Technical White Paper

释放无人机智能：TDAx 处理器作为下一代 AI 伴飞计算机

Ruben D. Perez, Chris Tsongas

摘要

德州仪器 (TI) TDAx 片上系统 (SoC) 系列专为汽车 ADAS 应用开发，通过采用额定温度为 –40℃ 至 125℃ 的被动冷却封装方案的异构架构，解决了无人机伴飞计算机的尺寸、重量、功耗和成本制约问题。AEC-Q100 认证、ISO 26262 ASIL D 认证就绪以及集成的实时 MCU 安全岛，共同提供了直接适用于无人机安全认证的硬件可靠性资质。本文在无人机伴飞计算机需求的背景下介绍了 TDA4VH-Q1 架构，并将 TI 的 Edge AI 工具链展示为在可保障供应、经过可靠性强化的平台上部署量产就绪 AI 的实用路径

内容

1 简介.....1
2 SoC 架构.....3
2.1 矢量 DSP 与矩阵运算计算集群.....3
2.2 视觉与运动处理加速器.....4
2.3 ARM® Cortex®-A72 CPU 核心.....5
2.4 ARM Cortex-R5F CPU 核心.....5
2.5 片上内存与高性能接口.....5
2.6 封装与功耗.....5
3 机器学习软件开发工具.....6
3.1 TI 深度学习工具.....6
3.2 TI Edge AI Studio.....6
4 TDAx 系列可扩展性.....6
5 结语.....7
6 参考资料.....7

商标

C7000™ and C7™ are trademarks of Texas Instruments.
ARM®, Cortex®, and TrustZone® are registered trademarks of Arm Limited.
Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

德州仪器 (TI) TDAx 系列器件非常适合用作无人机系统的伴飞计算机功能，以卸载边缘计算、人工智能 (AI) 和计算机视觉任务的负载。这个可扩展的 SoC 器件系列专为汽车视觉、传感器融合和汽车驾驶辅助系统 (ADAS) 中的自动驾驶而设计。虽然本文聚焦于机载系统，但所介绍的 TDAx 器件功能也可应用于海事应用和无人地面车辆。

现代自主无人机系统 (UAS) 依赖于双处理器架构，将飞行关键功能与更高级别的智能相分离，如图 1-1 所示。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

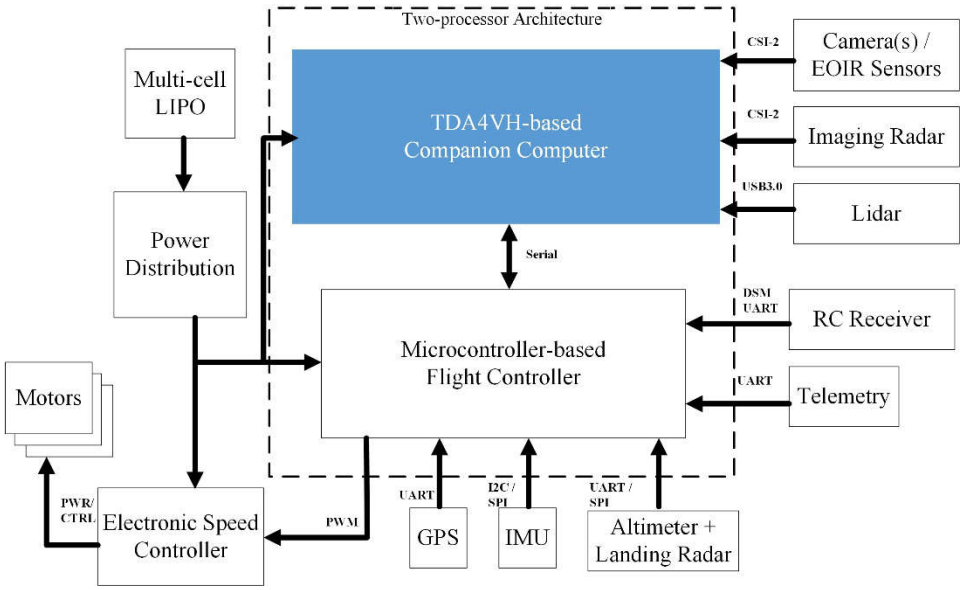


图 1-1. 典型自主 UAS 的电子系统方框图

飞行控制器（通常是运行实时固件的专用微控制器）负责低延迟稳定、姿态估计和电机控制。伴飞计算机作为更强大的协处理器与其并列，负责处理超出飞行控制器能力的计算密集型任务：跨摄像头和激光雷达的传感器融合、用于目标检测和避障的深度学习推理、同步定位与地图构建 (SLAM)、任务规划以及高带宽遥测处理。伴飞计算机通过串行链路与飞行控制器通信，将高层导航决策转换为速度或位置设定点命令。随着无人机自主能力要求从简单的航点跟随扩展到实时场景理解和自适应重新规划，伴飞计算机已成为整体系统智能的决定性因素，推动了对既具有高计算吞吐量又满足机载平台固有的严格尺寸、重量、功耗和环境制约条件的处理器的需求。

管理商用无人机运营的监管框架一方面正在扩大允许的任务范围，另一方面也在提高系统能力标准。FAA BVLOS 豁免 [7]、EASA 的 U-Space 框架 [8] 和远程 ID 强制要求 [9]，都要求无人机执行实时检测与避障、加密遥测广播以及与无人交通管理 (UTM) 系统 [10] 集成，这些工作负载进一步加重了伴飞计算机上原本就存在的 AI 和传感器融合需求。这些要求更青睐具有充足余量的处理器：如果伴飞计算机以接近计算能力上限的状态运行来处理传感器数据，那么不重新设计平台就无法增加合规工作负载。TDAx 系列的异构架构——为并发运行的 AI 推理、深度处理和通用计算提供专用加速——能够切实吸收这些额外监管工作负载而不取代核心自主功能。

随着汽车制造商在 ADAS 中快速部署机器学习硬件，用于目标检测、驾驶员监控和防撞等任务，汽车行业已出现与无人机伴飞计算机类似的边缘计算需求 [1]。这些 ADAS 计算平台在尺寸、重量、功耗和成本 (SWaP+C) 方面受到高度制约，并且越来越注重提高能效。由消费者需求、政府安全法规和实现 5 级车辆自动驾驶的竞赛所推动的持续投资，造就了 TI TDAx 处理器得以广泛用于将边缘计算和 AI 加速引入全球量产 ADAS 解决方案提供了市场条件。TDAx 器件集成了用于执行传统信号处理和机器学习推理算法的通用计算集群和数字信号处理计算集群，并采用可在空间受限的系统中运行且支持被动冷却的紧凑封装。这些由 ADAS 市场驱动的 SWaP+C 优化如今可用于创新和优化 UAS 系统。

English Document: STDA062
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

无人机设计人员可将多种处理器平台用于伴飞计算机应用，而处理器的选择对系统可靠性、开发成本和长期供应保障具有重大影响。主要面向云边缘或机器人应用而设计的消费级和嵌入式计算平台通常针对温和的作业环境，这些平台的工业温度等级、被动热管理能力和供应连续性承诺反映了其优先事项。相比之下，TDAx 系列从一开始就针对在汽车座舱和发动机舱严苛的热、振动和湿度环境中运行而设计，这些条件与机载平台所承受的环境应力高度相似。凭借 –40℃ 至 125℃ 的结温范围、被动冷却能力和 AEC-Q100 车规级认证，TDAx 提供了消费级 AI 加速器所缺乏的可靠性优势。与需要大幅降额或主动热管理的消费级芯片不同，TDAx 避免了相关的、对无人机性能至关重要的有效载荷和功耗预算代价。

2 SoC 架构

本文中介绍的 TDA4VH-Q1 [2] 是 TI TDAx 系列中集成度最高的产品。TDA4VH-Q1 基于 16nm FinFET 工艺打造，集成了一组异构计算集群，每个集群都专为高效执行特定任务而设计。采用集成式片上内存和高性能外设，支持在 TDA4VH-Q1 SoC 内部以及与外部器件和无人机子系统之间实现高效的数据传输。

TDA4VH-Q1 带有 -Q1 后缀，表示完全通过 AEC-Q100 车规级认证 [11]，并支持 ISO 26262 [12] 功能安全开发，系统层面最高可达 ASIL-D。对于寻求 FAA 或 EASA 框架下超视距 (BVLOS) 运营监管许可的商用无人机设计人员而言，该资质越来越重要——在相关审批体系中，经过验证的硬件可靠性与有文档记录的安全开发流程是前提条件。TDA4VH-Q1 包含专用的安全机制，如锁步 CPU 核心、纠错码 (ECC) 内存保护和内置自检 (BIST) 功能，这些特性是为消费级或通用嵌入式市场设计的处理器所不具备的。无人机 OEM 无需从头构建，而是可以利用 TI 现有的汽车安全文档和功能安全手册来加速其安全案例的开发。

2.1 矢量 DSP 与矩阵运算计算集群

DSP 计算集群集成了 TI C7000 矢量 DSP 核心，并与矩阵乘法加速器 (MMA) 相结合。为简便起见，下文将 C7000™ 数字信号处理器 (DSP) 与 MMA 的组合称为 C7™ 神经网络处理单元 (NPU)。TDA4VH-Q1 DSP 计算集群中有四个 C7 NPU 计算引擎实例，如图 2-1 所示。

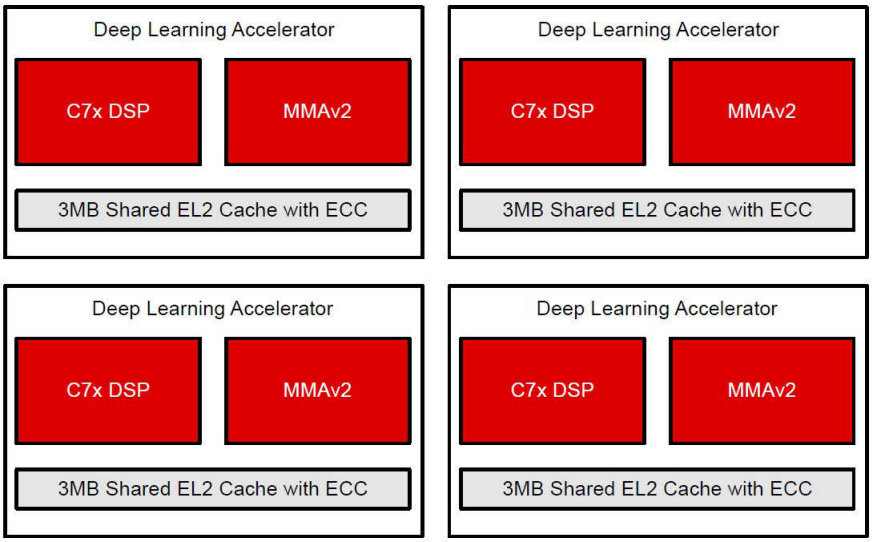


图 2-1. TDA4VH-Q1 的四核 C7 NPU 计算集群

English Document: STDA062
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

512 位数据宽度和高效的数据流架构使 MMA 能够在机器学习推理期间维持矩阵运算的高吞吐量。例如，MMA 使用 8 位操作数，每个时钟周期可完成一个 64 元素内积的计算。这意味着每个时钟周期 4,096 次乘法累加 (MAC) 运算，总计 8,192 次运算。由于 MMA 可以持续维持该计算并以最高 1GHz 的时钟速率运行，因此 MMA 能够达到 8 万亿次运算每秒 (TOPS)。

四个 C7 NPU 子系统中的每一个均可计算独立的神经网络模型，总共提供 32TOPS 的机器学习推理性能。或者，也可以运行跨越多个 C7 NPU 的单个大型模型。C7 NPU 内存系统旨在最大限度利用这一性能；四个 C7 NPU 计算引擎中的每一个都与一级 (L1) 指令和数据高速缓存、二级 (L2) 高速缓存 RAM 以及 3MB 的扩展 L2 RAM 紧密耦合，用于模型存储和执行。

在不执行 AI 计算时，C7 DSP 核心的编程灵活性使开发人员能够利用原生矢量 DSP 指令执行传统的信号处理任务，例如快速傅里叶变换 (FFT)，或 SLAM 计算中通常需要的复杂矩阵运算。C7000 超长指令字 (VLIW) 架构提供了高度并行性，以实现高吞吐量的单指令多数据 (SIMD) 运算。德州仪器 (TI) 优化的 FFT 库 [3] 提供了高度优化的内核用于计算 FFT，如表 2-1 所示。

表 2-1. 单个 C7 DSP 的 FFT 性能

FET 参数		512 位宽 C7 DSP 性能（周期数）	
FFT 大小	FFT 数量	Int16 数据类型	32 位浮点数据类型
512	32	7,195	15,521
1024	16	9,364	17,988
2048	8	8,708	18,674
4096	4	11,281	21,945
8192	2	10,418	22,642

例如，在 16 个数据通道的距离计算中，单个 C7 DSP 可以在 17,988 个指令周期内同时计算多达 16 个 1,024 点浮点 FFT。当以 1GHz 时钟速率全速运行时，这 16 次 FFT 计算在不到 18 µS 内即可完成。然而，持续执行此类计算会因后台数据移动而产生 12% 至 17% 的额外周期开销。因此，计入 16% 的内存传输开销后，持续吞吐量为每秒 767,000 次 1,024 点 FFT。

2.2 视觉与运动处理加速器

除 C7 NPU 计算集群外，TDA4VH-Q1 还集成了片上视觉处理加速器 (VPAC) 以及深度与运动感知加速器 (DMPAC)。这些加速器负责图像与运动预处理，旨在与计算机视觉应用的深度学习算法协同工作。VPAC 流水线执行硬件加速的镜头畸变校正、噪声滤波和图像统计提取，使摄像头帧无需消耗 C7 NPU 周期即可满足 AI 推理的条件。这在多摄像头无人机配置中尤为重要，此类配置需要同时处理多个独立视频流。

DMPAC 在硬件中计算稠密立体深度图和逐像素光流矢量，从而卸载自主无人机导航中两项计算需求最高的运算。立体深度图提供了实时防撞所需的障碍物距离数据。稠密光流提供像素级运动估计，可与惯性测量单元 (IMU) 数据融合，可在无 GPS 环境中生成稳定悬停所需的速度估计值——这一能力对室内巡检、隧道测绘和频谱对抗作业至关重要。这两种输出均以确定性延迟生成，因此适合通过微型飞行器链路 (MAVLink) [13] 或机器人操作系统 2 (ROS 2) [16] 向飞行控制器提供闭环反馈。

English Document: STDA062
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.3 ARM® Cortex®-A72 CPU 核心

TDA4VH-Q1 上有八个 ARM® Cortex®-A72 核心，时钟频率高达 2GHz。八个核心组织为两个独立的四核集群，每个集群都有自己的专用 2MB 共享 L2 高速缓存，此外每个单独核心上还有 48KB L1 指令高速缓存和 32KB L1 数据高速缓存。双集群布局使每个集群能够同时分配给不同的操作系统实例，而无需承担完整软件虚拟机管理程序的开销。例如，在一个集群上运行 Linux®，在另一个集群上运行 QNX 或 FreeRTOS 等实时操作系统。ARMv8-A EL2 异常级别的硬件虚拟化支持可用于更复杂的多操作系统配置。ARM TrustZone® 安全扩展在安全和非安全执行环境之间提供硬件强制隔离，支持与加密遥测和远程 ID 合规工作负载相关的可信执行环境和安全启动流程。

该集群用于运行整体系统应用和通用任务，通常运行于 Linux 等高级操作系统中。机器学习加速也可以托管在该集群中，为尚未针对 C7 NPU 优化的模型提供回退执行路径，并在开发期间实现最大的设计灵活性。TI 的处理器 SDK 为 TDA4VH-Q1 上的 Linux、QNX 和 FreeRTOS 提供了预集成支持，OpenVX 中间件和 TIDL 运行时库使 A72 集群能够协调 SoC 上所有计算元件的工作负载。

2.4 ARM Cortex-R5F CPU 核心

TDA4VH-Q1 集成了八个 ARM Cortex-R5F 核心，运行频率高达 1GHz，分属两个具有不同作用和安全特性的子系统中。其中两个核心构成专用的 MCU 安全岛，运行在与主 SoC 计算域隔离的独立电源域上，使其能够完全独立于 Cortex-A72 集群执行固件，并在主计算域断电或发生故障时继续运行。其余六个 Cortex-R5F 核心位于主计算域中，用于实时中间件、传感器接口管理以及需要确定性时序但不具备与安全岛相同隔离要求的处理器间通信任务。

在传统无人机架构中，飞行控制器功能（稳定环路、姿态估计和电机控制）运行在伴飞计算机外部的独立专用微控制器上，通过 MAVLink 或 DroneCAN 进行通信。这种分离架构适用于大多数平台，并允许独立选择和认证飞行控制器硬件。但是，对于 SWaP 制约严苛的设计，如固定翼微型 UAS、单板纳米无人机平台或紧密集成的有效载荷模块，TDA4VH-Q1 的嵌入式 MCU 功能提供了将飞行控制器和伴飞计算机功能整合到单个 SoC 上的可能性。这一集成路径在通用 AI 加速器上不可用，这些加速器缺少具有认证安全隔离功能的专用实时 MCU 子系统。

2.5 片上内存与高性能接口

TDA4VH-Q1 SoC 架构为每个计算集群集成了复杂精密的紧密耦合片上 RAM 与多级高速缓存系统，同时搭配 8MB 的三级 (L3) 共享 RAM，可在器件内部高效维持吞吐量与数据共享。该 SoC 在 ARM、DSP 和 MMA 核心之间采用共享 RAM 架构，允许通过指针传递来共享数据，而非通过昂贵的内存复制。在外部接口方面，TDA4VH-Q1 包含四个兼容 LPDDR4 内存的内存接口模块，提供总计 68GB 每秒 (GB/s) 的 DDR 吞吐量。此外，还有多种高速接口，如 10Gb/s 以太网和多通道 PCIe，以实现灵活的系统数据流。

通过 TDA4VH-Q1 灵活的串行和网络外设，即可实现与无人机飞行控制器的集成。该器件支持 UART、CAN-FD 和千兆以太网接口，这些接口均在主流自动驾驶仪固件中得到使用。通过 UART 或 UDP 传输 MAVLink 2 消息，使伴飞计算机能够接收飞行器状态遥测数据，并向运行 PX4 [14] 或 ArduPilot [15] 的飞行控制器发出速度、位置或姿态设定点命令。对于采用 ROS 2 架构的设计，PX4 v1.14 及更高版本中提供的 Micro XRCE-DDS [17] 桥接器可伴飞计算机作为原生 ROS 2 节点通过以太网与飞行控制器交互，提供比基于 UART 的 MAVLink 更低的延迟和更高的消息吞吐量。此外，CAN-FD 接口提供了与 UAVCAN/DroneCAN [18] 外设网络集成的路径，可直接访问 ESC 遥测数据、GPS 模块和空速传感器，而无需通过飞行控制器路由。

2.6 封装与功耗

TI TDA4VH-Q1 采用紧凑的 31mm × 31mm 倒装芯片球栅阵列 (FCBGA) 封装，支持 IPC 3 级 PCB 布线。 –40℃ 至 125℃ 的工作结温范围使设计人员能够将器件部署在采用被动冷却方案的设计中。TDA4VH-Q1 的总功耗取决于使用场景，并随应用软件设计启用的特性而变化。但是，TI 提供了一款易于使用的功耗估算工具 [4]，设计人员在设计实际系统硬件之前，可使用该工具快速评估不同使用场景下的功耗。在所有计算核心和接口被完全利用的最坏情况下，TDA4VH-Q1 在 105℃ 的结温下功耗低于 35W。

对于与 TDAx 部署最相关的无人机平台级别——用于工业巡检、测绘、物流和国防应用的起飞重量在 3kg 至 25kg 范围内的多旋翼系统——伴飞计算机的典型功耗预算为 10W 至 20W。TI 的功耗估算工具使设计人员能够对实际工作负载进行建模，而非仅针对最坏情况。例如，一种典型配置是在 C7 NPU 集群上运行两个并发目标检测模型、在 DMPAC 上进行立体深度处理、在 Cortex-A72 集群上进行 Linux 应用管理，其运行功耗完全处于 10W 至

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

15W 范围内，为额外工作负载或更频繁的占空比循环留出了热和功耗余量。功耗预算更紧张的小型平台可以使用 TDAx 系列中较低端的产品，以针对应用合理调整计算和功耗。

3 机器学习软件开发工具

TI 开发工具和软件开发包有助于为每个计算集群开发和准备优化的固件映像。

3.1 TI 深度学习工具

从机器学习软件开发的角度来看，TI 深度学习 (TIDL) 工具 [5] 采用自带模型 (BYOM) 方法，使数据科学家或嵌入式系统设计人员能够复用现有的自定义工具流程或开源 AI 训练平台。以下业界通用的机器学习模型运行时格式选项可用于在 SoC 上部署神经网络模型：

- 基于 TensorFlow Lite 的推理
- 基于 ONNX Runtime 的推理
- 基于 TVM/Neo-AI-DLR 的推理

TIDL 库允许将每一个运行时模型编译为仅在 C7 NPU 上执行 (TIDL-RT)，或在 Cortex-A72 + C7 NPU 上异构执行 (OSRT)。

3.2 TI Edge AI Studio

除 TIDL 外，TI 的 Edge AI Studio [6] 提供了一套全面的工具，用于在 TI TDAx 边缘处理器上开发 AI 应用。Edge AI Studio 对所有 TI 器件免版税提供。该工作室提供了以下工具：

- Model Composer 是一个完全集成的无代码解决方案，用于训练和编译模型以便部署到边缘 AI 应用中。该工具支持 BYOD，可利用自定义数据对 TI Model Zoo 中的模型进行重新训练。部署到本地开发板。
- Model Analyzer 可在远程访问的开发板上评估加速的深度学习推理。开发人员可以从数百个经过优化的训练模型中进行选择，也可以使用自定义模型，并在 TI TDAx SoC 上获得延迟、每秒帧数、DDR 带宽和精度的基准数据。
- TI Model Zoo 是 TI 托管的存储库，其中包含用于各种计算机视觉任务的一组深度学习模型示例。这些任务包括图像分类、图像分割和目标检测。该存储库中的模型可以在 X86 PC 上以主机仿真模式执行，也可以在 TI 开发板上执行。

在 TI 器件上开发和部署 DNN 的总体工作流程如图 3-1 所示。

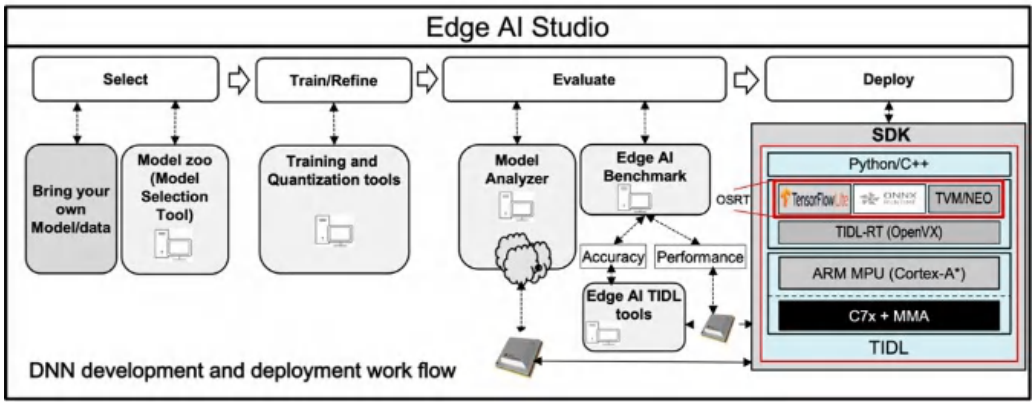


图 3-1. 在 TI 器件上开发和部署 DNN

借助随附的针对主流框架的训练和量化工具，数据科学家就能够使 DNN 在 TI 器件上高效运行。TIDL 工具还包含一个 AI 基准测试框架，供开发人员在 TI TDAx SoC 上对边缘 AI 模型部署的精度和性能进行基准测试。

4 TDAx 系列可扩展性

本文中介绍的 TDA4VH-Q1 代表了 TI TDA4x 处理器系列中集成度最高的产品。该系列涵盖多种可立即量产的选件，具有不同的计算性能和功耗范围，使无人机设计人员无需重写应用软件即可为其平台级别选择合适的器件。处理器 SDK 和 TIDL 工具链在整个系列中通用，在一个器件上开发的软件只需极少修改即可重新部署到另一个器

English Document: STDA062
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

件上。此外，TDA5 下一代器件还进一步增强了性能和 IP 集成度。表 4-1 汇总了 TDAx 系列部分成员的关键参数。

表 4-1. TDAx 系列可扩展性

处理器系列成员	应用核心 (MPU)	深度学习 (C7x DSP/MMA)	片上及外部内存接口
TDA4VM-Q1	2x Arm Cortex-A72	1x C7x DSP + MMA	8MBytes L3 + 1x LPDDR4
TDA4VE-Q1	2x Arm Cortex-A72	2x C7x DSP + MMA	4MBytes L3 + 2x LPDDR4
TDA4VH-Q1	8x Arm Cortex-A72	4x C7x DSP + MMA	8MBytes L3 + 4x LPDDR4
TDA54-Q1（下一代）	8x Arm Cortex-A720AE	4x C7 神经处理单元（高达 400TOPS）	24MBytes L3 + 4 LPDDR4/5x

这种可扩展性开发覆盖多个载荷级别的产品系列的无人机制造商提供了切实优势，涵盖从轻型固定翼监控平台到重型货运 UAS 的各类应用，这些应用中的统一 AI 软件栈必须在具有不同性能和功耗范围的处理器上运行。此外，通用工具链还可让算法开发和验证先在高性能器件上开展，然后再针对目标平台进行最终优化。

5 结语

TI TDAx 处理器 SoC 是经过量产验证的 AI 计算平台，在 ADAS 应用中已有超过三年的大批量部署历史，创造了专用或消费级替代方案无法匹敌的可靠性和供应连续性记录。这一记录绝非单纯的营销宣传；它展示了经过验证的稳健性，能够满足自主无人机在热、振动和操作方面的需求，背后更有专为支持长期工业和国防项目而设计的供应链提供支撑。

ADAS 与无人机伴飞计算机在架构上需求高度契合：异构 AI 加速、硬件加速的视觉和深度处理、被动热运行以及宽工业温度范围，能够毫不妥协地满足机载、海事和地面平台的核心 SWaP+C 制约要求。TDA4x 系列跨计算层的可扩展性，加上基于开放标准（TensorFlow Lite、ONNX Runtime、ROS 2 和 MAVLink）构建的通用软件栈，意味着无人机设计人员可直接沿用成熟的开发生态系统，而非从头构建。

对于面临监管环境日益严苛的无人机 OEM，TDA4VH-Q1 的 AEC-Q100 认证和 ISO 26262 功能安全支持为 BVLOS 认证工作提供了有据可查的合规基础。结合 TI 的 Edge AI Studio 和 TIDL 工具链，从 AI 模型开发到部署在飞行就绪的伴飞计算机上的路径清晰、配套支持完善，而且现已可用。

6 参考资料

1. P. S. Chib 和 P. Singh，“Recent Advancements in End-to-End Autonomous Driving Using Deep Learning: A Survey”，*《IEEE Transactions on Intelligent Vehicles》*，第 9 卷，第 1 期，第 103-118 页，2024 年 1 月。
2. 德州仪器 (TI)，具有八核 Arm®Cortex®-A72、32TOPS AI、C7xDSP 和 GPU 的 TDA4VH-Q1 SoC，适用于视觉感知和分析，产品页面
3. 德州仪器 (TI)，处理器 SDK RTOS J784S4
4. 德州仪器 (TI)，J784S4、TDA4VH、TDA4AH、TDA4VP、TDA4AP、AM69 功耗估算工具
5. 德州仪器 (TI)，TIDL - TI 深度学习产品，Github 存储库
6. 德州仪器 (TI)，CCStudio™ Edge AI Studio
7. 美国联邦航空管理局，*Normalizing Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Operations*，拟议规则制定通知
8. 欧盟委员会、“Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 — Regulatory Framework for the U-Space”。
9. 美国联邦航空管理局、“Remote Identification of Unmanned Aircraft”，14 CFR 第 89 部分，最终规则，2021 年 1 月
10. 联邦航空管理局，Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM) Concept of Operations, Version 2.0，运营概念
11. 汽车电子协会，“AEC-Q100 Rev J: Failure Mechanism Based Stress Test Qualification for Integrated Circuits”。
12. 国际标准化组织、“ISO 26262-1:2018 — Road Vehicles: Functional Safety”第 2 版，2018 年
13. MAVLink 社区/Dronecode，“MAVLink 2 Protocol Specification”
14. PX4 开发团队/Dronecode，“PX4 Autopilot User Guide”。Zenodo，doi：10.5281/zenodo.20170875

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

15. ArduPilot 开发团队，“ArduPilot Documentation”。
16. S. Macenski、T. Foote、B. Gerkey、C. Lalancette 和 W. Woodall，“Robot Operating System 2: Design, Architecture, and Uses In The Wild”，Science Robotics，第 7 卷，第 66 期，2022 年，doi：10.1126/scirobotics.abm6074
17. Object Management Group，“DDS for eXtremely Resource Constrained Environments (DDS-XRCE) Specification, v1.0”，2018 年
18. DroneCAN 社区，“DroneCAN Specification v1”，Github 页面

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