

TDA 系列 SDK：应对跨行业开发挑战的全面工具



摘要

本文介绍了推动嵌入式软件开发复杂度的主要市场趋势（自主性、AI 集成和边缘计算），以及这些趋势给工程师带来的独特挑战。本文还探讨了对稳健软件开发套件 (SDK) 和软件产品的需求，这些产品可解决与电源、功能安全、信息安全、开发时间表和可扩展性相关的限制。最后，本文重点介绍了德州仪器 (TI) 高端处理器系列（TDA4 和 TDA5）软件产品如何为成功的开发提供支持。

内容

1 简介.....	2
2 市场趋势.....	3
2.1 嵌入式自主性.....	3
2.2 AI 集成.....	3
2.3 边缘计算.....	5
3 应对这些挑战.....	6
3.1 操作系统和生态系统多样性.....	6
3.2 信息安全和功能安全.....	7
3.3 AI 计算.....	8
3.4 板级支持.....	9
3.5 用户体验.....	9
3.6 可扩展性.....	11
3.7 生命周期灵活性.....	12
4 保持竞争优势.....	12

1 简介

软件是嵌入式器件的关键组成部分；这些器件是专用的计算系统，旨在用于在产品或机器中执行特定功能。嵌入式软件是在嵌入式系统处理器上运行的编程，可控制行为并与外设交互，从而实现系统所需的功能。该软件以软件栈的形式组织，嵌入式软件开发人员通常在顶层编写高级应用，并利用较低层的中间件和固件。较低层的软件与硬件连接，通常称为软件开发套件 (SDK)。SDK 包括处理器供应商提供的参考代码、文档、工具和支持，旨在促进应用开发。

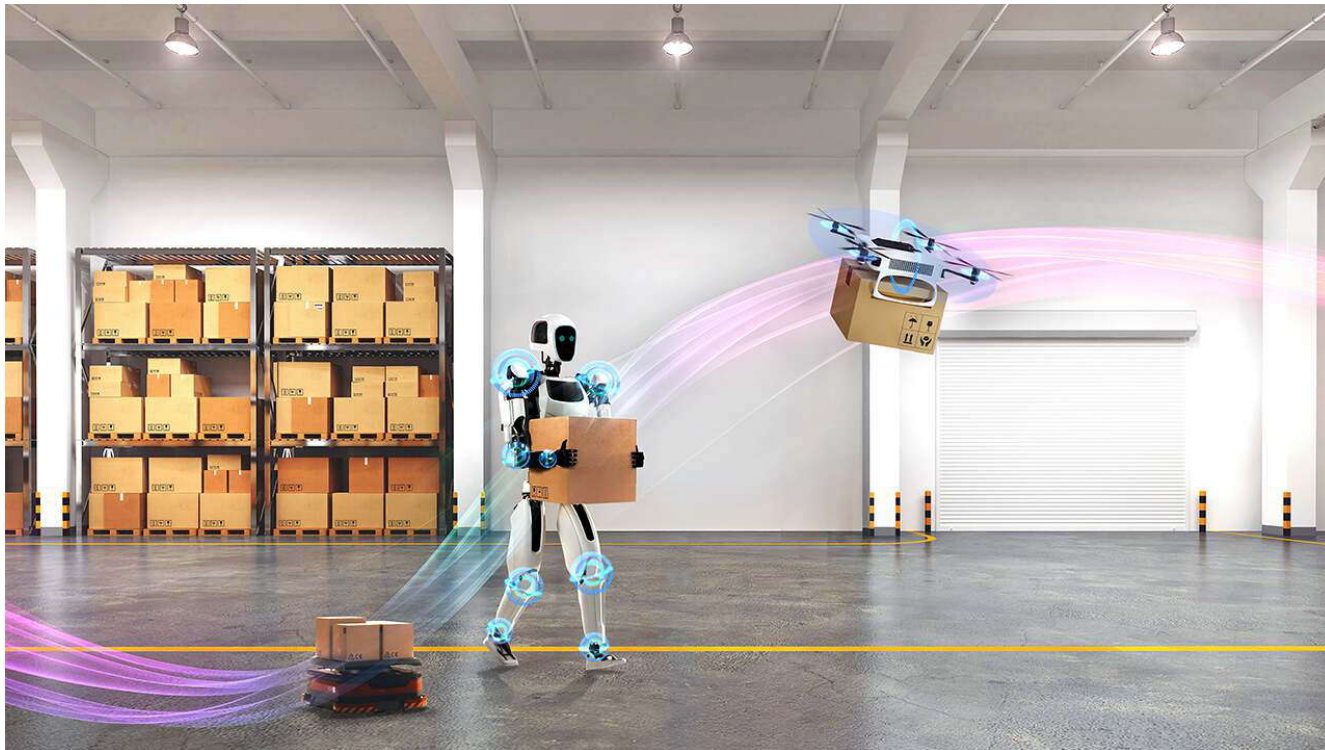


图 1-1. 嵌入式软件可控制处理器行为和外设交互以实现系统功能

在从汽车安全系统到类人机器人的整个嵌入式系统市场中，工程师必须投入大量资源进行创新，以实现高质量嵌入式应用，否则将面临落后于竞争对手的风险。工程师们普遍认为，软件开发占项目资源的大部分。通常，总体开发工作量和成本的 70-90% 会分配给软件。因此，产品能否成功在很大程度上取决于嵌入式处理器的软件和工具。稳健的 SDK 是满足嵌入式系统限制和目标以保持竞争优势的关键因素；这些限制和目标通常是功耗、成本、功能安全、信息安全、开发时间表和可扩展性的复杂组合。

2 市场趋势

从广义上讲，跨行业的嵌入式系统市场有三大趋势，为嵌入式软件工程师带来了独特的开发挑战。这些趋势（自主性、AI 集成和边缘计算）推动着工程师整合更复杂的软件功能，从而提高了对高质量开发工具的需求。

2.1 嵌入式自主性

自动驾驶汽车、无人机和机器人等自主系统的发展推动了嵌入式系统的开发。这些系统要求能够处理复杂的传感器数据并实时做出决策，且功率预算通常很紧张。因此，软件必须具备前沿技术、通过安全认证且高效。例如，如今的嵌入式系统开发人员需要 SDK 支持 TensorFlow、ONNX Runtime 和 Caffe 等稳健的机器学习 (ML) 和深度学习 (DL) 框架。此类库以及针对嵌入式硬件优化这些模型的支持，对于推动产品创新至关重要。

在汽车和工业市场工作的开发人员，通常在安全至上的环境中进行开发。为了维持高标准，嵌入式软件工程师跨多个硬件内核实现操作系统，以管理任务并验证对传感器数据的可预测、低延迟响应。其整个软件栈必须经过安全评级，并根据 ISO 26262 和 IEC 61508 等国际标准进行测试，以达到 ASIL B/ASIL D（汽车）或 SIL 2/SIL 3（工业）等级。嵌入式软件工程师还需要增强的平台来构建安全关键型软件，例如经认证的库、开发流程和工具。

功率限制也给开发自主系统的嵌入式软件工程师带来了持续的挑战。例如，在汽车前置摄像头应用中，由于摄像头通常装在承受持续高温的挡风玻璃下，散热限制将处理器的功耗预算限制为五到六瓦特。运行效率低下的软件会导致功耗过大，从而给系统增加不必要的热量。过多的热量会导致热噪声和图像质量不佳。对于希望保持嵌入式设计高效运行的开发人员来说，动态软件设计、低功耗模式和功耗优化工具至关重要。



图 2-1. ADAS 嵌入式软件工程师需要安全关键型软件

2.2 AI 集成

系统自主性基于有效的 AI 集成构建。对 AI 和 ML 需求的不断增长，推动了易于使用、高效且专业的 SDK 开发；这些 SDK 通常用于专业知识稀缺且必须快速迭代才能保持竞争力的市场。以农业市场为例。联合收割机、滑移式装载机和农机具如今正围绕实时作物监测、热成像和避让野生动物等功能展开竞争。每个应用都需要开发高性能、高度专业化的感知软件。如果 SDK 学习难度很大，且缺少功能强大的工具链、示例应用和全面的演示，开发人员很快就会陷入困境。除此之外，嵌入式 AI 应用通常由小型团队开发，他们面临着决定外包开发、采用开源软件还是两者相结合的难题。为了跟上市场步伐，嵌入式软件工程师需要支持各种 OS 或 RTOS 选择，例如 Linux

或 FreeRTOS。为此，工程师会从中间件供应商处购买软件许可证，以利用专业知识并重复使用代码。因此，SDK 必须支持高质量操作系统，能够灵活地整合第三方软件栈。



图 2-2. 嵌入式系统软件支持实时作物监测和自主操作等功能。

在类人机器人行业，创新的发生速度非常快，以至于根本没有时间等待新产品发布再开始开发。软件开发体验将成为硬件是否采用以及最终决定产品能否成功的重要因素。简单的入门引导、调试工具和 DevOps 实践是主要考虑因素。DevOps 是一套原则，其中包括 CI/CD（持续集成/持续交付）。嵌入式软件工程师期望 SDK 供应商遵循这些原则，以在日新月异行业中跟上产品开发的步伐。CI/CD 是一种软件提供商立即提供产品更新、无需等待合并发布的流程。通过这种方式，需要错误修复或新功能的开发人员可以更快地迭代，从而确保按时推进。

2.3 边缘计算

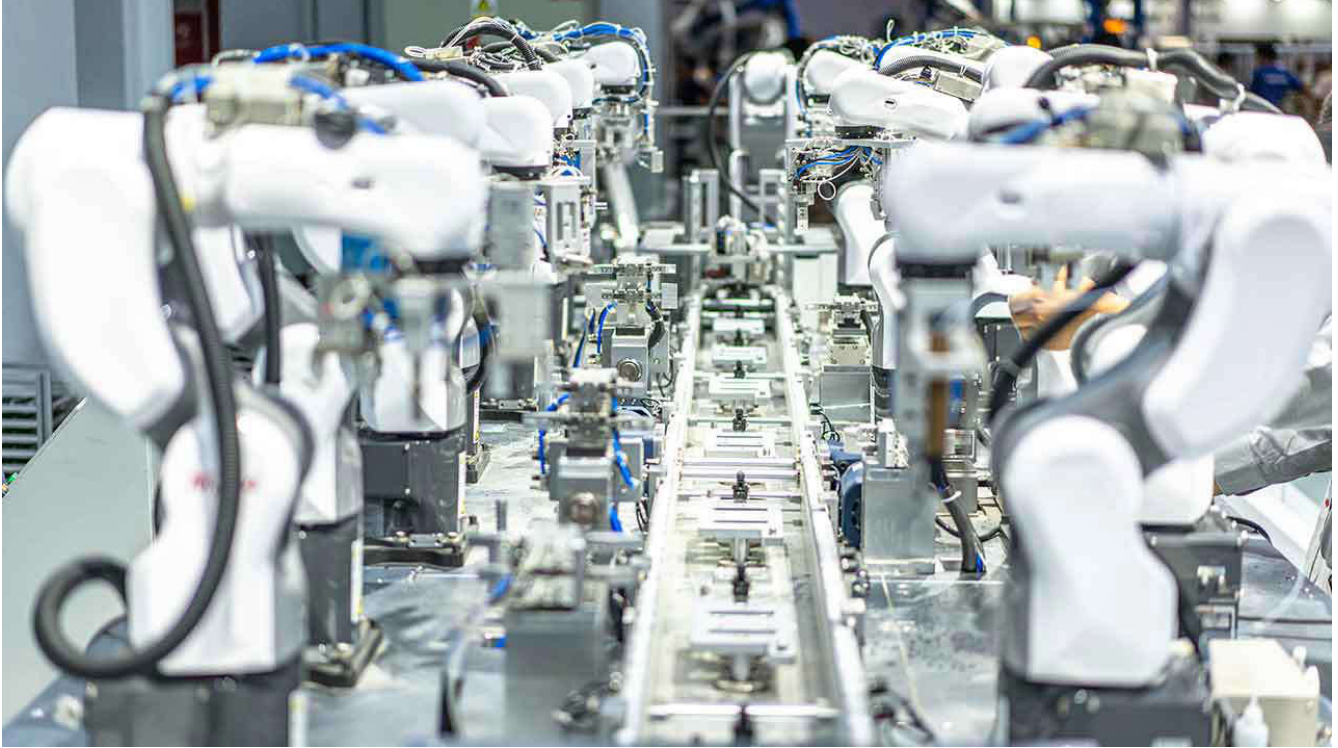


图 2-3. 在硬件快速创新的背景下，工业设备开发人员仍需设计 10 年以上的支持周期

对于大多数工业和汽车应用，嵌入式系统中的 AI 集成和计算趋向于最接近系统传感器的硬件，而不是外包给云服务。这种趋势即 **边缘计算**，它具有多种优势，包括为消费者节省成本、降低延迟以及增强安全性。然而，这也给软件开发人员带来了独特的挑战。与数据中心不同，边缘计算硬件需要更长的软件生命周期。在可编程逻辑控制器 (PLC) 和机械臂等工业终端设备中，开发人员在设计其应用时需要考虑 10 年或更长时间的支持，这往往与快速的硬件创新相冲突。强制迁移是嵌入式软件开发人员真正担忧的问题，他们往往将供应商的软件寿命政策与硬件寿命政策视为同等重要。此外，嵌入式软件工程师在设计时必须采取适当的安全措施。他们需要深入的工具来实现引导时安全、运行时保护和静态数据保护，从而提供全面的覆盖范围。如果没有稳健的开发套件，这些保护将无法实现。除此之外，工程师还必须保护协议栈的所有层，包括硬件、固件和软件。因此，工程师需要符合行业标准且具有硬件支持的安全 SDK，否则嵌入式系统将面临安全风险。

在汽车行业，边缘计算趋势正推动车辆转向日益复杂的架构。这些结构正在颠覆车辆计算安全系统 AI 模型的方式。车辆不再采用零散的计算方法，而是将 AI 模型推至更靠近各自的传感器，为集中式计算机留出空间，以便其针对整车做出明智且统一的决策。因此，多个处理器必须进行通信，这需要可扩展的 SDK。嵌入式软件工程师必须验证是否能在整车范围内重复使用驱动程序和工具链，以确保软件开发正常进行。

3 应对这些挑战

嵌入式软件行业通过技术创新、协作努力和战略投资的结合，应对不断增长的 AI 设计挑战。下面概述了嵌入式软件工程师如何紧跟时代步伐，以及德州仪器 (TI) 的 TDA 系列 SDK 如何支持这些工作。

3.1 操作系统和生态系统多样性

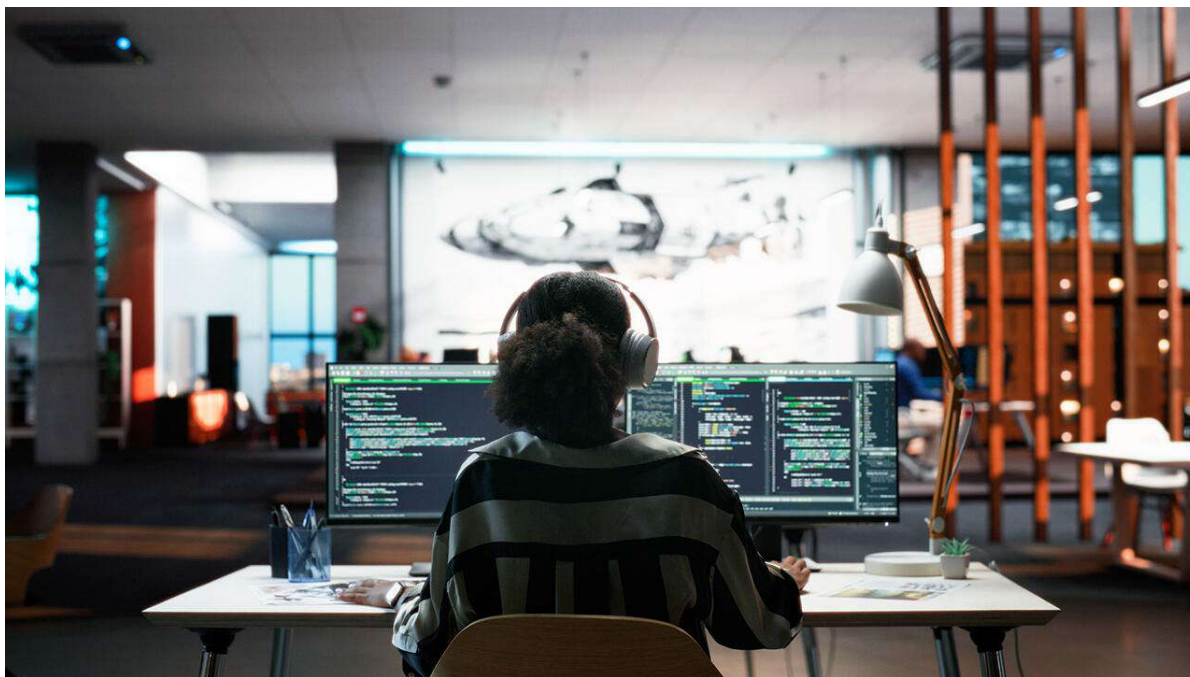


图 3-1. TI 的合作伙伴生态系统将开发人员与整个软件栈的区域专家和资源联系起来

嵌入式软件开发人员希望芯片供应商提供强大的软件生态系统，因为这对于加速开发和保持产品质量具有重大优势。德州仪器 (TI) 的 SDK 为开发人员提供了 FreeRTOS、Linux、U-Boot、Yocto 等开源软件。作为其中许多项目的重要贡献者，TI 能够在架构改进、错误修复、驱动程序与核心技术方面提供支持并开展协作。TI 为所有区域的开发人员提供了一个联系紧密的合作伙伴生态系统，使团队能够与当地专家协作，并在所有层级的软件栈中获得宝贵的资源和服务。TI 的 SDK 专注于开源操作系统，工程师可以利用公共社区支持开发前沿软件，同时获得 TI 工程师的技术专业知识。目前，TI.com 上已提供全面的合作伙伴目录。

为了跟上严苛的安全标准，开发人员可以创建多核程序来实时运行各任务（通常具有冗余）。为满足这一需求，TDA 系列 SDK 利用多核硬件，允许嵌入式软件开发人员通过无缝软件分区跨 SoC 进行开发。例如，在安全关键型市场中工作的工程师可以使用基于 QNX 的 SDK，该 SDK 可以与 SDK RTOS 并行运行。客户会收到一个符合 ISO 26262 和 IEC 61508 安全标准的开箱即用实时解决方案，协助其进行软件认证过程。同时，他们可以利用内部或合作伙伴的 RTOS 软件来实现实时软件应用。其他 SDK 多核投资包括用于 MCU 的专用信息安全和功能安全监控器、AI 加速器、引导、电源和器件管理软件。该产品对于开发人员构建复杂、实时且安全的系统至关重要。

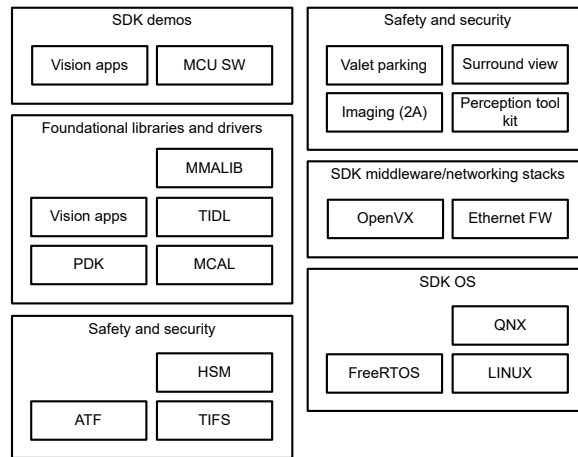


图 3-2. TI 支持的 TDA 系列 SDK 示例栈

图 3-2 中的示例不包括合作伙伴生态系统配置和预集成设计。

3.2 信息安全和功能安全

随着边缘计算系统架构进入各种市场，工程师面临复杂的信息安全和功能安全挑战。为了应对这些挑战，开发人员实现安全引导、加密和安全固件等安全功能。此外，他们还通过了 ISO 26262 或 IEC 61508 等功能安全认证，这些认证用于验证系统是否满足严格的安全标准。TI 软件工具提供跨安全域的保护（从硬件到软件层），从而防御各种攻击。TDA 产品系列 SDK 将信息安全分为三个领域：引导时安全、运行时保护和静态数据保护。

引导时安全功能涵盖器件启动时的信息安全。身份验证和密钥管理对于确保器件保持安全至关重要。这样，开发人员便可毫不费力地实现安全引导过程，确保只有经过授权的软件才能在器件上运行。在运行时，TI 处理器为系统提供加密算法和可信执行环境 (TEE) 的硬件驱动程序支持。TI 的驱动程序支持降低了信息安全实现所需的复杂度和时间。因此，开发人员可以更安全、更快速地进入市场。最后，静态数据保护涵盖在器件未使用时的数据保护。安全存储等功能旨在提供安全可靠的方式来存储敏感数据，从而确保数据免受未经授权的访问、篡改和其他安全威胁。

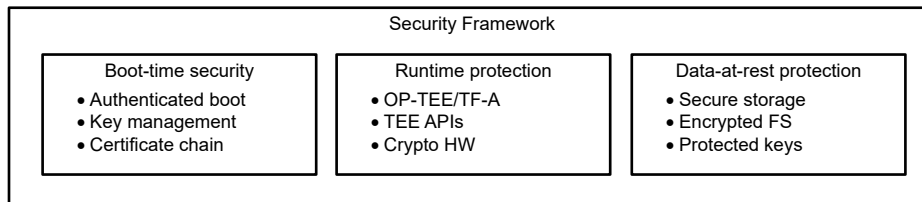


图 3-3. 安全域创建了从引导到运行时的信任链，从而确保系统完整性和数据机密性

功能安全是嵌入式软件设计中的另一个关键要素，因为开发人员必须依靠经过认证的 SDK，以确保其安全关键型软件的稳健性，并符合在许多地区销售的资格。TÜV SÜD 是许多寻求在嵌入式系统中使用安全认证软件的开发人员的首选合作伙伴，因为它是领先的软件工具认证机构。TI 的 TDA4 SDK 已获得 TÜV SÜD 的功能安全认证。这意味着 TI 独立验证了安全元素的认证，使开发人员能够在构建其安全和任务关键型系统时，因使用软件和证书而受益。软件开发流程遵循汽车 ISO26262 和 IEC61508 标准，使软件开发人员能够符合 ASIL D 和 SIL 3 资格。为了让开发人员紧跟不断变化的市场，TI 更新了审计和证书以获取最新功能。这样，开发人员就可以依赖跨多个 SDK 版本的安全认证。

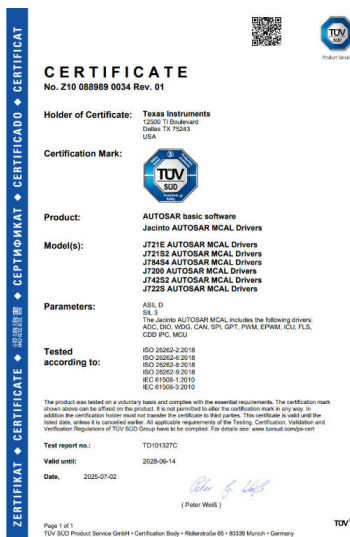


图 3-4. 针对处理器选择的 TUV SUD 认证

3.3 AI 计算

为了满足对强大 AI 应用的需求，软件开发人员选择投资具有高质量库和功能的 SDK。TI 通过一组功能强大的深度学习库、工具和 SDK 实现稳健的自主系统、AI 集成和边缘计算功能。当开发人员安装 TDA 产品系列的 SDK 时，他们可以免费下载并使用 [Vision Apps](#)，从而使嵌入式系统工程师能够与 [TI 深度学习库 \(TIDL\)](#) 进行交互。TIDL 提供基础构建块，用于在 TI 硬件上训练和实现稳健的 AI 模型。它支持业界领先的训练框架（包括 PyTorch 和 TensorFlow）和模型格式（例如 ONNX 和 TensorFlow Lite）。这些业界通用框架和格式对于如今的 ML 培训流程至关重要。TIDL 提供了一些工具，用于编译和优化处理器的应用、在 OpenVX 上进行开发以及通过 TIDL 推理馈送数据。OpenVX 是用于在 TI 处理器上进行抽象嵌入式开发的接口，而 TIDL 推理库使开发人员能够优化模型的数据输入。这些工具使软件开发人员能够更好地访问 TI 功能强大的 IP，例如构成 TI 处理器 AI 引擎的 C7TM NPU。这样，嵌入式系统工程师便可无缝使用最新的 DL 和 ML 模型，从而充分发挥 TI TDA 处理器的性能。

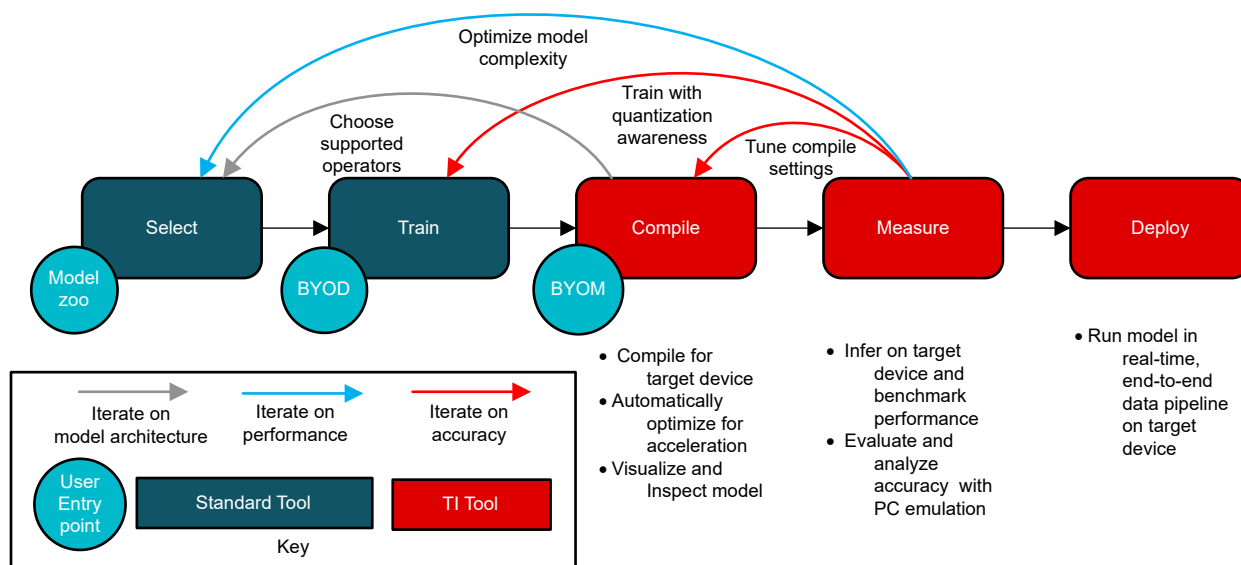


图 3-5. TIDL 模型实现过程示例

此外，TI 处理器 SDK 还提供了丰富的设计和优化工具。对于希望开发具有竞争力的嵌入式系统的工程师，图形、显示和视频编解码器库均可供使用。这些功能在整个 TI 的高端 SoC 处理器产品系列（包括 TDA4 和 TDA5 产品线）中均可使用。该 SDK 为工程师提供在嵌入式系统上执行创新软件所需的所有库工具和功能。

3.4 板级支持

请注意，软件工程师必须对终端设备和外设元件有全面的了解，才能成功部署应用。例如，工程师必须使用电源模式来补偿热限值，在电池寿命有限的场景中使用电源优化工具，并开发用于连接不同供应商电路板元件的定制驱动程序。TI 对高性能 SoC 投入了大量资源，以满足成功 PCB 的诸多需求。对于 [DDR](#)、[ISP](#)、[引脚 \(引脚多路复用\)](#)、[时钟和电源](#) 等元件，已提供配套的配置和优化工具。在 TDA4 和 TDA5 产品线中，无论选择哪个供应商，都支持适用于 PMIC、串行器、ADC 和模拟技术的主线驱动程序，这意味着工程师可以将非 TI 元件整合到系统中。

3.5 用户体验

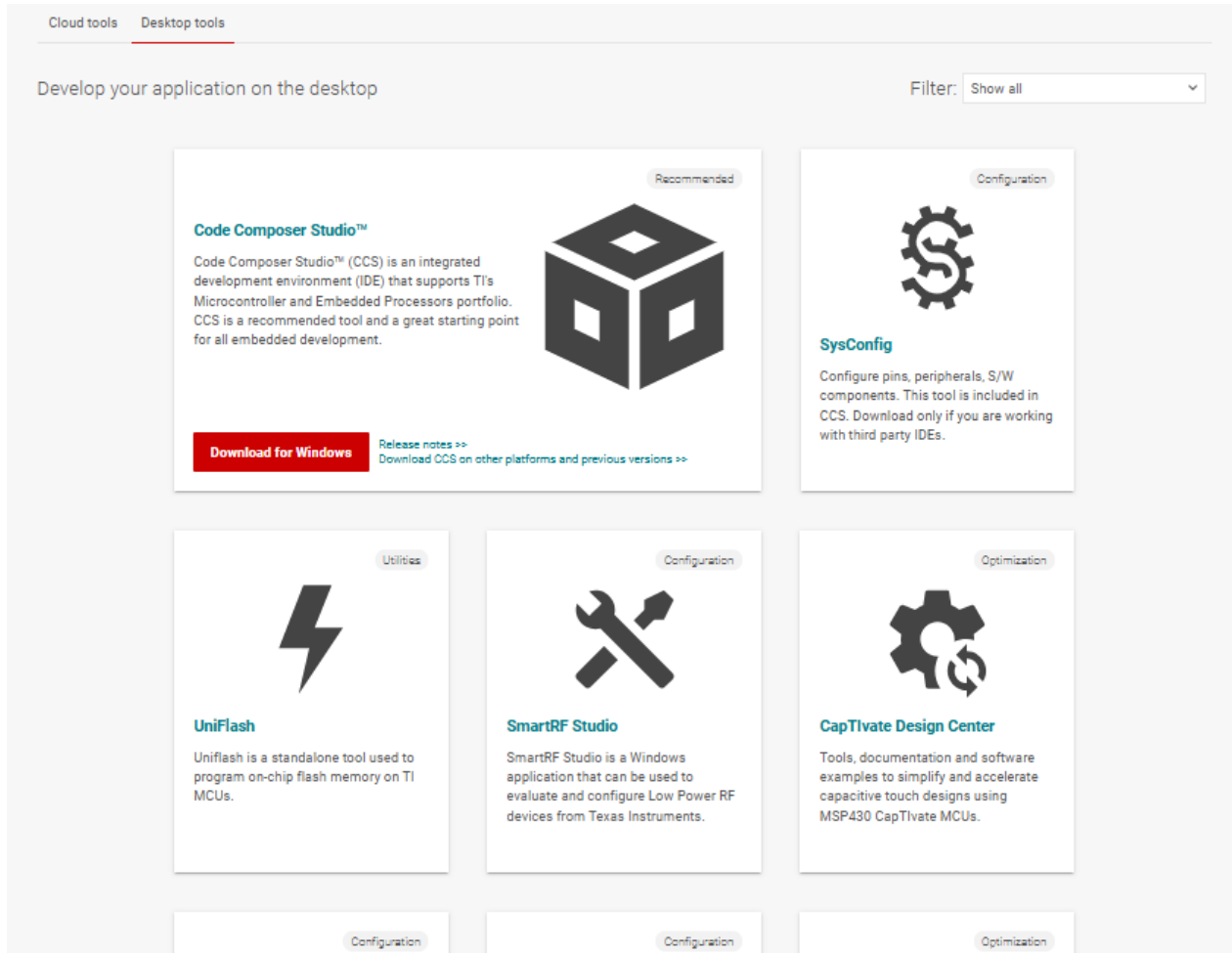


图 3-6. 用于嵌入式软件评估的 TI 开发人员专区

无论 SDK 拥有哪些功能和认可，软件开发人员的用户体验都是嵌入式系统处理器选择的决定性因素。处理器非常复杂，不仅在确定总体性能、功耗和成本方面发挥着至关重要的作用，而且还承载与系统所有潜在外设进行交互的软件。因此，开发人员应合理地谨慎选择 SDK：能够快速上手，为产品生命周期的每个阶段提供相应的工具，并在遇到困难时提供支持。为了进行合理的投资，公司通常会设立专门的软件研究和评估团队。TI 的 SDK 包含入门以及快速开始评估和开发所需的丰富资源。演示、教学视频和 [TI 开发人员专区](#) 等免费资源现已在线提供。TI 开发人员专区是一个集中式平台，用于获得在桌面或云端开发、调试和分析嵌入式软件代码所需的所有开发工具、软件和培训。TI 开发人员专区内的工具包括 [Code Composer Studio \(CCS\)](#)，这是一种基于 Web 的集成开发环境（或 IDE），嵌入式软件开发人员可以在其中通过 Web 浏览器编辑、构建甚至调试在 TI 处理器上运行的应用。借助此工具，嵌入式软件开发人员可以在决定其嵌入式系统使用的 TI 处理器之前更快地进行评估和开发。除此之外，建议嵌入式软件开发人员使用 [Resource Explorer](#) 工具来查找 CCS 演示、库、文档和软件包下载，以辅助其

评估和开发工作。**Resource Explorer** 工具包含一系列广泛主题的培训材料，例如处理器间通信 (IPC)、一次性可编程 (OTP) 密钥写入以及有关将 Linux 移植到定制硬件的教程。

TI 在开发人员专区中提供一个名为 **Edge AI Studio** 的重要组件，它是一个支持 AI 应用开发、基准测试和部署的工具集合。它还支持自带数据 (BYOD)，因此可重新训练 **TI Model Zoo** (经验证可在 TI 处理器上运行边缘 AI 的大型深度学习模型集合) 中的模型。对于视觉应用，工程师可以使用经过训练或定制的代码，评估远程访问开发板上的加速 DL 模型。[TI Github](#) 包含一组更广泛且更灵活的模型开发工具。开发人员可使用这些基于 Linux 的 PC 工具：

- 针对定制数据集 (BYOD) 训练 TI 模型
- 为 TI 的 AI 加速器 (BYOM) 编译定制或开源模型
- 分析和优化模型的性能和准确性

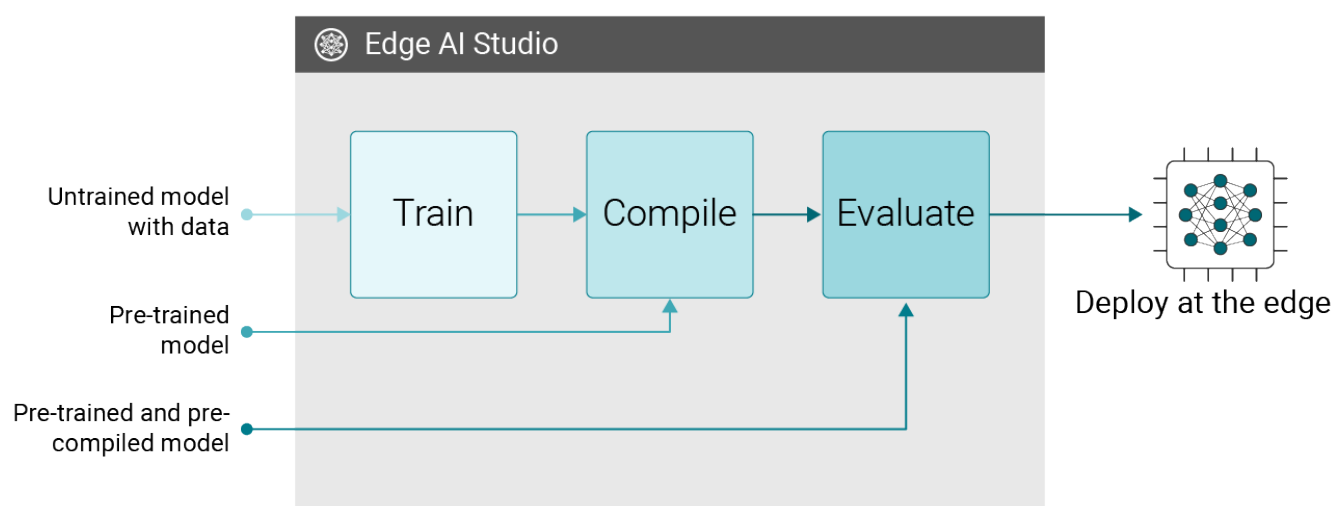


图 3-7. Edge AI Studio：用于 AI 开发、基准测试和部署的工具。

因此，有不同需求的工程师可以更快地实现 AI 应用，并拥有安全的资源进行研究，从而在各自的市场中脱颖而出。

3.6 可扩展性

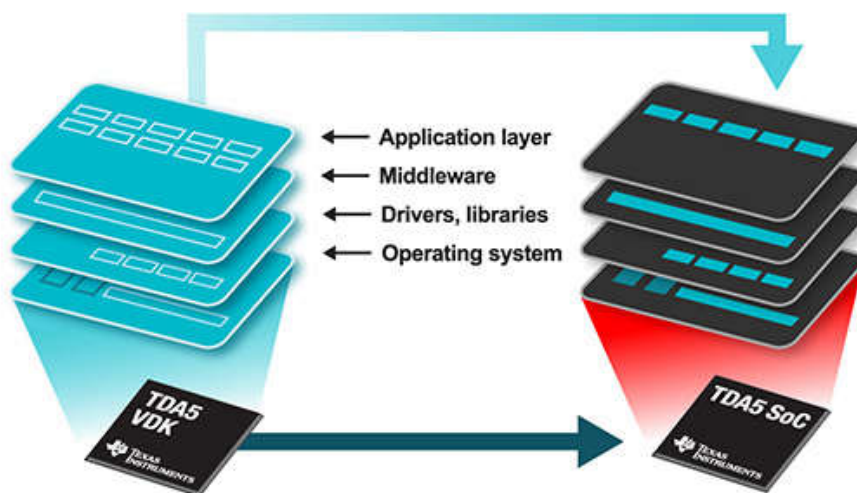


图 3-8. Synopsys Virtualizer™ 支持预生产芯片开发

嵌入式软件工程师面临着不断改进和扩展其软件应用（通常涉及广泛的产品系列）的挑战。在汽车 ADAS 和类人机器人等发展迅速的市场中，工程师必须在硬件面市之前开发好软件，以保持竞争力。因此，嵌入式软件工程师必须在当前产品系列的基础上扩展软件，或基于虚拟硬件模拟器进行开发。后一种市场趋势被戏称为“数字孪生”现象，这在从医疗到制造业的各个领域都屡见不鲜。在 TI 的处理器产品系列中，软件工具链、驱动程序和固件均可重复使用，因此软件工程师可加快其扩展的应用。工程师可以在当前的 TI 硬件上开始下一代产品开发，然后再将该软件移植到新器件。这对于开发 TDA4 产品系列的 TI 客户很常见，他们的软件开发必须与硬件路线图保持同步。现在，嵌入式软件开发人员可以使用 **TDA5 Virtualizer™ 开发套件 (VDK)**，基于 TI 的下一代处理器进行开发。VDK 采用 Synopsys Virtualizer™ 构建，支持基于 TDA5 SoC 的寄存器精确模拟开发整个软件栈。嵌入式软件开发人员在器件发布之前就可以获得 TDA5 系列，并能够执行未经修改的生产软件二进制文件。因此，他们能够按时推进部署和发布产品，并以具有竞争力的时间表发布产品。

3.7 生命周期灵活性

一般来说，嵌入式系统的开发必须争分夺秒，才能跟上新技术的发展步伐。在非公路车辆、工业运输和物料搬运等市场中，嵌入式软件通常会持续使用 10 年或更长时间，且部署后极少或根本无法进行软件更新。当芯片或第三方软件供应商停止支持某个软件产品时，嵌入式软件工程师会面临意料之外的软件重写，这既昂贵又耗时。因此，软件工程师期望 SDK 能够快速迭代最新功能和错误修复，并保持稳定性，以确保在未来数年内依然适用。此外，供应商还必须向客户保证，软件在部署后直至生命周期结束 (EOL) 之前均可获得支持。TI 的独特优势在于：不仅拥有功能强大、成熟的 SDK 及业界领先的长期支持政策，而且拥有通过 DevOps 和 CI/CD 实践能实现闪电般快速迭代所需的资源。嵌入式软件开发人员可以基于下一代 SDK 进行开发，以更短的延迟获取错误修复和新功能，从而避免陷入昂贵的延迟与舍弃功能之间的两难境地。开发人员可以放心地进行部署，因为其产品在整个延长的生命周期内都将获得支持。

4 保持竞争优势

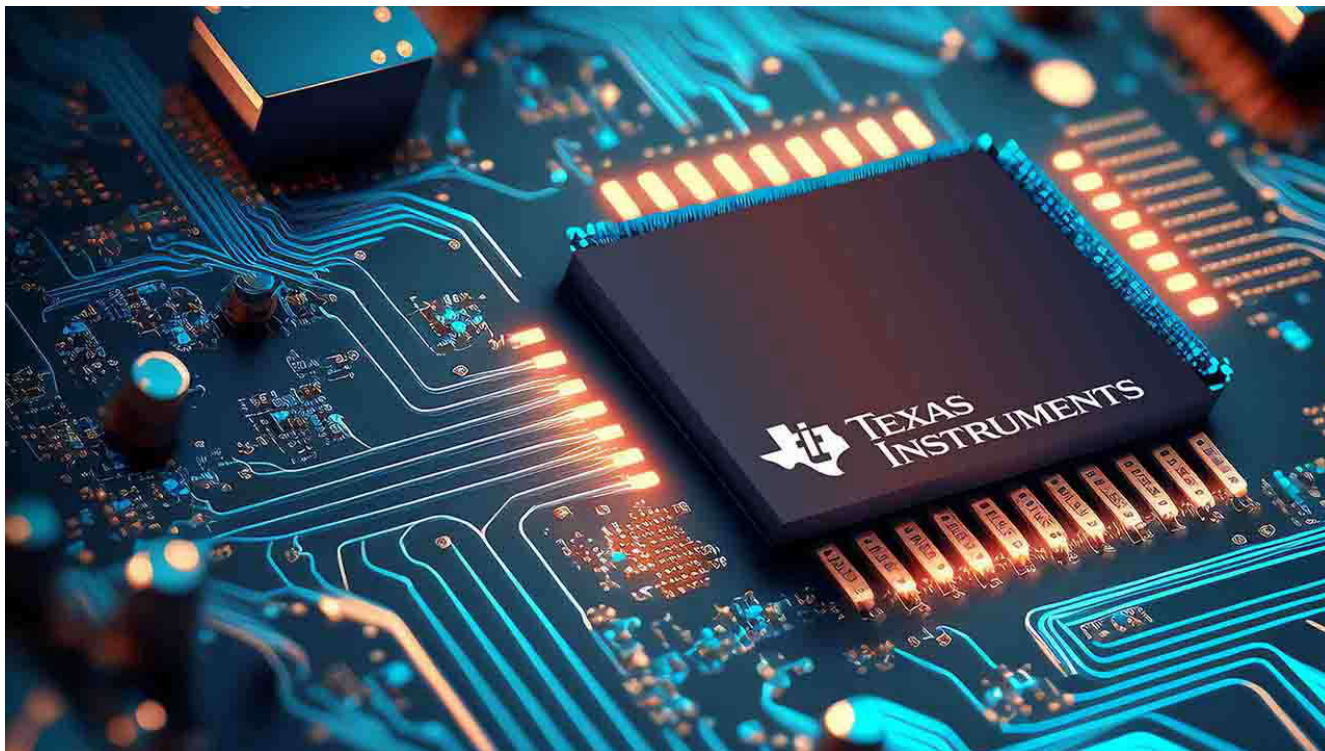


图 4-1. TI 处理器 SDK 和工具助力嵌入式软件工程师在市场中脱颖而出

总体而言，TI 的处理器 SDK 和工具能够助力嵌入式软件工程师在嵌入式系统市场中稳占一席之地。凭借 SDK 中功能强大的库、安全功能和应用，开发人员在利用 TI 硬件进行创新时尽显优势。TI 软件可通过文档和支持工具获得，因此工程师在其产品的整个生命周期中可以获得直接且全面的支持。此外，可扩展属性、虚拟化工具和发布策略使 TI 成为开发人员在选择处理器时既安全又具竞争力的软件选择。只有嵌入式软件工程师获得所有这些属性的支持时，他们才能在自己的市场中脱颖而出。请访问 [TI.com](https://www.ti.com) 立即开始使用，或查看 [TDA4 的旗舰处理器 SDK 产品](#)。

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