

Application Note

TI 处理器和 MCU 上支持的工业通信协议



Kathryn Kalouf, Christof Vogt, Bharath Kartha

摘要

本应用报告显示 TI MCU+ 和 Arm® Cortex®-A 处理器产品系列中每款器件所支持的工业通信协议，以及可在何处以何种方式获取这些协议。

内容

| | |
|--------------------------|---|
| 1 简介..... | 2 |
| 2 通信协议..... | 2 |
| 2.1 PROFINET..... | 2 |
| 2.2 EtherCAT..... | 4 |
| 2.3 以太网/IP..... | 4 |
| 2.4 IO-Link..... | 6 |
| 2.5 并行冗余协议 (PRP)..... | 7 |
| 2.6 高可用性无缝冗余 (HSR)..... | 7 |
| 2.7 OPC UA..... | 7 |
| 2.8 Modbus TCP/IP..... | 7 |
| 3 Sitara 对第三方协议栈的支持..... | 8 |
| 4 修订历史记录..... | 9 |

插图清单

| | |
|---|---|
| 图 1-1. 封装标记 (位置 F 处的字母决定是否支持完整的协议栈) | 2 |
| 图 1-2. 使用集成工业通信协议栈的实现方案..... | 2 |
| 图 3-1. 使用 PRU-ICSS 和第三方或客户协议栈的软件实现方案..... | 8 |

表格清单

| | |
|--------------------|---|
| 表 2-1. 支持的特性集..... | 3 |
| 表 2-2. 支持的特性集..... | 4 |
| 表 2-3. 支持的特性集..... | 5 |
| 表 2-4. 支持的特性集..... | 6 |

商标

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

PROFINET® and IO-Link® are registered trademarks of PROFIBUS.

EtherCAT® is a registered trademark of Beckhoff Automation GmbH.

EtherNet/IP® is a registered trademark of ODVA, INC.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

工业通信通常由 TI 处理器和微控制器 (MCU) 中的可编程实时单元工业通信子系统 (PRU-ICSS) 进行处理。PRU-ICSS 是一个协处理器子系统，包含可编程实时 (PRU) 内核和以太网媒体访问控制器 (EMAC)，通过固件实现底层工业以太网和现场总线协议。协议栈的上层在 Arm 内核上运行的软件中实现的。该协议软件支持三种模式：TI 的完整协议栈、第三方协议栈，或客户可以使用自己的协议栈。

PRU 内核主要用于工业通信，也可用于其他应用，例如电机控制和自定义接口。PRU-ICSS 将器件中主要 Arm 内核释放用于其他功能，例如控制和数据处理。

本文档介绍由 TI 直接支持的认证工业协议。这些协议由 TI 提供，并已在评估板上得到验证和认证。对于生产，唯一的要求是使用启用协议栈的器件型号。IND-COMMS-SDK 工业工具套件包含在 AM64x、AM243x、AM261x、AM263x 和 AM263Px 器件上运行的工业通信协议二进制版本，这些器件支持完整的协议栈，在器件型号中用 **F** (下划线和粗体) 指示，例如 AM2432AS **F** GHAALXR。这也显示在器件专用数据表的字段 **f** 中，如图 1-1 所示。所有评估模块、入门套件和 LaunchPad 都使用启用协议栈的零件型号。

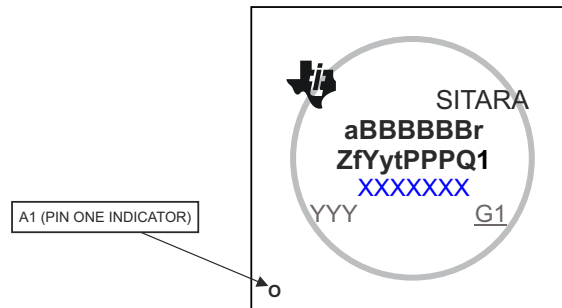


图 1-1. 封装标记 (位置 F 处的字母决定是否支持完整的协议栈)

PRU-ICSS 足够灵活且功能强大，足以支持大多数工业通信协议。目前，TI 支持 100Mb 版本的协议和千兆位 TSN。AM64x 和 AM243x 系列具有升级的 PRU-ICSS，支持千兆位速度。基于 CPSW 运行 TSN 时，AM261x 以及 AM64x 和 AM243x 可实现千兆位 TSN。TI 一直在内部开展合作并与第三方合作伙伴合作，致力于扩大产品阵容，因此，如果本文档中未明确显示特定协议，请通过 E2E 与 TI 联系，或与您当地的 TI 销售代表联系。

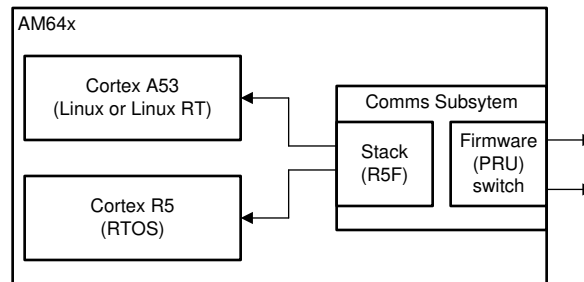


图 1-2. 使用集成工业通信协议栈的实现方案

TI 通过第三方协议栈进一步支持 TI 固件支持的协议，以及第三方合作伙伴支持的几种其他协议。AM335x、AM437x 和 AM57x 系列支持此第三方模式。对于其他启用了 ICSS 的器件，如 AM64x、AM243x、AM261x、AM263x 和 AM263Px，除字母 **C** (位于位置 **f**) 外，所有器件型号也都支持此第三方模式。有关支持 PRU-ICSS 工业通信的所有第三方的完整列表，请参阅 [第三方搜索工具](#)。

2 通信协议

2.1 PROFINET

启用了 ICSS 的器件支持基于 Siemens ERTEC 器件协议栈的 PROFINET® RT 和 IRT 器件。表 2-1 总结了支持的特性集。

表 2-1. 支持的特性集

| 特性 | 说明 | 相关一致性类别 | 支持 |
|-----------------------|---------------------------|----------|------------|
| 强制特性 CC-A | | | |
| 实时循环 - 1 类 | 非同步实时循环协议 | CC-A、B、C | 是 |
| 实时非循环 | 实时非循环协议 | CC-A、B、C | 是 |
| 器件诊断/警报 | 诊断和维护警报 | CC-A、B、C | 是 |
| 器件标识 (I&M0) | 支持的强制性标识记录 | CC-A、B、C | 是 |
| 领域检测 | LLDP 协议 | CC-A、B、C | 是 |
| 通过 PROFINET 的端口相关网络状态 | PDEV 记录 | CC-A、B、C | 是 |
| 可选特性 CC-A | | | |
| 扩展识别与维护 | 支持的扩展 I&M 记录 | CC-A、B、C | I&M1、2、3、4 |
| | 不支持的扩展 I&M 记录 | CC-A、B、C | I&M5 |
| 共享输入 | 通过各种控制器对输入进行多重访问 | CC-A、B、C | 是 |
| 共享器件 | 将器件功能分配给各种控制器 | CC-A、B、C | 是 |
| 从机到从机通信 | IO 器件之间的直接通信 | CC-A、B、C | 否 |
| 强制特性 CC-B | | | |
| 网络诊断 | SNMP 协议 | CC-B、C | 是 |
| 可选特性 CC-B | | | |
| 通过 DCP、PDEV 分配名称 | 更换器件后器件自动寻址 | CC-B、C | 是 |
| 运行中的配置 (CiR) | 运行期间的配置更改 | CC-B、C | 是 |
| 时间同步 | I/O 数据的时间戳 | CC-B、C | 是 |
| 光纤支持 | POF/HCS 的光纤诊断 | CC-B、C | 否 |
| 快速启动 | 电压恢复后快速启动，用于切换操作 | CC-B | 是 |
| 介质冗余协议 | 通过环形冗余提高可用性 | CC-B | 是 |
| 系统冗余 (仅 PA 必需) | 带有两个 I/O 控制器的系统冗余 | CC-B | 是 |
| 强制特性 CC-C | | | |
| 具有 IRT 的 PROFINET | 更新率为 500 μ s 或更高的带宽预留 | CC-C | 是 |
| 具有 IRT 的 PROFINET | 更新率为 250 μ s 的带宽预留 | CC-C | 正在处理 |
| 可选特性 CC-C | | | |
| 具有 IRT 的 PROFINET | 同步操作 | CC-C | 是 |
| | 更新速率低于 250 μ s | CC-C | 否 |
| DFP | 适用于线路拓扑的优化 IRT 模式 | CC-C | 否 |
| 双向传输, MRPD | 通过协调冗余切换提高可用性 | CC-C | 否 |

2.2 EtherCAT

启用了 ICSS 的器件支持 EtherCAT® 子器件。EtherCAT 由 ICSS-PRU 支持，其带有 E 或 F 的零件编号在完整零件型号的 f 位置上。IND-COMMS-SDK 中的 TI EtherCAT 子器件协议栈在 F 器件型号上运行。对于 E 器件型号，EtherCAT Group (ETG) 成员可免费使用 ETG EtherCAT 子器件协议栈，并可在其 [实施指南](#) 中找到该协议栈。[表 2-2](#) 总结了 TI EtherCAT 子器件协议栈支持的特性集。

表 2-2. 支持的特性集

| 特性 | 说明 | 实施 |
|-------------------|---|---------------------------|
| 分布式时钟 | 通过使用分布式时钟，EtherCAT 实时以太网协议能够在非常窄的容差范围内同步所有本地总线器件中的时间。 | 是 |
| 对象字典 | 可自由定义，仅受可用资源的限制 | 是 |
| CiA 402 | 此配置文件规范了伺服驱动器、变频器和步进电机的控制器的功能行为。 | 是 |
| 邮箱队列 | 邮箱服务存储在队列中。可以并行处理邮箱服务。 | 是 |
| AoE | EtherCAT 服务支持上的 ADS。 | 是 |
| CoE | EtherCAT 服务支持上的 CANopen。 | 是 |
| 完全访问支持 | 支持使用一个 SDO 服务访问对象的所有条目。 | 是 |
| 分段式 SDO 支持 | 支持分段式 SDO 服务。 | 是 |
| SDO 响应接口 | 如果无法立即生成 SDO 响应，则返回 ABORTIDX_WORKING。 | 是 |
| 诊断支持 | 支持诊断消息。 | 是 |
| 紧急支援 | 支持紧急消息。 | 是 |
| VoE | EtherCAT 服务支持上的厂商特定协议。 | 否 |
| SoE | EtherCAT 服务支持上的 Sercos。 | 否 |
| EoE | EtherCAT 服务支持上的以太网。 | 是 |
| FoE | EtherCAT 服务支持上的文件访问。 | 是 |
| OP 状态需要处理数据 | 从 SafeOP 转换到 OP 状态需要处理数据。 | 是 |
| 显式器件 ID | 处理显式器件 ID 请求。 | 是 |
| 错误计数器 | RX 无效帧计数器端口 0/1 | 是 |
| | RX ERR 计数器端口 0/1 | 是 |
| | 转发的错误计数器端口 0/1 | 是 |
| | ECAT 处理单元错误计数器 | 是 |
| 现场总线内存管理单元 (FMMU) | 通过内部地址映射将逻辑地址转换为物理地址 | 4 |
| 同步管理器 | 确保 EtherCAT 主器件与从器件的本地应用程序之间的数据交换一致且安全 | 4 |
| EtherCat 命令 | NOP、APRD、APWR、APRW、FPRD、FPWR、FPRW、BRD、BWR、BRW、LRD、LWR、LRW、ARMW 和 FRMW | 全部可支持 |
| 处理数据 | 最大输入 | 1024 字节 |
| | 最大输出 | 1024 字节 |
| 循环时间 | 自由运行 | 31.25µs |
| | DC 模式 | 50µs |
| 分布式时钟 | 精度 | 64 位 |
| | SYNC0 | 生成单发和循环模式支持 |
| | SYNC1 | SYNC1 循环时间是 SYNC0 循环时间的倍数 |

2.3 以太网/IP

TI 为多个启用了 ICSS 的器件提供了 EtherNet/IP® 适配器设计。[表 2-3](#) 总结了支持的特性集。

表 2-3. 支持的特性集

| 特性 | 说明 | 实施 |
|------------------|--------------------|---------|
| EtherNet/IP 器件类别 | 适配器 | 是 |
| | 扫描器 | 否 |
| 器件配置文件 | 通用器件 | 是 |
| 器件配置 | EDS 文件 | 是 |
| 连接类型 | 专有权 | 是 |
| | 仅输入 | 是 |
| | 仅侦听 | 是 |
| 连接触发器类型 | 循环 | 是 (1ms) |
| | 触发应用程序 | 否 |
| | 状态变化 | 是 |
| 最大连接数 | 1 级 | 8 |
| | 3 级 | 32 |
| 显式消息 | 连接 | 是 |
| | 未连接 | 是 |
| 标准对象 | 标识对象 (0x01) | 是 |
| | 消息路由器对象 (0x02) | 是 |
| | 组合对象 (0x04) | 是 |
| | 连接管理器对象 (0x06) | 是 |
| | 器件级环形对象 (0x47) | 是 |
| | QoS 对象 (0x48) | 是 |
| | TCP/IP 接口对象 (0xF5) | 是 |
| | 以太网链路对象 (0xF6) | 是 |
| 支持的基本数据类型 | BOOL | 是 |
| | SINT | 是 |
| | INT | 是 |
| | DINT | 是 |
| | LINT | 是 |
| | USINT | 是 |
| | UINT | 是 |
| | UDINT | 是 |
| | ULINT | 是 |
| | REAL | 是 |
| | LREAL | 是 |
| | STRING | 计划 |
| | 字节 | 是 |
| | WORD | 是 |
| | DWORD | 是 |
| | LWORD | 是 |
| | STRING2 | 计划 |
| | SHORT_STRING | 是 |
| | EPATH | 是 |
| | 支持的构造数据类型 | 形式数组 |
| IP 寻址模式 | DHCP | 是 |
| | BOOTP | 是 |
| | 静态 | 是 |

表 2-3. 支持的特性集 (续)

| 特性 | 说明 | 实施 |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| VLAN 标记 | IEEE802.1Q, 3 位 PCP (8 级) | 是 |
| | 交换机队列 | 4 |
| 统计 | 每个接口都支持介质计数器 (双端口交换机) | 是 |
| | 每个接口都支持接口计数器 | 是 |
| CIP 同步 (PTP/IEEE1588) | 支持驱动器配置文件: E2E 时钟 | 是 |
| | UDP 上的 PTP | 是 |
| | 支持透明时钟 | 是 |
| | 支持普通时钟 | 是 |
| | 支持单步和两步时钟 | 是 |
| 支持的网络特性 | 设备级环网技术 (DLR) - 基于信标 | 是 |
| | 地址冲突检测 (ACD) | 是 |
| | 服务质量 (QoS) | 是 |
| | CIP 重置服务 | 类型 0、1 和 2 的标识对象重置服务 |
| 设备级环网技术 (DLR) | 基于信标 | 是 |
| | 自配置 | 是 |
| | 最小信标间隔 | 200µs |
| | 最小信标超时 | 400µs |
| 波特率 | 100Mbit/s | 是 |
| | 10Mbit/s | 是 |
| 双工模式 | 半双工 | 是 |
| | 全双工 | 是 |
| | 自动协商 | 是 |
| 一致性 | | ODVA CT21 |

2.4 IO-Link

TI 为多个启用了 ICSS 的器件提供了 IO-Link® 主器件支持。该设计的主要优势在于将 IO-Link 消息处理转移到 PRU 子系统。因此, 该设计可在低 CPU 负载下提供高性能。

表 2-4. 支持的特性集

| 特性 | 说明 | 实施 |
|----------------|---------------------------------------|----|
| IO-Link 类型 | IO-Link 主站 | 是 |
| IO-Link 标准 | IO-Link 规格 IEC 61131-9 V1.1.4 | 是 |
| | IODD V1.1 | 是 |
| 通信类别 | Com1、Com2、Com3 (4.8、38.4、230.4Kbit/s) | 是 |
| 电报类型 | 全部 | 是 |
| 最大 IO-Link 通道数 | 8 | 是 |
| IO-Link 协议栈 | 硬件接口 (BSP、硬件控制) | 是 |
| | 消息处理程序 | 是 |
| | 应用层 (请求数据对象、处理数据对象) | 是 |
| | 系统管理 | 是 |
| | 数据存储 (主站) | 是 |
| | 通过 API 的标准主接口 | 是 |
| | 通过 UART 的标准主接口 | 是 |
| | 通过 LWIP 实现的标准主接口 | 是 |

表 2-4. 支持的特性集 (续)

| 特性 | 说明 | 实施 |
|------|----------------|----|
| 器件配置 | IO-Link 主站配置工具 | 是 |

2.5 并行冗余协议 (PRP)

TI 处理器目前支持采用 ICSS 的 100M 和 1G PRP。AM64x/AM243x 支持 100M/1G PRP，而 AM335x/AM473x/AM57x 是支持 100M PRP 的其他启用了 ICSS 的器件。基于 ICSS 的设计减轻了接收时删除重复内容的工作。可通过处理器 SDK 的 RTOS 版或 Linux 版获取评估版和量产版软件。

其他资源：

- <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP0054> (RTOS TI 设计)
- <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP-0103> (Linux TI 设计)

2.6 高可用性无缝冗余 (HSR)

TI 处理器目前支持采用 ICSS 的 100M 和 1G HSR。AM64x/AM243x 版本支持 100M/1G HSR，而 AM335x/AM437x/AM57x 是支持 100M HSR 的其他启用了 ICSS 的器件。可通过处理器 SDK 的 RTOS 版或 Linux 版获取评估版和量产版软件。基于 ICSS 的设计支持直通式切换，可进一步减轻接收时删除重复内容的工作以及节点表的维护工作。

其他资源：

- <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP0053> (RTOS TI 设计)
- <http://www.ti.com.cn/tool/cn/TIDEP-0096> (Linux TI 设计)

2.7 OPC UA

Sitara 处理器当前通过采用 PRU-ICSS 或 CPSW 的 TI 以太网 MAC 支持 OPC UA 服务器 (器件或终点)。下面是指向 open62541.org 中的开源 OPC UA 服务器协议栈的链接。

其他资源：

- [TI 设计](#)
- [有关 open62541.org 协议栈的文档](#)

2.8 Modbus TCP/IP

最新的 [IND-COMMS-SDK](#) 通过 PRU-ICSS 为 AM64x、AM243x 和 AM261x 实现了 Modbus TCP/IP 支持。

3 Sitara 对第三方协议栈的支持

对于具有第三方协议栈的 TI 固件所支持的协议，可以从 TI 获取固件和驱动程序，它们可作为附加包在 IND-COMMS-SDK 之上运行或成为 Linux SDK 的集成组件。除了本文档其他章节中列出的协议外，还为 PROFIBUS 提供了固件。在适用于 AM335x、AM437x 和 AM57x 且基于 TI RTOS 的 Processor SDK 较旧版本上，可从附加包 [PRU-ICSS 工业软件包](#) 获得这些协议。通常可通过 TI 的第三方合作伙伴之一购买协议栈。图 3-1 展示了 TI 处理器和 MCU 上的工业通信典型用例，其用于具有第三方协议栈的 TI 固件支持的协议。有关支持 PRU-ICSS 工业通信的所有第三方的完整列表，请参阅 [第三方搜索工具](#)。

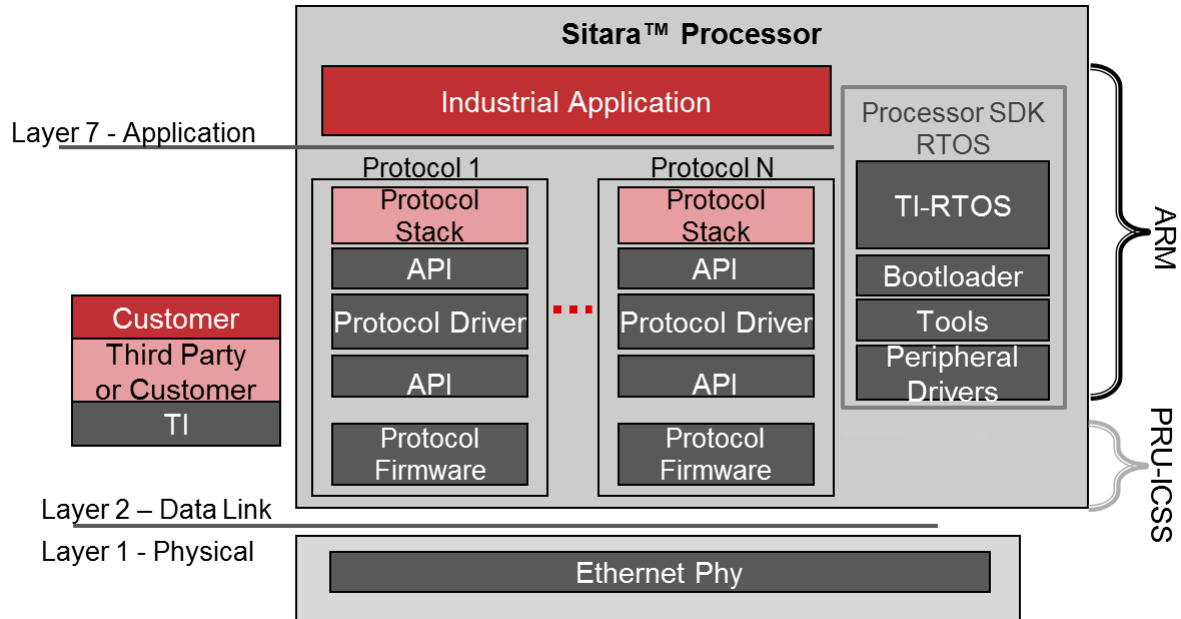


图 3-1. 使用 PRU-ICSS 和第三方或客户协议栈的软件实现方案

4 修订历史记录

| Changes from Revision E (May 2024) to Revision F (September 2025) | Page |
|--|-------------|
| • 从文档标题中删除了 Sitara..... | 1 |
| • 更新了整个文档中的链接..... | 1 |
| • 向 简介 部分添加了更多器件..... | 2 |
| • 更新了 表 2-1 以添加更多信息..... | 2 |
| • 更新了 表 2-2 以反映当前产品..... | 4 |
| • 更新了 表 2-2 以反映当前产品..... | 4 |
| • 更新了该部分以包含 AM243/AM64 1G..... | 7 |
| • 更新了该部分以包含 AM243/AM64 1G..... | 7 |

| Changes from Revision D (September 2021) to Revision E (May 2024) | Page |
|--|-------------|
| • 更新了整个文档中的表、图和交叉参考的编号格式..... | 2 |
| • 更新了 简介 部分..... | 2 |

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司