



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

时间敏感网络 (TSN) 产业发展报告： 产业测试报告

版本：V3.0



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟 (AII)

2020年12月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn

编写说明

在工业领域，时间敏感网络作为下一代工业网络的演进方向业内已经基本形成共识。目前时间敏感网络协议族已经基本完备，技术趋于成熟，主流网络设备厂商纷纷进入产品或者方案研发阶段。为了更好地建立工业领域时间敏感网络产业生态，了解行业内部当前技术落地现状水平，工业互联网产业联盟（AII）启动了 TSN 相关技术及标准的研究工作，积极开展时间敏感网络在工业领域落地的可行性调研评估，并于 2018 年 12 月完成了国内首次 TSN 设备互通测试工作。包括华为、摩莎科技 (MOXA)、亚德诺半导体技术 (Analog Devices) 及思博伦思博伦通信 (spirent) 在内的四家厂商的 TSN 产品参与了首次测试。第二次时间敏感网络 (TSN) 设备测试工作于 2019 年 10 月完成，包括华为、摩莎科技 (MOXA)、时触电子技术 (TTTech)、思博伦通信 (spirent)、是德科技 (IXIA)、北京邮电大学，CC-Link 协会 (CLPA) 在内的多家厂商及研究机构参与此次测试。第三次时间敏感网络 (TSN) 产业测试活动重点关注 TSN 技术在全产业链产品的落地进展，组织芯片、设备、控制器、测试仪厂家开展协议一致性、设备对接等测试，包括英特尔、博通、TTtech、思博伦、IXIA、新华三、东土、西安云维智联等。

本测试报告旨在体现当前网络设备对于时间敏感网络特性实现情况，促进工业界对 TSN 网络技术的进一步关注，为时间敏感网络技术的研发、部署和落地提供参考，推动工业网络创新演进。

组织单位：工业互联网产业联盟

牵头单位：中国信息通信研究院

参与单位（排名不分先后）：华为技术有限公司、MOXA 技术有限公司、思博伦通信公司、是德科技有限公司、亚德诺半导体技术有限公司 (Analog Devices)、时触电子技术 (TTTech)、安华高半导体科技（上海）有限公司 (Broadcom)、北京邮电大学、CC-Link 协会 (CLPA)、英特尔（中国）、北京东土科技有限公司、新华三技术有限公司、西安云维智联



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

目 录

第一部分 测试背景及范围说明	1
1. 背景介绍	1
2. 范围说明	4
3. 设备及配套版本	5
4. 主要测试内容	17
第二部分 测试情况	21
1 测试方案	21
2 测试结论	28
第三部分 附录	31
1 引用标准	31
2 术语	31
3 修订记录	31

第一部分 测试背景及范围说明

1.背景介绍

伴随着工业互联网的广泛推进，工业领域信息化业务的诉求对网络基础设施提出了更高的要求。工业企业内外网络、信息网络与控制网络都将向统一兼容、高质量传输、智慧运维的方向演进发展。

时间敏感网络 (TSN) 技术作为新一代以太网技术，因其符合符合标准的以太网架构，具有精准的流量调度能力，可保证多种业务流量的共网高质量传输等技术及成本优势，在音视频传输、工业、移动承载、车载网络等多个领域被认可成为下一代网络承载技术的演进方向之一。

TSN 技术相应基础共性标准主要由 IEEE802.1TSN 工作组研究制定，负责在 802 架构体系中的网间互操作、安全性和整体网络管理等方面的标准制定和应用推荐。目前 IEEE 已经公开发布的时间敏感网络相关标准已有 10 项之多。

表格 1 IEEE 802.1 AVB/TSN Task Group 部分已发布标准列表

标准编号	标题	状态
IEEEStd 802.1AS-2011	时间敏感应用的时间同步 Timing and Synchronization	2017年6月12日发 布
IEEEStd 802.1Qbu- 2016	帧抢占 Frame Preemption.	2016年8月30日发 布
IEEEStd 802.1Qbv- 2015	预订流量的增强功能 Enhancements for Scheduled Traffic.	2016年3月18日发 布

IEEEStd 802.1Qca-2015	路径控制和预留	2016年3月11日发布
IEEEStd 802.1Qch-2017	Cyclic Queuing and Forwarding	2017年6月28日发布
IEEEStd 802.1Qci-2017	Per-Stream Filtering and Policing.	2017年9月28日发布
IEEEStd 802.1Qcc-2018	Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements	2017年10月31日发布
IEEEStd 802.1Qcp-2018	YANG Data Model.	2018年9月14日发布
IEEEStd 802.1CB-2017	无缝冗余	2017年9月28日发布
IEEEStd 802.1CM-2018	Time-Sensitive Networking for Fronthaul	2018年5月7日发布

同时近年来，随着时间敏感网络技术在各个应用领域受到更为广泛和高度的关注，IEEE 也针对该项技术在垂直行业的应用开展了研究和标准的研制，并有多个工作组同步开展工作，2017年9月 IEEE 与 IEC 联合成立 60802 工作组专注于 TSN 在工业领域的应用研究。

目前，时间敏感网络协议族已经基本完备，技术趋于成熟，主流的芯片厂商（ADI、TTTech、博通等）、通信设备厂商（华为、思科、MOXA 等）以及自动化厂商（西门子、贝加莱、三菱、倍福等）都已经开展时间敏感网络相关的技术研究及产品研发。多家厂商已经推出设备样机，2019 年下半年起已有支持时间敏感网络技术的设备上市销售。国内外各类行业组织（如 IIC、IEC EE、AVNU、LNI4.0 等）也纷纷积极开展 TSN 测试床的搭建，启动 TSN 设备测试相关工作的规划布局。

为更好推动时间敏感网络技术的规模部署，在产业内形成合力，工业互联网产业联盟（AII）组织开展时间敏感网络相关测试工作，该项工作采取定期集中测试，不定期补充测试的方式，尽可能全面且快速地体现时间敏感技术的最新产品化进展，为时间敏感网络技术的研究及部署落地提供有力的数据支撑。



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

2.范围说明

在时间敏感网络的需求场景中，很多业务流量对于性能的要求不再仅仅局限于时延、抖动丢包上限的确定，而是要求实现流量中的帧可以在确定的，可预测的时间送达。因此时延的确定性将成为更为重要的指标要求，因此时间同步和流量调度是时间敏感网络的基础核心技术。

基于 IEEEstd 802.1as 全网的时间同步以及基于 IEEEstd 802.1Qbv 协议的门控调度机制即为这种需求提供了实现的底层技术基础。目前上述两个标准相对成熟，设备厂商也将其作为本阶段 TSN 技术的实现重点，因此也是目前时间敏感网络测试的主要测试范围。

遵照上述实际情况，在 2018 年 12 月的首次测试过程中，重点进行了多家厂商设备的基于时间同步特性和流量调度特性的设备级互通测试。在 2019 年 8 月的第二次测试过程中，除了进行了设备级互通测试，还利用了专业的测试仪表进行了时间敏感网络协议一致性测试。在 2020 年 12 月的第三次

表格 2 IEEE 802.1 AVB/TSN Task Group 部分已发布标准列表

测试时间	参与单位	测试内容
2018-12	中国信通院、华为、MOXA、ADI、思博伦	设备互通

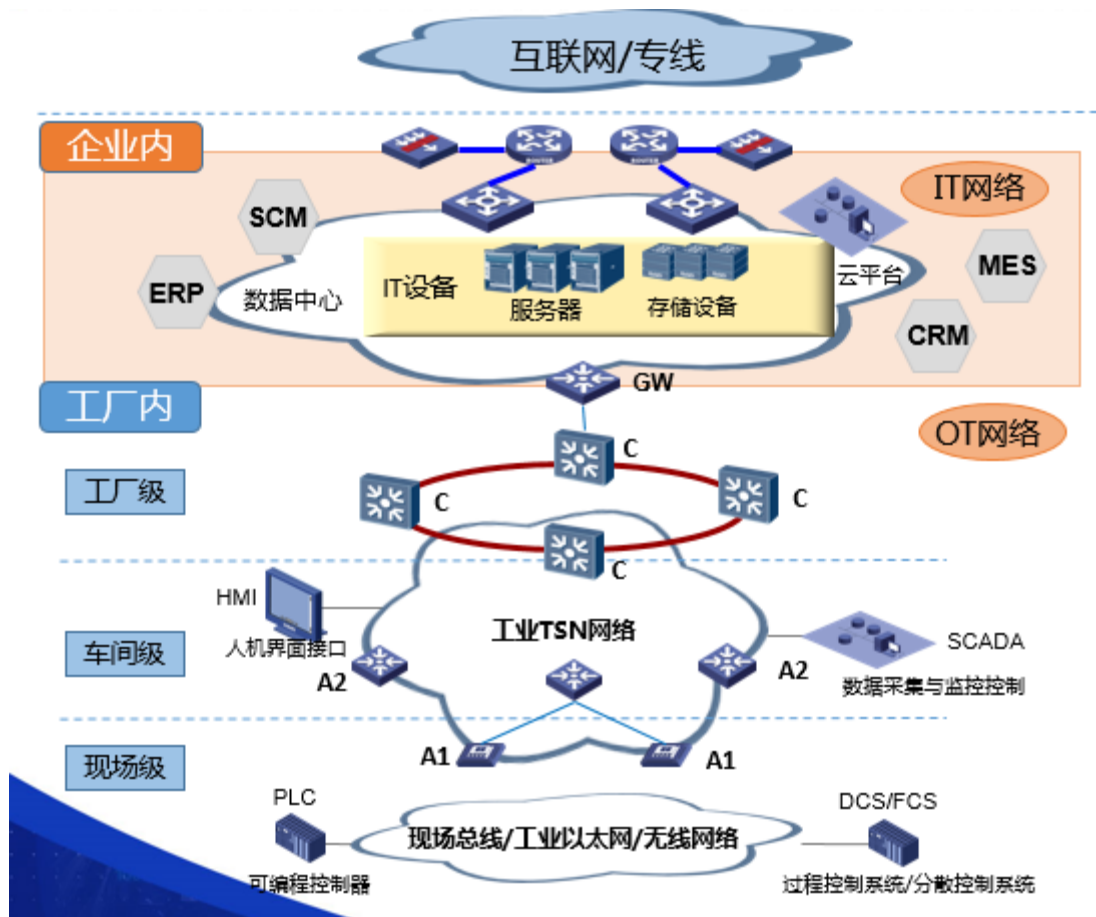
2019-08	中国信通院、华为、MOXA、TTtech、思博伦、IXIA、CC-Link 协会 (CLPA)、北京邮电大学	设备互通、协议一致性
2020-12	中国信通院、英特尔、博通、东土、新华三、思博伦、IXIA、西安云维智联	设备功能、协议一致性

3.设备及配套版本

3.1 设备分类说明

基于 TSN 网络在工业领域的应用第一阶段定位于实现工厂内 OT 网络的互联互通的判断，根据应用场景及网元在 OT 网络中的位置，将 TSN 设备分为网关、桥设备、端设备三个角色。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet



网关设备主要部署于时间敏感网络域边缘，支持在数据链路层、网络层及应用层实现跨时间敏感网络域及时间敏感网络域与非时间敏感网络域之间的互通。

网桥设备主要部署于时间敏感网络域内部，实现时间网络域内部业务单元（车间、产线、设备）的互联互通。建议以三层架构部署，即核心、汇聚、接入。核心层设备（C设备）部署于工厂级机房，实现工厂内部各车间之间的互联互通；汇聚层设备（A1）部署于车间级机房实现车间内部不同产线之间、集中式控制器与设备之间的互联互通；接入设备部署（A2）于生

产现场实现现场设备、传感器等通信接口的通信协议转换并与控制器、检测监控装置进行互联互通。

端设备则指具备时间敏感网络功能的工业设备，包括控制器、PLC、伺服、I/O 等设备。

此外还有测试专用设备，用于对时间敏感网络和相关设备进行流量、协议的测试。

表格 3 测试厂商参与测试设备一览表

厂商	设备类型	参与测试时间
华为	桥设备 (G 类)	2018-12、2019-08
MOXA	桥设备 (A1 类)	2018-12、2019-08
ADI	桥设备 (A2 类)	2018-12
思博伦	测试设备	2018-12、2019-08、 2020-09
IXIA	测试设备	2019-08
TTtech	芯片，可用于桥设备	2019-08、2020-09
CC-Link 协会 (CLPA)	端设备 (PLC、伺服、I/O)	2019-10
英特尔	端设备	2020-09

博通	芯片评估板	2020-09
东土	交换机	2020-10
新华三	交换机	2020-10
云维智 联	控制器、端设备	2020-10

3.2 设备介绍

1) 华为 TSN 交换机

华为 TSN 交换机 (AR 550E) 单端口最大带宽 1Gbps, 具有八个 10M/100M/1000M 自适应电口, 可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式, 单跳时延小于 10us, 抖动小于 500ns, 时间同步精度 20ns, 截止到 2018 年 12 月可支持的时间敏感网络基础协议包括: IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic、IEEE 802.1Qcc SRP Enhancements (Netconf/Yang)、IEEE 802.1Qbu Frame Preemption 等, 其他协议也在持续研发过程中, 此外还具备 OPC UA 终端功能。



2) MOXA TSN 交换机

摩莎科技TSN交换机（TSN-G5006）是一款集成了时间敏感网络特性的工业以太网接入交换机，单端口最大带宽1Gbps，具有4个10M/100M/1000M自适应电口，可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式，单跳时延小于10us，抖动小于500ns，时间同步精度20ns，截止到2018年12月可支持的时间敏感网络基础协议包括：IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic等，其他协议也在持续研发过程中。



3) 思博伦 C50 测试仪

思博伦公司的C50型号测试仪该测试仪是一款不仅可以支持传统的以太网功能及性能测试，并且搭配TTWorkbench可以进行包括时间敏感网络特性在内的以太网协议一致性测试的综合以太网测试仪表。



4) ADI 多模现场总线通信模块

ADI公司推出的多模现场总线RAPID模块，支持包括TSN在内的多种现场总线协议以向工业4.0过渡，支持Profinet/EtherCAT/Ethernet-IP/PowerLink等多种总线协议，支持基本的TSN以太网功能，以及传统个工业以太网与TSN网络

的协议转化，未来可用于低复杂度的边缘TSN以太网。助力传统工业网络与时间敏感网络的融合和演进。

5) IXIA 测试仪



是德科技的XGS系列仪表为网络设备和网络应用的性能、功能、安全和一致性测试提供了最全面的解决方案。该平台结合是德科技行业领先的IxNetwork®、IxLoad®和BreakingPoint®测试应用程序和自动化API，为大规模的2-7层测试提供了必要的能力和性能。

6) Kontron TSN 接口卡

TTTech 公司推出的 TSN Edge IP Solution 是支持多种 TSN 协议的完整解决方案，能帮助客户迅速完成 TSN 网络设备搭建，该 IP 解决方案现已应用于多个国内外项目中；同时 TTTech 公司也推出了 TSN 网络配置工具 Slate XNS，以图形化的方式对

TSN 网络进行配置，实施部署，同时能以库的形式集成到第三方工具中，方便实施二次开发。



7) CC-Link IE TSN 网络设备



三菱电机全新推出的对应 CC-Link IE TSN 网络的 FA 控制、驱动等产品，通过融入 TSN 技术的千兆工业以太网 CC-Link IE TSN 可整合 FA 系统和 IT 系统，既能轻松收集数据，又能在实施高速且安定的控制的同时，向 IT 系统传送大容量数据。

8) 英特尔 TSN 网卡



英特尔推出的 I210 网卡是单端口 PCI-Express * 10/100/1000 以太网适配器，支持 PCI Express * Gen 2.1 2.5GT / s，提供诸如节能等电源管理技术以太网（EEE）和 DMA 合并（DMAC）。以太网服务器适配器 I210 支持 IEEE 802.1Qav 音频视频桥接（AVB），适用于需要严格控制媒体流同步，缓冲和预留的客户。

9) 东土 TSN 交换机



东土科技公司推出的 SICOM3000TSN 时间敏感网络交换机是一款集成了时间敏感网络（TSN）特性的卡轨式管理型工业以太网交换机，提供 $2 \times 10\text{GBase-X SFP+}$ 接口， $4 \times 100/1000\text{Base-X SFP}$ 接口， $8 \times 10/100/1000\text{Base-T (X) RJ45}$

电口，可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式。当前可支持的时间敏感网络基础协议包括：IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic 、IEEE802.1Qcc SRP Enhancements (Netconf/Yang) 等，其他协议也在持续研发过程中。

10) 新华三 TSN 交换机



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

新华三公司推出的 TSN 交换机具有 8 个千兆电口和 2 个万兆光口，可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式，单跳时延小于 5us，抖动小于 500ns，时间同步精度 30ns，目前可支持的时间敏感网络基础协议包括：IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic 等，其他协议也在持续研发过程中。

11) 云维智联 TSN 设备



TSN PCIe 是一款基于时间敏感网络以太网标准的 2 端口的板卡。支持点-点，交换拓扑网络结构，多种类型数据传输、两级优先级调度等。通信端口传输速率为 1000Mbps，传输误码率小于 10^{-12} ，支持网络高可靠控制信息传输方法，避免消息非法篡改，冒充，重放等恶意攻击。目前可支持的时间敏感网络基础协议包括：IEEE 802.1AS、IEEE 802.3BR/IEEE 802.1Qbu、IEEE 802.1Qbv、IEEE802.1Qav 等，其他协议也在持续研发过程中。

3.3 版本说明

厂商	设备类型	设备型号	软件版本
Spirent	测试仪器	Spirent C50	4.9.2
华为	TSN 交换机	AR550E	内部版本
MOXA	TSN 交换机	TSN-G5006	V1.0

ADI	第一代 TSN 交换 模块	RAPID module	内部版本
TTtech	芯片 Demo	PCIE-0400- tsn	内部版本
IXIA	测试仪表	XGS 系列	内部版本
三菱	TSN 网络设备	RJ71GN11- T2	
英特尔	TSN 网卡	I210	ECS1.0
北京东土	TSN 交换机	SICOM3000 TSN- 2X4GX8GE-L2	T0001
H3C	TSN 交换机	IE4320- 10S-UPWR	A6601
云维智联	TSN 端设备	YW-TSN- ES-PCIE-C	1.0.1

4.主要测试内容

测试项目	主要测试内容	测试大项
接口互通	物理口	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		ADI & MOXA
	逻辑口	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		ADI & MOXA
时钟协议互通	1588v2	华为 & 思博伦
	IEEE802.1AS	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		华为 & 思博伦
		思博伦 & MOXA
		思博伦 & ADI
		MOXA & ADI
流量调度特性 互通 802.1Qbv 、 802.1Qbu 等	带宽控制	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI

	时延保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	时延保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	门控能力	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	时序保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
调度精度	思博伦 & 华为 & MOXA	

		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	门控精度	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
一致性测试	IEEE802.1as 协议	传送的 domainNumber
		流控制行为
		消息格式-没有 Q 标签
		消息格式-以太网字段和保留字段
		忽略其他 transportSpecific 值
		sequenceId
		Pdelay-Req 间隔
		字段值
		802.1AS 互通性测试
		基于 802.1AS 的同步性能测试 (1PPS)

	IEEE802.1Qbv	被测设备队列门控控制-1
		被测设备队列门控控制-2
		被测设备队列缓存
		被测设备队列缓存
		被测设备最小门控精度
		被测设备最大门控精度
		被测设备门控缺省值
		被测设备在没足够的传输时间时不传输帧
		被测设备队列最大门限帧长
	IEEE802.1Qbu	被测设备片段帧的重组
		被测设备对可抢占流的接收
		被测设备队列缓存
		被测设备最大门限帧长

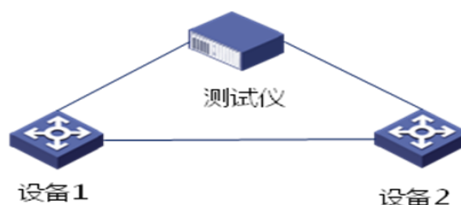
		被测设备最小门控精度
		被测设备最小调度周期
		被测设备最大调度周期
		被测设备切换队列的时长
		被测设备在没有足够的传输时间内不传输帧

第二部分 测试情况

1 测试方案

1.1 设备基本互通测试

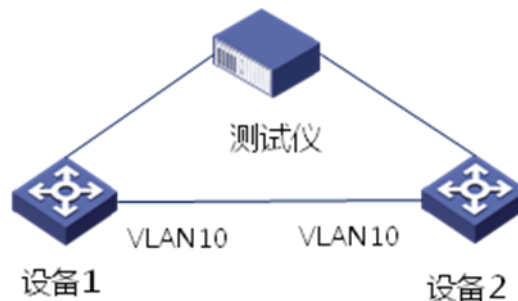
1.1.1 物理接口互通



测试内容：验证互通设备物理接口通过自协商建立接口速率和双工模式基本对接能力，互通设备和测试仪表如测试拓扑

连接，对接端口应该 UP，协商出的带宽及双工信息一致，普通二层流量可以打通，限速不丢包。

1.2.2 逻辑接口互通



测试内容：验证互通设备接口分别在标记流量和非标记流量的 VLAN 接口对接能力。对应互联逻辑接口 UP。测试仪分别打出非标记流量和标记流量（VLAN ID =10），可以实现流量打通并且不丢包。

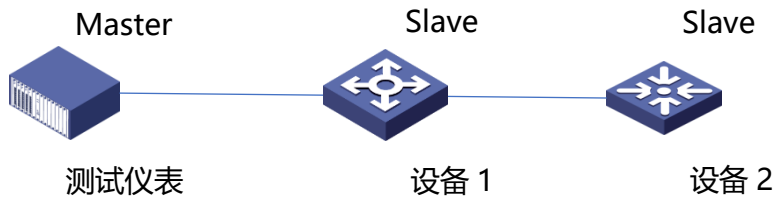
1.2 时钟协议互通测试

1.2.1 802.1AS 协议测试



测试内容：验证对接设备 IEEE802.1AS 协议下的时间同步功能。分别以测试仪、设备 1 及设备 2 作为主时钟源，组网中各设备使能 TSN 802.1AS 功能，经过时间对接锁定后，所有设备的 GrandMaster 都为测试仪表的 ClockID, 各设备时间稳定同步于主时钟。

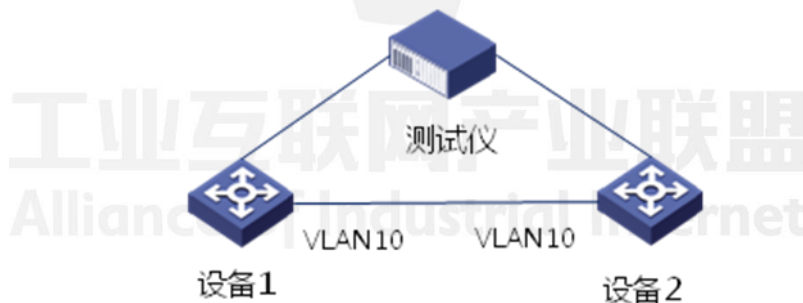
1.2.2 1588v2 协议测试



测试内容：验证对接设备 1588v2W 协议下的时间同步功能。分别以测试仪、设备 1 及设备 2 作为主时钟源，组网中各设备使能 1588v2 功能，经过时间对接锁定后，所有设备的 GrandMaster 都为测试仪表的 ClockID, 各设备时间稳定同步于主时钟。

1.3 流量调度互通测试

1.3.1 带宽控制



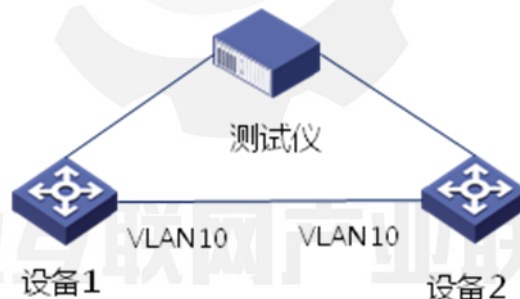
测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术下的带宽控制对接能力。通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察不同优先级流量丢包情况与设定是否一致。

1.3.2 时延保证



测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术对接时端到端时延保障能力。通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察高优先级流量时延与低优先级流量延时差异。

1.3.3 抖动保证



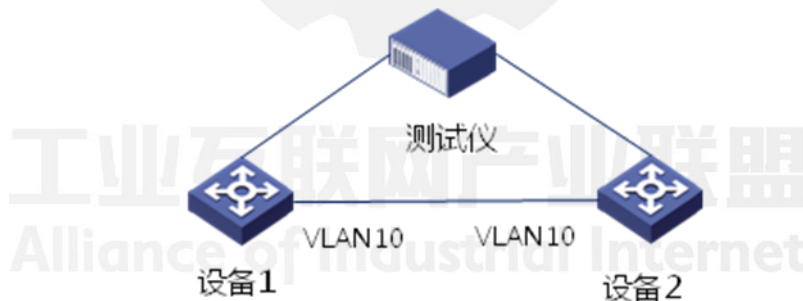
测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术对接时端到端带抖动保障能力。通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察高优先级流量时延与低优先级流量抖动差异。

1.3.4 门控能力



测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术下对接时门控调度配合能力。通过构建不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列，并限定门控时间两个队列调度时间各占 50%，并设定门控时间为一个包可以通过的整数倍，在测试仪抓包观察报文地次序。报文应在各自的时隙中到达，通过的报数与门控时间对应。

1.3.5 时序保证



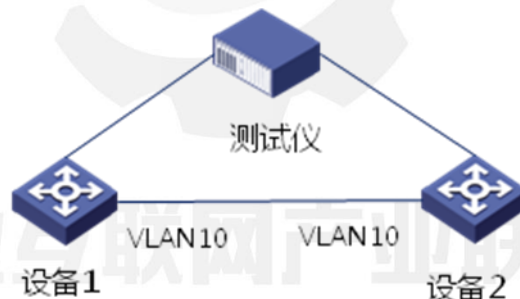
测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术对接时报文的时序保障能力。通过构建不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间各占 50%，在测试仪抓包观察报文地次序。报文应在各自的时隙中到达。

1.3.6 调度精度



测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术对接时报文的调度精度。通过构建两个不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间分别占 10%和 90%，调度时间设定为 1ms，在测试仪抓包观察报文地次序。报文抵达规律应按照 10%和 90%的比例抵达。

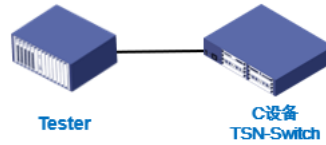
1.3.7 门控精度



测试内容：测试被测设备在时间敏感网络技术对接时转发队列门控精度。通过构建两个不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间各占 50%，门控时间设定为 5us，并设定包长通过的时间为门控时间的 n 分之一，在测试仪抓包观察报文，报文应该严格按照相应的个数在门控时间通过。

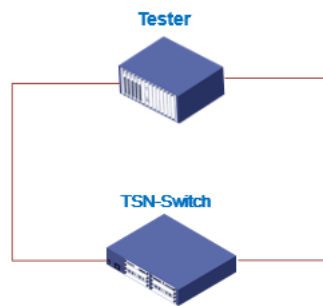
1.4 协议一致性测试

1.4.1 IEEE802.1AS 协议



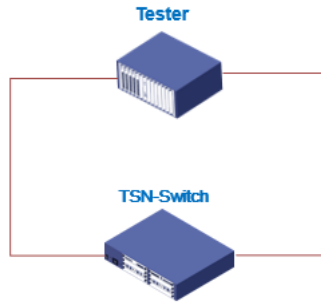
测试内容：测试被测设备对 IEEE802.1AS 的实现对协议的符合性。将被测设备与测试仪表的对接，测量各类时间同步协议报文的通信过程，分析是否符合协议规定的交互流程，并且通过抓包观察协议报文格式、参数，评估通信交互行为与协议报文的符合度，并最终观察时钟同步结果是否符合预期。

1.4.2 IEEE802.1Qbu 协议



测试内容：测试被测设备对 IEEE802.1Qbu 的实现对协议的符合性。将被测设备与测试仪表的对接，由测试仪构建时间敏感网络测试流量，测试流量经过被测设备，并且通过抓包观察被测设备的是否可以根据标志位对于各类被抢占报文进行识别、转发、重组，且相关行为是否符合协议要求。

1.4.3 IEEE802.1Qbv 协议



测试内容：测试被测设备对 IEEE802.1Qbv 的实现协议的符合性。将被测设备与测试仪表的对接，由测试仪构建时间敏感网络测试流量，测试流量经过被测设备，通过抓包观察在门控功能、调度精度、特殊报文处理等方面是否符合协议规定的预期结果。

2 测试结论

2.1 整体情况

根据 2020 年 8 月的时间敏感网络设备测试情况，测试结果的整体情况如下：

- (1) 三轮测试被测设备已经涵盖芯片/模组、交换机、端设备等，产业链逐步基本完备。
- (2) 从当前测试情况看，各设备厂商的时间敏感网络设备都已经能较好支持遵从 IEEE 802.1AS 的精确时间同步特性，并可以实现组网场景下的对接，但依旧存在如下典型问题：
 - ✓ 设备默认的时间制式没有实现严格同一，UTC 和 TAI 模式并

存，一旦两台不同时间基准制式的设备对接，可能会导致无法建立同步机制，导致同步失败；

- ✓ 时间同步精度差异较大，部分利用硬件时钟芯片实现的时钟精度较高，利用软件实现网络时钟同步功能的精度最差，逻辑实现的精度介于二者之间。
- ✓ 各设备在协商主从阶段发送 Announce 报文的机制实现不完全一致，部分设备当接收到优先级高于自己的 Announce 报文后就不再发送 Announce 报文，部分设备仍正常发送 Announce 报文，且普遍存在协议报文发送速率不精准的情况。

(3) 当前测试结果显示，各设备厂商的时间敏感网络设备都从单设备的粒度对遵从 IEEE802.1Qbv 的下行流量调度特性实现了支持，并在较为简单的流量模型下，可以实现组网场景下的对接应用；测试中发现如下对接问题：

- ✓ 各厂商设备对于 Qbv 门控调度的生效时间（BaseTime）算法不同，导致在对接测试时，可能造成门控不能精确同步，联动调度精度差的问题。
- ✓ 各厂商对于队列中传送周期大于门控周期的报文处理方式不同，有些是报文头通过即放行，有些则对于直接丢弃，也可能造成全网调度模型不统一，影响调度效果。
- ✓ 各厂商对于优先级队列的对应原则不统一，没有完全按照协议要求的优先级 1 将映射至流量类别 0，优先级 0 将映射至流量类别 1 的方式进行。

(4) 各厂商对于流的放行机制实现存在差异，在开门周期结束时刻存在正在传送的报文，部分厂商直接丢弃，部分厂商则继续转发，对接测试过程中会出现丢包或部分报文转发时延加大的情况。

(5) 目前，参与测试的大部分厂商已经实现了遵从 IEEE802.1Qbu&IEEE802.3br 协议的流量抢占特性，并在较为简单的流量模型下，可以实现组网场景下的对接应用；主要存在的问题有：

- ✓ 对于时间敏感网络抢占特性参加测试的设备中，目前仅部分厂商支持，可以做到在比较简单的流量模型下实现抢占的基本功能，对于被抢占报文分片后，下游设备的重组性能尚有待进一步提高。

结论：各设备厂商仍然主要针对单点特性进行研发实现，需要设备厂商对于设备实现进一步对齐，达成行业内统一，以便在后续的混合组网中，更好实现对接。网络控制器已经有原型系统出现，对于较为复杂的流量模型，还需要进一步进行功能和性能的增强，结合统一的管理模型，基于流量模型实现全网的统一配置，才能真正发挥时间敏感网络的技术优势。

2.2 详细情况

涉及技术细节，本版本略去。

第三部分 附录

1 引用标准

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

IEEE802.1AS-Rev 《Time Synchronization》
IEEE802.1Qbv 《Scheduled Traffic（下行流量调度）》
IEEE802.1Qbu/802.3br 《Preemption（抢占）》
IEEE802.1Qci 《Ingress Policing（上行流量监管）》
IEEE802.1CB 《Seamless Redundancy》
IEEE802.1Qcc 《Stream Reservation(Centralized Configuration)》

2 术语

TSN（Time Sensitive Networks）：时间敏感网络

TAG（VLAN 标签）用于区分数据帧所属 VLAN 的 4 字节长度字段，插在以太网数据帧头。

Trunk（干道）：Trunk 接口通常用于连接交换机和交换机，它们之前的链路称为 Trunk 链路

MTU（Maximum Transmission Unit）：最大传输单元

3 修订记录

- 1) V1.0 版本：本文档首次发布；
- 2) V2.0 版本：与 V1.0 相比，有如下刷新
 - （1）新增第二次测试情况介绍；
 - （2）新增厂家及设备介绍；
 - （3）刷新对接测试方案并新增一致性测试方案；

(4) 依据 2019 年 10 月测试情况，更新测试结论。

3) V3.0 版本：与 V2.0 相比，有如下刷新

(1) 新增第三次测试情况介绍；

(2) 新增厂家及设备介绍；

(3) 依据 2020 年 08 月测试情况，更新测试结论。



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet