

工业网络新技术的研究与运营思考

梁晓辉¹, 黄骅², 施晓东¹

(1 中国电信股份有限公司四川分公司, 四川成都 610000;

2 国网四川综合能源服务有限公司, 四川成都 610000)

摘要: 工业网络是支撑数字经济发展和实体经济转型的新型基础设施, 在制造业数字化转型背景下, 急需构建企业生产环境下人、机、物全面互联的网络, 以实现工业设计、研发、生产、管理等产业要素的泛在互联互通。本文通过对工业互联网网络现状的分析, 以时间敏感网络技术为代表, 从架构、关键技术、与其他先进技术融合等方面阐述了下一代工业网络新技术的特点, 最后, 从业界探索入手, 对运营商网络方面的未来工作提出了几点思考。

关键词: 工业互联网; 下一代工业网络; 时间敏感网络; 运营商网络

中图分类号: F626; TN929.5

文献标识码: A

Research and Thinking on New Technology of Industrial Network

LIANG Xiaohui¹, Huang Hua², SHI Xiaodong¹

(1 China Telecom Sichuan Branch, Chengdu Sichuan 610000, China;

2 State Grid Sichuan Integrated Energy Service Co., Ltd, Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: Industrial network is a new type of infrastructure supporting the development of digital economy and the transformation of real economy. Under the background of digital transformation of manufacturing industry, it is urgent to build a comprehensive interconnection network of people, machines and things in the enterprise production environment, so as to realize the ubiquitous interconnection of industrial elements such as industrial design, R & D, production and management. Through the analysis of the current situation of industrial Internet network, represented by time sensitive network technology, this paper expounds the characteristics of the new technology of next-generation industrial network from the aspects of architecture, key technology and integration with other advanced technologies. Finally, starting with the exploration of the industry, this paper puts forward some thoughts on the future work of Telecom operator network.

Key words: Industrial Internet; Next generation industrial network; Time sensitive network; Telecom operator network

近年来, 我国智能制造发展迅速, 工业经济由数字化向网络化、智能化深度拓展, 互联网创新发展与新工业革命形成历史性交汇, 催生了工业互联网。

作为新一代信息通信技术与工业经济深度融合的新型基础设施,工业互联网是第四次工业革命的重要基石,更得到了政府和业界的高度重视。工信部从 2018 年开始,连续 5 年印发《工业互联网专项工作组年度工作计划》,从网络、标识、平台、数据、安全等多方面,从标准建设、关键技术攻关、产业协同、人才保障等多视角细化重点工作,指引年度工业互联网创新发展工作。

1 工业互联网网络

网络体系为工业互联网的基础。工业互联网网络体系将连接对象延伸到工业全系统、全产业链、全价值链,可实现人、物品、机器、车间、企业等全要素,以及设计、研发、生产、管理、服务等各环节的泛在深度互联。网络与联接是网络体系中的关键基础底座。

在工厂环境下,尤其是车间内的网络,有线连接仍为主要方式。工厂内常见的主要有现场总线、工业以太网、工业 PON 等网络。

1.1 现场总线

现场总线技术通过标准化的通信接口解决了工业控制系统内部执行器、传感器以及变送器等设备的互联问题,实现了各类工业数据信号的共总线传输。但现场总线存在布线成本高、布线复杂、布线周期长的问题,且低速率,兼容性差、互联互通互操作性差,无法支撑工业应用对于承载网络更高传输效率、更大带宽、更好兼容性的需求。

1.2 工业以太网

工业以太网技术遵从 TCP/IP 框架,基于以太网架构构建工业应用层协议,有接口简单、协议开放、传输速率快、可靠性高、互通便捷等突出优势,也能为工业领域提供安全、稳定的网络基础。以电力控制系统为例,其工业以太网架构图如图 1 所示。

世界工业自动化巨头,如西门子、施耐德、ABB 通过主导网络协议研发一些附加技术机制,从实现网络设备与协议绑定,到基于协议进行持续优化升级,再到形成解决方案,构建了研究-产业-应用相对封闭的生态圈,也增加了网络复杂性。近年新一代信息技术和先进制造技术的融合应用,工业以太网封闭生态导致的互通性、标准化问题逐步凸显。

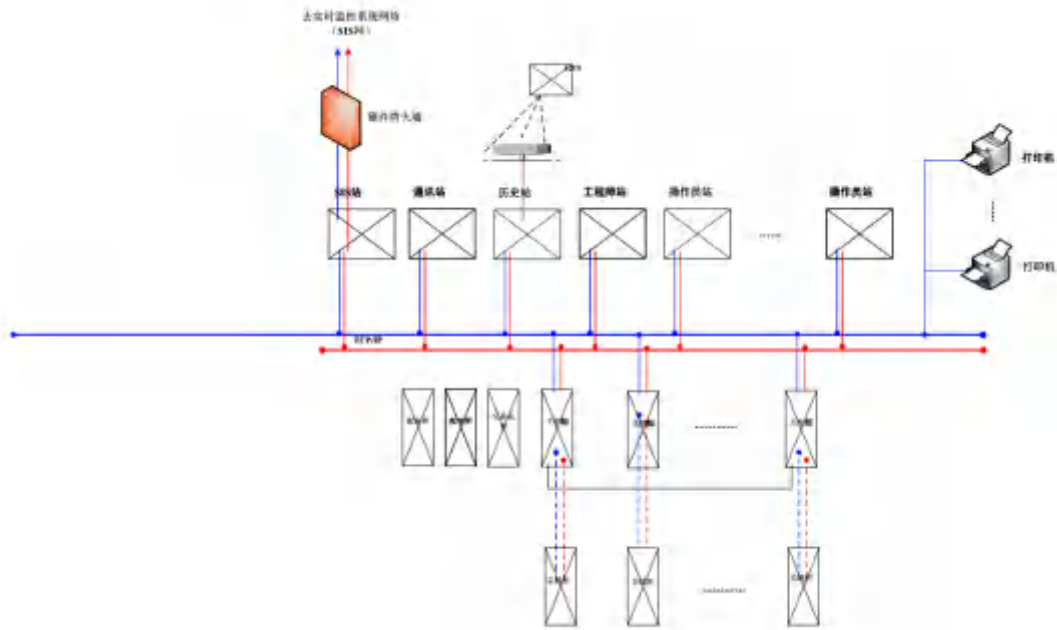


图1 电力场景的工业以太网架构图

1.3 工业 PON

工业 PON 接入网关(ONU)实现多种工业设备、传感器的接入，实现光网络到设备层的连接，实现工业数据的可靠有效传输。

工业 PON1.0[1]主要基于公众接入网的 PON 系统，针对工业场景，优化了环境参数和保护方式，由 PON 系统提供底层网络承载。组网方式如图 1 所示。

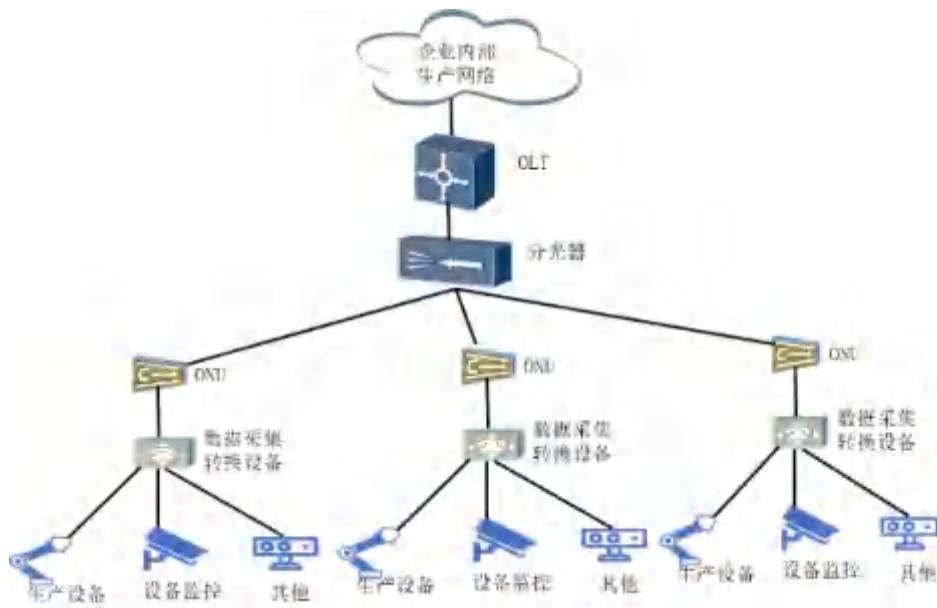


图2 工业 PON1.0 组网示意图

工业 PON2.0 体系（见图 3）在终端 ONU、局端设备 OLT 和云平台层做了升级。对接入网关（ONU）而言，一方面提升环境指标、保护倒换、工业协议灵活转换等工业场景下特有的性能；另一方面将 ONU 作为开放平台，配置多种嵌入式数据采集功能。同时，ONU 还支持集成开源或者客户定制的工业应用，进行个性化工业数据采集和转换处理，并与工业云平台进行交互。局端设备 OLT，增加提供了完备的保护倒换功能，可以在一路 ODN 网络或者 PON 设备端口发生故障导致网络中断时，快速进行主备链路切换和业务恢复。在云平台侧，将工业 PON 数采终端与工业云平台有效整合，实现工业数据的解析计算和协议转换等功能。图 4 是工业 PON1.0 到工业 PON2.0 的演进路径。

工业 PON2.0 和工业 PON1.0，在目前甚至未来很长一段时间内，都是共存和按需部署的关系。

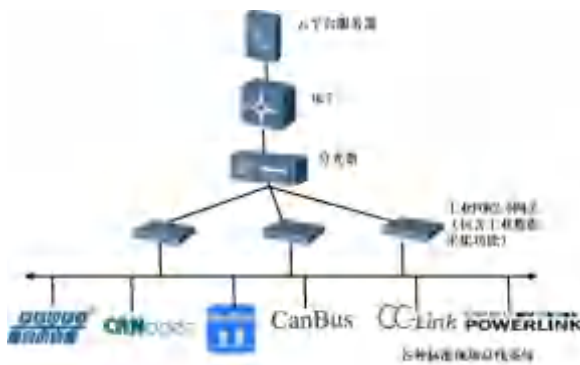


图 3 工业 PON2.0 架构图

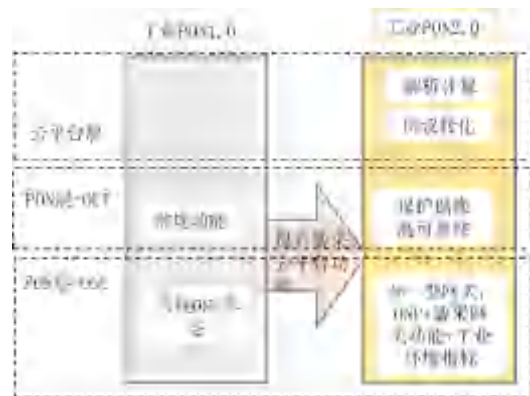


图 4 工业 PON1.0 到工业 PON2.0 的演进

在国家推进智能制造背景下，工业企业数字化、信息化改造面临进一步升级优化。工业网络要承载的不仅仅是数据的传输，更是基于语义的信息交互。具备支持多业务、多协议、多厂商设备和数据的互联互通、共网承载以及高质量传输能力，是下一代工业互联网网络技术必然的演进方向。

2 时间敏感网络技术

时间敏感网络（Time Sensitive Network）技术改善传统以太网尽力而为的转发特性，是具有时间同步、延时保证等确保实时性的新一代以太网技术，是下一代工业网络承载技术的重要演进方向之一^[2]。

2.1 关键技术

工业生产需要网络提供确定性服务，即确定的网络时延和抖动，而以太网是传统的“尽力而为”网络，在车间多种业务流（如视频、数据采集、高速生产设备实时控制等）共享这张物理网络的场景下，难以满足生产中高优先级业务需要的时延确定、稳定可控。

时间敏感网络主要在体系架构、时间同步、流量控制以及容错四个方面对以太网技术协议进行了优化升级以解决如上问题。

2.1.1 体系架构

时间敏感网络 (TSN) 架构基于 SDN (Software Defined Network)^[3], SDN 架构的控制面和数据面分离的机制, 逻辑集中控制和管理流的特性, 实现设备及网络的灵活配置、监控、管理及按需调优, 提升工厂网络的智能化灵活组网的能力, 提升网络资源利用率, 保障网络安全, 实现网络智慧运维。

2.1.2 时间同步

时间同步特性是时间敏感网络的基础特性, 其目标是提供全局统一时钟信息以及节点的参考时钟信息, 进而实现本地时钟的调整和整个网络的时间同步。工业网络中的所有设备都需要共同的时间参考, 通过同步时钟来确保端到端 (End-to-End) 的传输延迟时间界限。此外, 由于时间同步的误差可能带来流量调度效果劣化甚至失效, 该特性同时也是保证 TSN 流量调度性能的基础。TSN 网络中的时间通常从一个中央时间源直接通过网络分配, 冗余主时钟与网络节点间的冗余同步路径能在网络链路甚至网桥丢失时依然提供同步时基, 实时保证网络的正常运行。

2.1.3 流量控制

流量控制机制是 TSN 实现确定低时延传输的关键技术, 主要包括流分类、整形、调度和抢占。

在工业场景下, 需要对各类工业应用涉及的业务流特性进行定义建模, 作为制定调度机制与优先级的依据。这样, TSN 网络在做数据转发时, 可针对不同优先级的流量进行承载质量差异化保证。目前, 工业网络中的业务流类型众多, 还没有统一的分类方法。

流量整形算法的时延、抖动和网络配置开销, 影响着不同算法在多个流实时传送业务场景下的应用^[4]。如时间感知整形器 (Time Awareness Shaper, TAS) 具有最佳的低时延和低抖动性能, 配置复杂性也最高; 信用整形器 (credit-based shaper, CBS) 的时延性能最差, 但却保证了流的 QoS; 异步数据流整形器 (Asynchronous Traffic Shaper, ATS) 时延性能介于两者之间, 配置复杂性最低。

流量调度为不同等级的业务流提供差异化承载, 使能各类工业业务数据的传输和流转。调度方案一般分为两大类: 一是基于时隙化的调度方案, 需要全网进行时间同步; 二是基于 QoS 的调度方案, 所有参与实时通信的设备在处理和转发通信包时需遵循相同的规则, 为时间敏感的业务流传输提供时延上界。

抢占可以进一步将不同技术的多个网络融合在一个以太网和 IP 的基础架构里, 实现自动化操作以及订单控制生产。通过大幅压降优先级低的信息流对重要信息流的影响, 两种信息流可以混合在同一链路上。

2.1.4 容错

时间敏感网络中，TSN 的调度、抢占和冗余功能提供更确定的延迟，更高效的数据包传输，以及跨网络冗余路径的无缝时钟同步。所有参与实时通信的设备在选择通信路径、预留带宽和时隙方面遵循相同的规则，可以利用多条路径来排除故障，防止硬件或网络故障影响数据传送。

2.2 与其他技术的融合

制造业企业是数字化转型的主力军。5G、边缘计算、大数据、人工智能等新技术都在寻找与工业最契合的应用场景，从而改变工业制造的流程、模式，提升产品品质、制造效率、改善服务，提高企业数字化水平。

时间敏感网络（TSN）技术特点决定了其与 OPC UA（OLE for Process Control）、边缘计算以及 5G 等先进技术相互融合，将形成更为强大的网络方案体系，助力支撑工业网络。

TSN 与 OPC UA 的结合解决异构系统互联互通问题，也是 OT 与 IT 的深度融合，同时实现网络的互联和数据层面的互通，进一步提升制造流程的自动化水平，使个性化定制成为可能。

边缘计算提供边缘智能服务，TSN 技术构建确定性网络。TSN 和边缘计算结合，可以满足企业数字化在敏捷联接、实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求，同时满足边缘计算架构部署的灵活性。

5G+TSN 将时间敏感网络技术与 5G 网络进行融合，有效地保证工业生产网络的端到端高可靠低时延传输要求，是实现工业互联网无线化和柔性制造的重要基础。

2.2.1 TSN + OPC UA

工业通信分为互联(硬件接口的连接)、互通(软件层面的数据格式与规范)、语义互操作(语义的定义与规范)几个层面。各种总线解决的是连接问题，互通解决了应用层的匹配，OPC UA 是针对嵌入式应用的 OPC 通信标准的重大发展，解决不同系统之间的语义的互操作，还带有内置的安全模型。

TSN+OPC UA 组合通过 TSN 解决底层数据获取的问题，OPC UA 解决应用层语义解析的问题，组合构建的通用数据解析机制，提供实时、高确定性、独立于设备厂商的通信网络，解决了工厂内系统互操作的复杂。TSN+OPC UA 不与某特定厂商绑定，不仅将彻底统一数据链路的服务标准，配置效率更高，程序与应用模块化更强，有可能打破传统工业的结构，实现扁平化。图 5 为 TSN+OPC UA 与 ISO/OSI 参考模型各层关系。