

通信工程传输中ROADM的应用研究

朱明泽

江西诚科建设咨询监理有限公司 江西 南昌 330025

摘要: 本文围绕通信工程传输中ROADM的应用展开研究,先阐述ROADM关键技术组成、典型架构及可重构特性实现原理;再分析其在骨干网、城域网、数据中心互联中的应用场景与价值;接着探讨信号传输质量、网络灵活性与可靠性、能耗成本等关键技术问题及优化方向;最后研究ROADM与SDN、5G/6G、边缘计算的协同应用策略,为ROADM在通信传输网络中的高效应用提供技术参考,助力提升光传输网络的灵活性与可靠性。

关键词: ROADM; 通信工程传输; 波长调度; 光传输网络; 协同应用

引言:随着通信技术快速发展,骨干网、城域网及数据中心互联对带宽、灵活调度的需求持续增长,传统光传输设备难以满足动态业务调整与高效资源利用需求。ROADM作为可重构光分插复用器,凭借波长级灵活调度、多场景适配等特性,成为现代光传输网络的核心设备。深入研究ROADM的技术原理、应用场景及协同策略,对解决通信传输网络中资源调度难题、提升网络运行效率具有重要意义,也是推动通信工程传输技术升级的关键方向。

1 ROADM 核心技术原理与架构

1.1 ROADM关键技术组成

波长选择开关(WSS)的工作原理基于光信号的精准调控,通过微机电系统或平面光波导等技术,对输入的多波长光信号进行选择路由。其信号调控机制可实现单波长或多波长信号的独立切换,能将特定波长信号引导至目标输出端口,同时屏蔽其他无关波长,满足不同业务对波长路径的动态需求^[1]。光耦合器、光放大器等核心组件在ROADM系统中发挥协同作用。光耦合器负责将多路输入光信号合并为一路输出,或把一路输入光信号分路为多路输出,保障多波长信号在系统内的高效传输;光放大器则用于补偿光信号在传输过程中的功率损耗,通过放大光信号强度,延长传输距离,确保信号质量稳定,两者与WSS配合,共同维持ROADM系统的正常运行。

1.2 ROADM典型架构类型

集中式ROADM架构的信号处理流程以中心节点为核心,所有波长信号先汇聚至中心处理单元,经过WSS完成波长调度后,再分发至各个目标节点。其结构特点是集中管理所有波长资源,调度逻辑统一,便于整体控制,但对中心节点的处理能力要求较高,适用于波长资源集中、业务调度需求相对规整的场景。分布式ROADM

架构的节点部署逻辑采用分散式设计,每个节点具备独立的波长处理能力,无需依赖中心节点即可完成局部波长调度。数据传输路径根据业务需求在各节点间直接建立,减少对中心节点的依赖,灵活性更强。与集中式架构相比,分布式架构在节点间协同调度复杂度上更高,但更适合业务分布零散、需要快速局部调整的场景。

1.3 ROADM的可重构特性实现原理

波长层面的动态分插、调度机制依赖WSS与控制模块的协同工作。控制模块实时接收业务请求与网络状态数据,根据业务需求生成波长调度指令,WSS接收指令后迅速调整内部光路,实现特定波长信号的插入或分出。在调度过程中,仅针对目标波长进行操作,无需中断其他波长信号的传输,即使在业务动态增减时,也能保障现有业务连续性,避免因调度导致的业务中断。光通道带宽灵活调整的技术支撑主要来自灵活栅格技术。该技术打破传统固定带宽间隔的限制,通过调整波长间隔与带宽分配参数,可根据业务对带宽的实际需求,动态调整波长间隔与带宽大小。例如传输高速率业务时,可分配更宽的带宽与更大的波长间隔;传输低速率业务时,可压缩带宽与间隔,让光通道带宽能适配不同速率的业务传输需求,从技术层面实现带宽资源的按需分配,避免固定带宽模式下的资源浪费,提升资源利用效率。

2 ROADM 在通信工程传输中的应用场景

2.1 骨干网传输中的ROADM应用

骨干网承担跨区域大容量数据传输任务,大带宽、长距离传输是核心需求,ROADM凭借波长级灵活调度能力具备良好适配性。支持多波长信号在单一光纤中传输,可充分利用光纤带宽资源,满足骨干网对大带宽的需求;同时搭配光放大器补偿信号损耗,能实现长距离传输,无需频繁进行光电转换,减少信号失真风险,即使在跨省份、跨国家的长距离传输场景中,也能维持稳

定的信号质量。ROADM对骨干网节点间波长资源调度具有显著优化作用。骨干网节点需实现不同区域间业务的灵活互通，ROADM可通过动态调整波长路由，快速完成跨节点业务调度，无需人工现场配置光路。当某条传输链路出现业务流量激增时，可通过ROADM将部分波长信号切换至负载较低的链路，平衡节点间传输压力，尤其在重大活动、节假日等突发高流量场景中，能快速响应需求，提升骨干网整体运行稳定性。

2.2 城域网传输中的ROADM应用

城域网需接入政务、企业、居民等多类型业务，不同业务对带宽、传输速率需求差异大，ROADM的灵活分插功能可精准匹配这一需求。针对高带宽企业专线业务，可通过ROADM插入专属波长，保障传输质量，满足企业数据备份、视频会议等高频次高要求业务；针对低带宽居民宽带业务，可灵活分配共享波长资源，实现多业务在同一网络中的高效传输，避免业务间相互干扰，同时降低单业务传输成本^[2]。ROADM在城域网节点扩容与业务调整中具有重要应用价值。随着城市发展，城域网节点接入业务量不断增加，传统设备需更换硬件才能实现扩容，而ROADM通过软件调整即可新增波长资源，快速完成节点扩容，缩短扩容周期；当业务需求发生变化，如某区域企业搬迁导致业务转移时，可通过ROADM调整波长路由，实现业务快速迁移，减少因业务调整带来的网络中断时间，保障用户使用体验。

2.3 数据中心互联（DCI）中的ROADM应用

DCI场景下，数据中心间需实现海量数据高速传输，高带宽、低时延是核心需求，ROADM的技术特性与这一需求高度契合。ROADM支持单光纤传输多波长信号，能提供超大带宽，满足数据中心间大规模数据传输需求，适配云计算、大数据处理等业务产生的海量数据交互；基于光层直接调度，无需经过电层处理，可大幅降低传输时延，避免数据传输过程中的时延累积，保障数据交互效率，满足金融交易、实时计算等低时延需求业务。ROADM对数据中心间波长资源动态分配具有重要支持作用。数据中心业务流量存在明显潮汐特性，如白天办公时段流量高、夜间流量低，ROADM可根据实时流量变化调整波长资源分配，流量高峰时增加活跃波长数量，流量低谷时减少波长运行，避免资源闲置，降低数据中心运营成本。此外，当某一数据中心出现故障时，ROADM可快速将业务波长切换至备用链路，保障数据中心间业务连续性，减少故障造成的损失。

3 ROADM应用中的关键技术问题与优化方向

3.1 信号传输质量保障问题

ROADM节点插入损耗会导致光信号功率衰减，影响信号传输距离与接收端信噪比，若损耗超出阈值，可能造成信号误码率上升，甚至中断业务传输。针对这一问题，补偿技术可通过在节点处部署光放大器实现，根据损耗程度动态调整放大器增益，将信号功率恢复至目标水平，确保信号在长距离传输中保持稳定质量；此外，优化节点内部光路设计，减少光学元件间的连接损耗，也能从源头降低插入损耗对光信号的影响。串扰是ROADM应用中影响信号质量的另一重要因素，主要来源于不同波长信号在传输与调度过程中的相互干扰，可能导致信号失真，降低传输可靠性。串扰抑制技术的实现路径包括优化波长选择开关（WSS）的滤波性能，增强对特定波长的选择性，减少无关波长信号的干扰；同时采用低串扰光学元件，在信号分插与路由过程中降低波长间的耦合干扰，通过合理规划波长分配，避免相邻波长信号在同一节点过度集中，进一步减少串扰产生的概率。

3.2 网络灵活性与可靠性平衡

提升ROADM调度灵活性需从技术优化入手，快速波长配置技术可通过智能化控制模块实现，基于预设算法自动生成波长调度方案，缩短波长配置时间，无需人工逐节点操作，尤其在多节点协同调度场景中，能大幅提升响应速度，满足业务动态调整需求；同时引入软件定义光网络（SDN）理念，将ROADM调度功能与软件平台结合，通过远程控制实现波长资源的灵活分配，进一步增强调度灵活性。增强ROADM节点冗余备份与故障自愈能力，需部署多路径备份机制，为关键业务波长配置备用传输路径，当主路径出现故障时，系统可自动切换至备用路径，避免业务中断；此外在节点内部设置冗余光学组件，如备用WSS与光放大器，当某一组件故障时，冗余组件可快速接替工作，保障节点正常运行；故障自愈技术还需搭配实时监测系统，通过实时采集节点运行数据，及时发现故障并触发自愈流程，减少故障恢复时间，提升网络可靠性。

3.3 能耗与成本控制

ROADM设备能耗优化可从低功耗组件选型入手，选用高效能光放大器与WSS，在保证性能的前提下降低单个组件的能耗，例如采用基于半导体光放大器（SOA）的低功耗模块，减少能源消耗；同时优化设备运行策略，在业务流量低谷时段，关闭部分闲置波长对应的组件，仅维持必要业务的能耗，实现动态节能，降低设备整体运行功耗^[3]。基于ROADM的网络架构简化能有效降低建设成本，传统光传输网络需针对不同业务部署专用链路，而ROADM支持多业务共享波长资源，可减少光纤

与设备的部署数量,简化网络层级;此外ROADM的灵活调度能力避免了因业务调整需频繁新增硬件的情况,通过软件调整即可适配业务变化,减少重复建设投入,同时简化后期运维流程,降低运维成本,从建设与运维两方面实现成本控制。

4 ROADM 与通信传输网络协同应用策略

4.1 与SDN(软件定义网络)的融合应用

SDN控制器对ROADM的集中管控机制通过OpenFlow等标准化接口实现,控制器可实时采集ROADM节点的波长资源状态、信号质量数据,统一管理全网ROADM设备。基于全局网络视图,控制器能制定跨节点的波长调度方案,无需逐节点人工配置,即使在多厂商ROADM设备共存的网络中,也能实现资源的集中化、智能化管控,避免传统分散管理导致的资源分配不均问题。软件定义下ROADM的动态调度效率提升路径体现在流程简化与响应加速。SDN架构将控制层与数据层分离,ROADM专注于光层数据传输,调度决策由SDN控制器快速生成,缩短调度指令生成与执行周期。同时,控制器支持业务需求与波长资源的自动匹配,当新增高清视频、云计算等业务请求时,可自动筛选空闲波长并下发调度指令,大幅提升ROADM对业务变化的响应速度,优化动态调度效率。

4.2 与5G/6G传输需求的协同适配

5G/6G业务对传输网络低时延、高可靠的要求,ROADM通过光层直接调度技术响应。ROADM无需经过电层转换即可完成波长路由,减少信号处理环节,降低传输时延,满足5G/6G中车联网、工业控制等低时延业务需求。ROADM支持多路径备份,当某一传输链路故障时,可快速切换至备用波长链路,保障业务传输连续性,契合5G/6G高可靠要求。ROADM在支撑5G/6G基站互联中的应用策略聚焦灵活组网与资源共享。针对基站业务流量波动特性,ROADM可动态调整基站间的波长带宽,高峰时段分配更多带宽资源,低谷时段释放闲置资源。此外,ROADM支持多基站共享同一光纤链路的波长

资源,减少基站互联所需的光纤部署量,简化基站传输网络架构,降低建设成本。

4.3 与边缘计算的结合应用

边缘节点ROADM部署对边缘业务传输的支撑作用体现在就近调度与低时延保障。边缘节点部署ROADM后,可直接处理边缘业务的波长传输需求,无需将业务信号回传至核心网络调度,缩短传输距离至数十公里内,将边缘业务传输时延降低,满足边缘计算中实时数据处理、本地服务响应等业务的传输要求。边缘与核心网络间基于ROADM的波长资源协同调度通过分层管控实现。边缘ROADM负责局部区域波长资源分配,核心网络ROADM管理跨区域波长传输,两者通过NETCONF等标准化协议交互资源状态信息。当边缘业务需与核心网络数据交互时,边缘ROADM可向核心ROADM申请专用波长链路,实现边缘与核心网络的高效数据传输,同时避免波长资源冲突,优化全网资源利用。

结束语

ROADM作为通信工程传输领域的核心技术,其技术原理的完善、应用场景的拓展及协同策略的优化,为通信传输网络的高效运行提供有力保障。通过解决信号质量、灵活性与可靠性、能耗成本等关键问题,ROADM能更好适配骨干网、城域网等场景需求,且与SDN、5G/6G、边缘计算的协同可进一步释放技术价值。未来需持续推进ROADM技术创新,突破现有瓶颈,使其在通信传输网络升级中发挥更大作用,助力通信行业高质量发展。

参考文献

- [1]张白俊.通信工程传输中ROADM的应用研究[J].通信电源技术,2025,42(1):159-161.
- [2]周悦松.通信传输与接入技术探讨[J].中国设备工程,2021,(07):193-194.
- [3]王锋军.通信工程中有线传输技术的应用与改进措施探讨[J].中国新通信,2021,23(06):15-16.