

ICS 00.000

CCS 0 00



团 标 准

T/CEATEC XXX—2025

空间光电混合网络动态调优技术规范

Technical specification for dynamic tuning of space electro-optical hybrid

network

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 总体架构	2
5.1 感知层	2
5.2 决策层	2
5.3 执行层	2
5.4 协同层	2
6 技术要求	2
6.1 感知层技术要求	2
6.2 决策层技术要求	3
6.3 执行层技术要求	3
6.4 协同层技术要求	3
6.5 调优触发与终止条件	3
7 动态调优流程	4
7.1 触发阶段	4
7.2 感知阶段	4
7.3 决策阶段	4
7.4 执行阶段	4
7.5 反馈与终止阶段	4
8 性能指标	4
9 测试方法	4
9.1 感知层测试	4
9.2 决策层测试	5
9.3 执行层测试	5
9.4 协同层测试	5
9.5 性能指标测试	5

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

空间光电混合网络动态调优技术规范

1 范围

本文件规定了空间光电混合网络动态调优的总体架构、技术要求、动态调优流程及性能指标，描述了相应的测试方法。

本文件适用于空间光电混合网络动态调优系统的设计、开发、部署、运行及维护。

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 18211 信息技术 安全技术 密码模块安全要求

GB/T 21671 基于IP的宽带通信网络技术要求

GB/T33745 物联网 术语

GB/T 34953 信息技术 系统间远程通信和信息交换 高可靠低时延的无线网络通信协议规范

GB/T37076 信息安全技术 指纹识别系统技术

YD/T 2866 光传送网（OTN）网络管理技术要求

3 术语和定义

GB/T 33745界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

空间光电混合网络 space electro-optical hybrid network

由卫星、航空器、地面站等节点组成，融合空间光通信链路（如激光链路）与微波/射频电通信链路，实现跨空域数据传输的网络系统。

3.2

动态调优 dynamic tuning

基于网络实时运行状态（如链路质量、负载分布、业务需求等），动态调整网络资源分配、路由策略、传输参数等，以优化网络性能的过程。

3.3

空间光链路 spatial optical link

利用激光或红外光信号在空间节点间进行数据传输的通信链路，具有高速率、低干扰特性。

3.4

调优触发条件 optimize the trigger conditions

引发动态调优流程的网络状态阈值或事件，如链路中断、时延超标、负载过载等。

3.5

服务质量 service quality

业务传输过程中的性能指标集合，包括时延、抖动、丢包率、带宽等。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- a) QoS: 服务质量 (Quality of Service)
- b) OTN: 光传送网 (Optical Transport Network)
- c) SDN: 软件定义网络 (Software-Defined Networking)
- d) NFV: 网络功能虚拟化 (Network Function Virtualization)
- e) BER: 误码率 (Bit Error Rate)
- f) 3D: 三维 (Three Dimensions)
- g) SNR: 信噪比 (Signal-to-Noise Ratio)

5 总体架构

空间光电混合网络动态调优系统的总体架构包括以下核心模块：

5.1 感知层

负责实时采集网络运行状态数据，包括：

- a) 链路状态：光/电链路的SNR、BER、带宽利用率、连通性等；
- b) 节点状态：卫星/地面站的CPU负载、内存占用、能耗等；
- c) 业务状态：业务类型、带宽需求、时延要求、优先级等。

5.2 决策层

基于感知层数据进行分析与决策，输出调优策略，包括：

- a) 链路选择策略：根据链路质量选择光链路或电链路；
- b) 资源分配策略：动态分配带宽、功率等资源；
- c) 路由调整策略：优化数据传输路径以降低时延或丢包率。

5.3 执行层

执行决策层下发的调优策略，包括：

- a) 链路切换：在光链路与电链路间切换传输路径；
- b) 参数配置：调整调制方式、编码速率、发射功率等；
- c) 资源调度：分配时隙、频率等网络资源。

5.4 协同层

实现跨节点调优协同，支持多节点间的状态同步与策略一致性校验。

6 技术要求

6.1 感知层技术要求

6.1.1 数据采集范围

感知层应采集以下数据，采集频率可配置（默认不低于1次/秒）：

- a) 光链路参数：SNR(范围: -5dB~30dB)、BER(范围: 10^{-12} ~ 10^{-9})、传输速率(1 Gbps~100Gbps)、链路中断状态；
- b) 电链路参数：信号强度(-110dBm~-50dBm)、带宽利用率(0%~100%)、时延(0ms~1000ms)；
- c) 节点参数：CPU负载(0%~100%)、内存占用(0%~100%)、剩余能耗(0%~100%)；
- d) 业务参数：业务ID、优先级(1~5级，1级最高)、带宽需求(1Mbps~10Gbps)、最大可容忍时延(10ms~1000ms)。

6.1.2 数据采集精度

数据采集误差应满足：

- a) SNR: $\pm 0.5\text{dB}$;
- b) BER: $\pm 10\%$;
- c) 时延: $\pm 1\text{ms}$;
- d) 带宽利用率: $\pm 5\%$ 。

6.1.3 数据传输安全

感知数据应采用加密传输（如AES-128算法），并通过校验和（如CRC32）保证完整性，防止篡改或泄露。

6.2 决策层技术要求

6.2.1 链路选择策略

决策层应根据以下规则选择传输链路：

- a) 当光链路 $\text{SNR} \geq 10\text{dB}$ 且 $\text{BER} \leq 10^{-9}$ 时，优先选择光链路传输高带宽业务（需求 $\geq 1\text{Gbps}$ ）；
- b) 当光链路 $\text{SNR} < 5\text{dB}$ 或 $\text{BER} > 10^{-6}$ 时，自动切换至电链路；
- c) 当业务优先级为1级（最高）且电链路时延 $\leq 50\text{ms}$ 时，允许采用电链路保障可靠性。

6.2.2 资源分配策略

资源分配应遵循以下要求：

- a) 基于业务优先级分配带宽，优先级1级业务带宽保障率 $\geq 99\%$ ，优先级5级业务带宽保障率 $\geq 80\%$ ；
- b) 节点CPU负载超过80%时，自动将部分低优先级业务（4-5级）迁移至负载 $\leq 50\%$ 的节点；
- c) 光链路功率调整范围为 $5\text{dBm}-20\text{dBm}$ ，调整步长 $\leq 1\text{dBm}$ ，避免功率过载。

6.2.3 路由调整策略

路由调整应满足：

- a) 当主路径时延超过业务最大可容忍时延的120%时，触发路由重计算；
- b) 重路由计算时间 $\leq 100\text{ms}$ ，确保业务中断时间 $\leq 500\text{ms}$ ；
- c) 路由路径应避开 $\text{BER} > 10^{-5}$ 的链路及负载 $> 90\%$ 的节点。

6.3 执行层技术要求

6.3.1 链路切换性能

链路切换应满足：

- a) 光链路与电链路切换时间 $\leq 100\text{ms}$ ；
- b) 切换过程中丢包率 $\leq 0.1\%$ ；
- c) 切换完成后1s内，链路参数（如带宽、BER）应稳定在目标值 $\pm 5\%$ 范围内。

6.3.2 参数配置精度

执行层对传输参数的配置误差应满足：

- a) 调制速率： $\pm 2\%$ ；
- b) 发射功率： $\pm 0.5\text{dBm}$ ；
- c) 时隙分配： $\pm 10\mu\text{s}$ 。

6.3.3 执行层应在策略执行后 50ms 内，向决策层反馈执行结果（成功/失败及原因），失败时应自动重试（重试次数 ≤ 3 次）。

6.4 协同层技术要求

6.4.1 状态同步

多节点间的状态数据同步时延 $\leq 100\text{ms}$ ，同步精度 $\geq 99.9\%$ ，确保调优策略一致性。

6.4.2 冲突消解

当多节点调优策略冲突时（如资源争夺），协同层应基于优先级规则（节点级别）业务级别）进行消解，消解时间 $\leq 500\text{ms}$ 。

6.5 调优触发与终止条件

6.5.1 触发条件

满足以下任一条件时，应触发动态调优：

- a) 光链路BER连续3次采样 $\geq 10^{-6}$ ；
- b) 节点CPU负载持续 $5\text{s} \geq 90\%$ ；
- c) 业务实际时延超过最大可容忍时延的150%；
- d) 链路中断（持续时间 $\geq 100\text{ms}$ ）；
- e) 人工触发（通过控制端下发指令）。

6.5.2 终止条件

满足以下所有条件时，调优流程终止：

- a) 光链路BER $\leq 10^{-9}$ 且稳定时间 $\geq 30\text{s}$ ；
- b) 所有节点CPU负载 $\leq 70\%$ ；
- c) 业务QoS指标达标（时延 \leq 阈值、丢包率 $\leq 0.1\%$ ）；
- d) 无新的触发事件（持续5min）。

7 动态调优流程

7.1 触发阶段

感知层监测到符合6.5.1的触发条件时，向决策层发送调优请求，包含触发事件类型及相关数据。

7.2 感知阶段

感知层按6.1要求采集并上传网络状态数据，决策层对数据进行预处理（去噪、归一化）。

7.3 决策阶段

决策层基于预处理数据，按6.2的策略生成调优指令（如链路切换、资源分配参数等），并通过协同层校验策略一致性。

7.4 执行阶段

执行层接收调优指令后，按6.3要求执行链路切换、参数配置等操作，并实时反馈执行状态。

7.5 反馈与终止阶段

决策层持续监测网络状态，若满足6.5.2的终止条件，则终止调优；否则，重复7.2-7.4步骤。

8 性能指标

空间光电混合网络动态调优系统的性能指标应满足表1要求。

表1动态调优系统性能指标

指标项	要求值
调优响应时间	$\leq 500\text{ms}$
链路切换成功率	$\geq 99.9\%$
业务中断时间	$\leq 1\text{s}$
QoS达标率（优先级1级）	$\geq 99.5\%$
节点负载均衡度	$\leq 20\%$ （最大与最小负载差）
系统运行功耗	$\leq 50\text{W}$ （单节点）

9 测试方法

9.1 感知层测试

通过模拟光/电链路环境（如调节SNR、BER），验证数据采集范围、精度及加密传输功能，采用网络测试仪记录误差值。

9.2 决策层测试

构建仿真网络场景（含10个以上节点），注入不同优先级业务流，检查链路选择、资源分配及路由调整策略的正确性。

9.3 执行层测试

触发链路切换事件，通过示波器和协议分析仪测量切换时间、丢包率及参数配置精度。

9.4 协同层测试

在多节点组网环境中，人为制造策略冲突，验证冲突消解的正确性及状态同步时延。

9.5 性能指标测试

通过压力测试工具模拟高负载场景，持续监测调优响应时间、QoS达标率等指标，测试时长不少于24h。