和 IEEE 802.1AE MACsec 安全。本文档还将 TI PHY 与特定的 AWR 和 AWRL 雷达 SoC 一一对应，帮助设计人员根据接口、数据速率和特性需求来配对 PHY。

内容

1 简介.....2
2 PHY 数据速率选择与雷达处理.....2
3 其他 PHY 层特性.....3
3.1 低功耗睡眠 (TC10).....3
3.2 时间敏感网络 (IEEE 802.1AS).....3
3.3 MACsec (IEEE 802.1AE).....3
4 TI 以太网 PHY 系列与选型.....3
4.1 10BASE-T1S 多点以太网 PHY.....4
4.2 TI 以太网 PHY 与 TI AWR 高性能雷达 SoC 的配对.....4
4.3 TI 以太网 PHY 与 TI AWRL 车内、近场雷达 SoC 的配对.....4
5 结语.....5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: STDA057
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 简介

新一代汽车架构通常采用五个或更多外部雷达实现 360 度覆盖，并配备专用车内雷达用于驾驶员监控和占位检测。这两种用例有两条不同的技术路径：高性能 ADAS 雷达和近场/车内雷达。

表 1-1. 两种不同的用例

高性能 ADAS 雷达	近场/车内雷达
• 专为远距离检测和高分辨率成像而设计 • 支持更紧密的雷达-摄像头-激光雷达融合算法 • 需要高目标分辨能力和高数据吞吐量，以将数据流传输到中央计算机	• 受 Euro NCAP 等不断发展的安全标准驱动 • 传感器侧重于短距离应用，如占位监控、入侵检测和泊车辅助 • 这些传感器优先考虑高分类精度、低功耗和具有成本效益的紧凑集成

德州仪器 (TI) 提供了一系列以太网 PHY，旨在满足外部雷达和车内雷达的多样化要求。本白皮书介绍了影响雷达系统设计的关键 PHY 层特性，将这些特性与 TI PHY 产品系列一一对应，并提供了将 TI PHY 与汽车雷达 SoC 配对的选型指南。

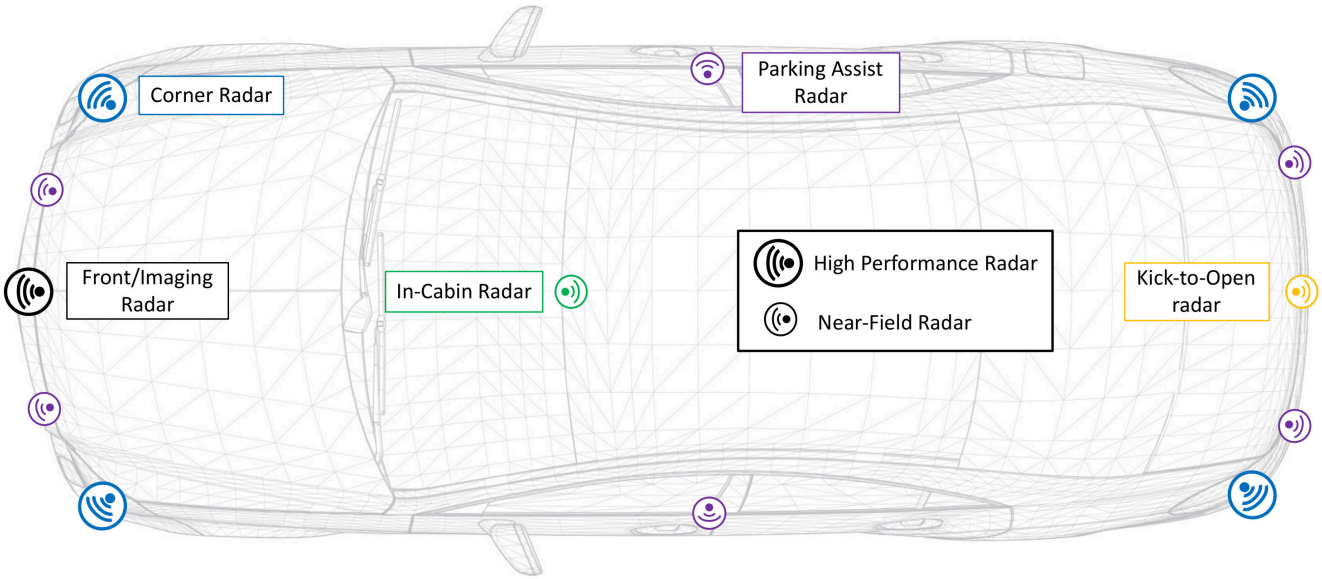

图 1-1. 常见汽车雷达架构

2 PHY 数据速率选择与雷达处理

雷达数据处理通常分为信号处理和检测两个阶段。每个阶段在何处执行决定了系统所需的以太网带宽。

信号处理阶段包括对原始雷达数据执行各种 FFT，以恢复具有距离、速度和角度（成像雷达还可能具有额外的仰角测量）的目标列表。每个 FFT 步骤都会减少发送回 ADAS 计算平台的传感器数据量。例如，在距离 FFT 之后，不包含目标的距离单元可以被丢弃，从而减少需要进一步处理的数据量。

检测阶段通过生成简洁的目标列表（ID、距离、速度、角度等）进一步压缩数据流，并将其传输到中央计算平台。

如果所有处理都在雷达 SoC（边缘端）上执行，则只有紧凑的目标列表离开传感器，所需的链路速度约为几 Mbps。当处理被拆分时，边缘端可以在完成早期 FFT 后停止，并将中间数据传输到中央 ADAS ECU；在这种情况下，链路必须支持数十到数百 Mbps 的速率。最后，如果中央计算机负责所有处理，雷达必须以数 Gbps 的速率传输原始采样数据流。

对 PHY 选型的影响：

- **10BASE-T1s (10Mbps)** — 雷达 SoC 在边缘端执行全部雷达处理。
  - 使用 DP83TD555 或 DP83TD535

English Document: STDA057
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

- **100BASE-T1 (100Mbps)** — 雷达 SoC 执行部分边缘处理；中间频谱数据发送到中央计算平台进行进一步处理和更高层融合。
  - 使用 DP83TC815 或 DP83TC817
- **1000BASE-T1 (1Gbps)** — 雷达 SoC 仅执行早期阶段处理。大量数据流传输到中央计算平台，用于进一步的 FFT、检测和传感器融合算法。
  - 使用 DP83TG721

TI 以太网 PHY 覆盖全部三种速度等级。系统设计人员可以选择与所选拆分处理架构相匹配的 PHY。

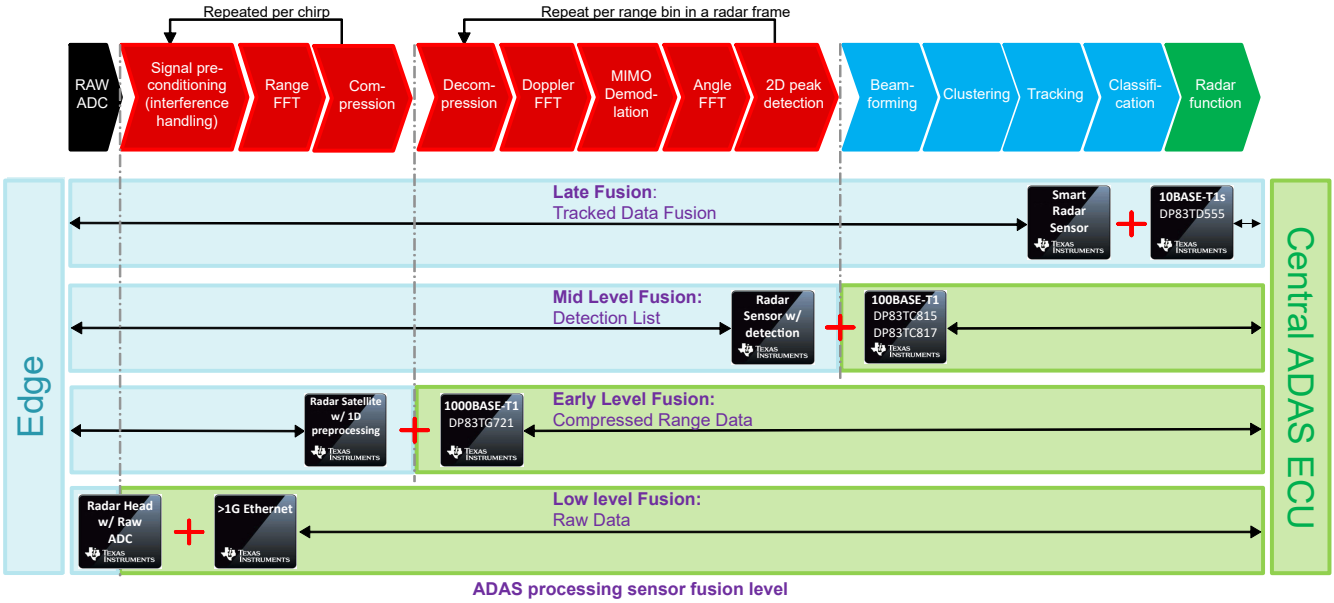

图 2-1. 边缘端和 ADAS 计算平台之间的处理分布

3 其他 PHY 层特性

3.1 低功耗睡眠 (TC10)

TC10 是 Open Alliance 定义的用于汽车以太网睡眠和唤醒的标准。支持 TC10 的 TI PHY 可以进入低功耗睡眠状态，显著降低 PHY 电流消耗，同时仍能响应系统唤醒命令。还可以连接该 PHY 来控制雷达模块的电源轨，使其能够管理整个雷达模块的睡眠和唤醒状态。更多信息可参见“*Open Alliance TC10 睡眠/唤醒的系统实现*”。

3.2 时间敏感网络 (IEEE 802.1AS)

TSN 允许将车辆网络中的多个 PHY 同步到同一壁钟时间。事件（如雷达芯片触发）可以在所有雷达模块上同步触发。PHY 具有将壁钟时间呈现给雷达 SoC 的机制，使 SoC 的时序与网络对齐。

此外，支持 TSN 的 TI 100M PHY 具有固定延迟特性，用于补偿 100M 下较低时钟速度引起的较大延迟变化。

3.3 MACsec (IEEE 802.1AE)

MACsec 是一种 PHY 层安全标准，对每个以太网帧进行加密和认证。只有拥有正确 MACsec 密钥的可信设备才能读取流量，从而防止篡改和窃听。雷达 SoC 还必须实现 MACsec 密钥协商 (MKA) 服务，用于认证和密钥管理。

有关更多详细信息，请参阅*汽车雷达应用中的 TSN 和 MACsec*。

4 TI 以太网 PHY 系列与选型

TI 的单对汽车以太网 PHY 提供多种特性等级，如节 3 所述，从基础 PHY 到支持 MACsec 的 PHY。这些特性集是累积的，因此支持 MACsec 的 PHY 也包含 802.1AS 和 TC10。系统设计人员可以选择支持所需特性子集的 TI PHY，可能不会增加额外成本或复杂性。此外，所有 100BASE-T1 和 1000BASE-T1 PHY 均采用封装兼容设计，可共用同一原理图。这种*即插即用*的兼容性有助于使雷达模块适应未来的车辆网络需求变化。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

TI PHY	基础	+ TC10	+ 802.1AS	+ MACsec
1000BASE-T1	DP83TG720	不适用	DP83TG721	不适用
100BASE-T1	DP83TC814	DP83TC812 DP83TC813 （小尺寸）	DP83TC815	DP83TC817
10-BASE-T1S	不适用	DP83TD535 DP83TD530	DP83TD555 (SPI)	不适用

如需了解最新的以太网 PHY 产品系列，请访问 TI 以太网 PHY 产品页面。

4.1 10BASE-T1S 多点以太网 PHY

TI 的 10Mbps 以太网 PHY 实现了 IEEE 802.3cg 多点总线。最少八个节点可以共享一条 10Mbps 带宽的双绞线电缆。10BASE-T1S 支持 PLCA（物理层冲突避免），可实现有界延迟和节点间的平等访问。

对于汽车雷达，10BASE-T1S 具有优势，因为低速外围雷达可以全部连接在一条 10BASE-T1S 总线上，而无需使用单独的点对点链路和多个交换机端口，从而简化布线并可能降低 BOM 成本。

TI 提供三款 10BASE-T1S 器件，覆盖典型的雷达 SoC 接口：

- **DP83TD530** 和 **DP83TD535** 提供 OA3p 接口，依赖雷达 SoC 提供以太网 MAC 和 PLCA 逻辑
- **DP83TD555** 集成了 MAC 和 PHY，带有 SPI 总线，适用于具有 SPI 接口的雷达，可无缝连接到 10BASE-T1S 网络。

所有三款器件都可以在同一条 10BASE-T1S 总线上混合使用。这种灵活性使设计人员能够根据雷达的现有接口选择首选器件，同时仍然受益于 10BASE-T1S 系列提供的多点拓扑、TC-10 低功耗睡眠和可选的 TSN 时间同步。

4.2 TI 以太网 PHY 与 TI AWR 高性能雷达 SoC 的配对

TI 的高性能汽车雷达 SoC 提供三种主要通信接口：

- **CSI-2**：用于原始传感器数据的高速串行接口。
- **以太网 MAC**：标准 IEEE 802.3 以太网链路的 MAC 侧（TI 雷达 SoC 支持 MII、RMII 或 RGMII 配置）。
- **CAN-FD**：用于控制和诊断的灵活数据速率 CAN 接口。

由于 MAC 符合 IEEE 802.3 标准，只要 PHY 的数据速率等级与 SoC 支持的速率（100BASE-T1 或 1000BASE-T1）匹配，任何 TI 以太网 PHY 都可以与雷达 SoC 配合使用。在选择 PHY 时，系统设计人员必须确认所选器件支持雷达 SoC 所需的相同速度等级。所列雷达 SoC 的以太网速度是最大能力。例如，如果雷达 SoC 上使用了更多的边缘处理，AWR2x44P 可以配置为 100M 或 10M 以太网。

表 4-1. AWR 雷达 SoC 系列可用的以太网接口选项

器件	PHY
AWR2188	CSI-2（主要） 配合边缘处理 MCU： DP83TG721 | DP83TC815 | DP83TC817
AWR2x44P	DP83TG721
AWR2544	DP83TG721
AWR2x44-ECO	DP83TC815 | DP83TC817

4.3 TI 以太网 PHY 与 TI AWRL 车内、近场雷达 SoC 的配对

TI 的近场和车内汽车雷达 SoC 主要提供 SPI 和 CAN-FD 数据接口，因为片上处理和分类降低了输出数据速率。对于这些器件，首选的以太网 PHY 配对是 DP83TD555，它集成了完整的 MAC 和 SPI，无需外部 MAC 控制器，并提供适合 AWRL 雷达低吞吐量要求的紧凑设计。

English Document: STDA057
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 4-2. AWRL 雷达 SoC 系列可用的接口选项

器件	通信接口
AWRL6888	DP83TD555
AWRL6844	
AWRL6432	
AWRL1432	
AWR1843AOP	
AWR2944LC	DP83TC815 | DP83TC817

5 结语

由于每辆车雷达数量增至五个以上、传感器融合算法更加紧密以及近场雷达的使用日益增加，以太网链路必须满足以确定性延迟、时间同步和强大安全性传输 10Mbps、100Mbps 或 1Gbps 数据的需求。TI 的汽车 PHY 产品系列提供了这些速度等级、多点能力以及可选的 TC-10 低功耗、TSN 和 MACsec 特性，并采用可互换、尺寸兼容的封装形式。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月