

Technical White Paper

TI 高性能网络处理加速器 (NPAC)



摘要

新型车辆架构及软件定义汽车和自动驾驶等技术要求对电气电子 (E/E) 架构进行根本性重新设计，即从高度分布式架构转变为基于域、基于区域或混合架构。此类新架构显著提高了车辆网络的性能和安全要求。应对此类增长需求的最有效方法是使用专用硬件加速器，如德州仪器 (TI) 网络处理加速器 (NPAC)。TI NPAC 可将网络和安全任务从主计算内核卸载至专用硬件加速器和可编程 RISC-V 内核。

内容

1 简介.....	2
1.1 区域架构.....	2
2 网络处理加速器 (NPAC).....	3
2.1 NPAC 架构.....	4
2.2 NPAC 用例示例.....	4
2.3 NPAC 特性与优势.....	6
3 总结.....	6

商标

Jacinto™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

自汽车发明以来，汽车行业正经历最重大的架构变革。软件定义汽车、动力总成电气化、48V 系统、线控技术、AI 助手及自动驾驶等技术正在提升安全性、性能和效率，并从根本上改变乘客与车辆的交互方式。

为支持此类新技术，必须对底层车辆电气电子 (E/E) 架构进行全面重新设计。随着时间推移，传统分布式 E/E 架构已演变为包含多达 150 个电子控制单元 (ECU) 和数千米布线的复杂网络。每个 ECU 均采用独特的硬件和软件运行，并通过复杂且昂贵的布线网络互连。跨此类分布式 ECU 管理软件本质上既困难又昂贵。简化的首次尝试是采用基于域的架构，将电子设备按功能分组。此举降低了复杂性，但在高端车辆中，ECU 数量仍可能高达 100 个。为进一步简化 E/E 架构并实现软件定义汽车和自动驾驶等新技术，制造商正向基于区域的架构过渡。

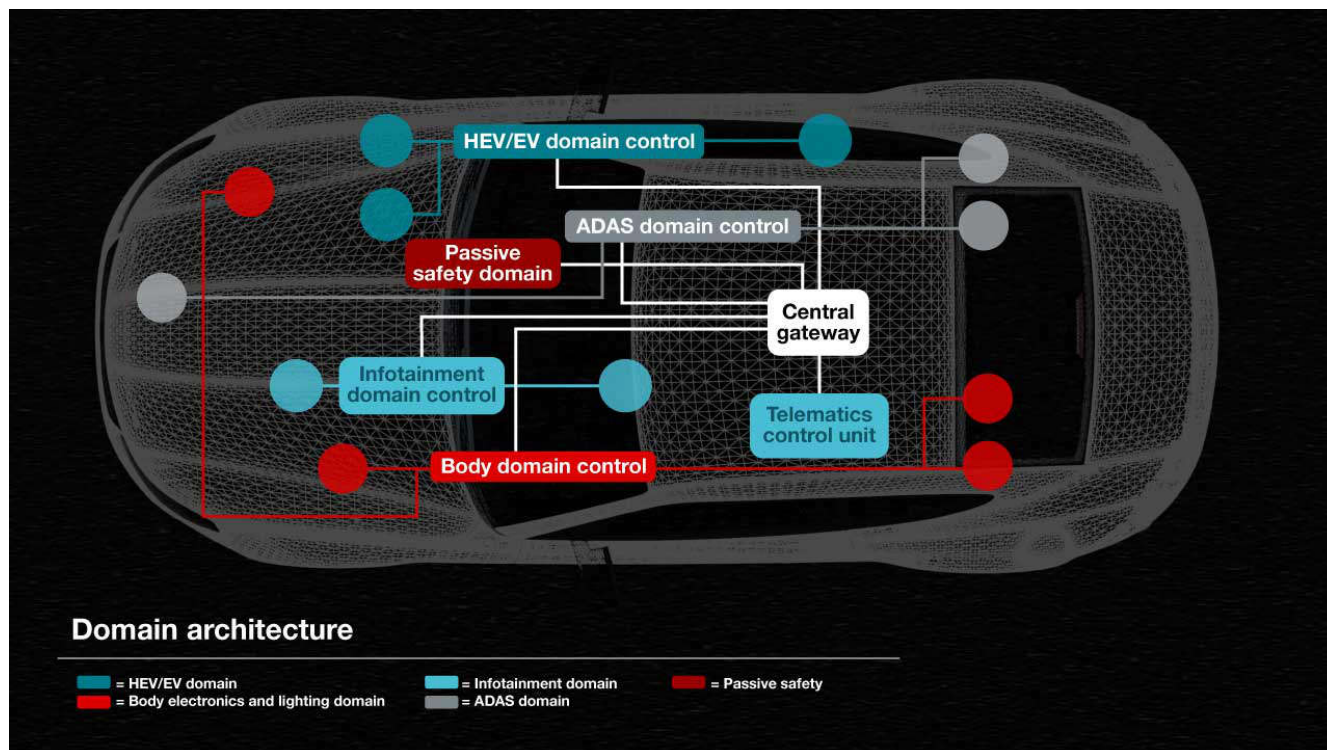


图 1-1. 采用分布式处理及昂贵复杂布线网络的域架构

1.1 区域架构

区域架构按位置而非功能组织电子设备，将车辆划分为多个区域，如左前、右前、左后及右后区域。每个区域通过高速以太网连接至高性能计算 (HPC) 模块，大部分车辆处理工作均在该模块中执行。每个区域包含一个区域控制器，用于执行本地处理，并在区域与 HPC 模块之间进行传感器和控制数据的打包与路由。

区域内与 HPC 模块中执行的处理量取决于架构选择及所执行的功能。例如，为最大限度降低延迟或降低成本，将某些功能的处理保留在区域内可能比路由至 HPC 模块更为合理。

区域架构的优势包括：

- ECU 数量和复杂度降低——需管理、集成和保护器件更少
- 成本更低——布线更少、线束更简单、元件更少
- 软件更新更便捷——OTA 更新只需部署一次，无需跨数十个 ECU 分别部署
- 服务敏捷性——可通过软件添加新功能，无需重新设计硬件

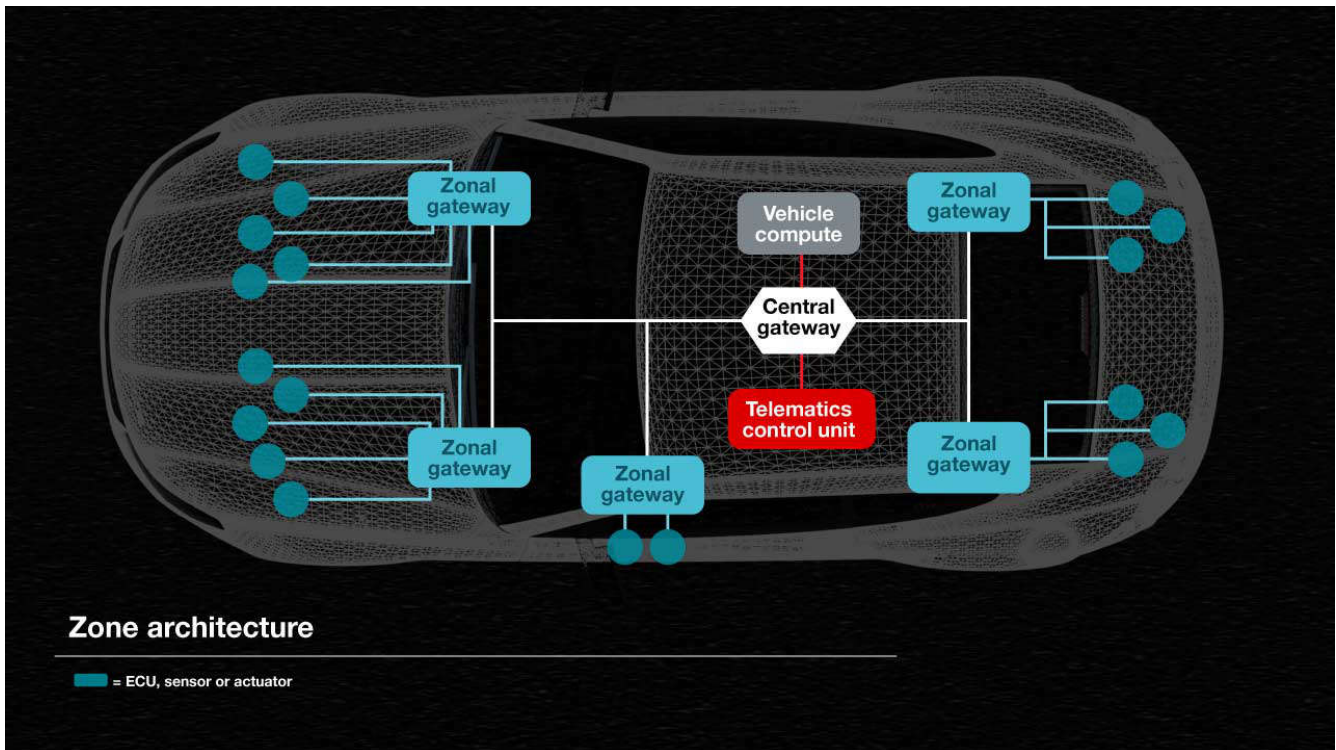


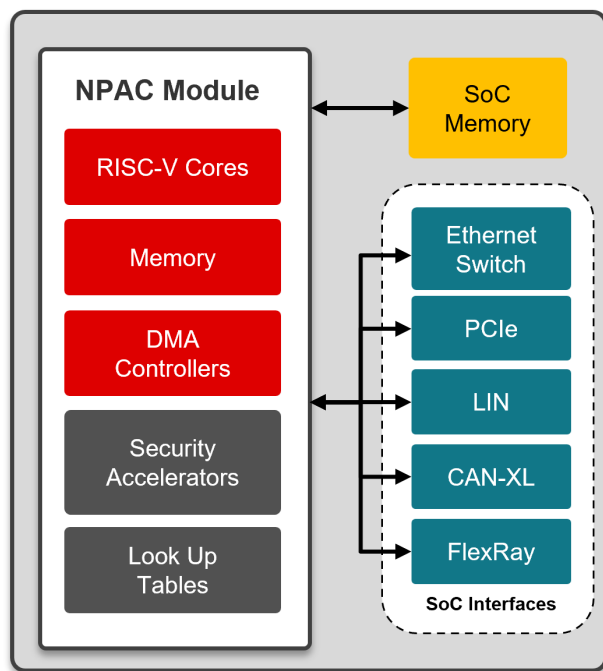
图 1-2. 采用集中式处理及简化高速以太网网络的区域架构

区域架构显著提高了对车辆网络的性能要求。传感器数据必须聚合并传输至 HPC 模块进行处理，并实时返回指令。车辆网络必须同时支持多种应用，涵盖从安全关键的制动和转向到音频及车内照明等便利功能，每种应用均有不同的带宽和延迟要求。在此类异构流量中管理服务质量和优先级仲裁成为一项关键设计挑战。

满足日益增长的车辆网络性能需求的最有效方法是使用基于硬件的网络和安全加速器。基于硬件的加速器为网络、加密和防火墙功能提供低功耗确定性卸载，从而释放车辆计算资源用于其他应用。

2 网络处理加速器 (NPAC)

德州仪器 (TI) 网络处理加速器 (NPAC) 是一款高性能网络处理引擎，可从主处理内核卸载网络和安全任务。NPAC 由专用硬件加速器、存储器、查找表和可编程 RISC-V 内核组成。此类确定性硬件 IP 模块与可编程内核的组合可实现高吞吐量、低功耗、低延迟的数据包处理，支持广泛的网络应用。



NPAC 特性或应用：

- 每秒处理数百万个数据包
- L3 (IP)、L4 和 VLAN 路由及网关支持
- 安全卸载 (IPSec、SSL、TLS、SecOC 等)
- 防火墙、访问控制列表 (ACL) 和数据包检查
- 打包与拆包卸载
- 预定义、可定制的代码示例
- 图形化编程框架

图 2-1. TDA54x NPAC 框图

2.1 NPAC 架构

NPAC 采用运行至完成的矢量数据包处理 (VPP) 模型，将网络任务分解为一系列称为节点的函数或步骤。调度程序将每个节点分配给硬件加速器或 RISC-V 内核进行处理。当节点完成分配的任务时，会向调度程序发送信号，调度程序随即协同 RISC-V 内核编排后续一系列任务。

与从头到尾处理单个数据包相比，将网络处理分解为一系列独立节点具有多项优势。此类优势包括更低延迟、更高吞吐量、并行数据包处理、控制平面与数据平面分离，以及支持通过预定义网络功能库进行模块化编程。

典型的 NPAC 应用包括 IP、第 4 层和 VLAN 路由、网关（例如 CAN 到以太网桥接）、打包与拆包、数据包加密、解密、身份验证及防火墙服务。其中许多网络应用的执行完全独立于 SoC 处理内核。

NPAC 通过专用低延迟数据包总线连接至以太网交换机、PCIe 控制器、CAN 控制器及 SoC 存储器。专用硬件 IP 模块可独立于 SoC 内核处理所有流量，从而消除中断并最大限度降低数据包延迟。

NPAC 使用直观的图形化编程 GUI 配置操作。对 NPAC 进行编程时，用户从预定义网络功能（节点）列表中选择所需节点，并以线性方式将其链接。每个节点均可轻松配置，且可将新的自定义节点添加至库中，使 NPAC 能够支持自定义网络应用。对于需要更精确编程的高级应用，可直接使用 C 语言对 NPAC 进行编程。

2.2 NPAC 用例示例

图 2-2 展示了在 NPAC 上实现的访问控制列表 (ACL) 过滤器。ACL 过滤器根据一组预定义的安全规则，允许或拒绝进入或离开网络接口的流量。在此示例中，来自片上以太网交换机的以太网流量通过专用低延迟数据包总线发送至 NPAC。随后，此类流量被解包为 IP 帧，经过身份验证和解密，并通过 ACL 过滤器进行处理，仅允许经授权的数据包通过。接着执行路由查找，并将数据包路由至 SoC 处理内核进行进一步处理，或通过以太网网络发送出去。

图 2-3 展示了区域控制器网关中常用的 CAN 数据包协议数据单元 (PDU) 路由功能。传入的 CAN 数据包经解密和身份验证后，根据 AUTOSAR PDU 路由表进行路由。

在上述 ACL 过滤器和 PDU 路由示例中，所有数据包处理均无需 SoC 处理内核参与即可完成。

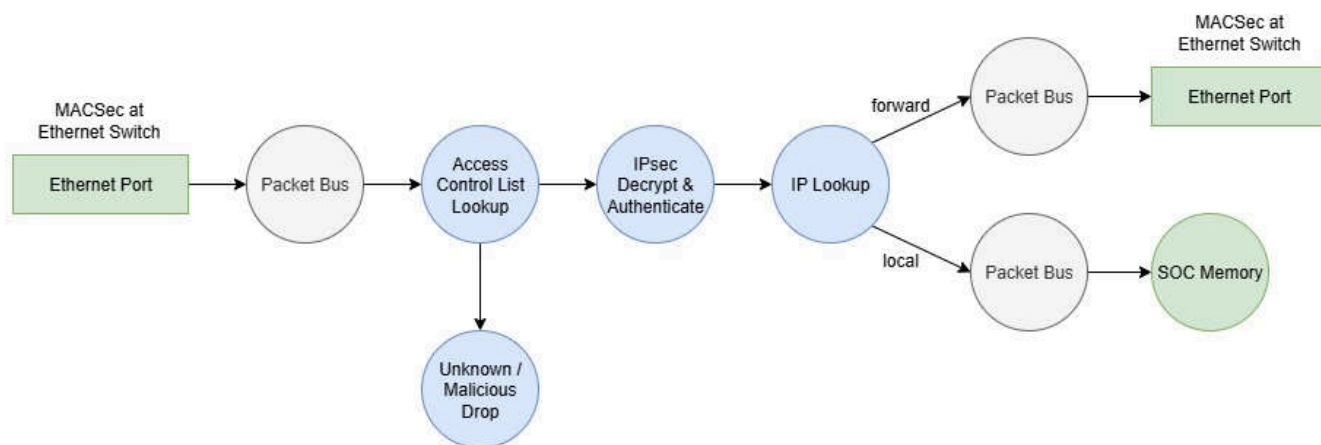


图 2-2. NPAC ACL 过滤器实现

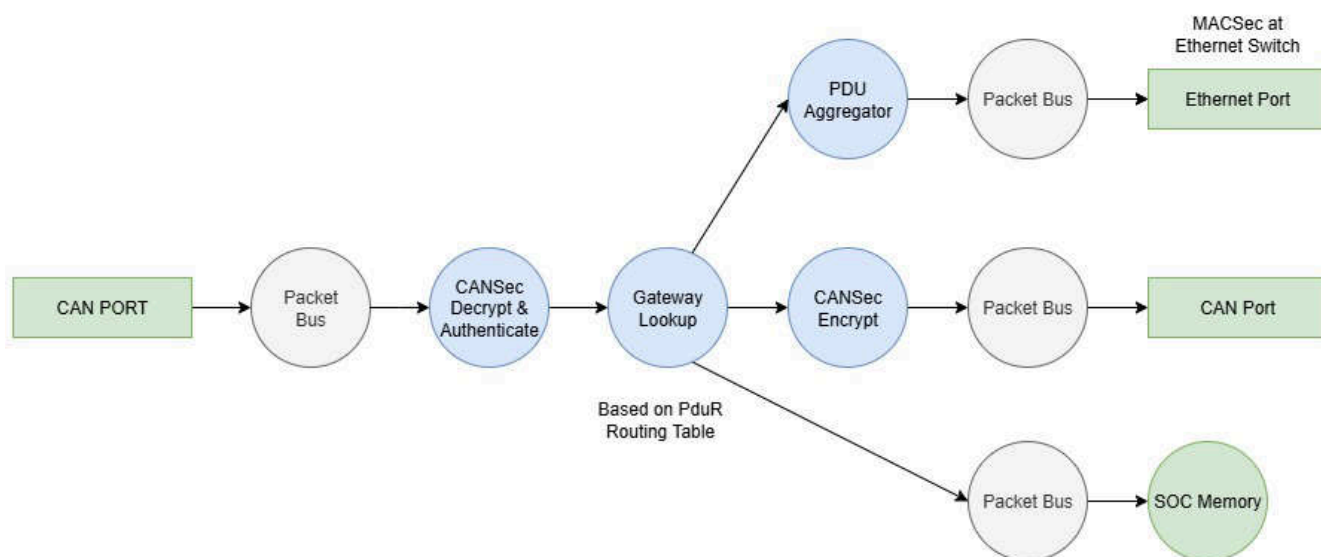


图 2-3. NPAC CAN PDU 路由实现

2.3 NPAC 特性与优势

表 2-1. 特性与优势

NPAC 特性	说明
处理卸载	网络功能卸载至 NPAC，释放 SoC 内核以执行其他任务。
多功能	支持多种功能，包括 L3 (IP)、L4 和 VLAN 路由、网关、打包、拆包、加密、解密、身份验证及防火墙过滤。
可编程	专用硬件加速器与可编程 RISC-V 内核相结合，使客户能够轻松配置和自定义网络功能。
低功耗/低延迟	固定功能硬件和高速数据包总线可降低功耗和延迟。
数据包路由	L3 (IP)、L4 和 VLAN 路由卸载。
打包与拆包	打包与拆包卸载；当需要 SoC 处理时，与系统存储器的直接数据包总线连接可降低延迟并提高吞吐量。
防火墙和数据包过滤	支持访问控制列表 (ACL) 过滤和数据包检查，仅将流量路由至授权区域。
加密、解密和身份验证	专用低延迟加密加速器支持 CANsec、IPsec、TLS、SecOC 及其他加密标准。
图形化编程 GUI	直观易用的图形化模型可自定义 NPAC 功能。预定义和自定义节点库可最大化支持的用例范围并缩短 NPAC 编程时间。
可扩展架构	在通用硬件架构上将网络性能从区域网关扩展至中央计算网关，保持代码兼容性。

3 总结

总之，为支持下一代车辆技术而采用区域网络等新 E/E 架构，增加了网络性能和安全要求。可编程硬件网络加速器 (如 TI NPAC) 是满足性能要求同时释放计算资源用于其他任务的最有效方法。TI NPAC 架构可根据网络需求进行扩展，适用于 TDA5x Jacinto™ 系列高性能 ADAS 处理器及 TI MCU 区域控制器。

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