



工业互联网产业联盟标准

AII/011-2021

工业互联网 时间敏感网络 网关设备技术要求

Industrial Internet — Time-sensitive Network
— Technical Requirements for Gateway Devices

工业互联网产业联盟

(2021年11月19日发布)

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 时间敏感网络 time-sensitive network.....	1
3.2 时间敏感网络网关 time-sensitive network gateway.....	2
3.3 通用时钟 wall clock.....	2
3.4 工作时钟 working clock.....	2
3.5 时间同步 time-synchronization.....	2
3.6 可靠性 reliability.....	2
4 缩略语.....	2
5 功能要求.....	2
5.1 基本功能.....	2
5.2 时钟同步.....	3
5.3 流量调度.....	3
5.4 协议转换.....	3
5.5 管理控制.....	4
5.5.1 控制协议.....	4
5.5.2 管理协议.....	4
6 性能要求.....	4
6.1 基本性能指标测试.....	4
6.2 时钟同步.....	4
6.3 流量调度.....	5
7 安全要求.....	5
7.1 功能安全.....	5
7.2 信息安全.....	5
7.2.1 流过滤和管理.....	5
7.2.2 数据链路层数据加/解密.....	5
7.2.3 安全设备标识.....	5
7.2.4 抵御针对广义精确时钟协议（gPTP）的攻击.....	5
8 环境要求.....	6
参 考 文 献.....	7

前 言

本标准是工业互联网时间敏感网络系列标准之一：

- 工业互联网 时间敏感网络 交换机技术要求
- 工业互联网 时间敏感网络 网关设备技术要求
- 工业互联网 时间敏感网络 端设备技术要求
- 工业互联网 时间敏感网络 交换机测试方法
- 工业互联网时间敏感网络 运维管理技术要求
- 工业互联网 时间敏感网络 安全技术要求
- 工业互联网 时间敏感网络 可靠性要求
- 工业互联网 时间敏感网络 流量模型规范
- 工业互联网 时间敏感网络 管理设备技术要求

随着技术的发展，还将制定后续的相关标准。

本文件由工业互联网产业联盟提出并归口。

标准牵头单位：之江实验室

标准起草单位和主要起草人：

之江实验室：李振廷、邹涛、卢东辉、陈页、张建锋、许东阳

新华三技术有限公司：孙芳、涂蝉勇、万晓兰、杨东红、吴晓佳

中国信息通信研究院：张恒升、段世惠、朱瑾瑜

中国移动通信有限公司研究院：郑师应

工业互联网创新中心（上海）有限公司：郑忠斌、徐东、黄海艇

上海交通大学：陈彩莲、许齐敏、张景龙

引 言

工业控制领域时间敏感网络的构建主要存在网络设备和工业设备两大类设备形态,即使同样是网络设备,时间敏感网络域内的网桥设备与实现域间互通的网关设备在功能、性能规格、安全性及可靠性的要求上也存在较大差异。为了应对后续时间敏感网络解决方案部署时存在的多种产品形态及不同厂商设备混合组网需求,有必要针对网关设备进行时间敏感网络技术的要求进行规范。

本文件旨在制定出一套可指导时间敏感网络网关的设计、研发、测试及生产的基础技术规范,为工业互联网时间敏感网络网关设备提出统一技术要求。



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

工业互联网 时间敏感网络 网关设备技术要求

1 范围

本文件规定了工业互联网领域时间敏感网络网关的功能、性能和安全要求。
本文件适用于指导时间敏感网络网关的设计、研发、测试及生产。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2432.1-2001 电工电子产品环境试验

GB/T 30094-2013 工业以太网交换机技术规范

GB/T 3483 电子设备雷击实验

YD/T 1099-2013 以太网交换机技术要求

IEEE 802.1CB 局域网和城域网 帧复制和可靠性消除（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Frame Replication and Elimination for Reliability）

IEEE 802.1Qci 局域网和城域网 桥接和桥接网络：每流过滤和管理（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Bridges and Bridged Networks — Amendment 28: Per-Stream Filtering and Policing）

IEEE 802.1Qbv 局域网和城域网标准 网桥和桥接网络 修订 25：排定流量增强（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Bridges and Bridged Networks — Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic）

IEEE 802.1Qbu 局域网和城域网标准 网桥和桥接网络 修订 26：帧抢占（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Bridges and Bridged Networks — Amendment 26: Frame Preemption）

IEEE 802.1AS 局域网和城域网标准 桥接局域网时间敏感应用时间和同步（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks）

IEEE 802.3-2015 以太网（IEEE Standard for Ethernet）

IETF RFC6241 网络配置协议（Network Configuration Protocol (NETCONF)）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

时间敏感网络 time-sensitive network

通过数据传输最大时间来划分的一种实时性网络，是在传统以太网基础上，使用精确的时间同步，

通过保障带宽来限制传输延迟，提供高级别服务质量以支持各种工业应用。本文件所指时间敏感网络为应用于工厂内部的时间敏感网络。

3.2

时间敏感网络网关 time-sensitive network gateway

支持时间敏感网络相关功能、满足时间敏感网络性能指标的一种使用在不同通信协议、数据格式之间的，可以适应目的系统需求的转换器。

3.3

通用时钟 wall clock (universal time)

用于大的项目事件及车间范围的时间对齐，其指定的时标体系为 TAI，并往往以人造卫星作为时钟源，可以保证世界范围的时间同步。

3.4

工作时钟 working clock

用于设备或者功能单元范围的时间对齐，其时标体系可以按照应用需求指定，保证需要彼此时间同步的设备之间的时间同步。

3.5

时间同步 time-synchronization

在一个系统内，各个子系统的时钟所指示的时间点在任意时刻都是一致的，时间的变化、更新也是一致的。

3.6

可靠性 reliability

系统在一定时间内和一定条件下无故障执行预定功能的能力。一个具有高可靠性的系统，其系统行为应是可控制、可预测的。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BMC: 最佳主时钟 (Best Master Clock)

CNC: 集中网络配置 (Centralized Network Configuration)

GM: 最高级主时钟 (Grand Master)

GPS: 全球定位系统 (Global Position System)

gPTP: 广义精准时钟同步协议 (General Precise Time Protocol)

IRIG: 美国靶场仪器组 (InterRange Instrumentation Group)

MAC: 媒体接入控制 (Media Access Control)

MACSec: 媒体访问控制安全 (Media Access Control Security)

TAI: 国际原子时 (International Atomic Time)

TOD: 当日时间信息 (Time of Day)

TSN: 时间敏感网络 (Time-Sensitive Network)

5 功能要求

5.1 基本功能

5.1.1 接口功能

时间敏感网络网关必须满足下述接口要求：

——应支持符合 IEEE 802.3-2015 协议的 10/100/1000Mbps 自适应以太网接口，传输介质宜根据应用场景选择 100Base-T4、100Base-TX 及 100Base-FX、1000Base-SX、1000Base-LX 中的至少一种；

——应支持 RS232、RS485 中的至少一种接口。

5.1.2 管理接口

时间敏感网络网关必须满足下述管理接口要求：

- 应至少提供一个带外管理接口，支持 RS232 串口或者以太网接口作为管理接口；
- 应支持业务端口作为带内管理接口使用。

5.2 时钟同步

5.2.1 时钟源

时间敏感网络网关按照下述要求实现时钟源功能：

- 时间敏感网络网关应支持 gPTP 广义精确时钟同步协议（IEEE 802.1AS）；
- 时间敏感网络网关应支持本地时钟源和 TOD 时钟源两种时钟源，并且支持针对 TOD 时钟源配置时间等级与时间精度；
- 可作为主时钟设备的时间敏感网络网关应具有时间信息输入接口，并支持连接不限于授时型 GPS/北斗卫星、IRIG-B 时间统一码信息或网络时钟；
- 时间敏感网络网关应采用 TAI 作为时间刻度基准，时间记录步长精度应不大于 40ns。

5.2.2 同步机制

时间敏感网络网关按照下述要求实现时钟同步机制：

- 时间敏感网络网关应支持发送、接收并识别 Announce 报文中的时钟优先级、时钟等级、时钟精度等参数，支持通过 BMCA 算法动态选举最优时钟；
- 时间敏感网络网关应具备通过事件消息报文及通用消息报文进行频率同步、延时测量及时钟同步计算的能力。

5.3 流量调度

5.3.1 时间分片调度

时间敏感网络网关应支持 IEEE 802.1Qbv 的门控调度机制对下行队列进行流量调度，具体要求如下：

- 支持通过配置同时对每一队列门控进行打开和关闭；
- 当队列处于关闭状态时，进入该队列的报文应存放在缓冲区，不应进入发送端口；
- 当队列处于打开状态时，进入该队列的报文应正常发送；
- 单一时序之最小单位应为微毫秒等级。

5.3.2 流量整形

时间敏感网络网关宜支持 IEEE 802.1Qci 规定的流过滤和监管机制，具体要求如下：

- 应支持 IEEE 802.1CB 规定的流标识功能；
- 宜支持 IEEE 802.1Qci 规定的流分类和测量、队列帧、流门控制状态机功能，实现对数据流的流过滤和监管的功能；
- 宜支持 IEEE 802.1Qci 规定的对接收端口的流过滤和监管的配置。

5.4 协议转换

网关宜支持多种通信技术，以增强设备和网络的交互通信。为了增强通信接口的功能，要求网关能够根据特定服务要求选择通信技术。

5.5 管理控制

5.5.1 控制协议

- 时间敏感网络网关支持 TSN CNC 通过向接口下发策略和控制信息；
- 时间敏感网络网关支持 Openflow 等控制协议，与网络控制器建立控制协议连接；
- 时间敏感网络网关支持资源信息的上报，包括但不限于转发节点端口、拓扑资源等；
- 时间敏感网络网关支持通过网络控制器进行 TSN 配置的下发，包括但不限于 IEEE 802.1Qci、IEEE 802.1Qbv。

5.5.2 管理协议

时间敏感网络网关应支持网络管理协议：

——应符合 YD/T 1099-2013 第 11 章所规定的简单网络管理协议、团体表格及管理信息库相关内容实现相关管理功能；

——应支持网络配置协议 IETF RFC6241 中规定的 NETCONF 协议，并实现 NETCONF 所有操作及 YANG 模型。

6 性能要求

6.1 基本性能指标测试

6.1.1 丢包率

产品的传输可靠性^[1]具体指标包括：

- 5亿位数据传输的误码率为0；
- 12小时数据传输的丢包率为0。

6.1.2 吞吐量

吞吐量指系统在单位时间所处理的信息量。本文件中具体吞吐量要求应符合协议转换的目标协议吞吐量要求。

6.1.3 网络时延

网络时延为测试设备发出带时间戳的测试帧到收到该帧的时间间隔，具体网络时延要求应符合协议转换的目标协议网络时延要求。

6.1.4 背靠背帧数

背靠背帧数指以最小帧间隔发送最多数据包不引起丢包时的数据包数量，具体背靠背帧数要求应符合协议转换的目标协议背靠背帧数要求。

6.1.5 MAC 地址学习速度

MAC 地址学习速度指网关可学习新的 MAC 地址（不用广播或丢弃数据帧）的速度，该指标用作衡量网络重启后地址表建立速度。

吉比特以下端口地址学习能力宜大于 1000 个每秒。

6.2 时钟同步

时钟同步具体指标包括：

- 时间敏感网络网关应支持时间戳精度不低于40ns；

——时间敏感网络网关应支持通过同步（Sync）报文和跟随（Follow_up）报文进行时钟（频率）同步，同一时间敏感网络域内应支持周期发起时钟同步，发起间隔的取值为 2^n （ $n=-5\sim 0$ ）s；

——时间敏感网络网关同步精度不得大于最小的调度周期和门控周期的精度，并保证7跳内同步精度至少在1us之内，宜保证150ns。

6.3 流量调度

——支持基于IEEE 802.1Qbu的流量监管、流分类及基于优先级的抢占特性，队列之间的调度精度不低于1ms；

——支持基于IEEE 802.1Qbv的流量调度，调度精度不低于1ms。

7 安全要求

7.1 功能安全

时间敏感网络网关应具备高可靠性，宜具备如下功能安全特性：

——时间敏感网络网关的时钟源应部署冗余备份；

——工作时钟宜部署热备份根时钟源，通用时钟宜部署冷备份根时钟源；

——时间敏感网络网关应单个业务流或者一组业务流支持单点故障（包括链路和中间节点）的保护或恢复，保护倒换时间应小于100ms；

——时间敏感网络网关需至少部署1+1和1:1保护倒换架构中的一种，宜支持基于IEEE 802.1CB协议的线性1+1保护倒换架构。

7.2 信息安全

时间敏感网络网关信息安全功能包括：

——鉴别和认证，确认用户的身份及其真实性；

——用户数据保护，与保护用户数据相关的安全功能和安全策略；

——系统功能保护，安全数据（完成括安全功能所需要的数据，如用户身份和口令）的保护功能；

——资源分配，对用户对资源的使用进行控制，不允许用户过量占用资源以免造成拒绝服务；

——安全审计，能够提供日志等审计记录，这些记录可以用来分析安全威胁活动和对策；

——安全管理，安全功能、数据和安全属性的管理能力；

——可信信道/路径，以时间敏感网络网关同其他设备间通信的信道/路径要求可信，传送敏感数据的通信应要与其他数据的通信隔离；

——系统访问，管理和控制用户会话的建立。

7.2.1 流过滤和管理

时间敏感网络网关应支持IEEE 802.1Qci的流过滤和管理，防止网络攻击和流量过载。

7.2.2 数据链路层数据加/解密

时间敏感网络网关可支持基于IEEE 802.1AE的MACSec，对端口数据流进行加/解密。

7.2.3 安全设备标识

时间敏感网络网关可支持基于IEEE 802.1AR的安全设备标识，与IEEE 802.1X结合使用，对设备进行鉴权和授权。

7.2.4 抵御针对广义精确时钟协议（gPTP）的攻击

时间敏感网络网关宜能抵御针对广义精确时钟协议（gPTP）的攻击。

8 环境要求

时间敏感网络网关应符合GB/T 2432.1-2001要求的以下环境要求：

- 正常工作的温度、湿度条件；
- 工作环境的防尘条件；
- 正常工作的产生的电子干扰；
- 抗电磁干扰能力。

时间敏感网络网关应符合GB/T 30094-2013要求的以下工业环境适应性要求：

- 大气压力条件；
- 电磁兼容要求；
- 绝缘性能。

时间敏感网络网关应符合GB/T 3483中防雷击能力要求。



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

参 考 文 献

- [1] 信息安全技术 工业控制系统边界安全专用网关产品安全技术要求. 2019.
-



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