

T/HZZK

团 体 标 准

T/HZZK XXX—2021

工业时间敏感网络 现场网络交换设备技术要求

Industrial time sensitive network
Technical requirements for network switching equipment at the scene

(征求意见稿)

2021 - XX - XX 发布

2021 - XX - XX 实施

惠州仲恺高新区软件行业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 网络架构	2
5.1 网络组成	2
5.2 网络分域	4
5.3 流量模型	4
5.4 体系架构	5
6 功能要求	5
6.1 基础网络功能	5
6.2 时间同步	6
6.3 流量策略要求	6
7 技术指标要求	7
7.1 系统要求	7
7.2 核心设备	7
8 主要设备技术	8
8.1 现场网络交换设备技术	8
8.2 汇聚传输层设备技术	10
9 可靠性要求	11
10 安全技术要求	11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由惠州市新一代工业互联网创新研究院提出。

本文件由惠州仲恺高新区软件行业协会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XX。

工业时间敏感网络 现场网络交换设备技术要求

1 范围

本文件规定了工业时间敏感网络现场网络交换设备的术语和定义、工业时间敏感网络架构设计、功能要求、技术指标要求、主要设备技术、可靠性要求、安全技术要求。

本文件适用于工业时间敏感网络现场网络交换设备技术要求。

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。

IEC 62443 工业过程测量、控制和自动化网络与系统信息安全（Security for industrial automation and control systems）

IEEE Std 802.1AS-2012 IEEE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 802.1Qbv-2015 IEEE局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网 修订25：流量提升（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Bridges and Bridged Networks Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic）

IEEE Std 802.1Qbu-2016 IEEE局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网 修订26：帧抢占（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Bridges and Bridged Networks Amendment 26: Frame Preemption）

IEEE Std 802.1Qci-2017 IEEE局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网 修订28：逐流过滤和监管（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Bridges and Bridged Networks – Amendment 28: Per-Stream Filtering and Policing）

IEEE Std 802.1Qcc-2018 IEEE局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网 修订31：流量预留好的性能增强（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Bridges and Bridged Networks – Amendment 31: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance）

IEEE Std 802.3-2018 IEEE以太网（IEEE Standard for Ethernet）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业时间敏感网络 Industrial time sensitive network

允许周期性与非周期性数据在同一网络中传输，使得标准以太网具有确定性传输的优势，并通过厂商独立的标准化进程，具有为工业上所有设计业务流量提供有上限的确定时延传输能力的网络。

3.2

现场网络交换设备 network switching equipment at the scene

是边缘接入层的核心设备,采用5G移动通信边缘计算平台架构,可提供软件定义的资源虚拟化环境,在这个环境中,移动边缘应用可发现、通告、消费和提供移动边缘服务。

4 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

CU: 中心单元 (Center Unit)

DU: 分布单元 (Distribution Unit)

CBS: 承诺突发尺寸 (Committed Burst Size)

CIR: 承诺信息速率 (Committed Information Rate)

CNC: 集中网络配置 (Computer Numerical Control)

CUC: 集中用户配置 (Computer User Control)

CPS: 信息物理系统 (Cyber Physical Systems)

LTE: 长期演进技术 (Long Term Evolution)

MAC: 强制访问控制 (Mandatory Access Control)

MEC: 移动边缘计算 (Mobile Edge Computer)

PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)

TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)

TSN: 时间敏感网络 (Time Sensitive Network)

SDN: 软件定义网络 (Software Defined Network)

UNI: 用户侧接口 (User Network Interfac)

UTC: 世界统一时间 (Coodinated Universal Time)

MTBF: 平均无故障工作时间 (Mean Time Between Failure)

MANO: 网络功能虚拟化管理和编排 (Management and Orchestration)

SCADA: 数据采集与监视控制系统 (Supervisory Control And Data Acquisition)

OFDM: 正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OPC UA: OPC统一架构 (OLE for Process Control Unified Architecture)

5 网络架构

5.1 网络组成

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 工业时间敏感网络架构由汇聚交换层、MEC 边缘接入层与现场设备层组成。

5.1.1.2 时间敏感网络应具备 CUC 节点,作为网络系统用户侧界面,用于管理工业应用系统并通过 UNI 接口向 CNC 提供端到端应用系统之间网络业务配置要求。

5.1.1.3 时间敏感网络的 CNC 节点应具备时间敏感网络相关特性的综合配置能力,通过南向接口向网络节点下发相关配置。

5.1.1.4 时间敏感网络转发设备节点负责进行实际的报文转发,并支持相关 TSN 特性的执行;根据应用场景及网元在网络中的位置,将时间敏感网络转发设备分为网关、桥设备、端设备三种类型:

- a) 数字项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;

- b) 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；
- c) 工厂内部建议以三层架构部署网桥设备，即核心、汇聚、接入层设备。核心层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；
- d) 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。时间敏感网络的网管节点可以与CNC节点物理上合设，负责网络设备的故障监控及资源管理。

5.1.2 边缘接入层架构

5.1.2.1 边缘接入网络由现场网络交换设备和各类终端设备组成，各类终端设备如下：

- a) 包括嵌入 WIFI 终端模块；
- b) LTE 终端模块；
- c) 工业以太网终端以及工业物联网模组的各类 CPS 设备；
- d) 工业传感设备等。

5.1.2.2 现场网络交换设备应能提供车间级软件定义综合接入与交换、边缘网络 SDN 组网控制(代理)、虚拟化网络资源管理和数据交换及现场数据预处理和存储服务。

5.1.2.3 现场网络交换设备应能提供高精度的时间基准。

注：高精度的时间基准如UTC时间信息、特定用户报文收发的准确时间信息等。

5.1.3 汇聚层架构

5.1.3.1 汇聚传输层的核心设备由时敏网络 SDN 控制器设备和光电低时延交换与授时同步设备一体化设备组成。

5.1.3.2 运维管理系统和业务控制系统主要部署在控制管理网中，可实现对全网全域的管理，全网全域软件定义组网控制策略下发。

5.1.3.3 可信安全系统嵌入在各个设备和环节中。

5.1.3.4 光电低时延交换与授时同步设备一体化设备设计如下：

- a) 应能完成时敏业务的数据转发及交换；
- b) 可支撑基于数据标签的交换资源自动适配；
- c) 非时敏业务在边缘云预处理后进入工厂云端；
- d) 边缘云时敏业务可通过全光链路进行汇聚交换传输，提供低延时的端到端传输体验，支撑未来远程机器人触觉控制、特种车间环境监控处置等高时敏业务需求。

5.1.3.5 汇聚层的架构组成如图 1 所示。

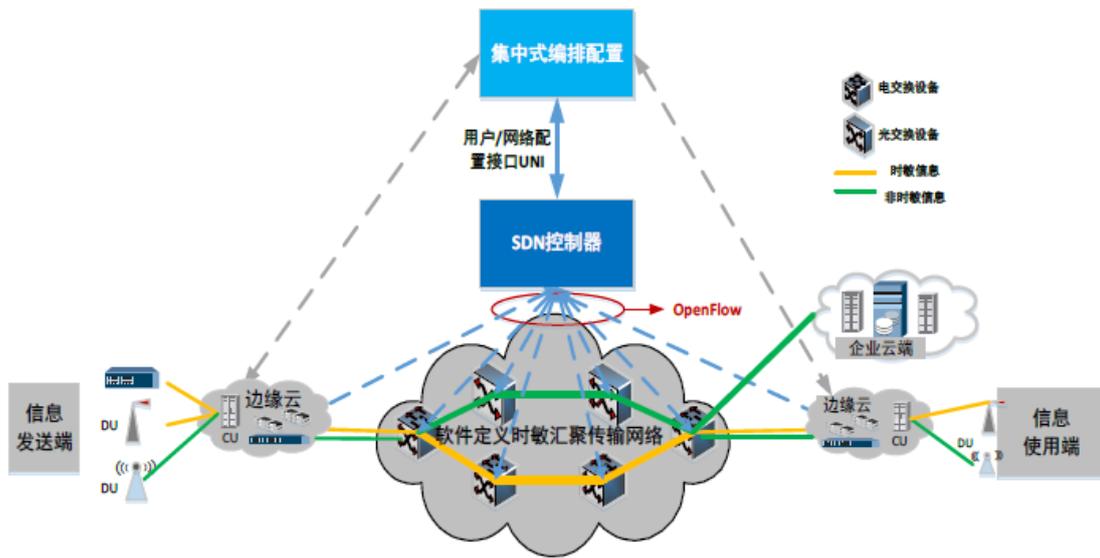


图1 汇聚层的架构组成图

5.2 网络分域

出于单域规模、承载要求以及业务隔离等目的，时间敏感网络宜考虑分域部署，如下：

- 同一时间敏感网络域内的设备支持通过同一个控制器统一进行网络和流配置下发到设备；
- 非时间敏感交换设备不应在时间敏感网络中部署和运行；
- 同一个时间敏感域内可按照业务、产线、流量模型等维度划分逻辑或者物理子域。

5.3 流量模型

5.3.1 流量特征

根据工业领域业务流量特点，建议定义时间敏感网络流量的流量特征指标，描述见表1时间敏感网络流量特征描述：

表1 时间敏感网络流量特征描述

名称	取值	描述
等时性	等时Cyclic/非等时Acyclic	描述流量的发送是否为高频率等时(毫秒级)发送
周期性	周期Periodic/非周期sporadic	描述流量为周期发送还是随机发送
同步性	是/否同步于网络时钟	描述业务流量是否在应用层与网络时间同步，以便对齐流量发送机制与网络调度机制
应用数据包长	定长/变长	描述应有数据以太帧的净荷
数据传输门限	时限	描述流量中的每一个帧到达接收端的最晚时间
	延时	描述流量中每一个帧传送的平均时延
	带宽	描述流量的发送速率
	抖动	描述流量对于抖动的容限
丢包	丢包	描述流量对于丢包的容限
紧急程度	高/中/低	描述网络承载质量对于应用系统的

5.3.2 流量类型

同一域内的时间敏感网络应具备统一的流量类型分类及标识方式，该分类将作为优先级指定、队列分配及调度的依据：

- a) 可以按照承载要求划分流量类型：等时同步流量（如用于运动控制）、一般实时流量（如用于一般自动化控制信号、视觉控制信号等）、尽力而为的 TCP/IP 流量（如工业参数赋值和组态、运行维护信息，生产物流监控信息等），此种分类方式主要用于按需申请网络资源；
- b) 可以按照流量典型特征划分流量类型：如同步等时流量、周期性固定包长流量、非周期变长包流量等，此种分类方式主要用于调度模型的建模。

5.4 体系架构

5.4.1 技术体系

采用“两面一支撑”的分层分面的网络架构，主要由数据面、控制面和跨层管理支撑系统组成。具有独立的软件定义控制面，依托统一的跨层管理支撑平台。控制平面负责对信息进行分发路径的构造和缓存管理，数据平面负责对信息进行转发，控制平面和数据平面之间采用统一的协议进行通信。应支持时敏与非时敏的融合，包括业务支持和资源控制，将可信嵌入到各层面，支持可信策略的弹性适变时敏网络。

5.4.2 体系架构

工业时敏网络架构采用控制与数据转发分离的网络架构，具有以下设计特性：

- a) 控制/转发分离：支持第三方控制面设备通过开放式协议远程控制通用硬件的交换/路由功能；
- b) 控制平面集中化：可提高路由管理灵活性，加快业务开通速度，简化运维；
- c) 转发平面通用化：多种交换、路由功能共享通用硬件设备；
- d) 控制器软件可编程：可通过软件编程方式满足客户化定制需求。

6 功能要求

6.1 基础网络功能

6.1.1 转发要求

工业互联网领域中，时间敏感网络应具备有界低延迟，具体的转发功能要求如下：

- a) 时间敏感网络应支持设定时间敏感数据流传输带宽下限，时间敏感数据流传输带宽应不低于 10 Mbps，图像、视频等高吞吐类时间敏感数据流传输带宽应不低于 100 Mbps；
- b) 在同一规模不大于 100 节点的时间敏感网路域中两节点之间的端到端报文传输延时应控制在相应的范围；
- c) 在同一规模不大于 100 节点的时间敏感网络域中任意两节点之间的端到端报文传输抖动应不影响正常传输。

6.1.2 接口要求

在工业互联网领域，时间敏感网络应具备标准化及多样化的连接接口，具体技术要求如下：

- a) 工业互联网中的 OT 网络场景下，时间敏感网络域间和域内互联的物理接口应至少支持电口，IT 场景建议支持光口；

- b) 时间敏感网络与物联网的互联物理接口要支持 IEEE 802.3:2008 规定的电接口规范 (10BASE-T、100BASE-TX 和 1 000BASE-T)，互连接口最高支持速率不小于 100 Mbps；
- c) 时间敏感网络与数据中心网关的互联物理接口要支持需要满足 IEEE 802.3:2008 规定的光接口规范 (100BASE-FX、1 000BASE-SX 或 1 000BASE-LX)，互连接口最高支持速率不小于 1 000 Mbps。

6.1.3 互通要求

在工业互联网领域，时间敏感网络应具备跨域互通的能力，即时间敏感网络域之间，时间敏感网络与非时间敏感网络域之间的互通，可以通过二层桥接模式、三层路由模式及七层网关模式三种方式实现：

- a) 二层桥接模式主要用于实现不同时间敏感网络域之间互通；
- b) 三层路由模式主要用于实现分别位于时间敏感网络与非时间敏感以太网中的网络系统之间的互通；
- c) 七层应用模式主要用于实现分别位于时间敏感网络与非以太网中的应用系统之间的互通。

6.2 时间同步

6.2.1 应具备按照配置策略手动选源和按照算法自动选取时钟源的能力。

6.2.2 时间同步是时间敏感网络的基础特性和基本要求，用于支撑工业应用以及网络调度的同步需求：

- a) 同一时间敏感网络域中时间同步机制可以遵循 1588v2 或者 IEEE 802.1AS 中的一种，推荐使用 IEEE 802.1AS 作为时间敏感网络同步协议，并建议选择 TAI 作为时间刻度基准，时间记录步长精度应不大于 40 纳秒；
- b) 时间敏感网络节点应支持通过同步 (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 的 n 次幂 ($n=-5$ ms~0 ms)；
- c) 时间敏感网络应支持时延测量机制，用于校准各节点由于时延产生的时间同步偏差；路径时延由网络节点间链路时延和网络节点内转发时延组成，时间敏感网络内部每一跳的路径时延测量应包含这两部分；
- d) 在同一时间敏感网络域中同步精度不得大于最小的调度周期和门控周期的精度，并保证同步精度在 100 纳秒到 1 微秒之间。

6.2.3 考虑时间同步节点规模、同步精度等因素，时间同步域的划分遵循以下要求：

- a) 时间同步域由多个时间同步网元通过时间同步机制互联而成，一个时间同步域应至少支持 100 个网络节点的时钟同步；
- b) 一个时间同步域内可以包含一个或者多个时间敏感网络域，一个时间敏感网络节点可以同时对应多个时间同步域和时间敏感网络域；
- c) 时间敏感网络中的同一时间敏感网络域内时间同步树应该可以通过外部配置统一建立，并应具备配置参数集；
- d) 时间敏感网络中的同一时间敏感网络内时间同步树应具备上报同步状态的高性能，并应具备状态参数集。

6.3 流量策略要求

6.3.1 流量调度

时间敏感网络应支持 IEEE 802.1Q 所规定的流量调度功能：

- a) 时间敏感网络支持若干条优先级队列，可以基于端口或者 VLAN 进行业务流量的优先级映射；

- b) 时间敏感网络支持 IEEE 802.1Q-2018 规定的以太网相关流量调度机制，并增量支持时间分片门控调度机制（IEEE 802.1Qbv-2016），即某一队列门控打开时，流量正常转发，门控关闭时流量进入缓存等待转发。

6.3.2 抢占

时间敏感网络应支持 IEEE 802.1Qbu-2016 规定的帧抢占机制：

- a) 时间敏感网络支持通过配置标记业务流量数据帧为普通或优先，优先帧可以打断普通帧的传输，以保证高优先级流量的传输质量；
- b) 时间敏感网络转发设备应支持 IEEE 802.3br 规定的 MAC 转发机制，即提供普通 MAC 和优先 MAC 两种逻辑端口，分别对应普通帧和优先帧的转发；
- c) 时间敏感网络转发设备应支持对于被延迟或者打断的普通帧恢复传送或者分片重组。

6.3.3 流量过滤和监管

时间敏感网络宜支持通过配置进行 IEEE 802.1Qci-2017 规定的流量的过滤和监管：

- a) 时间敏感网络宜支持通过配置对于满足过滤条件的报文进行流量过滤，过滤条件包括但不限于最大包长、CIR、CBS 等；
- b) 时间敏感网络宜支持对按照优先级队列、通过或未通过门控队列、通过或者未通过过滤队列等维度进行流量统计。

7 技术指标要求

7.1 系统要求

7.1.1 网络承载传输与高精度授时一体化，针对节点处理时延、排队时延、传输时延等在内的时延抖动控制，传输时延补偿精度优于 10 ns。

7.1.2 网络低时延高可靠纠错编码技术，适应不同业务数据低时延高可靠需求，系统无线端到端传输时延 5 ms，传输可靠度 99.999%。

7.1.3 边缘网络交换设备可实现对时间敏感网络和非时间敏感网络的统一，支持 IPv4、IPv6，支持边缘计算架构；网络（TSN）通信模块采用 CU+DU 模块化分布式云接入架构设计，支持现场总线控制、双线以太网设备及无线设备接入，时间同步精度达到 1 μs，支持承载测控数据和图像数据传输。

7.1.4 窄带广域网物联网无线接入技术支持测控数据传输，实现 TCP 上行速率 > 100 kbps，TCP 下行速率 > 100 kbps，抖动在 ±100 μs 的范围内。

7.1.5 无线光、宽带无线局域网物联网接入技术支持传输高速测控数据、图像与音视频数据传输，实现 TCP 上行速率 > 50 Mbps，TCP 下行速率 > 50 Mbps，抖动在 ±100 μs 的范围内。

7.2 核心设备

7.2.1 光电低时延交换与授时同步设备一体化设备

光电低时延交换与授时同步设备一体化设备的技术指标应满足以下要求：

- a) 可接受 SDN 组网控制设备的管理控制，支持光电一体交换；
- b) 单设备交换时延：≤ 1 μs；
- c) 单波支持最高速率：10 Gb/s；
- d) 误码率：≤ 1 × 10⁻¹²；
- e) 单设备最大支持波长适配数：6 个；

- f) 时间同步精度： $\leq 1 \text{ ns}$ 。

7.2.2 SDN 组网控制设备

SDN组网控制设备的技术指标应满足以下要求：

- a) 支持 OpenFlow 协议，支持对现场网络交换及接入设备的流表控制；
- b) 可支持对时敏网络和非时敏网络切片的控制能力；
- c) 可支持内生安全协议通过 OpenFlow 南北向接口同步下发。

7.2.3 现场边缘云网络交换及接入设备

现场边缘云网络交换及接入设备的技术指标应满足以下要求：

- a) 边缘网络 SDN 组网控制支持多种模式的接入控制与现场交换存储，支持 IPv4/IPv6，根据现场任务需求生成边缘网络切片资源；
- b) 采用软件定义可重构的方式兼容两种以上现场设备接入体制，DU 支持级联拉远部署；
- c) 可兼容现有工业无线局域网模块、LTE 数据卡无线接入，分布式 DU 设备集成现有工业以太网等标准接口；
- d) 支持 NB-IoT/LoRa 模组接入，模组到边缘云接入设备传输时延 $< 5 \text{ ms}$ ，传输时延抖动在 $\pm 100 \mu\text{s}$ ，上下行传输速率不小于 100 kbps ；
- e) 支持无线光/无线宽带 uRLLC 低时延高可靠接入体制，传输时延抖动 $< \pm 100 \mu\text{s}$ ，上下行传输速率不小于 50 Mbps 。

7.2.4 无线光/微波协同传输设备

无线光/微波协同传输设备的技术指标应满足以下要求：

- a) 协同通信速率： 1 Gbps （无线光）/ 300 Mbps （微波）；
- b) 最远协同通信距离： $\geq 3 \text{ km}$ ；
- c) 误码率： $\leq 1 \times 10^{-9}$ 。

8 主要设备技术

8.1 现场网络交换设备技术

8.1.1 边缘计算网络交换设备架构

边缘计算网络交换设备架构应满足以下特点：

- a) 多样化业务支持能力提升；
- b) 高效的网络运营维护；
- c) 多种有线/无线传输能力；
- d) 网络切片使能；
- e) 灵活的网络编排与管理（MANO）。

8.1.2 边缘网络光电一体交换模块

8.1.2.1 模块组成及架构

交换设备将网络数据转发处理抽象成通用的 Match-Action 过程，通常称为“南向接口”。南向接口分别用于实现控制层与网络层之间控制协议信息的互通，以及网管系统与网络层的管理信息交互，支持 OpenFlow 等协议实现。

8.1.2.2 支持的交换体制

现场网络交换设备支持IPv4/IPv6交换体制；支持网络交换设备可实现对时间敏感网络和非时间敏感网络的统一；支持现场总线控制、双线以太网设备。

8.1.2.3 具备时间同步功能

支持承载测控数据和图像数据传输，具备现场数据处理功能，具备工业现场数据的分类存储、上传功能，提供数据处理软件的部署平台。

8.1.2.4 支持受控转发

提供控制接口，能够接收并执行转发策略，控制接口协议满足OpenFlow1.3。

8.1.2.5 软件操作平台

操作系统采用基于实时Linux，采用KVM通用虚拟化工具可实现计算机资源虚拟化，应支持4G/5G技术运用。

8.1.3 CU/DU 分离 TSN 时敏云接入模块

8.1.3.1 模块组成

采用基于CU/DU(中心单元/分布单元)的两级架构，由一个CU及一个或多个DU(含射频和基带处理)组成，CU(中心单元)和DU(分布单元)可独立部署，满足各场景和应用需求。

8.1.3.2 技术支持

可提供的技术支持应包含如下方面：

- a) 支持 WIFI 模块接入；
- b) 支持 4G 的 LTE 数据卡接入；
- c) 支持 5G 和毫米波高速传输；
- d) 支持低时延高可靠终端接入；
- e) 发射功率：最大 30 dBm，功率自适应；
- f) 双工方式：FDD、TDD；
- g) 通道数量：不小于 2T2R；
- h) 覆盖半径：不小于 300 m。

8.1.3.3 资源虚拟化

虚拟化的现场网络交换设备主要由虚拟化基础设施、虚拟网络功能和虚拟化无线接入处理编排器三个域构成。CU-DU通过虚拟层可将硬件资源抽象为归一化的虚拟化基础设施的无线接入处理虚拟资源，提供给不同技术体制的无线接入功能软件调用。

8.1.3.4 可重构无线接入波形

不同应用及业务的无线接入技术统一在同一个体系框架构中，实现多种体制的波形共存。主要特点体现为：

- a) 波形控制面与用户面相分离；
- b) 用户面协议栈融合化、组件化设计。

8.1.4 无线光接入模块

无线光接入模块应包含：

- a) 发射电模块，采用曼彻斯特编码实现信号的转换；
- b) 发射光模块，在 LED 芯片外加上初级光学设计和二元光学设计，改变光束输出；
- c) 接收光模块，采用 PIN 硅光电二极管，保证其有足够的受光面有较浅的 PN 结深度，以提高光电转换能力；
- d) 接收电模块：
 - 1) 时钟提取及恢复电路：提供全网同步时钟法、同步剩余时钟法和自适应时钟同步法等供选择，通过锁相环恢复出发送时钟，实现时钟同步和提取；
 - 2) 信号检测及处理系统：对接收到信号的 OFDM 解调，为恢复原始信号而进行的后端均衡算法。

8.2 汇聚传输层设备技术

8.2.1 工业网络控制设备

8.2.1.1 技术架构

由业务解析、智能控制、资源感知、网络配置、切片控制各子模块组成，共同完成网络传输服务。

8.2.1.2 技术实现

8.2.1.2.1 作为工业时敏网络组网控制与业务传输优化的实体，对下感知并调度网络资源，对上提供按需组网和传输质量保障，实现网络拓扑感知与交换控制、子网接入控制与移动管理、网络资源感知与调度、业务感知以及端到端传输优化。

8.2.1.2.2 基于软件定义网络技术体制实现，通过中心式的控制，实现对全网通信资源的按需分配与调度。

8.2.1.2.3 应提供基于任务驱动的按需服务能力，使零散的网络资源能够被有效地收集、整理和调度，实现资源的优化配置。

8.2.1.2.4 通过模型分析与数据库构建，集成具备业务编排能力的任务解释逻辑，可根据预定义的策略，理解上层应用支撑服务的各项通信需求，挖掘可用信息，生成并下发流表，实现对网络资源的优化配置，为申请网络服务的业务提供端到端的路径与资源保障。

8.2.1.3 接口类型

接口类型安排如表2所示。

表2 系统内部接口

序号	信息流向	接口名称	交互内容	接口类型
1	业务解析→智能控制	任务下发接口	任务/业务需求	API
2	智能控制→切片控制	切片服务调用接口	切片资源调用	API
3	切片控制→网络配置	切片控制接口	切片配置及策略	API
4	智能控制→网络配置	组网控制接口	网络配置及策略	API
5	资源感知→智能控制	网络态势上报接口	网络资源	API

8.2.2 光交换承载与高精度授时一体化

8.2.2.1 硬件架构由群路放大单元、群路交换单元、波长转换单元、光纤授时单元、主控单元以及高速背板等组成。

8.2.2.2 软件架构由 OpenFlow 报文处理单元、心跳处理单元、状态信息单元、消息队列单元、IP 连接单元、分域处理单元、带内路由加载单元、波长复用单元、增益均衡单元、状态查询单元、光层调度处理单元等。

8.2.2.3 采用波长选择开关为核心处理单元，解决光波长动态路由交换问题，实现多维度低时延可重构全光交换。

8.2.2.4 将参考时钟分发至网络各节点，实现全网节点时基的高度一致，时间同步精度优于 1 ns。

8.2.3 无线光/微波协同传输

通过以下技术设计单元进行实现：

- a) 光学天线设计；
- b) 扫描、捕获、跟踪单元；
- c) 扫描捕获设计；
- d) 自动跟踪设计；
- e) 伺服稳定系统设计。

9 可靠性要求

工业互联网场景下，工业时间敏感网络现场网络交换设备应具备高可靠性，需要具备如下可靠性技术：

- a) 工业时间敏感网络的同步时钟、节点等主要都应部署冗余备份；
- b) 现场网络交换设备的 MTBF 应不低于 1 000 h；
- c) 工作时钟建议部署热备份根时钟源，通用时钟建议部署冷备份根时钟源；
- d) 工业时间敏感网络业务流应支持单点故障的保护或恢复，同一工业时间敏感网络域内的误差延误对其他转发应无影响；
- e) 时间敏感网络需至少部署 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。

10 安全技术要求

工业互联网场景下，工业时间敏感网络现场网络交换设备应满足业务数据机密性、完整性、可用性、真实性等的安全技术：

- a) 工业时间敏感网络应具备现场网络交换设备的准入控制功能，对现场网络交换设备接入的类型及数量进行控制，现场网络交换设备接入工业时间敏感网络应具备准入条件；
- b) 应具备鉴权功能，包括但不限于现场网络交换设备鉴权及用户鉴别能力；
- c) 应可以根据实际业务要求实现资源保护，划分相应的工业时间敏感网络域，并进行相应隔离；
- d) 现场网络设备应遵从 IEC 62443 的规定，具备入侵防范能力。