

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性地路由。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的适配性。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.