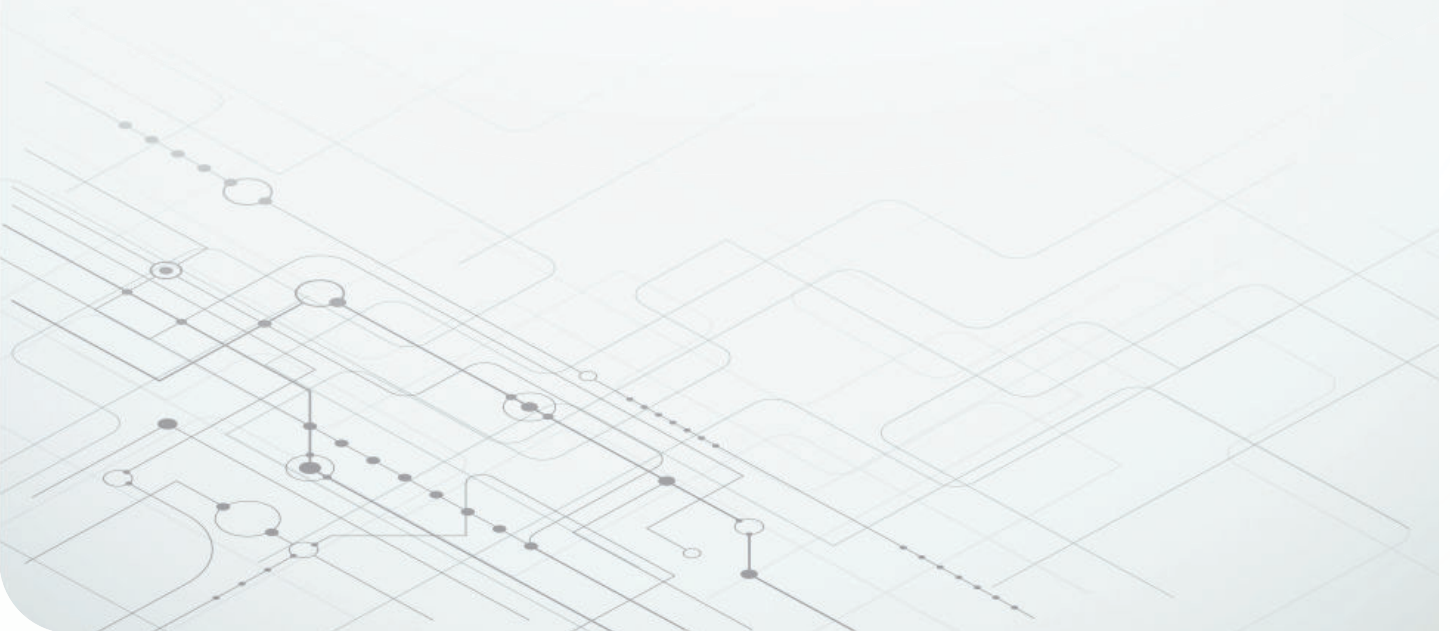


TI Sitara™ 处理器集成 PROFINET® 技术



Assila Ayed, Kamil Alkhouri, Bharath Kartha



摘要

德州仪器 (TI) 已成功将 **PROFINET® 工业以太网标准** 集成到其基于 Sitara™ Arm® 的处理器中，从而能够利用 Siemens ERTEC® 协议栈作为其 PROFINET 实现方案的基础。这种集成支持创建高性能、可靠且高效的工业自动化系统。

Sitara 处理器的工业通信子系统 (ICSS) 基于 TI 的可编程实时单元 (PRU) 技术而构建，可提供专用平台来满足 PROFINET 的实时处理要求。ICSS 具有一个双端口 PROFINET 直通交换机，可将 PROFINET 的处理需求从 Arm 内核卸载，从而优化处理器资源的利用。这种架构方法可确保 Arm 内核的大部分处理能力可用于执行工业应用，从而提高系统性能和效率。

PROFINET 简介

概述

PROFINET 是一种实时以太网标准，面向各种工业应用（包括工厂自动化、过程自动化和楼宇自动化）所需的高速、确定性通信。PROFINET 最初在 Siemens AG 主导下作为常用 PROFIBUS® 现场总线技术的网络扩展而开发，现在得到了 PROFIBUS & PROFINET International 的支持。2003 年，PROFINET 集成到 IEC 61158 和 IEC 61784 标准中。其架构由 30 个工作组开发，其成员代表了 70 多家不同的公司。

采用以太网来支持工业应用，因而可使用 TCP/IP 和 XML 之类已熟悉的技术在公司 IT 部门与工厂车间搭起技术桥梁。虽然标准以太网能够为 IT 类公司提供出色的解决方案，但用于工厂自动化时却存在很多不足。例如，对于工厂自动化中常见的少量数据交换，标准以太网并不能满足要求，而缺乏确定性也说明它不支持电机驱动控制和其他工业实时应用所需的实时运作。PROFINET 是应对这些挑战而使以太网用于实时工业应用的典范。

技术

PROFINET 的系统模型与 PROFIBUS 现场总线系统非常相似。它基于一个或多个 IO 控制器与一个或多个 IO 器件通信的控制器-器件设备通信模式。两种类型的流量通过 PROFINET 网络进行传输：

1. 在网络中的 IO 控制器和 IO 器件之间循环交换的实时过程数据（IO 数据），
2. 作为非循环记录在 IO 控制器和 IO 器件之间或直接在 IO 器件之间交换的非实时流量。

OSI/ISO 模型中的器件模型 PROFINET

PROFINET 是一种第 7 层技术，可为器件配置和参数化、诊断和警报处理、工程和调试提供应用服务，并为用户定义的应用程序提供接口，以生成和使用整个网络中的实际信息。然而，对于实时通信（I/O 数据），为了确保高效、确定性和低延迟性能，PROFINET 会绕过标准 TCP/IP 层，直接在第 2 层使用 Ethertype 0x8892（可能还有高优先级的 VLAN 标记）进行通信。

一致性类别

PROFINET 标准定义了四个相互构建的一致性类别，旨在用于不同的应用和用例：

- **一致性类别 A (CC-A)**：可通过标准以太网硬件实现，并支持基本 PROFINET 功能，例如循环实时 (RT) 通信（更新时间介于 1 至 512ms 之间）、非循环记录交换、参数化、诊断、警报、邻域检测 (LLDP) 和允许在网络上进行并行 TCP/IP 通信的能力。
- **一致性类别 B (CC-B)**：通过 SNMP 进行网络诊断，从而扩展 CC-A；通过两个 IO 控制器（仅为过程自动化 (PA) 配置文件定义）进行系统冗余；以及一些可选功能，例如：更换后器件自动寻址、运行中配置 (CiR)、快速启动 (FSU) 以及通过介质冗余协议 (MRP) 实现网络冗余。值得一提的是，CC-B 引入了具有 IO 器件功能的网络交换机，以提供更全面的网络诊断。

- **一致性类别 C (CC-C):** 借助更新时间小于 250us (根据使用的硬件, 可减少至 31.25us) 的循环等时实时 (IRT) 通信支持, 扩展了 CC-B。通过使用额外的硬件支持实现网络范围内的时间同步和带宽预留, 可以实现这种性能。此外, CC-C 还定义了一些可选功能, 例如: 动态帧打包 (DFP) 和通过计划复制 (MRPD) 协议的介质冗余实现的无缝冗余。
- **一致性类别 D (CC-D):** 这是最先进的 PROFINET 类别。它利用时间敏感网络 (TSN) 功能 (例如时间感知整形器 (TAS) 和帧抢占), 来实现非常高的确定性和低延迟。CC-D 还引入了远程服务接口 (RSI), 通过绕过 TCP/IP 层, 来实现非循环非实时通信以及循环实时通信。

通信

在系统启动期间, IO 控制器根据工程系统中的配置数据, 必须在 IO 控制器和 IO 器件之间建立的通信路径。这就是对数据交换的显式指定。

每个数据交换均嵌入应用关系 (AR) 中。在 AR 中, 通信关系 (CR) 明确指定数据。用于设备建模的所有数据 (包括一般通信参数) 均被下载到 IO 设备。一个 IO 器件可以从不同的 IO 控制器建立多个 AR。可同时设置循环数据交换 (IOCR)、非循环数据交换 (记录数据 CR) 和警报 (警报 CR) 的通信通道。

可以使用多个 IO 控制器, 并且需要多个 IO 控制器来访问 IO 器件中的相同数据, 配置 IO 器件时必须指定此数据共享。

一个 IO 控制器可以建立一个 AR, 每个 AR 具有多个 IO 器件。在 AR 中, 可以使用多个 IOCR 和 API 进行数据交换。这种做法非常有用, 例如, 如果在通信时涉及到多个用户配置文件 (PROFI-drive、Encoder 等) 并且需要不同的子插槽, 就可采取这种做法。指定 API 可用于区分 IOCR 内的数据通信。

寻址

在 PROFINET 中, 在分配 IP 地址时, 将使用分配给每个现场器件的唯一名称。用于此目的的动态配置协议 (DCP) 集成在每个 IO 器件中。

IP 地址的分配是通过基于设备名称的 DCP 协议进行的。动态主机配置协议 (DHCP) 在国际上广泛使用, 因此 PROFINET 提供了通过 DHCP 进行的地址设置 (可选) 或特定于制造商的机制。现场器件支持的寻址选项在相应现场器件的 GSD 文件中定义。

或者, 也可通过指定的拓扑基于相邻检测的机制来自动为 IO 设备指定名称。为直接进行数据交换, PROFINET IO 设备的寻址依据为 MAC 地址。

一致性类别

PROFINET IO 分为三种一致性类别, 一个类别建立在另一个类别之上, 而这些类别均面向典型应用。

- **一致性类别 A (CC-A):** 可通过标准以太网硬件实现, 并支持基本 PROFINET 功能, 例如循环实时 (RT) 通信 (更新时间介于 1 至 512ms 之间)、非循环记录交换、参数化、诊断、警报、邻域检测 (LLDP) 和允许在网络上进行并行 TCP/IP 通信的能力。
- **一致性类别 B (CC-B):** 通过 SNMP 进行网络诊断, 从而扩展 CC-A; 通过两个 IO 控制器 (仅为过程自动化 (PA) 配置文件定义) 进行系统冗余; 以及一些可选功能, 例如: 更换后器件自动寻址、运行中配置 (CiR)、快速启动 (FSU) 以及通过介质冗余协议 (MRP) 实现网络冗余。值得一提的是, CC-B 引入了具有 IO 器件功能的网络交换机, 以提供更全面的网络诊断。
- **一致性类别 C (CC-C):** 借助更新时间小于 250 μ s (根据使用的硬件, 可减少至 31.25 μ s) 的循环等时实时 (IRT) 通信支持, 扩展了 CC-B。通过使用额外的硬件支持实现网络范围内的时间同步和带宽预留, 可以实现这种性能。此外, CC-C 还定义了一些可选功能, 例如: 动态帧打包 (DFP) 和通过计划复制 (MRPD) 协议的介质冗余实现的无缝冗余。
- **一致性类别 D (CC-D):** 这是最先进的 PROFINET 类别。它利用时间敏感网络 (TSN) 功能 (例如时间感知整形器 (TAS) 和帧抢占), 来实现非常高的确定性和低延迟。CC-D 还引入了远程服务接口 (RSI), 通过绕过 TCP/IP 层, 来实现非循环非实时通信以及循环实时通信。

标准器件

PROFINET 标准定义了三种类型的器件：IO 控制器、IO 器件和 IO 监控器。图 1 中提供了工厂内简化网络架构的示例。

IO 控制器：

这通常是与物理过程交互的现场器件，例如传感器器、驱动器或分布式 I/O。此类器件相当于 PROFIBUS 的器件，它可响应来自一个或多个 IO 控制器的连接提供特定于器件的参数和配置选项，并生成诊断信息。由 IO 器件生成的过程数据称为“输入数据”。

IO 监控器：

此类器件可以是用于调试、诊断和维护的编程器件计算机 (PC) 或人机界面 (HMI) 器件。此类器件相当于 PROFIBUS 中的 2 类控制器。IO 监控器可以与 PROFINET 器件建立连接，以读取/写入配置数据，断信息和执行工程任务，而不会中断 IO 控制器和 IO 器件之间的循环通信。与 IO 控制器不同，IO 监控器通常临时连接到网络以进行调试或故障排除，它也不参与循环的实时数据交换。

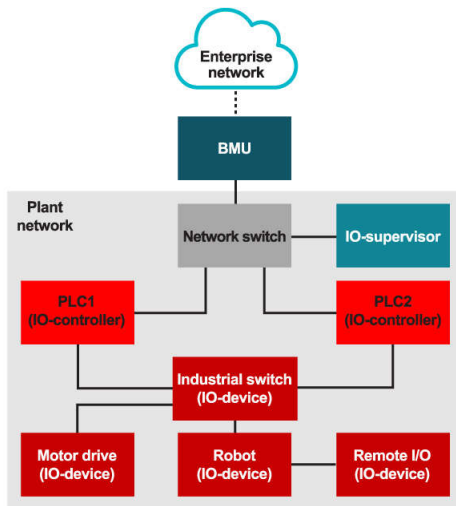


图 1. 工厂网络中的 PROFINET

IO 设备概述

在 IO 器件上运行的每个应用程序进程都通过应用程序进程标识符 (API) 进行标识。在应用程序进程中，IO 器件在层

级上由模块、子模块和通道组成。这些元素可以反映硬件组件或虚拟功能单元。一个模块可以安装在一个或多个插槽中。每个模块应有一个或多个子模块，每个子模块都安装在一个子插槽中。子模块包含一个或多个通道，每个通道表示与进程的单个连接（例如传感器）。图 2 显示了 IO 器件的分层结构，该结构通常以器件接入点 (DAP) 模块开头。

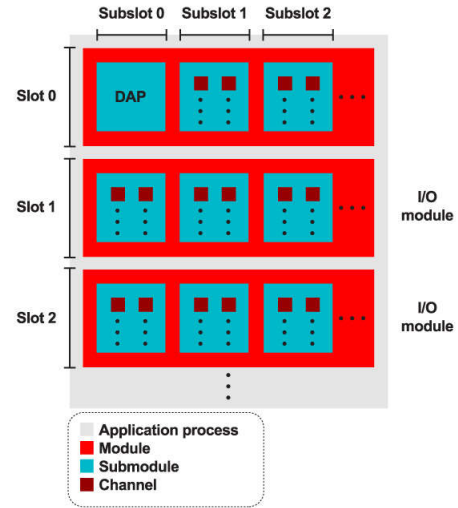


图 2. IO 器件的分层结构

DAP 模块是整个器件的接口。它通常插入 0 号插槽中，包含多达 16 个特殊接口子模块，这些子模块插入编号为 0x8i00（0x8000 至 0x8F00）的子插槽中。其中每个接口子模块都分配了多达 255 个端口子模块，这些子模块插入编号为 0x8ijj 的子插槽中（例如，编号为 0x8000 的接口子模块对应的子插槽编号为 0x8001 至 0x80FF）。

PROFINET 对紧凑型现场设备（在这种设备中，扩展性已由制造商指定，无法由用户更改）和模块化现场设备（在这种设备中，可在配置系统时根据特定应用来自定义扩展性）进行区分。

器件描述

每个 IO 器件都附带一个通用站点描述 (GSD) 文件。这个基于 XML 的 GSD 文件（也称为 GSDML）包含配置和系统工程所需的全部器件特定信息。它描述了器件的功能、参数、模块和通信属性。该文件由器件制造商提供，并采用符合 GSDML 规范的标准化格式。

通信

在系统启动之前，IO 器件必须具有 MAC 地址、IP 地址和工作站名称。MAC 地址通常由设备制造商分配，而站点名称由 PROFINET 工程工具通过发现和基本配置协议 (DCP) 进行配置。通过使用这两个元素，同时利用地址解 (ARP) 和可选的动态主机配置协议 (DHCP) 等其他务，IO 控制器可以为 IO 器件分配唯一 IP 地址，以系统启动阶段做好准备。

正确配置器件的地址后，IO 控制器会启动连接建立。此过程主要包括建立应用关系 (AR) 及其相应的通信 (CR) 以及 IO 器件上配置的子模块的参数化。图 3 展示了 PROFINET 启动序列。

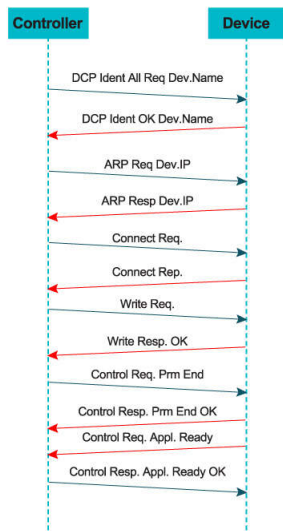


图 3. PROFINET 启动序列

TI 提供的 PROFINET 解决方案

TI 已经将 PROFINET 功能集成到 Sitara 处理器中。Arm 内核和各种用于完善 PROFINET 的外设及接口相结合，使得 Sitara 处理器成为工业自动化设备的不二选择。

受支持的一致性类别和特性

TI 灵活的 PROFINET 协议栈支持 PROFINET 的所有一致性类别，如图 4 中所示。PROFINET 的这种全面集成已通过一致性 C 类认证，具有传统、FSU、MRP、系统冗余 (S2) 以及适用于 AM243x、AM64x 和 AM261x 的共享器件等特性。

除了图 4 中所述的一致性类别之外，第 6.8 段稍后将介绍的 TI PRU 固件还支持一致性类别 D。目前正在开发包括 Profinet 协议栈在内的全面支持。

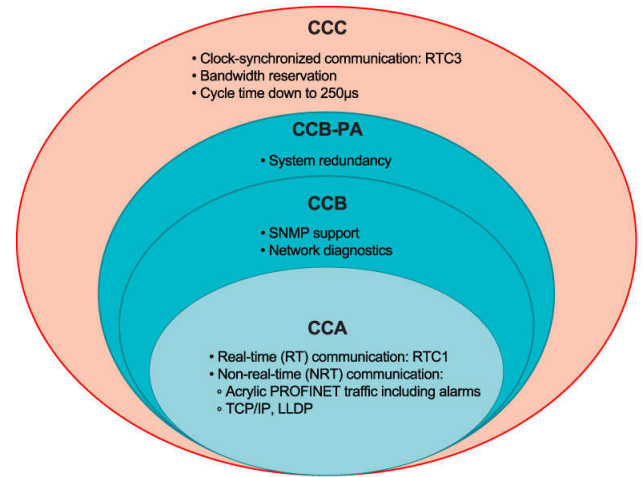


图 4. TI 的 PROFINET 解决方案支持的一致性类别

高可用性

集成到 TI Sitara 处理器的 Profinet 协议栈可通过 MRP、系统冗余 (S2) 和动态重新配置支持，来确保器件的高可用性。

共享器件和共享输入

TI Sitara 处理器上集成的 PROFINET 解决方案支持使用多个控制器同时实现多个 AR。它能够一次性建立多达八个 AR 和八个 IOCR。当它已经在与单独的控制器的 I/O 数据时，还允许其他控制器建立或关闭连接。它支持共享输入，因此允许多个控制器访问器件中的同一插槽。

性能

Sitara 处理器具有集成的、基于 ERTEC 的全功能 PROFINET 解决方案，该解决方案能够支持 250µs 的最短发送时钟时间或相位持续时间，从而确保高计时精度和同步，使其适用于要求严苛的工业自动化应用。它支持 1 到 512 之间全部的减速比有效值。无论帧大小如何，集成式交换机的直通延迟均在 1 到 2 µs 之间。使用一个控制器 AR 在 1ms 周期时间内测得的 CPU 负载为 5%。该器件上

电至第一个有效输出数据约为 470ms，从而确保优化和数据交换功能。

稳健性

全面集成的 Sitara PROFINET 解决方案非常稳健因为它可将 PROFINET 流量与标准 TCP/IP 流量进行它在主机和端口接口上有四个优先级队列。两个优秀的队列预留用于 PROFINET 帧，最后两个队列用 TCP/IP 帧。如果队列已满，则目的地为该队列的帧被丢弃。如果 TCP/IP 流量过多，则不会影响 PROFINET 流量，因为它们使用不同的队列。根据 PROFINET 流量分离到单独的队列中有助于器件承受大型网络中流量。

循环数据专用低延迟接口

集成到 Sitara 处理器上的 PROFINET 针对应用与 PRU 之间的循环 I/O 数据交换实现了一种低延迟实时接口。采用这种接口时，不会分别通过主机和端口队列接收和传输循环数据帧。PROFINET 循环数据帧会在 PRU-ICSS 中终止，然后数据将通过三路缓冲直接提供给应用。此时采用三路缓冲管理来交换循环数据，主机和 PRU-ICSS 便始终能找到用于存储数据的缓冲区。

PROFINET 软件架构

Sitara 处理器上集成的 PROFINET 器件实现方案有三个主要软件组件。第一个软件组件是在器件的 PRU-ICSS 中实现第 2 层功能的微代码；第二个是在 Arm 内核上运行的 PROFINET 器件协议栈；而第三个是工业应用。TI 还在支持其 Sitara 处理器的软件开发套件中提供了其他组件，如协议适应层和设备驱动程序。图 5 中显示了该系统架构。可以参考 TI 的 PROFINET API 指南，进行任何适应性调整。

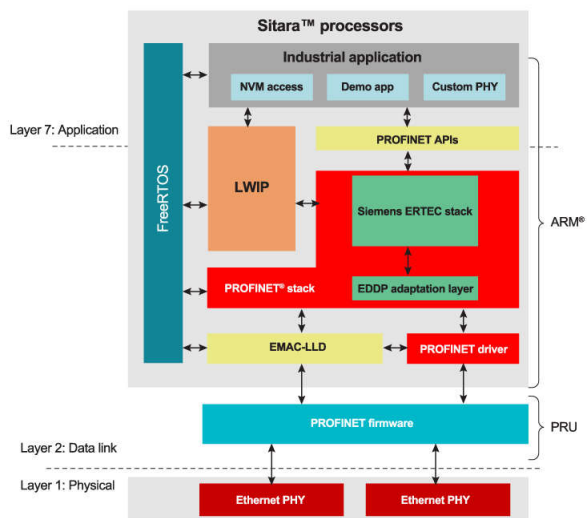


图 5. Sitara 处理器上 PROFINET 器件的软件架构

减轻应用处理器的负载

如图 5 和图 6 中所示，Sitara 处理器配备了 TI 的可编程实时单元工业通信子系统 (PRUICSS)，该子系统将支持与 MII 接口进行底层交互。PRU-ICSS 可以轻松实现专用通信协议，如 PROFINET。与在 Sitara AM261x、AM243x 和 AM64x 上集成的 PROFINET 解决方案一样，整个 PROFINET 交换机可通过固件封装在 PRU-ICSS 中，从而使 Arm 内核能够自由地进行协议栈和应用处理。分析消费者协议机 (CPM) 帧以及生成提供者协议机 (PPM) 帧的任务均由 PRU 全权处理。任何不适用于 PROFINET 节点的帧都会切换至下一个节点，此切换过程由 Sitara 处理器（TI 在其中集成了 PROFINET 协议）上 PROFINET PRU 固件中包含的交换机来执行。这种实现方式允许对比较简单和成本受限的应用（如分布式 I/O）使用速度较低的 Arm 内核版本。

与运行 PROFINET 协议栈（第 7 层）的 Arm 内核之间以及与工业应用之间需要进行的通信采用中断方式完成。PRU-ICSS 还会以反方向执行帧转发。以太网 PHY 器件（例如 TI 的 DP83826、DP83867 或 DP83869）可用于完善 TI Sitara PROFINET 解决方案。DP83826 能够提供很低的不确定性延迟和低功耗，并支持 10BASE-T_e、100BASE-TX 以太网协议，可以满足实时工业以太网系统中的严格要求。DP83867 和 DP83869 可通过 MII、RMII

或 RGMII 接口灵活地连接到 MAC，并且具有低延迟。DP83826、DP83867 和 DP83869 还具有电缆诊断功能，可快速定位电缆故障。该解决方案还支持客户灵活地使用其他 PHY 器件。

固件

图 6 中所示的固件架构显示了 PRU-ICSS 上集成的 PROFINET 器件功能。在 PROFINET 第 2 层，PRU 执行的任务包括 CPM/PPM 处理、数据保持计时器 (DHT)、DCP 识别过滤、ARP 过滤、直通交换、错误检测和主机接口处理。PRU-ICSS 在内部共享存储器中提供便于使用的 PROFINET 寄存器空间。借助 PRU 的可靠实时处理能力，能够以一致且可预测的处理延迟来处理 PROFINET 帧。

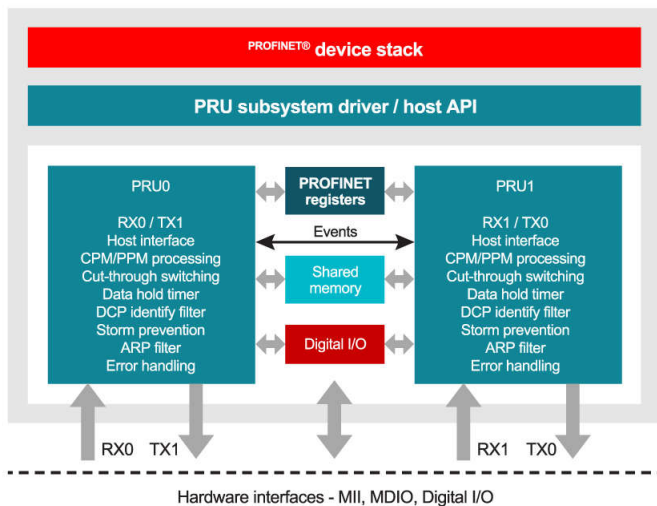


图 6. PROFINET 器件协议栈

CPM/PPM 处理

固件可解析 CPM 帧以检查是否应通知主机处理器。如果接收到的 CPM 帧的帧 ID 与为有效 IOCR 配置的帧 ID 匹配，则仅中断主机。固件可将 CPM 帧存储在预定义的缓冲区中，以便数据在中断之前完全准备好供主机使用。所有有效 IOCR 的 PPM 帧均由 PRU-ICSS 上运行的固件生成/产生。主机只需首先使用 TI 的 PROFINET API 为所有 IOCR 配置 PPM 帧生成所需的全部信息。在每个阶段的开

始，固件会确定在这一特定阶段需要传输哪些 PPM 帧，然后在不需要主机干预的情况下将这些帧传输出来。

数据保持计时器 (DHT)

数据保持计时器在 PRU-ICSS 固件中实现，每当 DHT 到期时，就会向运行 PROFINET 协议栈的 Arm 内核提交中断。对于每个 IOCR 或 CPM 连接，固件都会维持一个 DHT。每当接收到 CPM 帧时，固件都会更新相关 IOCR 的数据保持时间。如果 DHT 针对特定的 CPM 到期，则固件会关闭与该 IOCR 关联的所有 PPM。仅当 DHT 到期时，主机处理器才会中断。可同时存在多个 IOCR，因此在固件中 DHT 会显著减轻 Arm 内核的处理负担。

DCP 识别过滤器

为了减少到达 Arm 内核的 DCP 识别请求帧的数量，PRU-ICSS 固件中采用了 DCP 识别过滤器，以便滤除所有不属于该主机的 DCP 识别帧。驱动程序中提供了一个 API 供协议栈配置站名和长度，以便随后由固件用于进行过滤。

风暴预防和 ARP 过滤器

该协议栈通过在 PRU-ICSS 固件中采用风暴预防技术，可在网络负载条件下提供稳定性。风暴预防是在信用体系的基础上实现的。默认情况下，每 100ms 只允许 100 个广播或多播帧，并且会丢弃所有额外的帧。用户可以通过应用来配置该帧速率。

由于 ARP 帧是广播帧，因此风暴预防功能可确保在收到大量 ARP 帧时，它们将在高网络负载条件下被丢弃。PRU-ICSS 固件中采用的 ARP 过滤器可确保在这种高流量场景下，对定向到 DUT 的 ARP 帧禁用风暴预防功能。该过滤器可确保协议栈在各类网络负载测试中满足合规要求。

集成式直通交换

处理非实时流量，并可与主机上运行的 PROFINET 和 TCP/IP 协议栈连接。它使用主机和端口接口上的四个优先级队列，为多播地址和 PROFINET 服务质量 (QoS) 实现 PROFINET 过滤器数据库 (FDB)。交换机的学习部分在主机端实现。

轻松进行 PROFINET 集成

TI 简化了 PROFINET 与 Sitara 处理器的集成过程。集成 PROFINET 器件所需的全部工具和软件代码都可作为 **工业通信软件开发套件 (IND-COMMS-SDK)** 的一部分提供，即 PROFINET 固件、驱动程序、IP 协议栈、PROFINET 协议栈 PROFINET API 以及经过认证的开箱即用示例，使客户能够缩短产品上市时间。支持文档将指导用户如何修改应用的功能以及在应用中编译新功能。

终端产品上的集成式 PROFINET

为了将 PROFINET 器件集成到工业设备中，客户可采用 TI 在 Sitara 处理器上开发的集成式 PROFINET 协议栈实现方案，该协议栈可从 TI.com 下载。TI 还提供不同的客户支持包，并且可以通过定制 PCB 设计为客户提供定制项目支持。客户应使用 PI 网站上提供的最新 PROFINET 测试捆绑包来通过所有一致性测试，而 TI 提供了预认证的 PROFINET 开发套件，因此这些测试很容易通过。他们还可在 PROFINET 互操作性测试活动上执行更广泛的互操作性测试，并通过 PI 测试实验室的产品认证。

PROFINET 开发工具

为协助客户完成设计，TI 提供了多个工业硬件开发平台并配以完备的文档。这些硬件平台的设计数据（如原理图和布局）可显著加快客户的设计速度。

总结

TI 在 Sitara 处理器上提供全面集成的 PROFINET 器件功能。PROFINET 与功能强大的低功耗 Arm 内核集成，可在不影响功能或性能要求的情况下打造出成本更低的终端产品。TI 还针对工业通信接口（如 EtherCAT®、EtherNet/IP™、PROFIBUS® 等等）提供具有内置隔离功能的收发器。凭借全面的软件和硬件开发工具、全球范围的 PROFINET 支持以及活跃的 **TI E2E™ 开发者社区**，客户有望显著简化 PROFINET 集成并实现显著成本节约等更多优势。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.
PROFINET® is a registered trademark of PROFIBUS Nutzerorganisation e.V..
Arm® is a registered trademark of Arm Limited.
ERTEC® is a registered trademark of Siemens Aktiengesellschaft.
所有商标均为其各自所有者的财产。

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