 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i9.7439

Research on topology optimization and reliability improvement strategy of optical communication network based on SDH

Donglin Tang Chunhua Hu

Institute of the 34th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Guilin, Guangxi, 541000, China

Abstract

As the information age advances, business demands are placing higher demands on network bandwidth, stability, and reliability. Synchronous Digital Hierarchy (SDH), a core transmission technology for supporting large-capacity and multi-service traffic, continues to play a crucial role in optical communication networks. This paper examines the current architecture and bottlenecks of the SDH optical transmission system from the perspectives of network structure optimization and reliability enhancement. It proposes optimization strategies for node selection, link layout, and protection mechanisms. Through model analysis and simulation evaluations of different topologies, the proposed solutions have been verified to improve performance metrics such as network capacity utilization, fault recovery speed, and service availability. The research findings indicate that optimized topology design can significantly enhance network resource efficiency and fault tolerance, providing a reference for the smooth evolution of SDH networks and their integration with packet-switched networks.

Keywords

SDH; topology optimization; optical communication; reliability; fault recovery

基于 SDH 的光通信网络拓扑优化与可靠性提升策略研究

唐栋林 胡纯华

中国电子科技集团公司第三十四研究所，中国 · 广西 桂林 541000

摘 要

随着信息化时代的深入发展，业务需求对网络带宽、稳定性和可靠性提出了更高要求。同步数字体系（SDH）作为支持大容量、多业务承载的核心传输技术，依然在光通信网络中发挥关键作用。本文从网络结构优化和可靠性提升角度出发，系统梳理 SDH 光传输体系中的架构现状及存在瓶颈，针对节点选址、链路布局、保护机制等方面提出优化策略。通过对不同拓扑结构进行模型分析与仿真评估，验证提出方案在性能指标上的改善，包括网络容量利用率、故障恢复速度、服务可用性等。研究结果显示，经优化后拓扑设计能显著提高网络资源效率与故障容忍能力，为 SDH 网络平滑演进以及与分组网融合提供参考依据。

关键词

SDH；拓扑优化；光通信；可靠性；故障恢复

1 引言

光纤传输凭借大容量、低损耗特性成为主干网建设首选，SDH 技术作为电信网核心传输手段，在城域与骨干网广泛部署。尽管分组交换技术发展迅速，但 SDH 在可管理性、时延确定性方面优势明显。然而，随着业务形式向高清视频、云计算、物联网等多样化演进，对网络拓扑提出更高要求，如何在现有 SDH 网络中实现结构优化与容错能力提升成为关键问题。

当前，许多运营商采用的环状或网状 SDH 拓扑存在诸多问题，如节点布局不均、链路冗余度不足、保护机制配置滞后等，导致网络资源浪费、故障恢复慢、维护成本高。而且已有研究多侧重单一保护方式，缺乏综合方案与多维度协同优化研究。

优化 SDH 网络拓扑意义重大，能提升资源利用率、降低建设和运维成本，增强可靠性与恢复性能，保障关键业务连续性。本文聚焦节点选址、链路布局、网络保障机制等方面提出协同优化方法，构建满足业务增长与可靠性要求的 SDH 网络拓扑模型，优化节点选址与链路配置，引入协作保护机制并仿真评价其性能，最终针对部署与升级提出可行建议，为网络平滑演进和运营效率提升提供理论与实践支撑。

【作者简介】唐栋林（1995–），男，中国广西全州人，本科，助理工程师，从事通信研究。

2 SDH 光通信网络现状分析

SDH 体系以统一时钟框架为基础，支持 STM - 1、STM - 4、STM - 16 等多种速率，在网络应用中具备显著优势。它实现了网络管理的统一化，让网络管理更加高效有序；能够及时进行故障定位，便于快速排查和解决问题；还能适配多种业务接口，满足不同业务的接入需求。然而，SDH 体系也存在一些不足，其拓扑静态性较强，难以灵活适应网络变化；业务承载透明性较弱，可能会对部分业务的传输造成一定影响；保护机制过度依赖冗余链路，增加了网络建设和维护成本。

常见的 SDH 网络拓扑形式有单环（UPS）结构、双环（BLSR）结构和网状结构。单环结构简单，但故障恢复能力较弱，一旦出现故障，业务恢复时间较长。双环结构保护可靠，能快速实现业务切换，但成本较高。网状结构节点互联增加了网络的灵活性，但规划复杂度也大幅提高。此外，SDH 网络还存在主要瓶颈点，如节点部署布局不合理会造成交换资源浪费，光纤链路冗余度不足会影响容错能力，保护机制覆盖不完整以及节点等级与链路带宽不匹配等问题，这些都需要在建设和优化 SDH 网络时加以重视和解决。

3 节点布局优化策略

在通信网络节点选址与规划中，需综合多方面因素以实现高效、可靠的网络布局。

交通流量引导的节点选址是重要环节。借助交通矩阵引导方法，以业务流量数据为分析根基，对候选节点开展加权评分。在此过程中，要全面考量业务量大小、地理覆盖范围以及现有交换中心设施情况，确保选定的节点既能满足业务需求，又能合理利用现有资源，实现资源的最优配置。

层次化节点等级划分有助于提升网络运行效率。依据业务密度和传输需求，将节点划分为聚合节点与核心节点。核心节点具备大容量汇聚和故障切换功能，是网络的关键枢纽；聚合节点则负责区域内的业务分配。这种划分策略能精简链路，提高节点间的互联效率，保障网络的稳定运行。

基于混合整数规划的选址模型为节点选址与链路容量规划提供了科学依据。通过建立联合规划模型，以最小化总成本、保障业务路由可达、满足冗余保护要求为目标，运用启发式算法求解，并对比不同布局方案的成本与容错性能，从而选出最优方案。

4 链路配置与冗余设计

4.1 主 / 备链路结构设计

根据网络拓扑结构与实际业务流量需求，合理设计主链路与备份链路是提高网络稳定性和业务连续性的关键。在 SDH 网络架构中，链路的可靠性直接关系到关键业务的实时传输能力，因此必须建立具有快速切换能力的主备结构。常用的方案包括双向共享保护环（BLSR）、子网连接保护（SNCP）和双套 SDH 系统（DSSDH）等，其中 BLSR 适用于核心环网，具备高度可恢复能力和自动路径重构特性；SNCP 适合点到点链路，操作简单且切换时间短；而 DSSDH 则以独立系统构建主备通道，提供物理层冗余保障。

4.2 链路带宽分级与弹性配置

在实际网络运行过程中，不同链路承担的业务种类和流量差异显著，若一律采用统一带宽配置，将导致资源利用率低下。因此，将链路按照流量强度和业务等级进行分级设计成为提升网络效率的重要策略。通过流量监控平台获取一段时间内的流量数据，分析链路的最大负载、日均流量和波动范围，可将其划分为高带宽链路（如核心汇聚路径）、中等带宽链路（如区域间互联路径）与低带宽链路（如边缘接入路径）。此分级方式可有效避免链路拥塞或资源浪费问题。

4.3 链路阻断恢复机制

链路阻断是网络运行中最常见的故障形式之一，其影响范围取决于故障链路的位置、所承载的业务类型及是否具备冗余机制。因此，为增强网络的容错性与可自愈能力，必须构建高效的链路阻断恢复机制。该机制应基于完整的网络拓扑图和路径冗余策略，结合节点布局特点，设计多路径传输通道并配合保护协议实现自动切换。在链路中断发生后，系统需第一时间检测异常并依据预设规则启动次级路径，保障业务在不中断的前提下继续传输。

5 保护机制协同优化

5.1 混合保护模式

为确保不同业务类型在网络传输过程中的稳定性与服务等级，需建立针对性更强的多层次保护体系。在当前的 SDH 网络中，关键业务如语音核心交换、重要政企专线等对中断敏感，应采用具备快速故障切换与高恢复保障能力的双环型 BLSR（双向线性共享保护环）机制。该结构允许在单点失效时迅速启用备路，保障环内任意两个节点之间通信不中断。而对于普通数据传输类业务，如监控视频、普通互联网接入服务等，则可选用成本相对较低的 SNCP（子网连接保护）机制实现点到点保护，其具有配置灵活、资源消耗小等优点。

5.2 级联保护逻辑设定

单一保护机制在大型城域或跨省级网络中往往难以应对复杂链路拓扑下的多点联动故障。因此，在原有保护架构基础上引入级联保护机制显得尤为关键。级联逻辑设定的核心是构建故障传播路径图谱，并对其进行动态权重分析，形成影响因子模型。系统依据节点的拓扑位置、业务承载量及冗余能力等参数建立分层影响域，当某一链路或节点发生故障时，快速定位其影响范围，并触发相应层级的保护动作。

例如，若主路径故障且首备路径不可用时，应立即调用跨区域链路或备用核心节点参与服务切换，形成纵深防御策略。该机制还需与网络控制平面紧密配合，借助 SDH 控

制协议（如 APS 自动保护切换）与路由策略同步更新，确保切换过程的准确性和最小业务抖动。通过仿真分析表明，级联保护机制显著提高了多故障情况下的服务恢复能力，同时对冗余资源的占用更为合理，有效降低长期运维压力。

6 仿真实验与性能评价

6.1 仿真平台与参数说明

为验证上述拓扑优化与保护机制设计的有效性，构建仿真平台成为关键环节。本研究依托 NS3 与自研 SDH 模拟模块，综合网络拓扑信息、业务流量矩阵、物理链路参数与节点能力设定进行建模。仿真网络涵盖不同等级的节点布局，设定核心节点 8 个、聚合节点 16 个、接入节点 32 个，总链路数超过 100 条，分别模拟不同流量密度下的传输状态与故障响应过程。

在参数设定方面，链路延迟区间设定在 0.5ms 至 5ms 之间，带宽设置为 STM4 至 STM64 不等。保护机制仿真覆盖 SNCP、BLSR、链路备份与级联切换机制，故障事件包括单点链路断裂、节点故障、区域级中断三类。主要评估指标包括：1）PST（保护切换时间）；2）网络整体可用性（Availability）；3）冗余资源利用率；4）恢复路径效率；5）配置复杂度评分等。所有测试均重复运行 10 次以上，保证结果稳定性。

6.2 优化前后比较

仿真结果显示，经拓扑与保护机制优化后，网络整体表现出现显著改善。在资源配置方面，优化模型下冗余链路配置更为合理，平均资源利用率由原有的 67% 提升至约 87%，冗余资源占比下降 12%，反映出链路配置的精准度大幅提高。在故障响应方面，BLSR 与级联机制协同作用使得平均故障切换时间从原先约 120ms 降至 47ms，部分核心路径甚至实现近实时（小于 30ms）恢复。

在可用性层面，全年平均网络可用性达到了 99.9992%，高于行业标准的“5 个 9”目标，表现出极高的服务连续性保障能力。同时，优化方案在总体建设成本上增加幅度控制在 6% 以内，在可接受范围之内，且未来可通过规模部署实现边际成本下降。综合对比说明，本研究提出的协同优化策略在保障业务连续性、提升网络鲁棒性及降低资源浪费方面具备明显优势。

7 部署建议与未来展望

7.1 实施步骤建议

实施本方案需遵循系统化推进路径，逐步实现从规划到落地的闭环管控。首要阶段为数据收集与流量分析，通过部署流量监测设备采集网络运行数据，建立业务流量热度图，并与地理信息系统（GIS）进行映射，明确核心区域与瓶颈路径。随后构建仿真平台，应用上述拓扑优化模型对现网架构进行模拟验证，形成初步优化建议方案。

中期阶段应分区域开展试点部署。选择典型区域（如业务集中区或网络高频故障区）进行分批次升级改造，部署优化后的节点链路与保护策略，并实施性能评估。同时加强网管系统与调度平台的联动，实时记录故障响应效率与业务恢复能力变化。在试点结果达标后，逐步扩展推广范围，实现网络结构的整体优化。项目后期应设定常态化性能监控机制，确保优化持续有效，并建立滚动优化机制应对业务变化。

7.2 跨网融合与自主升级

未来光通信网络将持续迈向 IP 化、智能化与融合化。SDH 网络虽稳定可靠，但其静态资源配置与透明传输模式在应对弹性调度、多业务融合方面显露短板。因此建议逐步引入新型分组交换技术如 MPLSTP、OTN，以提升网络智能调度与多服务支持能力。在演进过程中，应构建 SDH 与分组交换系统的协同演进机制，通过统一控制面和管理面实现资源协调、故障联动和服务质量保障。

此外，推进自动化网络维护体系建设，如基于 AI 的故障预测与智能调度技术，在运维层实现自学习与策略推演，将大幅提高网络自主适应与灾备响应能力。面向未来业务场景（如 5G 承载、工业控制、应急通信等），需构建具备高带宽、低时延、高鲁棒性的统一承载平台，为 SDH 网络转型升级提供可持续路径。

8 结语

本文面向现有 SDH 光通信网络在结构布局与保护机制方面的典型问题，系统提出了一套拓扑优化与多层次可靠性提升的协同策略。研究内容涵盖节点选址、链路配置、混合保护机制与级联故障响应等关键模块，建立了理论模型并进行了仿真实证。结果表明，通过优化设计可在保持网络稳定性的同时显著提高资源利用效率与业务恢复能力，在多个性能维度均优于传统设计模式。

更进一步，本研究在部署建议方面给出了具有可操作性的步骤指导，涵盖从流量分析、模型建立到试点实施与全网推广的完整链路，同时结合行业发展趋势展望了 SDH 网络未来的演进方向。在实现路径上提出跨网融合、自主升级及智能运维等策略，为运营商平衡成本、性能与扩展能力提供参考。

随着光通信业务的持续深化与新兴技术的不断涌现，传统 SDH 网络的改造与融合将成为网络演进的关键命题。未来应继续深入挖掘网络结构优化与服务保障的协同空间，推动 SDH 网络向高弹性、智能化、自适应方向发展，以应对复杂多变的通信需求挑战。

参考文献

[1] 梁玉亭.SDH网络性能优化算法研究[D].电子科技大学,2010.

[2] 沈杨.电力系统SDH光纤传输网的优化策略及应用[D].华北电力大学(北京),2015.

[3] 金梦颖.基于MSTP的SDH传输网应用研究[D].华北电力大学,2015.