
智能工厂 IT/OT 网络融合

北京恩易通科技发展有限公司

网络改造技术篇/成熟技术/工厂内网改造

1 概述

1.1 背景

随着工业 4.0 概念的火热以及“中国制造 2025”行动纲领的提出，越来越多的新技术、新概念呈现在我们面前。其中“智能制造”“柔性制造”“个性化定制”是被提及最多的几个，同时这也是各大制造厂商升级和转型中的重点方向。那么，提到以上这些新兴名词时，就不得不提多年以来不变的一个话题，也是制造厂商一直的痛点：“IT 和 OT 的融合”，由于现有以太网技术的局限性，使得自动化工厂面临一个尴尬的局面就是 IT 和 OT 不能完全融合在一起。而随着工业 4.0 的步伐越走越快，IT 和 OT 的融合又是一个不可避免的形势。因此，如何将 IT 和 OT 很好的融合，成了摆在各个做工厂自动化的厂商面前的一个问题。

1.1.1 IDN 网络定义

那什么是 IDN 网络？在解释这个问题前，我们要先提出一个全新的概念：EOE (Ethernet over Ethernet) 假如我们将通信看成在公路上开车，传统的以太网只标记这辆车（网络接入设备），但 EOE 网络将车和路（交换机）都进行了标记。应用 EOE 技术实

现的网络就是智确定性网络 IDN(Intelligent Deterministic Network)。



图 1 EOE 数据帧格式

1.1.2 IDN 网络工作原理

IDN 网络工作原理流程如图 2:

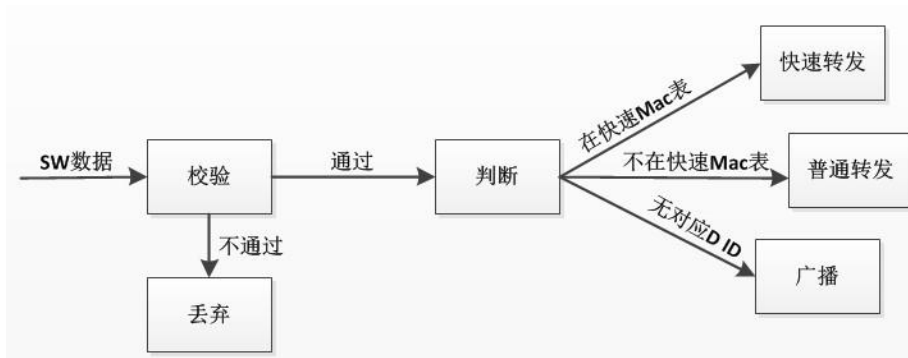


图 2 IDN 网络工作原理流程

工作过程：SW 模块数据传输上来后首先会添加 EOE 私有帧头，然后会对其进行校验，校验失败，会丢弃此数据，校验通过后，转给判断模块，判断模块对私有帧头部分进行判断，来决定数据的去向。

判断模块的逻辑框图如下：

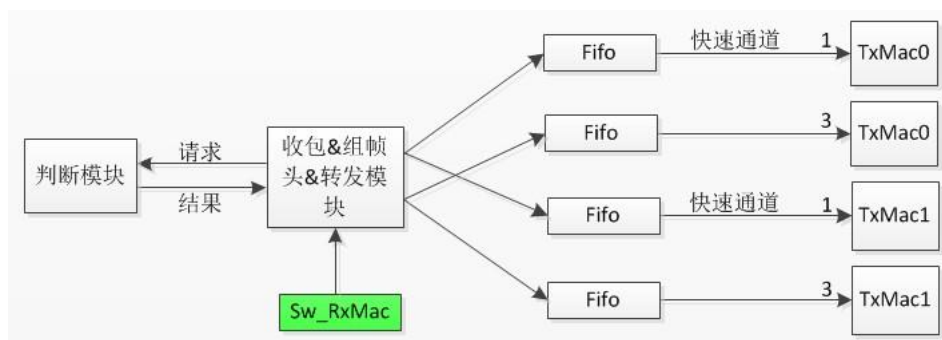


图 3 判断模块的逻辑框图

IDN 网络的通讯逻辑：标准的数据帧从交换机模块送入，上 EOE 网络前会加上私有的 8 个字节的帧头组成私有协议的帧，向判断模块发出请求，由判断模块给出判断结果，再由转发模块发向环网模块的两个端口。

1.1.3 IDN 与现有实时网络对比

表 1 IDN 与 TSN 网络对比

对比项	IDN 网络	TSN 网络	区别
在 IOS 七层结构中的位置	第二层,数据链路层	第二层,数据链路层	IDN 与 TSN 相同, 也是对 MAC 层定义。区别在于需重新定义的范围, TSN 需重新定义 MAC 的设备是所有设备, 包括发数据送端、交换机、数据接受端。 IDN 仅重新定义交换机的 MAC 层, 数据发送与接受不需要重新定义。
核心任务	(1) IDN 的核心是“智能路由”, 时钟同步不是必须前提。但 IDN 为用户提供时钟同步解决方案。 (2) IDN 通过通道机制实现高带宽与低时延 (3) IDN 将路由算法集成到	1) .所有通信问题均基于时钟, 确保时钟同步精度是最为基础的问题, TSN 工作组开发基于 IEEE1588 的时钟 (2) .数据调度机制: 为数据的传输制定相应的机制, 以确保实现高带宽与低延时的网络传输。	IDN 技术体系不依赖于对时系统, 对于以往没有对时功能的用户系统, 易用性大大增强。 用户终端也不用为了配合 TSN 的调度算法而增加接入模块以及业务流程修改。

	交换机的芯片中，用户系统实现“零”配置	(3) .系统配置方法与标准，为了让用户易于配置网络	
组网结构	任意组网	目前仍是传统的二层组网；如星型，总线型，环型	就目前 TSN 形成的标准来看，并没有增加二层组网能力的描述，集成传统二层组网的局限性。 IDN 的智能路由打破组网的局限性，可以任意组网。在用户系统中，可以根据实际设备的布置、距离、要求，灵活调整。
精准时间同步	用户接口是 B 码接入、输出。支持冗余路径以及冗余主站	基于 1588 对时方式 (IEEE802.1ASrev-) 增加对聚合链路的支持以及冗余路径和冗余主站	1588 协议是相当复杂的协议，用户需要一定的研发实力以及投入才能完成。并且 1588 需要硬件的支持，提高设备成本。 B 码对时已普遍应用，可直接集成成熟模块，基本没有研发投入。
确定性网络实现	通道机制	IEEE802.1Qbv 时间感知队列；IEEE802.1Qbu & IEEE802.3br 转发与队列机制 时间调度表	TSN:简单说，就是说有设备先把时间调整到一致，仲裁机构为所有设备分发时间表。设备只有在被安排的时间段才能发数据。 当高优先级的数据与低优先级设备碰撞时，低优先级的数据将被丢弃，然后重发。 IDN: 在数据进入到网络之前，已经被放入不同的通道；快速通道的数据可以截断普通通道数据，快速数据在网络中所有节点都没有等待、排队的时间，所有时延以及抖动是可以保障的。 与 TSN 不同是，普通通道的数据虽然被截断，但不需要重发，碎片将在邻近的交换机进行重组，不浪费带宽以及普通数据的

			性能。
数据冗余	多路径传输方式, 不止 2 条路径, 实现零自愈	IEEE802.1CB 冗余数据传输 双路径 (HSR、PRP) 传输方式 实现零自愈	TSN 的时间调度机制与双路径 HSR\PRP 的结合方式还没有明确的方法, 只提了一个方向, 能否完美实现还需大量验证。 IDN 不是简单双路径, 而是多路径。双路径只能用在单一环网上, 不需要智能路由算法; 多路径可应用在所有组网拓扑上, 需要完备的智能路由算法。

1.2 实施目标

在传统的以太网中, IT 和 OT 并非整的不可以融合的, 而是工厂“不敢”把 IT 和 OT 融合到一起。原因是传统网络是以“尽力服务”的方式在工作的, 在融合后会产生一些工厂不可以接受的弊端。例如, IT 的数据流量会影响到 OT 的控制系统。众所周知, 在一个工厂中, 控制系统是整个工厂的生命线, 任何情况下, 任何数据都不可以影响到工厂的控制系统。

在“个性化定制”的家电新模式下, 将产品制造与用户联系起来, 让用户全流程参与需求交互、产品设计、生产制造、物流交付等产品全过程, 在这种体系下用户“既是消费者也是设计者、生产者”, 用户“个性化”与制造“规模化”之间的矛盾自然也迎刃而解。而在这个用户自定义的过程中, 工业以太网环节可以说起着举足轻重的作用, 用户从自己设计, 到车间下料生产, 再到产品出厂送到用户手中, 这个过程一定是实时而且准确的。那么这就要求现场生产时要考上层的软件去控制的, 也就是我们所提的 IT 和 OT 的融合问题。

1.3 适用范围

IDN 网络适用于任何以以太网为数据载体的系统内，在网络架构比较大的情况先 IDN 网络优势会更加的明显，在数据“确定性”“安全性”要求较高或者很高的网络中 IDN 网络几乎是不可替代的。

1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

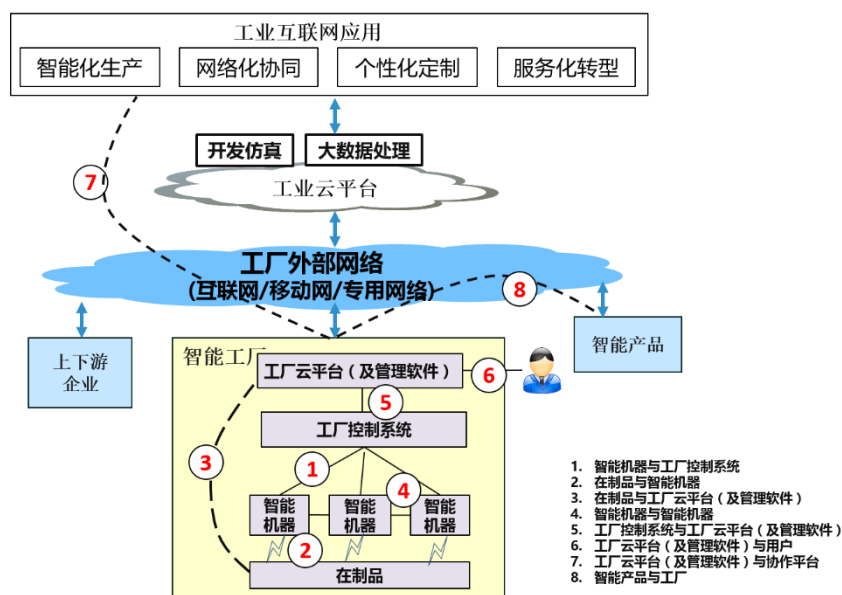


图 4 工业互联网互联示意图

在图 4 中，此解决方案属于 1、5、6 的范围。方案主要的硬件组成有：工业以太网交换机、总线交换机、服务器以及数据采集、显示软件。工业以太网交换机和总线交换机负责将 IT 数据和 OT 的数据接入到服务器或工厂云服务器（工厂云）中，进行数据处理、存储以及数据显示。实现 IT 和 OT 的融合。

2 需求分析

用户需求：工厂 IT 和 OT 的融合，是工业 4.0 的必然趋势。然而，传统的解决方案，无法实现 IT 和 OT 的融合，如前面提到

的现有网络的机制问题，想要实现工厂自动化 IT 和 OT 的融合，必然是出现新的技术才能实现的。那么，IDN 网络就是这样的创新，就是迎着工业 4.0 的大风，扬帆起航的帆船。

3 解决方案

3.1 方案介绍

在工业现场，IT 和 OT 的融合，存在着诸多的挑战和壁垒，想要突破这些壁垒，现有的技术是行不通的，所以必定要用新的技术来实现。那么，IDN 网络在 IT 和 OT 融合的解决具有很大的优势，这也是现在自动化工厂转型所真正需要的网络架构。

IDN 网络，具备 6 项特征：

- 1) 双通道机制：确保 IT 和 OT 的数据互不影响，并可以协同工作，达到融合的目的。
- 2) 数据传输多路径：确保整个网络数据多条路径可达，在某条路径，或多条路径出现问题时不影响设备的正常工作。
- 3) 精准对时作为网络服务无处不在、无时不在：为工业大数据所采集的信息加了一个时间的维度，这在数据分析意义重大。
- 4) 整体网络趋向二层传输，提升网络效率：提高网络的带宽，给工厂提供更有效的网络服务。
- 5) 复杂的拓扑：让工厂的网络更加安全可靠。
- 6) 零配置组网：让工厂的施工更加简单易用。

以上的这些网络的特性，是现有网络所不完全具备的，因此

要想实现真正的网络融合，网络的这些特性是必不可少的。有了 IDN 网络让厂商做工厂自动化的 IT 和 OT 的融合成为了可能。因此，中国制造 2025、“智能制造”“柔性制造”“个性化定制”就在我们的眼前了。

3.2 网络拓扑设计

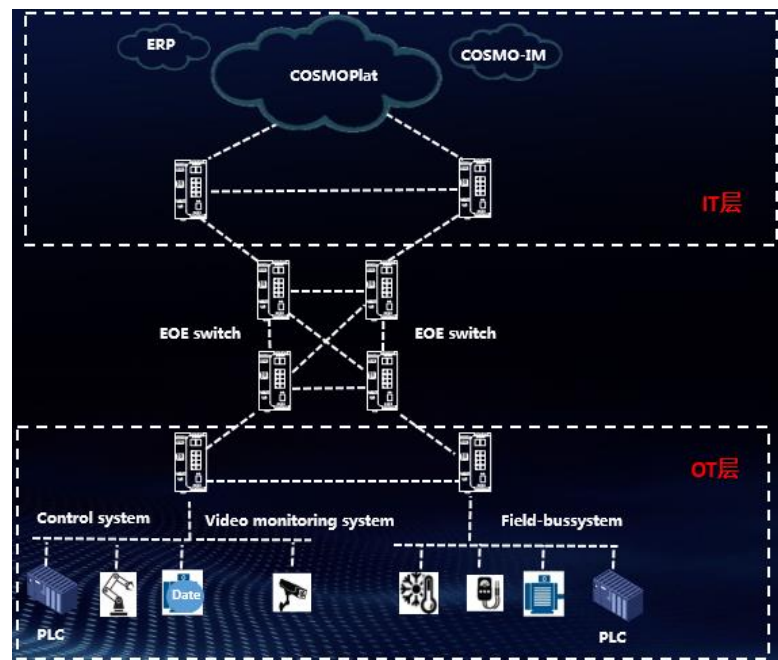


图 5 网络架构

如图所示，IT 层的网络和 OT 层的网络通过 IND 网络融合到了一起，就网络架构观察，整个网络方案不仅提供了线路冗余，同时也提供了设备冗余。

3.3 功能设计

OT 的数据有很多为 PLC 的控制数据，对网络的要求相对很高，那么它在 IDN 网络中的优先级可以设为“快速数据”，这样它在 IND 的网络中将“畅通无阻”，经过每一条交换机的时延在 0.8us 到 3us 之间。而 IT 的数据，是相对对确定性要求不那么

高的数据，但是 IDN 网络在保证“快速数据”确定的情况下，不影响 IT 数据的工作。

复杂的网络拓扑，让网络的可靠性大大的增加，数据多路径的传输，让数据几乎可以说是零丢失的。如此复杂的网络是由全二层的网络搭建成的，这在业界更是“不可思议”的事情，这位客户节省了布置网络的成本。

组网的零配置，使工厂的网络建设再也没有难度，不需要专业的网络工程师，只要电工就可以为您组一套这样的安全、可好、实用的网络。

3.4 网络安全

网络安全一直是工业互联网火热的话题之一，IND 网络提供了白名单锁定的安全保护机制，在工业现场布置完成之后，工厂网络趋于稳态，可以将用户认证过的 MAC 地址加入到白名单中，然后锁定交换机的白名单，这样，除去这些认证过的 MAC 地址的数据可以上 IDN 网络以外，其他没有认证的数据统统丢掉。

4 成功案例

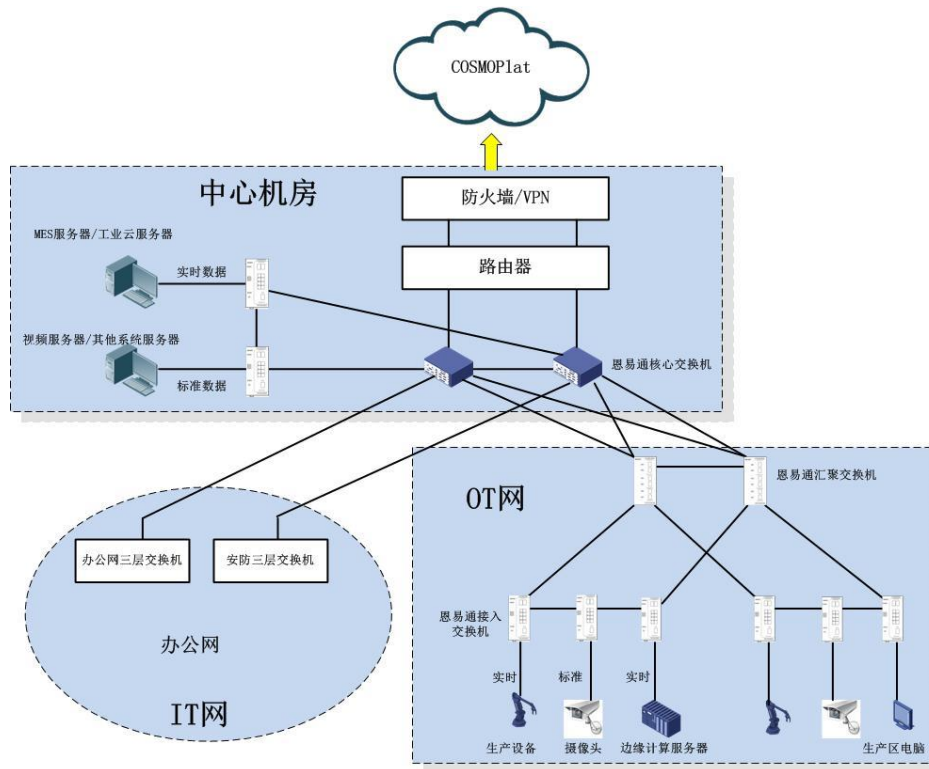


图 6 海尔滚筒洗衣机生产工厂网络拓扑

海尔滚筒洗衣机工厂，厂区的网络采用了 IDN 技术的 IND 网络，实现了 IT 和 OT 的融合，在不影响生产的情况下，办公网和 MES 以及视频服务器都在互联互通。

采用 IND 网络给海尔工厂带来的好处是，在原有 3 套网络的方案，缩减为 1 套网。多网的融合，让 MES 系统更加实时的计划排程管理、生产调度管理、库存管理、质量管理。