



工业互联网产业联盟标准

AII/010-2021

工业互联网 时间敏感网络 可靠性技术要求

Industrial Internet — Time-sensitive Network —
Technical Requirements for Reliability

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 可靠性 reliability.....	1
3.3 流 stream.....	1
3.4 节点 node.....	1
3.5 链路 link.....	1
4 缩略语.....	1
5 概述.....	2
6 TSN 系统可靠性参数.....	2
7 TSN 可靠性技术要求.....	3
7.1 链路的可靠性要求.....	3
7.2 节点的可靠性要求.....	3
7.3 时钟可靠性要求.....	4
参 考 文 献.....	5

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：陈页、张建锋、许东阳、李振廷、邹涛、卢东辉

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

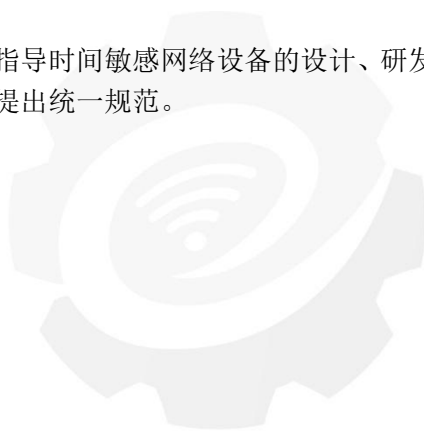
工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

引 言

工业互联网场景下，为了对标网络协同制造、精密制造、智能制造等，工厂内外部网络需要更大程度地实现互联互通、需要进一步满足控制信号的高质量传输，也需要支撑海量各类现场数据的上云。时间敏感网络具备大带宽、通用以太协议及精准网络 KPI 控制的技术优势，可满足工业网络日益数字化、智能化的技术需求。时间敏感网络作为下一代工业网络技术演进方向已经在业内形成共识。

目前国内外权威工业设备厂商已经开始研发、生产并销售时间敏感网络相关设备，为了应对后续时间敏感网络解决方案的规模部署，保证时间敏感网络的安全可靠运行，保证承载数据业务流量的安全可靠传输。

本文件旨在制定出一套可指导时间敏感网络设备的设计、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可靠性提出统一规范。



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

工业互联网 时间敏感网络 可靠性技术要求

1 范围

本文件规定了工业互联网中时间敏感网络可靠性技术要求，包括数据链路、交换机、网关、端设备、以及时钟的可靠性要求。

本文件适用于指导时间敏感网络设备的设计、研发、测试及生产。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 30094-2013 工业以太网交换机技术规范

GB/T 36211.1-2018 全分布式工业控制智能测控装置 第1部分：通用技术要求

YD/T 2188-2010 以太网线性保护倒换技术要求

DL/T 1241-2013 电力工业以太网交换机技术规范

IEEE 802.1CB 可靠性的帧复制和帧消除（Frame replication and elimination for reliability）

IEEE 802.1AS 时间敏感的时间和同步（Time and synchronization for time-sensitive）

IETF RFC 3768: 2004 虚拟路由冗余协议（Virtual Router Redundancy Protocol）

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

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。

3.3

流 stream

时间敏感数据从一个源到一个或多个目的，或是从一个发送系统到一个或多个接收系统的单向流。

3.4

节点 node

网络中对信息进行发送、转发、接收或存储的设备。

3.5

链路 link

网络中两个节点之间的物理通道。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- BMCA: 最佳主时钟算法 (Best Master Clock Algorithm)
 CNC: 集中网络配置 (Centralized Network Configuration)
 CUC: 集中用户配置 (Centralized User Configuration)
 FRER: 可靠性的帧复制和帧消除 (Frame Replication and Elimination for Reliability)
 gPTP: 广义精确时间协议 (Generalized Precision Time Protocol)
 MTBF: 平均无故障工作时间 (Mean Time Between Failures)
 MTTR: 平均修复时间 (Mean Time To Repair)
 TSN: 时间敏感网络 (Time-Sensitive Network)

5 概述

TSN技术在工业互联网的应用主要定位于实现工厂内部控制网络中各生产单元之间、控制网络与信息网络之间的互联互通。TSN的功能架构^[1]如图1所示,包含控制管理单元(CNC、CUC),传输单元(网关、桥设备),应用单元(工业应用设备等)三种功能单元。控制管理单元负责用户对网络需求的翻译及网络信息和设备配置的域间协同;传输单元除了支持时间敏感网络相关转发特性,还支持相关在线测量协议,实时将相关状态上送给管理单元;应用单元则需要具备接入时间敏感网络的能力,支持在线测量及运行维护相关协议。

TSN的可靠性即指系统在一定时间、一定条件下无故障的运行能力,可通过平均无故障工作时间、故障率、平均修复时间、可用性和宕机时间等进行评价。TSN可靠性问题主要由循环冗余校验(CRC)错误、线路开路及连接松动引起以及设备故障引起。

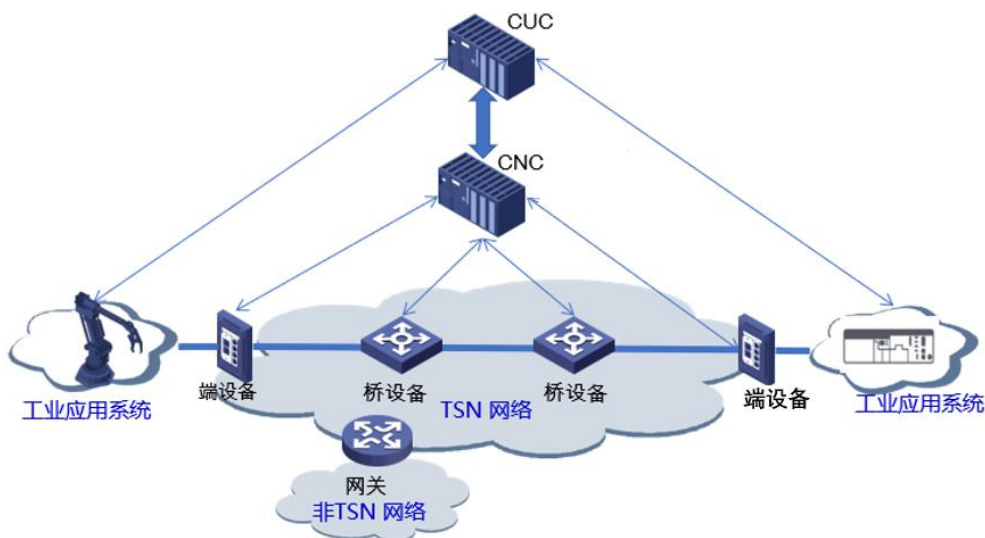


图1 TSN功能架构

6 TSN 系统可靠性参数

6.1.1 平均无故障工作时间 (MTBF)

可靠性可用 MTBF 衡量。MTBF 是一个统计值,通过取样、测试、计算后得到。

6.1.2 故障率

平均无故障工作时间的倒数。

6.1.3 平均修复时间 (MTTR)

由故障状态转为工作状态时的平均修复时间。

6.1.4 可用性

在要求的外部资源得到保证的前提下,产品在规定条件下和规定的时刻或时间区间内处于可执行规定功能状态的能力。

$$\text{系统可用性} = \frac{\text{系统运行时间}}{\text{系统运行时间} + \text{系统停机时间}} * 100\%$$

6.1.5 宕机时间

出现故障的停机时间。

7 TSN 可靠性技术要求

7.1 链路的可靠性要求

TSN 网络部署在网络二层,由网络节点和连接节点的链路组成。TSN 网络节点包括网关、交换机和端设备。链路应满足以下要求:

- 支持 IEEE 802.1CB 规定的帧复制和帧消除功能,支持复制帧沿不同的路径传输;
- 支持 YD/T 2188-2010 中的保护倒换功能,保护倒换时间应低于 50ms。

7.2 节点的可靠性要求

7.2.1 交换机的可靠性要求

TSN 网络中的交换机应满足以下技术要求:

- 满足 IEEE 802.1CB 中的中继系统的要求,支持流识别、复制帧消除功能;
- 应支持 IETF RFC 3768: 2004 中的虚拟路由冗余协议;
- 应配置双机热备,当主交换机发生故障时,备用交换机能够及时发现故障并代替主交换机工作;
- 满足 DL/T 1241-2013 中的应将自身配置参数以文件形式进行备份,在交换机遇故障或损坏,需要更换时,将备份文件复制至备用交换机即可完成配置替换;
- 应支持双电源冗余供电,支持冗余电源间的无缝切换;
- 可靠性指标应满足 GB/T 30094-2013 中的 MTBF ≥ 43800 h;
- 可用性应 $\geq 99.95\%$;
- 修复时间应 ≤ 1 h。

7.2.2 网关的可靠性要求

网关应满足以下技术要求:

- 支持 IEEE 802.1 CB 中帧复制与帧消除功能;
- 网关的数据传输可靠性应达到 5 亿位数据传输的误码率为 0, 12h 数据传输的丢包率为 0;
- 应具备双击热备功能,具体要求为:支持物理设备状态检测。当主网关自身出现断电或其他故障时,备用网关及时发现并接管主网关进行工作;具备基于链路状态检测的双机热备功能。当主网关直接相连的链路发生故障而无法正常工作,备用网关及时发现并接管主网关进行工作;
- 满足 GB/T 36211.1-2018 中的 MTBF 不小于 100000 h。

7.2.3 端设备的可靠性要求

端设备应满足以下技术要求:

- 支持 IEEE 802.1CB 中帧复制与帧消除功能;

——现场测控设备应直接或依靠其他工具提供备份功能，进行应用级和系统级信息（包括系统安全状态信息）的备份。当设备出现故障时，能自动切换备机进行正常工作；

——应提供恢复功能，即能够恢复到预先定义的安全状态，或在中断或故障后由用户恢复并重组先前保存的备份。

7.3 时钟可靠性要求

时间敏感网络中的网桥和终端站，应满足以下要求：

——支持 IEEE 802.1AS 中规定的广义精确时间协议（gPTP）；

——支持通过 IEEE 802.1AS 中规定的 BMCA 算法动态选取最优时钟；

——主时钟应具有热备份主时钟，二者实时同步运行，一旦主时钟发生故障，应无缝切换到与备份主时钟同步；

——每个主时钟具备两条时钟通路，一条发生故障后，应切换至另一条通路；

——当系统某条链路出现故障或者某个节点的时钟特性发生变化时，支持重新运行 BMCA 算法，决策出新的最佳主时钟，重新分配端口角色；当网络接入失败时，本地网络系统支持重新运行 BMCA 算法，自动切换为本地网络中的最佳时钟；

——时间敏感网络的时间戳精度不低于 40ns；

——7 跳内同步精度至少在 1 μ s 之内，宜保证 150ns。

参 考 文 献

- [1] 2018-1367T-YD 工业互联网 时间敏感网络技术要求（报批中）。
-



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