
基于 TSN 技术的工业网络解决方案

华为技术有限公司

网络改造技术篇/前沿技术/工厂内网改造

1 概述

1.1 背景

众所周知，以太网已经成为家庭、企业及数据中心网络连接和互通的最广泛的通信协议标准。然而因为其确定性、实时性、可靠性等因素，传统以太网并不适用于工业数据通讯。例如以太网存在的 CSMA/CD 机制，当网络出现冲突时需不断重发数据，这对于网络实时性带来挑战；另外，因工业现场面临恶劣的工况、严重的线间干扰等，也导致以太网可靠性大打折扣。

而工业以太网，相较于传统以太网、现场总线等在实时性、传输速率等方面都有明显的改观，并已经占据了以太网市场的半壁江山。

不过，这些专有的工业以太网协议仍然面临瓶颈，虽然它们在满足机器运动控制等方面已经绰绰有余。因为当云计算、大数据技术逐渐渗透到工业领域，工业数据通讯不再仅限于机器到传感层，也不仅限于机器到机器之间，而是扩展到了与人、云和应用等更丰富的连接，有更多类型和更多海量的数据需要传输和处理，而对于数据处理的链条也变得更长，包括在边缘侧，包括

云端，包括与企业生产系统和管理系统的逐步打通。因此，如何应对通过更高带宽进行海量数据的联接和传输，如何做到更精准的确定性控制和更低时延，仍是工业制造面临的巨大挑战。

1.2 实施目标

TSN+OPC UA 组合提供了一个实时、高确定性并真正独立于设备厂商的通信网络，将会在带宽、安全、互操作、延迟和同步等方面带来巨大改善。

TSN 技术和 OPC-UA 相结合，可以满足工业应用的各种传输需求。通过该解决方案可以支持工业设备的联网接入，实现设备之间的互联互通。进一步的，使得生产制造系统具有高度灵活性，工厂车间网络架构可以快速调整优化，有效提升网络化协同制造与管理水平。

TSN（时间敏感网络）+ OPC UA（OPC 统一架构）成为从传感器到云端建立全面通讯基础结构的最佳拍档。

TSN 的工作原理是在传输中让关键数据包优先处理。这意味着关键数据不必等待所有的非关键数据完成传送后才开始，从而确保更确定、更快速的传输路径。本质上来说，TSN 建立了一套能使以太网具有实时性和确定性的新标准。

基于 TSN 提供的网络通信的高确定性和低时延之上，OPC UA 则提供了一个独立于平台的面向服务的体系架构，它定义了统一的标准和信息模型，可以实现设备与设备、设备和企业，以及不同厂商设备之间的交互。

TSN+OPC UA 组合提供了一个实时、高确定性并真正独立于设备厂商的通信网络，将会在带宽、安全、互操作、延迟和同步等方面带来巨大改善。

举例来说，在工厂数据采集、传输与生产运营中，都会需要对现场的机器状态、生产能耗、质量相关、生产相关参数进行采集，TSN+OPC UA 在整体上使得在工厂的各个环节的横向与纵向数据实现了透明交互，并且配置效率更高，程序与应用模块化更强。

1.3 适用范围

因为智能制造关于柔性出产提出了更高要求，以及跨渠道、跨职业的应用需求越来越多，大型实时工业通讯网络为运营者带来了严峻的应战。

基于 TSN 的通信技术，可以适用于工厂的设备层、控制层以及企业层的层间以及层内设备的高精度通信，可应用于工业的多个场景。

2 需求分析

未来工业领域将有数以百亿计的设备衔接上网，传统工业以太网无法接受巨大的数据传输量，需求一种新的架构来满足高带宽、高速率和海量衔接等方面诉求。柔性制造正得到越来越广泛的应用，它具有设备可复用性高、运行灵活及产品应变能力强的特点。一旦生产需求发生变化，需要快速调整生产系统的结构和控制系统，重置工艺流程与设备配置，以适配新的需求。

但是，工业现场网络的互联互通性，已经成为制约制造业发展的薄弱环节。通过 TSN + OPC UA 打通工业信息通信路径，加速制造行业数字化转型，提升工业现场网络的信息交互效率，实现有效信息提取和传递。

自从可编程逻辑操控器（PLCs）面世以来，工业自动化流程得到了极大优化。OT（运营技能）与 IT（信息与通讯技能）之间的交融令人兴奋，将带来特别的体会。OPC UA 和 TSN 的结合，让工业领域得以完成实时信息交流和互操作。

3 解决方案

3.1 方案介绍

基于 TSN 技术的工业传输解决方案主要包含以下创新点：

1) 基于 OPC-UA 的网络互联和传输控制机制

- 包括基于 OPC-UA 和 TSN 的集成，完成对传输的控制和传输资源的配置。

2) 基于 TSN 技术的数据传输机制

- 在工业监测场景中保障工业应用的高确定性、周期性传输业务的需求；
- 用于开展工业通信技术的高并发、可靠性、实时性等性能的测试和验证。

3.2 系统架构

基于 TSN 技术的工业传输解决方案适用于图中场景的数据通信，尤其是智能机器之间以及智能机器和工厂控制系统之间的

通信。基于 TSN 通信技术提供的高可靠、低时延的数据传输保障，可以减少数据传输线路的部署、适用于多种环境以及设备的场景。

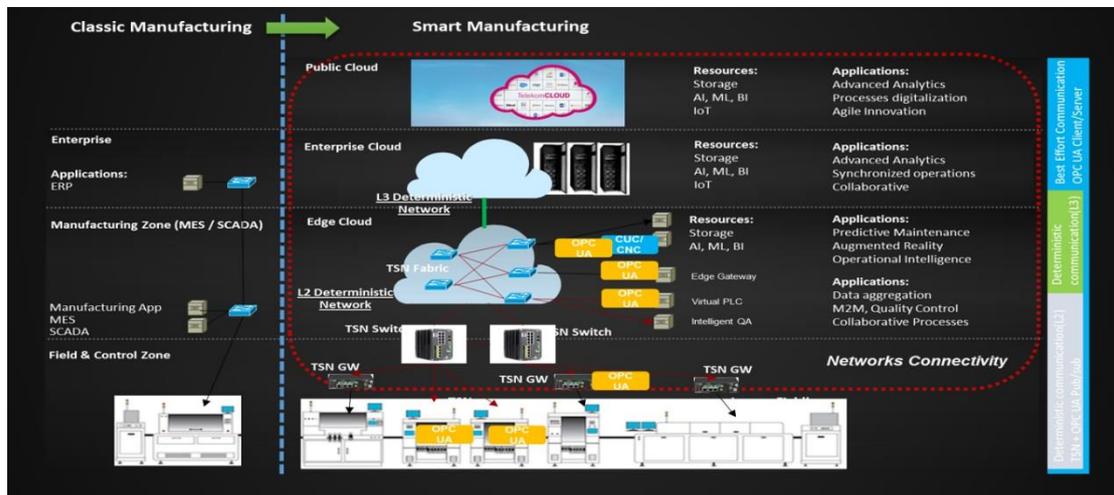


图 1 基于 TSN 技术的工业传输解决方案总体架构

其中，基于 TSN 网络进行数据传输的工业设备包含 PLC 以及各种输入输出设备。工业数据通过 TSN 网络传输时，需要集成 TSN 模块，并实现工业高层和 TSN 传输在工业设备侧的互通。

3.3 网络体系功能设计

OPC UA 和 TSN 的融合是未来的主要方向，能够提升工业现场的信息交互效率。OPCUA 提供标准语义定义，统一互操作，统一信息模型定义，M2M/M2B 协同，以及面向服务架构设计 SoA 降低软件设计难度。TSN 通过良好的互通性，改变传统七国八制局面，提供高可靠性，多路径/冗余路径技术，提供低时延： μs 级别时延， ns 级抖动，甚至更低，管理简单，即插即用。



图 2 工业未来网络体系功能设计

3.4 本方案 TSN 特性

网关设备以及工业 TSN 网络设备共同构成了网络设备, 主要支持的功能如下:

- 1) 低时延: 时延微秒级别, 抖动 ns 级别。
- 2) 高带宽: 支持 1G 带宽, 并支持向 10G / 100Gbps TSN 演进;
- 3) 统一 SDN 管理, 支持 Netconfi/YANG 和 OPC UA 模型的统一网络管理;
- 4) 高精度时钟, 支持 802.1as 和 1588V2, 支持 TSN Scheduling ($<8\text{ns}$)
- 5) 实现 TSN+OPC UA+边缘计算平台功能, 支持工业 4.0 的高精度实时软件容器环境。

3.5 TSN 网络结构

OPC-UA 是目前应用较广泛的工厂内应用使能技术, 定义了一套通用的数据描述和语法表达方法 (信息模型), 每个系统都

可以将各自的数据信息以 OPC 的格式进行组织，从而被其他系统所获取和集成。

在基于 TSN 技术的工业传输解决方案中，通过 OPC-UA 进行网络配置、完成信息的映射，TSN 技术保障不同工业业务的传输性能，满足不同场景的业务需求。

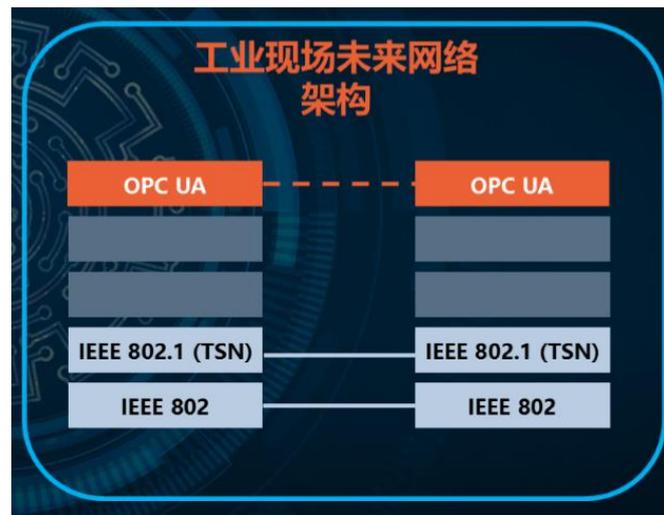


图3 OPC-UA和TSN的集成方案

4 成功案例

华为与伙伴共同打造 OPC UA+TSN 网络五大工业互联场景，进行相关工业方案的场景验证。

- 与 AII 打造的“电机预测性维护网络（TSN for Predictive Maintenance）”
- 与美国国家仪器打造的“马达同步（Motor Synchronization）”；
- 与和利时打造的“赛车游戏（Race-Car Game）”；
- 与 Linmot 打造的“绘图运动控制（Plotter Motion Control）”；

- 与施耐德电气打造的“LED 同步（LED Synchronization）”；
- 与贝加莱打造的“OPC UA Over TSN”；

通过上述工业互联网场景验证了 TSN 网络在复杂环境情况下的高确定性和低时延性，TSN+OPC UA 为工业互联网在信息提取和信息交互带来更多的数字化创新体验，是预测性维护、数据分析、机器学习和人工智能等新技术的关键推动因素。可以帮助工业企业提升效率，减少停机时间，提高互操作性和降低总体成本等。

通过收集机床的各种数据，基于时间敏感网络在边缘侧进行预测分析并通过边云协同，在云端进行深度分析，同时支持高达 50 跳的不同厂家设备进行精确协同，支持标准以太网并通过多路径和冗余路径确保可靠性，在一跳上的延迟能达到小于 10 微秒，抖动小于 0.1 微秒，并在边缘侧通过容器技术提供可视化 PLC（可编程逻辑控制器），且支持不同厂家的虚拟化 PLC 运行。

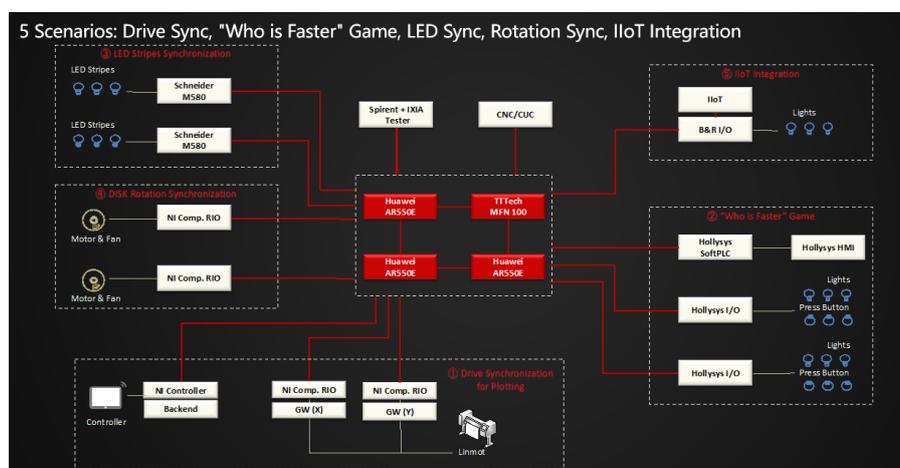


图 4 TSN 网络工业互联网场景拓扑
