

Technical White Paper

针对基于 Arm® 的微控制器和 处理器的工业通信协议支持



Michael Firth

Arm®-based Processors

摘要

工业通信协议将管理和控制系统连接到工厂车间设备，从而实现过程数据的连续收集和交换。这些过程数据用于做出实时控制决策以及长期的过程优化，从而通过提高吞吐量、产品质量和设备利用率来降低工厂成本。

本文概述了 TI AM243x 和 AM64x 系列基于 Arm® 的微控制器 (MCU) 和处理器的工业通信协议支持选项。介绍了 EtherCAT®、PROFINET®、EtherNet/IP™、HSR、PRP 和 TSN 支持选项。

内容

1 引言.....	2
2 工业通信术语.....	3
3 工业通信功能支持.....	4
4 工业通信 器件 支持.....	6
5 工业通信 控制器 支持.....	8
6 PRP 支持.....	9
7 HSR 支持.....	10
8 TSN 支持.....	11
9 总结.....	12
10 其他资源.....	12

插图清单

图 2-1. 同时显示 控制器 和 器件 的示例网络.....	3
图 3-1. AM64x 方框图.....	5
图 4-1. AM243x、AM64x 工业通信软件支持选项.....	6
图 6-1. PRP 网络示例.....	9
图 6-2. SAN 连接到 PRP 网络.....	9
图 7-1. HSR 网络示例.....	10
图 8-1. TSN 标准分组.....	11

表格清单

表 2-1. 按协议划分的行业术语.....	3
表 3-1. 工业通信产品特性选项.....	4
表 4-1. TI 提供的 器件 软件 (选项 F).....	6
表 4-2. 第三方 器件 软件选项.....	6
表 4-3. AM243x、AM64x 器件选项以及 TI 提供的软件 (选项 F).....	7
表 5-1. 第三方 控制器 软件选项.....	8
表 5-2. TI 提供的 控制器 软件 (选项 F).....	8
表 9-1. AM243x 工业通信支持摘要.....	12
表 9-2. AM64x 工业通信支持摘要.....	12

1 引言

由于高带宽、可靠性和实时确定性性能，EtherCAT、PROFINET、EtherNet/IP 和时间敏感网络 (TSN) 正在迅速赢得工业通信市场份额。这些协议通常用于工厂自动化和控制应用，例如可编程逻辑控制器 (PLC)、电机控制、机器人、工厂管理系统以及现场传感器和传动器。

高可用性无缝冗余 (HSR) 或并行冗余协议 (PRP) 是高可用性以太网协议，可在节点或链路发生故障时维持网络运行。HSR 和 PRP 常见于电网等网络中，此类网络每周 7 天、每天 24 小时运行，无法承受任何停机时间。

TSN 是一组相对较新的 IEEE 802.1 标准，向以太网添加了实时的确定性服务。TSN 支持工厂自动化和控制应用以及高可用性应用。许多人认为 TSN 是未来占主导地位的工业通信技术。

AM243x 和 AM64x 系列基于 Arm 的 MCU 和处理器专为支持工业通信协议而设计。这两个系列均具有双千兆位工业通信子系统 (ICSSG)、多个 1Gbps 以太网端口和多个 Arm CPU 内核，可支持工业通信协议和实时控制环路等应用。

2 工业通信术语

遗憾的是，不同的协议使用不同的术语来指代连接到工业网络的两种类型的器件。例如，EtherCAT 使用术语主器件和子器件，而 EtherNet/IP 使用扫描仪和适配器。德州仪器 (TI) 在本文中使用术语**控制器**和**器件**。

表 2-1. 按协议划分的行业术语

德州仪器 (TI)	控制器	器件
EtherCAT	主	子器件
PROFINET	控制器	器件
EtherNet/IP	扫描仪	适配器
CC-Link	控制器	器件

工业通信网络通常有一个**控制器**，其任务是管理和控制各种网络**器件**。过程数据在**控制器**和网络**器件**之间持续交换，用于做出实时的过程控制决策以及长期的过程优化。**控制器**可利用机器学习算法对过程数据进行高级分析，也可以简单地根据现场**器件**的简单模拟或数字反馈发出命令。高级**控制器**功能的一个例子是机械臂的多轴运动规划，机械臂的运动由多个伺服电机 (**器件**) 控制。

从硬件的角度来看，**控制器**在符合标准的以太网端口上运行，而**器件**通常需要特殊的以太网硬件。

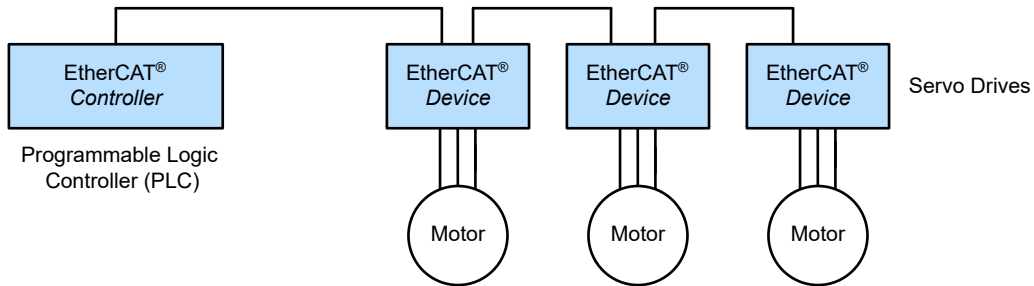


图 2-1. 同时显示**控制器**和**器件**的示例网络

3 工业通信功能支持

AM243x MCU 和 AM64x 处理器系列包含多种不同的配置，可支持各种应用和性能要求。处理 CPU 内核、工业通信支持、外设组合和功能安全支持的数量因所选的器件选项而异。

给定 AM243x MCU 或 AM64x 处理器的工业通信支持级别由器件的功能代码表示，它是器件型号的第九位数字。字母 **C**、**D**、**E** 和 **F** 表示有四种支持级别。例如，器件型号 AM6442BSFGHAALV 中的“**F**”表示该器件支持工业通信协议，并且包括 TI 的工业通信软件栈。

表 3-1 列出了 AM243x 和 AM64x 系列可用的工业通信功能选项及相关硬件和软件支持。

表 3-1. 工业通信产品特性选项

特性选项	特性	说明
C	2 × 可编程实时单元子系统	多达 80 个实时 GPIO，具有 3ns 切换和 6ns ISR。直接连接到 ADC 或其他器件，无需使用小型 FPGA。未启用工业通信协议、标准以太网和电机控制功能，但 CPSW 以太网交换机已启用。
D	选项 C + 对工业通信协议的硬件支持	增加了对 ICSSG 工业通信功能集的支持，包括通过 4 × ICSSG 10/100/1000 以太网 MAC 端口 (MII 和 RGMII 接口)、36 × Δ - Σ 抽取滤波器和 12 × 多协议编码器接口 (HDSL、EnDAT 2.2、Tamagawa 等) 实现工业通信支持 备注 ICSSG 功能集支持取决于器件的配置方式以及引脚和引脚 MUX 选项的相应可用性。
E	选项 D + EtherCAT 和 CAN-FD 支持	增加了 EtherCAT 器件 硬件加速器和 CAN-FD 支持；EtherCAT 器件 和 CAN-FD 许可证包含在购买价格中。需要特性选项 E 或 F 来运行 EtherCAT 器件 协议
F	选项 E + TI 工业通信协议软件	包括 EtherNet/IP、EtherCAT、PROFINET RT 和 IRT 器件 以及 IO-Link 控制器 认证的工业网络软件栈 (R5F 二进制文件)

提供以下定义供参考：

CPSW 表示通用平台开关。CPSW 支持多达 2 个独立的 10/100/1000Mbps 以太网 MAC 或单个 3 端口 10/100/1000Mbps 以太网交换机 (2 个外部端口 + 1 个内部端口)。CPSW 模块支持 TSN。

ICSSG 表示工业通信子系统千兆位。ICSSG 是一款具有以太网和工业通信硬件加速器的软件可编程实时处理模块。ICSSG 支持 10/100/1000Mbps 以太网和工业通信 **器件** 协议。每个 ICSSG 模块最多可支持 2 个独立以太网端口或单个 3 端口以太网交换机 (2 个外部端口 + 1 个内部端口)。TI 在软件开发套件 (SDK) 中为许多工业通信协议提供了 ICSSG 固件二进制文件，可在器件特性选项 **F** 上运行。ICSSG 模块支持 TSN。

图 3-1 展示了支持工业通信协议的 AM64x 处理器的主要功能块。AM243x MCU 与 AM64x 处理器相同，只是 AM243x 没有 Arm® Cortex® -A53 CPU 内核，因此无法支持基于 Linux® 的协议软件栈。

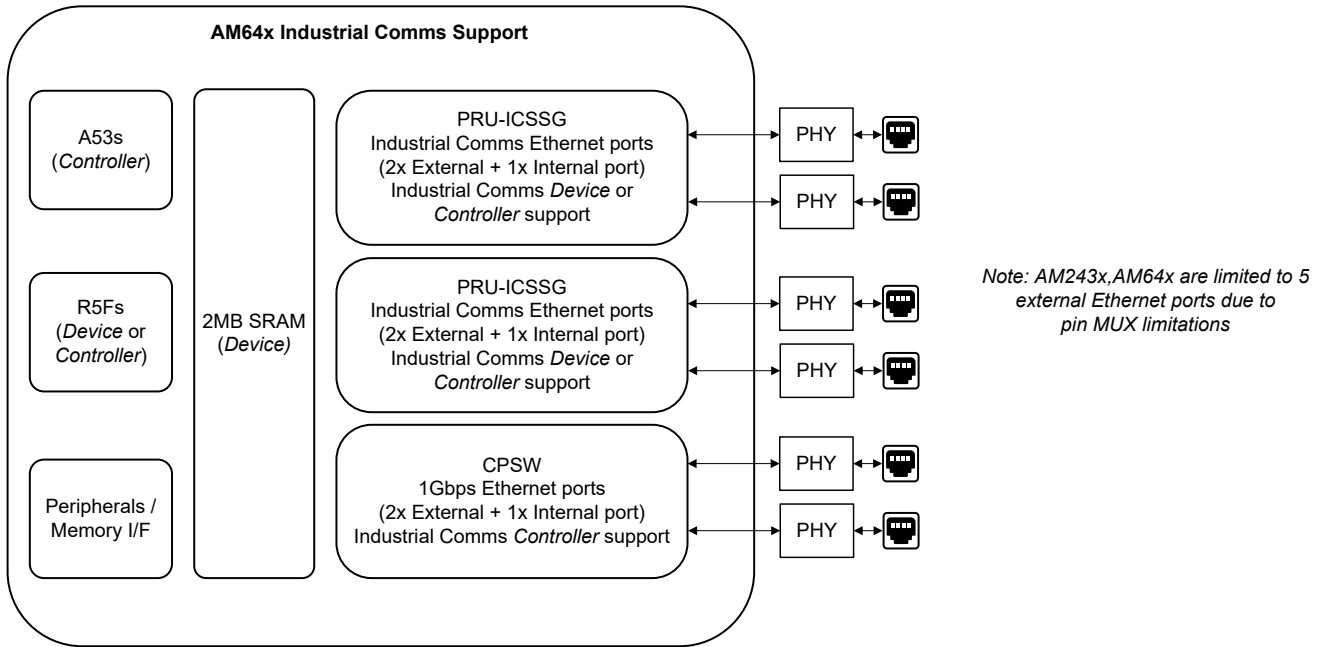


图 3-1. AM64x 方框图

以下列表描述了 AM64x 方框图：

- AM64x、AM243x 最多支持 5 个 1Gbps 以太网端口（有 6 个以太网 MAC，但由于引脚 MUX 限制，只能支持 5 个外部端口）
- PRU-ICSSG 是基于固件的模块，支持 1Gbps 器件、控制器、TSN 和标准以太网。可配置为 3 端口交换机（2 个外部端口 + 1 个内部端口）或 2 个独立端口。
- CPSW 是支持 1Gbps 控制器、TSN 和标准以太网的硬 IP 以太网模块。可配置为 3 端口交换机（2 个外部端口 + 1 个内部端口）或 2 个独立端口。
- 工业通信器件协议在 R5F 上运行
- 工业通信控制器协议在 A53 或 R5F 上运行
- 1Gbps HSR 和 PRP 仅在 PRU-ICSSG 和 A53 上运行
- 当配置为交换机时，PRU-ICSSG 和 CPSW 都支持直通交换。

4 工业通信器件支持

AM243x MCU 和 AM64x 处理器系列都包含一些选项，其中包括 TI 提供的工业通信 **器件** 协议软件栈以及第三方提供的协议栈。购买器件特性选项 F 时随附 TI 提供的协议栈，如表 3-1 所示，并已在 AM243x、AM64x 评估硬件上获得认证。器件特性选项 D、E 和 F 支持第三方栈。

TI Protocol Software Stacks	Third-party Protocol Software Stacks
Fully bundled solution directly from TI	Stacks licensed from third parties
One license for all TI-offered stacks	Separate license per protocol
Licensing included with product purchase	Licenses available as buyout, per project, and per family
Stack support directly from TI	Stack support from third party
Stack certified using TI EVM	Certified solutions
Purchase AM243x or AM64x product feature F	Purchase AM243x or AM64x product feature D, E, or F

图 4-1. AM243x、AM64x 工业通信软件支持选项

所有 **器件** 协议都在其中一个 Arm Cortex-RF5 CPU 内核 (FreeRTOS) 上运行，并且需要 ICSSG 模块 (**器件** 协议不在 CPSW 以太网交换机上运行)。

产品特性选项 **E** 和 **F** 包含 EtherCAT **器件** 许可证和片上 EtherCAT **器件** 硬件加速器。(只有 **E** 和 **F** 两个选项可以运行 EtherCAT **器件** 软件。)

表 4-1 列出了购买选项 **F** 时随附的软件栈。可在 AM243x SDK 和 AM64x SDK 中找到 **器件** 协议的演示版本和示例应用程序代码。表 4-2 列出了为 AM243x 和 AM64x 提供 **器件** 协议支持的第三方。

表 4-1. TI 提供的 **器件** 软件 (选项 F)

协议支持	最短周期时间	支持的主要特性
EtherCAT 器件	31.25 μ s	CiA402、基于 EtherCAT 的 CAN (CoE)、伺服驱动器配置文件 (SoE)、基于 EtherCAT 的以太网 (EoE)、基于 EtherCAT 的文件访问 (FoE)、分布式时钟
EtherNet/IP 器件	1ms	地址冲突检测 (ACD)、服务质量 (QoS)、器件级环形 (DLR)、精确时间协议 (PTP)
PROFINET 器件	1ms (RT) 250 μ s (IRT)	一致性类别 A、B (RT) 和 C (IRT)、精确时间控制协议 (PTCP)、介质冗余协议 (MRP)

表 4-2. 第三方 **器件** 软件选项

第三方	网站
Cannon-Automata	www.cannon-automata.com
CouthIT	www.couthit.com
Kunbus	www.kunbus.com
Molex	www.molex.com
端口	www.port.de
TMG	www.tmgte.de

有关 TI 第三方网络的更多信息，请参阅 TI 的 [合作伙伴目录](#)。

表 4-3 列出了包含 TI 软件栈的 AM243x 和 AM64x 器件选项。

表 4-3. AM243x、AM64x 器件选项以及 TI 提供的软件 (选项 F)

器件	类型	CPU 内核	速度等级	TSN	EtherCAT 器件	PROFINET 器件	EtherNet/IP 器件	IO-Link 控制器
AM2432	MCU	2 × R5F	800MHz 和 400MHz	x	x	x	x	x
AM2434	MCU	4 × R5F	800MHz	x	x	x	x	x
AM6421	处理器	1 × A53 2 × R5F	A53 : 1GHz R5F : 800MHz	x	x	x	x	x
AM6441	处理器	1x A53 4x R5F	A53 : 1GHz R5F : 800MHz	x	x	x	x	x
AM6442	处理器	2x A53 4x R5F	A53 : 1GHz R5F : 800MHz	x	x	x	x	x

有关支持的工业通信协议的更多信息，请参阅 [Sitara™ 处理器和 MCU 支持的工业通信协议](#) 应用手册。

5 工业通信控制器支持

德州仪器 (TI) 与许多第三方紧密合作，支持 AM243x MCU 和 AM64x 处理器上的工业通信 **控制器** 协议。大多数 **控制器** 协议不需要特殊的以太网 MAC 硬件，并且可以使用 CPSW 或 ICSSG 在任何 AM243x 和 AM64x 器件选项上运行。

表 5-1 列出了 AM243x 和 AM64x 第三方 **控制器** 软件支持选项。

表 5-1. 第三方 **控制器** 软件选项

第三方	系列	网站
Acontis	AM64x AM243x	www.acontis.com
Cannon Automata	AM64x	www.cannon-automata.com
Codesys	AM64x	www.codesys.com
CouthIT	AM64x	www.couthit.com
IBV	AM64x AM243x	www.ibv-augsburg.de
Molex	AM64x	www.molex.com
端口	AM64x	www.port.de
TMG	AM64x	www.tmgte.de

有关 TI 第三方网络的更多信息，请参阅 TI 的 [合作伙伴目录](#)。

表 5-2 列出了购买特性选项 F 时随附的 **控制器** 软件栈。可在 [AM243x SDK](#) 和 [AM64x SDK](#) 中找到 **控制器** 协议的演示版本和示例应用代码。

表 5-2. TI 提供的 **控制器** 软件 (选项 F)

协议支持	最短周期时间	支持的主要特性
IO-Link 控制器	支持所有通信类别	每个 ICSSG 多达 8 通道 IO-Link 控制器 ，IO-Link 标准符合标准化主接口 (SMI)

6 PRP 支持

快速生成树协议 (RSTP) 和介质冗余协议 (MRP) 是以太网中常用的两种协议，支持高可用性应用。RSTP 的故障恢复时间以秒为单位测量，而 MRP 的恢复时间以毫秒为单位测量。对于大多数网络来说，这些恢复时间已经足够了。但对于需要零恢复时间和零停机时间的任务关键型网络，通常使用 PRP 和 HSR 等协议。

PRP 是一项 IEC 标准 (IEC 62439-3 第 4 条)，可保护以太网免受单点故障的影响，提供高可用性运行和零停机时间。在节点或链路发生故障以及设备维护或更换周期期间，PRP 网络可以保持运行。

PRP 通过使用两个独立网络提供高可用性服务。PRP 节点有两个具有相同 MAC 地址的以太网端口，称为双连接节点 (DAN)。每个以太网端口连接到两个独立网络中的一个。当一个节点需要与另一个节点通信时，该节点会通过两个网络将重复的帧发送至目标节点。接收后，目标节点将第 1 个帧传递给应用层，并丢弃第 2 个帧。

单端口以太网设备可通过使用连接到两个网络的冗余盒 (RedBox) 连接到 PRP 网络。单端口节点称为单访问节点 (SAN)。

PRP 网络的缺点之一是需要两个独立的网络以及由此产生的高成本。使用标准现成的 802.1 兼容网络设备可在一定程度上抵消 PRP 网络的总成本。

根据 IEC 61850 标准，PRP 适用于变电站。

AM243x SDK 包括对 100Mbps PRP 的支持，AM64x SDK 包括对 1Gbps PRP 的支持。详细信息请见表 9-1 和表 9-2。

图 6-1 展示了源节点同时向两个独立网络发送重复帧。如果两个网络之一中存在故障点，其中一个帧仍有到达目标节点的路径。

图 6-2 展示了通过 RedBox 连接到 PRP 网络的 SAN。

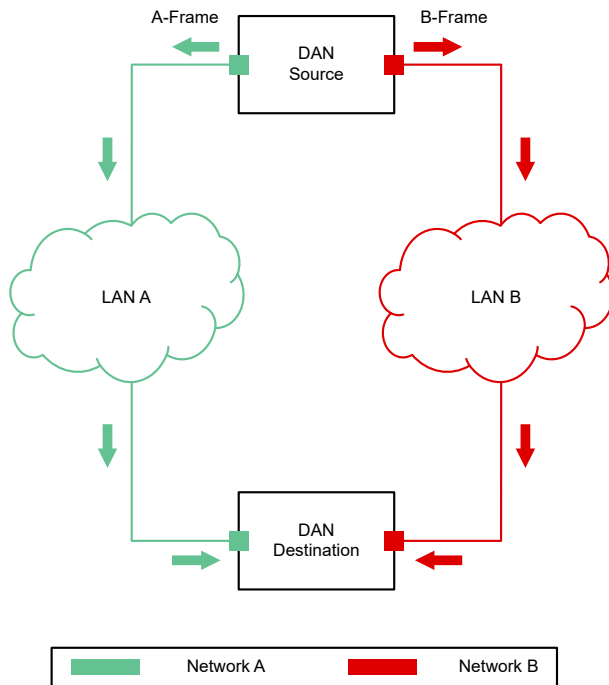


图 6-1. PRP 网络示例

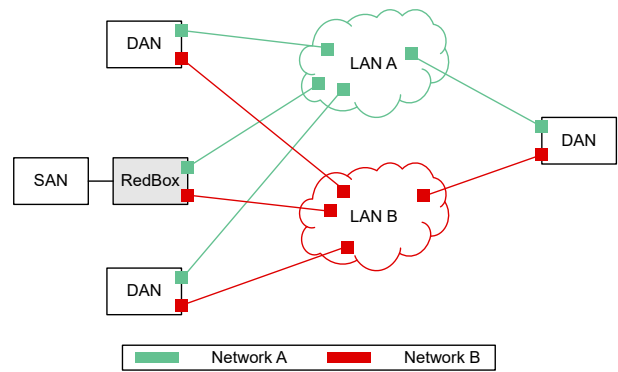


图 6-2. SAN 连接到 PRP 网络

7 HSR 支持

HSR (IEC 62439-3 条款 5) 与 PRP 一样支持高可用性、零停机时间网络。但 HSR 使用的是环形拓扑，而不是两个独立的网络。当节点需要使用网络时，该节点会在环上以相反的方向发送重复的以太网帧。目标节点接收到的第 1 个帧被传递到应用层，而第 2 个帧被丢弃。

在环形拓扑中，每个节点的转发延迟至关重要。转发延迟是接收然后将帧传回振铃所需的时间。随着网络规模的增大，节点数量增加，总延时也随之增加。为将延时降低至可接受的水平，需要使用高速直通交换。

与 PRP 网络类似，HSR 提供零恢复时间的高可用性服务，并且可以在维护或设备更换周期中保持正常运行。如果不符合 HSR 的器件需要连接到 HSR 网络，可以使用 RedBox。

HSR 网络的缺点之一是需要特殊硬件来支持 HSR 直通交换，这会增加网络成本。过去，FPGA 曾用于 HSR 网络，但 FPGA 往往比较昂贵。AM64x 等现成的处理器选项可支持高性能直通交换，有助于降低 HSR 部署成本。

根据 IEC 61850 标准，HSR 适用于变电站。

AM243x SDK 包括对 100Mbps HSR 的支持，AM64x SDK 包括对 1Gbps HSR 的支持。详细信息请见表 9-1 和表 9-2。

图 7-1 展示了一个源节点在环形上同时在两个方向发送两个帧副本。如果其中一个连接的网络链路或节点出现故障，其中一个帧仍有一条到达目标节点的路径。

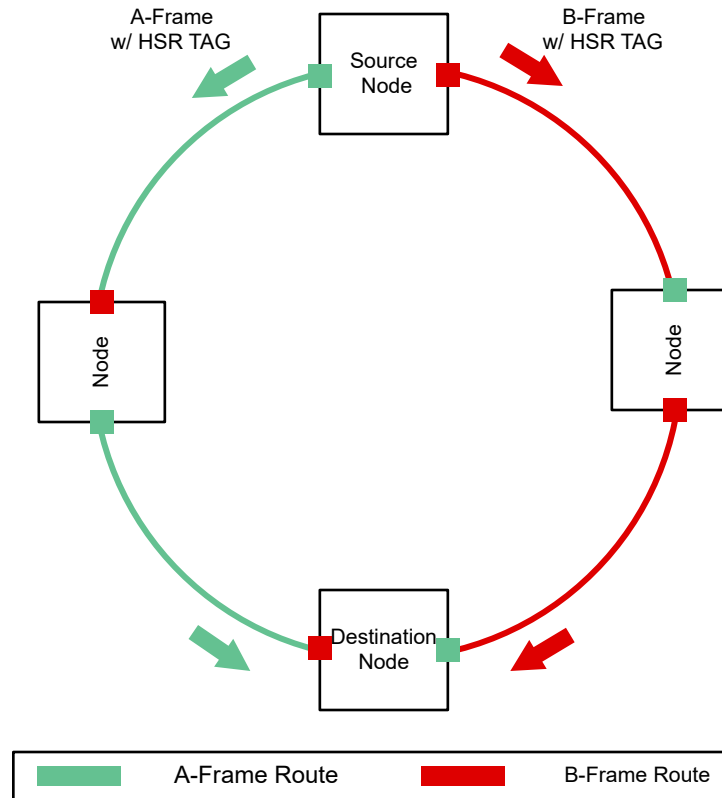


图 7-1. HSR 网络示例

8 TSN 支持

TSN 是由 802.1 工作组 (WG) 开发的 IEEE 标准集合，向以太网添加了实时的确定性服务。TSN 在确定性和更短延时方面提供与当前工业通信协议类似级别的性能，但增加了额外的特性、灵活性以及作为 IEEE 标准的优势。TSN 的开发旨在支持工业、汽车、航空和航天以及音频、视频网络。

TSN 实现了信息技术 (IT) 和运营技术 (OT) 网络的融合，使实时和非实时流量以 Gbps 的速度共享一个通用网络。

单个 TSN 标准可以分为 4 个服务类别：

1. **时间同步**：为了支持实时的确定性网络服务，每个网络元素必须共享一个通用的时间定义。802.1 AS-2020 基于 IEEE 1588v2 PTP，并提供基于 Grand Master 定时源的定时同步，精度在 $\pm 1 \mu s$ 以内。
2. **实时确定性**：802.1AS-2020 以及流量整形、双缓冲和桥接同步、帧占先和直通交换，支持同一网络上的实时确定性流量和非时间关键型流量。IT 和 OT 流量可共用一个公共网络，显著降低部署和网络管理成本。
3. **高可用性网络**：TSN 支持与 HSR 和 PRP 类似的高可用性、零停机时间性能。
4. **网络管理和配置**：TSN 使用业界通用 YANG 数据模型和 NETCONF 定义了一种通用网络管理和配置方法，以简化和降低网络管理成本。IT 和 OT 网络流量均可通过通用工具集进行管理。

图 8-1 列出了按功能分组的当前发布的 TSN 标准。网络中实施的具体标准取决于网络的性能和功能集要求。当前许多 TSN 网络仅支持 802.1AS-2020 (时间同步) 和 802.1Qav (基于信用的流量整形)。

TSN 工作组正在研究其他标准以及对现有标准的修订。IEEE 802.1 工作组成员可在 IEEE 802.1 网站上访问标准草案。

Time Synchronization	High Availability Networking
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 802.1 AS-2020 : Time Synchronization 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 802.1CB : Frame Replication and Elimination for Reliability <input type="checkbox"/> 802.1Qca : Path control and Reservation <input type="checkbox"/> 802.1Qci : Per-Stream Filtering and Policing
Real-time deterministic performance	Network Management and Configuration
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 802.1Qav : Credit Based Traffic Shaper <input type="checkbox"/> 802.1Qbu : Frame Preemption <input type="checkbox"/> 802.1Qbv : Time-Aware Traffic Shaper <input type="checkbox"/> 802.1Qch : Cyclic Queuing and Forwarding <input type="checkbox"/> P802.1DU : Cut-through switching 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 802.1Qat : Stream Reservation Protocol (SRP) <input type="checkbox"/> 802.1CS : Link-local Registration Protocol <input type="checkbox"/> 802.1Qcc : Enhancements to SRP <input type="checkbox"/> 802.1QCP : YANG Data Model <input type="checkbox"/> 802.1Qcx : YANG Data Model for Connectivity Fault Mgmt

图 8-1. TSN 标准分组

当今的工业通信协议会进行修改，以与 TSN 共存。主要思路是在 OSI 模型的第 1 层和第 2 层使用 TSN，并在第 3-7 层实现工业通信协议。这样便可实现两全其美，延长现有工业协议的使用寿命，并利用行业标准来降低设备成本和简化硬件开发。示例包括基于 TSN 的 PROFINET、基于 TSN 的 EtherNet/IP、基于 TSN 的 OPC UA 和 CC-Link IE TSN。

所有 AM243x 和 AM64x 器件选项 (在 CPSW 和 ICSSG 上) 都支持 TSN。有关受支持的特定 TSN 标准，请参阅 [AM243x SDK](#) 和 [AM64x SDK](#)。表 9-1 和表 9-2 总结了 AM243x 和 AM64x TSN 支持。

有关 TSN 的更多信息，请参阅 [面向工业自动化的时间敏感型网络](#) 白皮书。

9 总结

工业通信协议是现代工厂的关键要素，它将工厂设备连接到控制和管理系统，从而提高生产效率并降低总拥有成本。AM243x MCU 和 AM64x 处理器系列支持大量由 TI 直接提供或通过强大的第三方生态系统提供的不同工业协议。表 9-1 总结了 AM243x 工业协议支持情况，而表 9-2 总结了 AM64x 工业通信协议支持情况。

表 9-1. AM243x 工业通信支持摘要

协议	10/100/1Gbps 支持	TI SDK 或第三方	ICSSG 支持	CPSW 支持	R5F 支持
HSR ⁽¹⁾	10/100Mbps	TI SDK	是	否	是
PRP ⁽¹⁾	10/100Mbps	TI SDK	是	是	是
TSN	是	TI SDK	是	是	是 (FreeRTOS)
工业通信 器件	是	TI SDK (功能选项 F) 或第三方	是	否	是 (FreeRTOS)
工业通信 控制器	是	第三方	是	是	是 (FreeRTOS)

(1) 计划在将来提供 1Gbps HSR 和 PRP 支持。请通过 [TI 的 E2E](#) 查看当前软件状态

表 9-2. AM64x 工业通信支持摘要

协议	10/100/1Gbps 支持	TI SDK 或第三方	ICSSG 支持	CPSW 支持	A53 支持	R5F 支持
HSR	是	TI SDK	是	否	是 (Linux)	10/100Mbps
PRP	是	TI SDK	是	是	是 (Linux)	10/100Mbps
TSN	是	TI SDK	是	是	是 (Linux)	是 (FreeRTOS)
工业通信 器件	是	TI SDK (功能选项 F) 或第三方	是	否	否	是 (FreeRTOS)
工业通信 控制器	是	第三方	是	是	是 (Linux)	是 (FreeRTOS)

10 其他资源

- 德州仪器 (TI), [AM64x/AM243x 评估模块 用户指南](#)
- 德州仪器 (TI), [AM243x 工业通信评估模块](#)
- 德州仪器 (TI), [AM64x 工业通信评估模块](#)
- 德州仪器 (TI), [Sitara™ 处理器和 MCU 支持的工业通信协议 应用手册](#)
- 德州仪器 (TI), [面向工业自动化的时间敏感网络 白皮书](#)
- 德州仪器 (TI), [合作伙伴目录](#)
- 德州仪器 (TI), [AM243x 软件开发套件 \(SDK\)](#)
- 德州仪器 (TI), [AM64x 软件开发套件 \(SDK\)](#)

重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司