Technical White Paper

使用 CCStudio™ IDE 中的智能体 AI 加速嵌入式开发

摘要

随着软件工程向典型的 AI 转变，嵌入式系统带来了独特的障碍：低级硬件限制、复杂的外设配置以及严格的时序要求。在这些环境中，霍尔化代码可能会导致现场故障。本文探讨了德州仪器 (TI) 的 CCStudio™ IDE 如何在开发过程中引入基于硬件的智能，将 AI 功能扩展到硬件配置、构建管理和片上调试工作流程中。CCStudio IDE 使用多层体系结构，使 AI 智能体可以从初始设置到最终故障排除，在实际芯片中导航。

内容

1 简介.....2
2 核心平台功能.....3
3 CCStudio IDE 迁移技能.....4
4 迁移技能如何验证结果.....5
5 结语.....5

商标

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

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 简介

AI 工具越来越多地处理曾经需要开发人员直接关注的任务，从而缩短了从初始构思到功能代码所需的时间。Gartner 预测，到 2028 年，90% 的企业软件工程师将使用 AI 代码助手。图 1-1 展示了如何在整个开发生命周期中实现 AI 工具的使用。

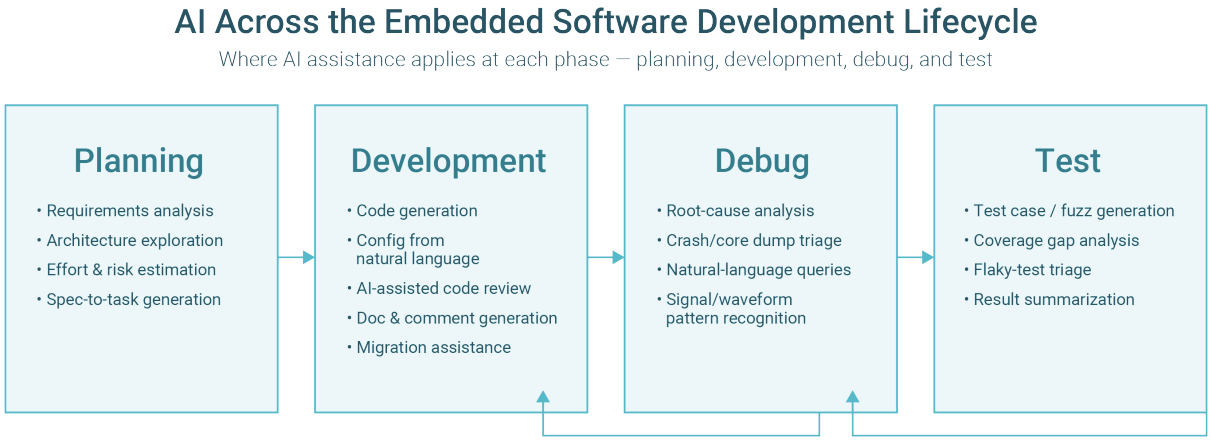


图 1-1. 显示在嵌入式软件开发中实现 AI 工具的工作流程图

但是，标准 AI 模型难以应对嵌入式系统的复杂性。例如，当引脚分配、外设配置或低电平时序受到错误管理时，如果不访问硬件特定的数据，模型可能很难识别由此产生的错误。

为了使支持 AI 的工作流程在这种情况下取得成功，智能体需要获得嵌入式开发人员所依赖的特定硬件和工具链数据的权威访问权限。否则，AI 可能会生成正确编译的代码，但由于不正确的硬件假设，在执行时会失败。

CCStudio IDE 中的专用环境（CCStudio 开发生态系统的一部分）使 AI 智能体可以直接访问 TI 的编辑、构建和调试工具。CCStudio IDE 支持用于嵌入式系统开发的完整自主工作流程（图 1-2）。

English Document: STDA069
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

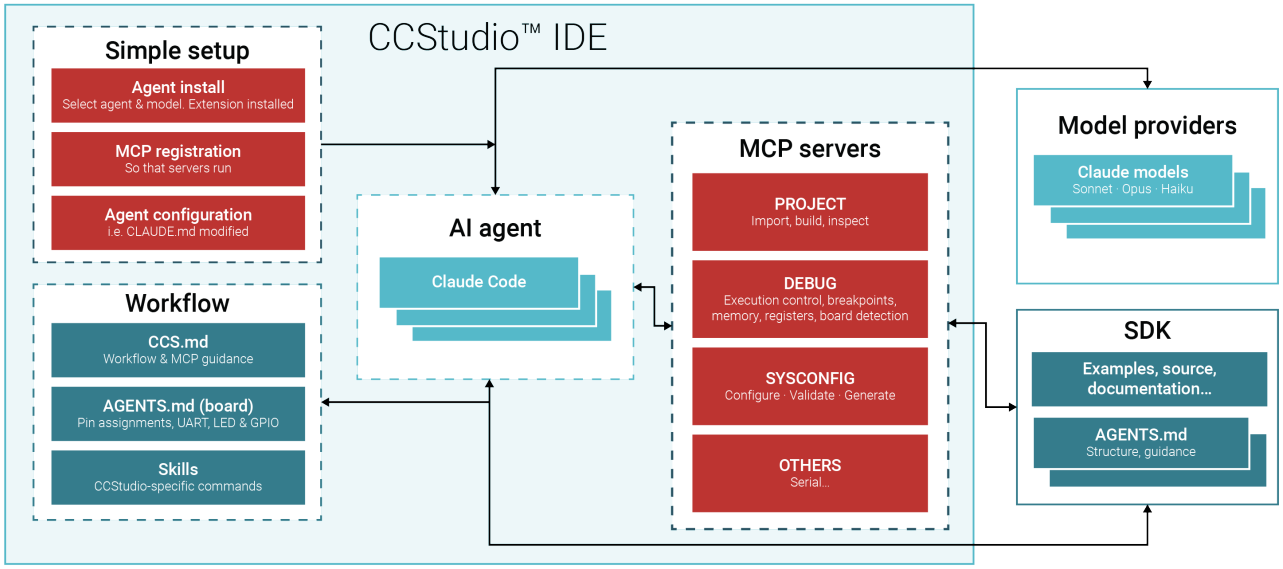


图 1-2. 显示在 CCStudio IDE 中集成智能体 AI 功能的简化图

2 核心平台功能

CCStudio IDE 通过多种集成功能提供 AI 智能体高效运行所需的技术基础设施：

1. **多模型互操作性：**CCStudio IDE 支持行业标准智能体和模型，因此小组可以选择他们的首选型号，如 Claude、GPT 或本地模型。这种方法还支持企业安全，因为本地和客户控制的模型托管被视为一流的方案，将专有固件和 IP 保留在受保护的网络中。
2. **自动 AI 配置向导：**为减少手动设置，AI 配置向导可自动注册 MCP 服务器、凭据配置和扩展安装，确保智能体具备项目感知能力并可随时工作，而无需开发人员手动配置智能体。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3. **结构化文档和示例：**没有权威数据，智能体就可能生成臆测配置，例如，由于智能体缺少正确的时钟源，计算错误的波特率分频值。CCStudio IDE 允许智能体直接访问经过验证的 TI 文档，包括结构化 API 引用、寄存器映射和特定于器件的示例，这些示例可用作配置任务的参考点。
4. **使用 SysConfig 的确定性配置：**SysConfig 充当 AI 智能体和硬件之间的确定性接口。SysConfig 不会让智能体猜测外设设置，而是提供实时验证层：智能体建议更改，立即接收有关潜在引脚或时钟树冲突的反馈，并在生成代码之前解决依赖项。
5. **全循环硬件调试和遥测：**CCStudio IDE 允许智能体直接进行片上调试访问，从而实现自主故障排除。智能体可以运行完整的调试周期：刷写固件、设置断点、检查调用栈和核心寄存器，以及检查串行终端遥测以持续查看系统状态。

3 CCStudio IDE 迁移技能

这些功能在结合处理复杂的高价值任务（例如跨供应商设备迁移）时可以提供最大价值。迁移应用需要了解外部代码库，将外设映射到新引脚排列，以及验证新器件上已移植的应用程序。

CCStudio IDE 迁移技能使用平台的基础架构通过专门的编排管道来自动化此过程：

迁移功能（图 3-1）的结构是一个协调器，协调一组专门的子智能体，每个子智能体负责端口的一个阶段。

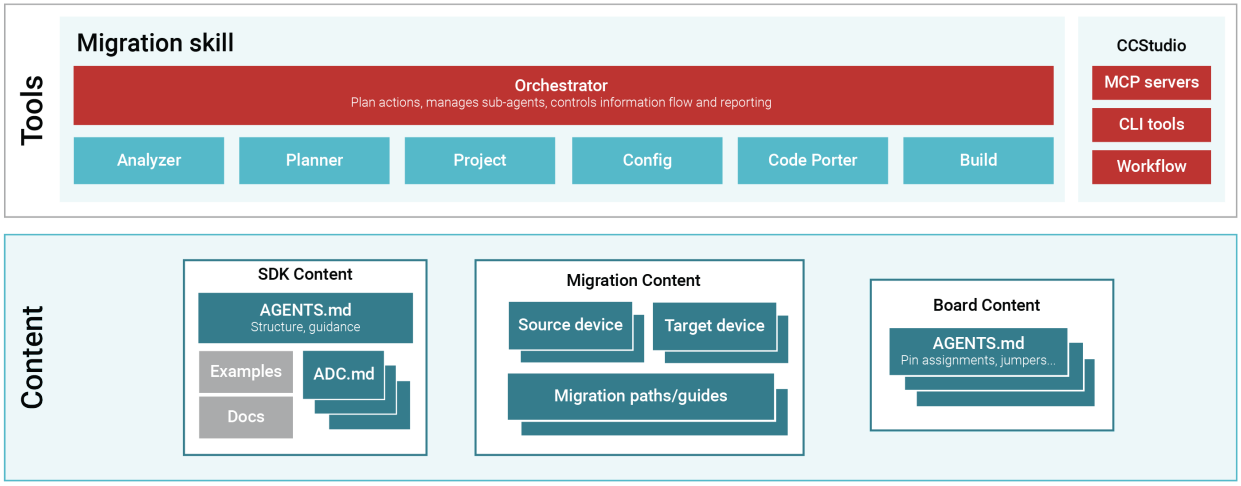


图 3-1. CCStudio IDE 迁移工具的体系结构

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

CCStudio IDE 子智能体包括：

- **分析者：**标识源器件、项目的用途以及使用中的外围设备。
- **计划者：**创建按区域分组的有序移植计划，并留出供用户查看和调整的空间。
- **项目**：创建新的 CCStudio 项目并复制非特定于设备的应用程序文件。
- **配置**：使用多个合作子智能体配置外围设备和软件设置。
- **代码迁移者**：将源代码和 API 使用情况迁移到目标设备的 SDK 中，再次使用多个子智能体。
- **构建**：构建项目并迭代以解析构建错误。

此编排程序利用上述相同 MCP 服务器、CLI 工具和工作流指导以及单独维护的结构化内容。这个结构化内容包括 SDK 文档和示例、源器件和目标器件迁移指南，以及特定于电路板的引脚和跳线信息。将此内容与编排逻辑分离，意味着随着文档和示例的改进，迁移质量也会提高。

4 迁移技能如何验证结果

生成迁移的项目只是工作的一半。代码迁移本身耗时可能会很长（可能需要几个小时），因此流程设计为可恢复式，以防 AI 环境出错或流程需要中途停止。迁移完成后，必须验证生成的应用程序是否可在实际硬件上正常工作。这由在代码迁移后调用的单独测试迁移技能通过三个部分的流程进行处理：

- **组织者：**确定可用的测试设备并引导用户完成任何所需的设置（布线、跳线）。
- **计划者：**读取迁移报告并编写排好优先顺序的测试计划。
- **执行者：**运行每个测试，在失败时应用修复，重建和重试（最大尝试次数有限），然后再将问题标记出来以进行人工处理。

在收到结果时会将其记录下来，从而可以了解测试进度。该方法还可适应工作台上的内容，并可驱动现有测试框架和实验室设备（如逻辑分析仪或信号发生器），以及目标调试和串行通信。迁移技能会生成一个测试套件，可以在 AI 环境中单独重复使用。

5 结语

有效且高效的智能体嵌入式开发需要访问能够将 AI 可靠地连接到智能体要控制的物理硬件的工具。通过构建结构化文档并直接对 CCStudio IDE 进行硬件调试访问，TI 为 AI 智能体提供了处理常规嵌入式工程任务所需的内容，从而使开发人员能够将更多时间花在系统级设计决策上。

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