

铁路通信工程光纤接入网技术的应用

韩文斌

国能朔黄铁路发展有限公司原平分公司 034100

【摘要】随着高速铁路的建设和发展,铁路信息化、智能化进程不断加快,对铁路通信系统的容量和性能提出了更高的要求;光纤接入网技术以其大容量、高带宽、高可靠等优势,在铁路通信工程中得到了广泛应用。本文分析了光纤接入网在铁路通信中的应用优势,介绍了FTTX、WDM-PON、GPON等典型光纤接入技术在铁路领域的应用情况,并展望了光纤接入网在铁路通信中的发展前景。随着光纤接入网技术的不断进步,其在提升铁路通信系统容量、可靠性、灵活性等方面必将发挥更大作用,全面支撑铁路运输现代化发展。

【关键词】光纤接入网;铁路通信;FTTX;WDM-PON;GPON

Application of optical fiber access network technology in railway communication engineering

Han Wenbin

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., LTD. Yuanping Branch 034100

【Abstract】With the construction and development of high-speed railways, the process of railway informatization and intelligence is accelerating, placing higher demands on the capacity and performance of railway communication systems. Fiber optic access network technology, with its advantages of large capacity, high bandwidth, and high reliability, has been widely applied in railway communication projects. This paper analyzes the application advantages of fiber optic access networks in railway communications, introduces typical fiber optic access technologies such as FTTX, WDM-PON, and GPON in the railway sector, and looks forward to the future prospects of fiber optic access networks in railway communications. As fiber optic access network technology continues to advance, it will play an even greater role in enhancing the capacity, reliability, and flexibility of railway communication systems, fully supporting the modernization of railway transportation.

【Key words】optical fiber access network; railway communication; FTTX; WDM-PON; GPON

引言:

铁路通信是保障铁路运输安全、高效运行的重要基础。随着高速铁路的快速发展和铁路信息化、智能化的不断推进,铁路通信系统对大容量、高带宽、高可靠、灵活管理等方面提出了更高要求;光纤接入网技术凭借其固有的技术优势,在满足铁路通信发展需求方面展现出巨大潜力。本文将分析光纤接入网在铁路通信中的应用优势,介绍其典型技术在铁路领域的应用情况,并展望其未来发展前景,以期对铁路通信系统的建设和完善提供参考。

一、光纤接入网在铁路通信工程中的应用优势

(一) 大容量、高带宽优势

光纤接入网技术利用光纤作为传输介质,具有超大的信息传输容量和超宽的传输带宽的技术优势。单根光纤的理论传输带宽可达数十太赫兹,远高于铜缆等传统传输介质,可以充分满足铁路通信系统对大容量数据传输的需求;高带宽特性能有效支撑高清视频监控、列车运行图等业务,为铁路运输管理信息化提供有力保障;光纤还具有损耗低、抗干扰能力强等优点;光信号在光纤中传输时衰减很小,相比铜缆可实现远距离传输,减少了中继器的部署,降低了网络建设

和维护成本;光纤对电磁干扰不敏感,能够在复杂的铁路沿线环境下保持稳定的通信质量,提高系统可靠性。

(二) 高可靠、易维护优势

可靠性是铁路通信系统的基本要求,光纤接入网采用全双工通信方式、物理隔离保护等策略,使系统具备极高的传输可靠性,即便在部分光缆受损的情况下,网络也能通过环状拓扑和备用路由实现自愈,避免通信中断;在易维护性方面^[1],光纤接入网可实现远程集中管理,网管平台能够对网络性能实时监测,对故障实现快速诊断定位,光纤端到端的透明传输特性使业务调度更加灵活,通过软件配置即可实现。这些优势减轻了铁路沿线的巡检工作量,提高了网络维护效率。

(三) 与传统接入技术和软交换技术的对比

1. 传统接入技术(如PSTN、DDN)局限性

传统电话网PSTN主要基于铜缆,带宽受限,难以承载铁路通信的多业务综合承载需求,数字数据网DDN虽然能够提供数据业务接入^[2],但其网络架构复杂,组网灵活性不足,这些技术已难以满足铁路通信的发展要求。一铁路局,原有的PSTN系统仅能提供64Kbps的接入速率,严重制约了数据、视频等宽带业务的开展,且铜缆衰减大,传输距离有限,铁路线路绵延数百公里,需要多级中继,网络结构复杂,运维成本高;数字数据网DDN虽然能够提供数据业务

接入,但其网络独立于 PSTN,需要新建传输线路和设备,造成了网络的割裂和资源浪费;铁路局的调度指挥系统需要在 200 多个车站部署数据终端,如果采用 DDN 接入,需要平行建设调度数据网,工程量和投资巨大,且 DDN 网络结构相对固定,扩容灵活性不足,难以适应业务的快速变化。

2. 光纤接入网的综合优势

光纤接入网不仅能够充分发挥光纤大容量、高带宽等传输优势,还具备多业务综合接入能力。基于光纤接入平台,语音、数据、视频等业务可以统一承载,实现业务的灵活调度。光纤接入网还可与软交换平滑结合,发挥各自优势,与软交换相比,光纤接入网组网更加简洁,网络扩容和升级更加便捷;光纤接入网在满足铁路通信发展需求、保障通信安全可靠等方面展现出明显的综合优势。

二、铁路通信工程光纤接入网典型技术应用

(一) FTTX 光纤接入技术

FTTX (Fiber To The X) 指光纤到楼 (FTTB)、到户 (FTTH)、到桌面 (FTTD) 等多种形式的接入技术。这种技术将光缆直接引入用户端附近,通过光网络单元 ONU 与用户终端实现光电转换连接,大幅提升了网络的接入带宽和传输质量,为用户提供优质的宽带接入体验。在铁路通信中,利用 FTTC^[5] (Fiber To The Cell) 的形式组建光纤接入网,将沿线车站、信号楼、客运服务网点等下级站引入光缆连接,直接利用光纤连接到下级站点,大大提高了铁路专网的接入带宽和稳定性,保障了站场业务系统的可靠运行,提升了铁路运输的信息化水平;利用 FTTN (Fiber To The Node) 的形式,则可实现对沿线分散客户(如铁路公务宿舍、职工家属区等)的光纤到节点接入,节省了本地配线资源,降低了网络部署和维护的成本,让更多用户享受到光纤宽带的优质服务;FTTX 光纤接入也广泛应用于铁路综合视频监控系统中,高清视频监控是铁路运输安全和服务质量监管的重要手段,通过 FTTB 的方式,将光纤接入到监控点附近,以太网接口接入高清摄像机,可获得稳定、高质量的视频传输,大幅改善了监控画面的清晰度和流畅度,提高了监控系统对运输安全的保障能力,这种方式避免了采用无线网桥长距离传输造成的信号衰减和干扰问题,提供了更可靠的视频回传链路,为公安、调度等部门实现可视化指挥提供了有力支撑。

(二) WDM-PON 技术

1. WDM-PON 技术在铁路通信系统中的应用场景

WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network, 波分无源光网络) 充分利用光纤资源,能够在同一根光纤上复用多个波长,实现比普通 PON 更大的接入带宽和更长的覆盖距离,是一种非常适合大容量、长距离光纤接入的技术。在铁路通信中,WDM-PON 技术可广泛应用于大型枢纽站、铁路办公园区等核心区域,这些区域汇聚了大量用户,利用 WDM-PON 组网,不仅能充分利用光纤资源,扩大用户接入容量,还能有效简化拓扑结构,降低线

缆部署难度,大幅减少光缆铺设工程量,节约工程建设成本;一些重要、特殊的通信节点,如铁路调度指挥中心等,也可利用 WDM-PON 组建专网,在保证通信容量的同时实现与公网的物理隔离,保障通信的安全性,提高铁路调度指挥等核心业务的安全可靠运行;

2. WDM-PON 技术带来的性能提升

WDM-PON 技术能够从容量、传输距离、维护管理等多方面提升铁路通信系统的性能:在容量方面,WDM-PON 能够利用密集波分复用 (DWDM) 技术,在一根光纤上复用多达数十个波长通道,单波长速率可达 10Gbps,满足大量用户的超宽带接入需求,显著提高了铁路通信骨干网的承载能力,为将来业务的发展提供了充足的带宽储备,传输距离方面,单纤双向传输的 WDM-PON 系统可将物理传输距离拓展到数十公里,相比传统 PON 覆盖范围大大扩展,使铁路通信的光纤接入范围从站场、机务段延伸覆盖到广大铁路沿线。在网络维护方面,WDM-PON 的集中管控让网管人员能够准确掌控各节点的工作状态,实现精细化网络管理,WDM-PON 采用的无源光网络架构使现场设备量大为减少,降低了维护工作量,减轻了维护人员的工作强度,大幅提高了网络运维效率;WDM-PON 支持在不停服的情况下动态调整带宽,能够根据业务变化灵活配置,极大地提高了网络的灵活性和适应性,为铁路通信的长期发展奠定了基础。

(三) GPON 技术

1. GPON 技术在铁路通信系统中的应用场景

GPON (Gigabit Passive Optical Network, 吉比特无源光网络) 代表了当前主流的 PON 技术发展方向,下行带宽可达 2.5Gbps,能够充分满足铁路通信的接入带宽需求,是一种性价比很高的光纤接入技术选择。在铁路信息系统中,GPON 大量用于站场综合业务汇聚,以大型客运站为例,票务、安检、客运引导等信息化系统越来越多,对接入网提出了大容量数据汇聚的需求,利用 GPON 汇聚站内业务,将多个系统以太网口接入 ONU,再通过光缆传输到站内汇聚层,可获得可靠、高效的数据传输,避免了多系统各自建网造成的资源浪费,实现多业务的统一承载与灵活调度;在路网规模较小、分支较多的线路,如地方铁路、专用线等,可利用 GPON 实现多点到多点的组网,GPON 的点对多点 (P2MP) 组网特性可将多个下级站点在无源分光器处汇聚到一个 OLT,再通过上联汇聚到核心节点,大大简化了网络结构,减少了传输设备的数量,降低了网络的建设和维护成本,分光器的使用减少了光缆铺设量,节约了建设成本,提高了线路利用率,尤其适合光缆资源较少的支线铁路。

2. GPON 技术带来的性能提升

相比传统 PON 技术,GPON 在传输带宽、服务质量保障、动态带宽分配等方面具有明显优势:在带宽方面,GPON 下行 2.488Gbps,上行 1.244Gbps 的非对称带宽能够更好地契合铁路通信以数据和视频为主的业务特点,充分满足上下行带宽需求,尤其对下行带宽需求大的高清视频监控等业务提供有力支撑;在 QoS 方面,GPON 采用的 GEM 帧结构,能够提供端到端的 QoS 保证,通过优先级映射和队列调度机制,可实现多业务的差异化 QoS 保障,使高优先级业务

如列调指挥电话等获得带宽优先和时延保证,确保关键业务的通信质量,提高了铁路通信的可靠性和安全性;在带宽分配上,GPON支持基于时隙的动态带宽分配(DBA),OLT可根据ONU的实际业务量,动态调整上行时隙资源,提高了上行带宽利用率,避免了带宽资源的浪费,降低了网络的运营成本;GPON技术通过更高的带宽和更完善的QoS保障机制,契合了铁路通信综合承载、分级服务的应用需求,充分提升了网络性能,为铁路通信的长远发展提供了有力的技术保障。

三、光纤接入网技术在铁路通信中的发展前景

(一) 高速铁路的建设推动

高速铁路的快速发展,为光纤接入网技术在铁路通信中的应用带来广阔空间,高速铁路对移动通信网络提出了更高的带宽和覆盖要求,需要采用RRU(Remote Radio Unit)分布式接入的方式来实现,利用WDM-PON将RRU的CPRI接口光纤化传输,可获得高带宽、低时延、长距离的回传链路。高速动车组上的多媒体业务也对接入网提出了挑战,利用GPON+WiFi的形式,可在动车组上部署车载无线网络系统,为旅客提供稳定的互联网接入服务,在动车所、检修库等区域,利用FTTB方式接入高速无线接入点(AP),可兼顾覆盖范围和接入速率;随着“八纵八横”高速铁路网的加快建设,预计到2025年高铁营业里程将达到3.8万公里,占世界高铁总量的三分之二,高速铁路的高密度覆盖必将极大地推动光纤接入网在铁路通信中的部署和应用。

(二) 铁路信息化、智能化发展的需求

我国铁路信息化、智能化建设如火如荼,新一代列控系统、高速铁路移动通信系统、铁路物联网等都对通信网络提出了新的需求,这为光纤接入网技术带来广阔应用前景。在铁路物联网方面,利用PON+RFID的融合接入方式,可在枢纽站、物资库等区域建设大规模RFID识别网络,实现对机车车辆、装载货物等物联网终端的精确定位监控,利用GPON接入传感网关,可对沿线环境参数实现实时采集监测,为列车运行安全提供预警;在铁路生产指挥调度系统中,需要将调度指令、图像信息等实时传输到沿线站点,采用WDM-PON组建调度专网,能充分满足调度指挥系统对通信时延、可靠性的苛刻要求,在站场综合视频监控系統升级改造中,光纤接入网可为高清监控提供稳定的回传通道,在铁路办公信息系统中,FTTB等方式能灵活接入语音、数据等

各类终端,打造高效的办公网络环境;随着人工智能、大数据等新技术与铁路行业的深度融合,必将催生出更多创新的应用,对通信网络提出更高要求,光纤接入网以其超大带宽、灵活接入等优势,必将在铁路智能化的进程中发挥更大的作用。

(三) 光纤接入网技术的持续进步

以GPON、WDM-PON为代表的光纤接入网技术仍在不断演进,未来将向更高速率、更智能化的方向发展,为铁路通信注入新的活力;下一代PON技术如10G-GPON、NG-PON2等,将进一步提升单波长速率,扩大接入带宽,25G及以上PON技术也已成为研究热点,未来铁路通信可利用这些新技术,为铁路视频、物联网等应用提供更强大的接入能力;在智能化方面,SDN(Software Defined Network,软件定义网络)理念与光纤接入网的融合成为趋势,通过SDN集中控制,可实现光纤接入网的灵活调度和智能运维,动态带宽分配、快速业务开通等能力将得到加强,使铁路通信网络更加灵活高效;光纤接入网与5G技术的固移融合也是未来发展方向,5G前传光纤化将成为必然趋势,WDM-PON等技术在5G承载中的应用前景广阔,PON与5G无线接入网的有机结合,将全面提升铁路沿线通信网络的覆盖深度和服务品质;随着铁路信息化、智能化的不断发展,对通信网络的需求必将持续提升,光纤接入网技术的持续进步,能够从容量、智能化等方面满足这一需求,它在未来铁路通信中必将扮演更加重要的角色。

结语

铁路通信系统中传统接入网仍占主导地位,而光纤接入网尚未全面普及,这主要与成本、技术成熟度、部署难度以及铁路环境的特殊性等多方面因素有关。但光纤接入网技术以其大容量、高带宽、高可靠等优势,以后在铁路通信系统中得到了广泛应用,成为提升铁路通信保障能力的有力武器,FTTX、WDM-PON、GPON等技术的应用,充分满足了铁路综合视频监控、路网数据汇聚等方面的需求,为铁路运输提供了强有力的通信支撑;高速铁路的快速发展和铁路信息化、智能化进程的不断推进,为光纤接入网技术带来了更加广阔的应用空间;光纤接入网技术正朝着更高速率、更智能化的方向持续演进,未来将进一步增强铁路通信系统的接入能力和灵活性,全面支撑铁路智能化发展。

参考文献

- [1]王宾.铁路通信工程光纤接入网技术的应用[J].电子测试,2021,32(14):116-117+122.
 - [2]侣兴福.铁路通信工程光纤接入网技术的应用[J].城市情报,2023,(6):100-102.
 - [3]田福才.通信工程技术中的光纤网络应用研究[J].移动信息,2024,46(09):43-45.
 - [4]王雲亮.铁路通信工程光纤接入网技术的应用[J].新潮电子,2024,(03):61-63.
 - [5]关柏宇,段长佐,刘柏.浅谈铁路通信工程中光纤接入网技术的应用[J].中国新通信,2021,23(08):11-12.
- 作者简介:韩文斌(1986-)男,陕西蒲城人,本科,助理工程师,研究方向:铁路通信专业。