

海尔智能工厂基于 SDN+TSN 融合网络测试床

为了适应工厂数字化、网络化、智能化的业务发展需求，海尔拟在新建工业园区网络中引入 TSN、IPv6、SDN 等新型网络技术，构建一张灵活定义、多维可视、质量保障、安全可靠的园区网络，实现工业场景下人员、设备、物料、产品各生产要素的互联，为工厂实现智能生产、协同制造和柔性制造提供网络支撑，为 M2M、安全巡检、设备监测、视频监控等业务应用提供支撑，并形成针对典型工业场景化园区网络的基线标准。

一、关键词

SDN 控制器，TSN 网络

二、发起公司和主要联系人联系方式

海尔集团 张涛 13385320088

新华三技术有限公司 巩飞 13210037171

三、合作公司

该测试床由以下参与方共同建设：

海尔集团

新华三技术有限公司

四、测试床项目目标和概述

该测试床适用于制造业工厂内网络的建设和升级改造，建成后的网络能够满足海尔柔性制造、协同生产、个性化定制的业务需求。

测试床的主要测试目标包括：

1. 基于 SDN 技术部署工厂有线无线网络，SDN 控制器北向对接 COSMO 平台的功能组件，南向对网络的 spine、leaf 节点进行管理，实现网络设备自动配置和业务快速部署，提升 IT 人员工作效率，减少人力投入。
2. 通过 SDN 控制器纳管产线部署的 TSN 交换机，构建 TSN 网络的流量模型，满足产线指令信息确定性、低时延的传输要求。

五、测试床解决方案架构

（一）测试床应用场景

本次测试床部署在海尔新建工厂内，测试床拟选取工厂的部分产线部署 TSN 网络，产线 TSN 交换机通过千兆/万兆链路上行接入汇聚/核心交换机，构成整个厂区有线网络。工厂厂区弱电机房部署 SDN 控制器和相关安全设备。

（二）测试床重点技术

1. 交换机通过 802.11AS 协议保证全网时钟的精度同步，在测试床验收测试环节将测试全网 TSN 交换机的时钟精度。
2. 在全网设备的时钟同步后，交换机通过 802.1Qbv、802.1Qbu 协议对特定信息流预留带宽资源并提供优先保证。
3. 整个厂区采用 SDN 方案组 Vxlan 大二层网络，TSN 交换机作为 SDN 方案中的 access 节点被控制器统一纳管，方便了厂区 IT 人员的运维，实现了对厂区各种 IP 终端（摄像头、打印机）的接入管理和流量监控。

(三) 技术创新性及先进性

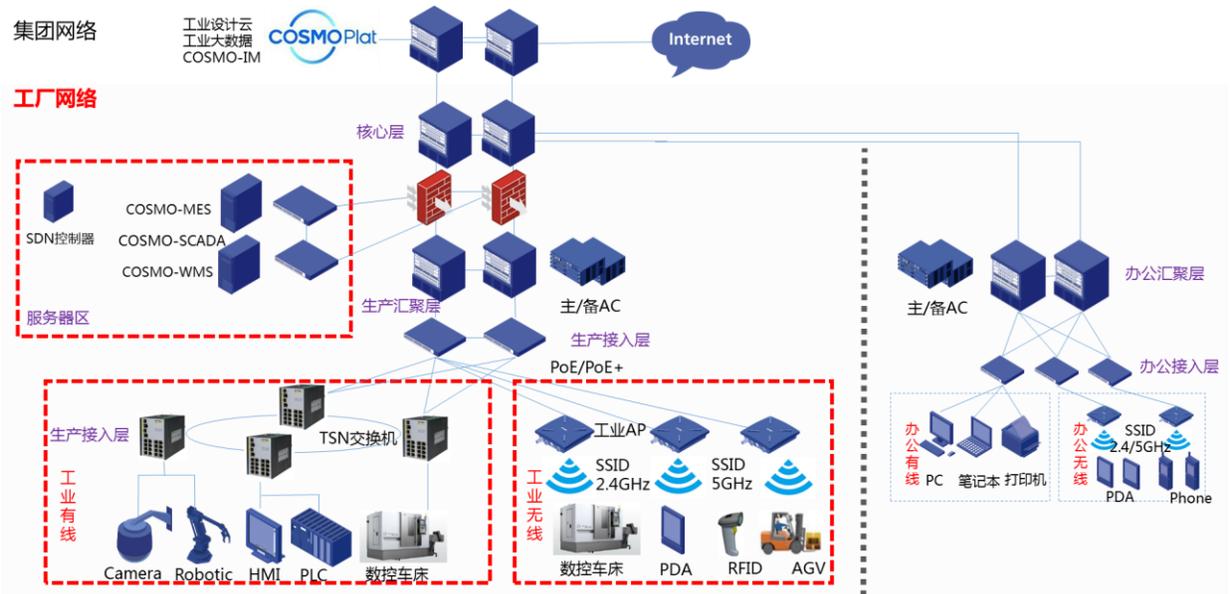
本次测试床主要是在三个方面进行探索：

1. TSN 交换机如何经济有效地部署在厂区网络中。因为 TSN 交换机的芯片成本较高，所以从成本考虑不建议核心、汇聚交换机都要支持 TSN 相关协议。那么如何在组网层面进行设计，兼顾生产需求和部署成本，就是测试床创新的第一个方面。

2. 厂区物联终端全生命周期的管理。厂区当中存在多种 IP 终端，包括 PC、Pad、摄像头、扫码枪，AGV 小车等等。测试床网络方案中支持通过 SDN 控制器中的自动分拣引擎 ASE 来识别物联终端类型（识别方式主要通过 Mac OUI 字段、DHCP 报文、HTTP 报文），识别终端类型后自动下发对应的网络策略。同时，通过终端探测系统 EPS，实现对接入网络终端的安全扫描和精细监控。

3. TSN 交换机纳入整个厂区 SDN 组网方案中，这在国内属于先行探索阶段，我们也会定期反馈实施过程中遇到的技术问题。

(四) 测试床解决方案架构



上图是海尔新建工厂网络的整体部署架构，测试床的重点在上图左下角的产线 TSN 交换机环网上，根据产线信息点的点位情况，TSN 交换机的数量、布放位置、组网会有微调。

在厂区建设一个小型弱电机房，除了部署海尔自有的 Cosmo-MES、Cosmo-SCADA 等软件外，部署 SDN 控制器软件，SDN 组网方案选择 EVPN+VxLAN 的方式，核心交换机和汇聚交换机应支持 VxLAN 特性。同时为了满足厂区大量 IP 终端的管理需要，部署相应的终端管理软件。

六、预期成果

(一) 测试床的预期测试结果，针对测试项

1. 全网 TSN 交换机的时钟同步精度预期保持在 200ns 内，全网 TSN 交换机网络的端到端时延（最大 7 跳）小于 1ms。
2. 通过 SDN 控制器，能够实现全网网络设备的统一纳管，支持一键下发相关配置，减轻运维工作量。同时 SDN 控制器和终端管理软件能够实现对厂区各类 IP 终端的类型识别，配置自动下发和精细监控。
3. 通过 SDN 控制器，对工厂网络资源进行集中管控，从全局的视角进行资源调度，灵活、合理地不同网络需求的业务进行智能选路。同时根据网络的运行状况和流量变化，对网络路径进行动态调整，持续优化网络流量分布，在提高网络利用率的同时保障时间敏感应用的实时性需求，实现实时数据与非实时数据在同一网络中传输。

(二) 商业价值

1. 为产线工作人员提供一套低时延、高可靠的网络，整网可靠性达到 99.995%，产线接入环网端到端时延（最大 7 跳）小于 1ms。
2. 为工厂 IT 运维人员提供一套能够快速部署和易运维的柔性网络，整网部署时间大大缩短，同时产线网络可以根据产线生产设备的位置变动针对场景的无线需求（PDA、AGV 小车或是工厂不适合有线网络的区域），提供高效的无线覆盖，移动漫游时间缩短到 30ms 内。
3. 为海尔 Cosmoplat 平台提供开发的 Restful API 接口，使得 Cosmoplat 的多个软件组件可以快速对接 SDN 控制器，为应用驱动网络奠定基础。

(三) 经济效益

基于 SDN 的柔性网络迎合了海尔大规模定制化的需要，使得工厂整定制化订单交付周期大大缩短。整网时延、可靠性等各项性能得到进一步提升，将 IT 运维人员从重复工作中剥离出来，提升 IT 运维人员的工作效率，减少部署或排除故障的时间。

(四) 社会价值

目前国内 TSN 网络在产线的部署才刚开始，需要有比较好的最佳实践作为其他工厂的建设参考。本次测试床的价值就是探索一套性价比高的部署方案，为 TSN 网络在国内大规模部署提供实践依据。

七、测试床技术可行性

海尔负责提供产线测试环境和产线生产设备，H3C 负责提供网络设备和相关的 SDN 控制器、终端管理软件。整个测试床方案所用到的产品已基本研发完成，测试环境已具备，整个测试床实施可行性较高。

(一) 物理平台

序列	设备名称	设备用途
1	服务器	承载 COSMO 平台对应的 MES、SCADA、WMS 等软件，同时部署 SDN 控制器软件、终端控制软件。
2	TSN 交换机	部署于产线信息点附近的电器柜或机柜中，以兆链路组环网
3	核心/汇聚交换机	部署于厂区机房
3	防火墙	部署于厂区机房

(二) 软件平台

序列	设备名称	设备用途
1	SDN 控制器	部署于厂区机房服务器中，实现对全网设备的管理运维。
2	终端管理软件	部署于厂区机房服务器中，负责对厂区 IP 物联终端进行管理
3	工业软件	COSMOplat-MES 、COSMOplat-SCADA、COSMOplat-WMS 等等

八、和 AII 技术的关系

(一) 与 AII 总体架构的关系

该测试床遵循 AII 发布的工业互联网体系架构，在海尔工厂智能工厂内网络的建设符合数字化工厂网络需求。测试平台将在网络框架的建设过程中提供反馈，以报告的形式分享经验。

(二) 与已存在 AII 测试床的关系

该测试床项目与之前已经审批的测试床无任何关联。

九、交付件

测试床的交付件包括：

- 1) 测试床项目计划书
- 2) 测试床部署实施方案
- 3) 测试用例清单
- 4) 测试床结题报告

十、测试床使用者

该测试床是海尔集团基于新建工厂的 SDN+TSN 工厂网络部署实践，利用 TSN、SDN、IPv6 等新兴技术，支撑海尔大规模定制的柔性制造需求。第三方的企业与用户如需参观访问该测试床，可向海尔集团提出书面申请，海尔集团将在保障工厂安全生产与不影响自身业务的前提下，酌情接洽，开展访问、交流事宜。

十一、 知识产权说明

该测试床由海尔集团和新华三技术有限公司设计、建设、运营，其过程中产生的开发成果及其知识产权，包括但不限于专利申请权、专利权、版权、商业秘密，均归海尔集团和新华三技术有限公司所有。

十二、 部署，操作和访问使用

测试床部署方案如下：

产线接入层，根据现场信息点的点位部署工业 TSN 交换机，拟部署 7 台以上 TSN 交换机，根据现场位置组环网。TSN 交换机万兆上行至生产汇聚交换机。

安全方面，在核心交换机与生产汇聚交换机间部署一对防火墙，保护生产区域，同时将服务器区设置为防火墙 DMZ 区。

软件层面，增加 SDN 管理软件，对工厂网络设备进行统一监控和管理；增加无线管理组件，对整网无线进行统一管理；增加终端管理组件，对生产网 IP 终端进行接入认证。

十三、 资金

本测试床项目所需资金约 200 万元，由海尔集团自行筹措并展开建设。

十四、 时间轴

2020 年 1 月，在海尔试点完成测试基础网络环境搭建，并部署 SDN 管理软件。

2020 年 3 月，完成测试用例设计，测试用例包括网络性能测试、与 Cosmoplat 平台对接测试、功能性测试等方面。

2020 年 6 月，按用例要求进行第一阶段测试，测试内容主要包括 TSN 网络的传输时延，与 SDN 控制器的对接情况。

2020 年 11 月，进行第二阶段测试，主要测试内容是基于 SDN 控制器实现全网的流量调度，以保证工业指令的确定性传输。

十五、 附加信息

该测试床以海尔新建工厂为基础进行实践，可满足多行业智能工厂需求，适用于制造业工厂内网络的建设和升级改造。