

5G技术在铁路通信中的应用研究

敬涛

中国铁路南宁局集团有限公司柳州铁路工程建设指挥部 广西 柳州 545007

摘要：5G技术具有高带宽、低延迟和广连接等特点，能够成为铁路行业的重要工具，本文首先概述了5G技术的基本原理和关键特点，接着，探讨了铁路通信领域的挑战和需求，并详细研究了5G技术在这些领域的应用，涵盖列车通信、智能列车控制、车辆-基础设施通信等方面。同时，讨论了5G技术在铁路通信中所面临的挑战，如网络覆盖、安全性和成本，并提出了一些可能的解决方案。最后，展望了5G技术在铁路通信中的未来，强调了其对铁路行业的潜在影响。本研究为铁路部门和研究机构提供了有关如何利用5G技术改进铁路通信系统的重要见解。

关键词：5G技术；铁路通信；应用研究

在当今快速发展的数字时代，5G技术已经成为通信领域的一项革命性创新，为各行各业带来了前所未有的机会和挑战。其中，铁路行业作为全球交通体系的重要组成部分，也在积极探索如何利用5G技术来改善其通信和运营系统。5G技术代表了下一代移动通信标准，它不仅提供了比以往更高的数据传输速度和更低的通信延迟，还支持大规模设备之间的实时互联。这种强大的通信基础设施为铁路行业带来了新的可能性。5G技术的高带宽、低延迟和广连接等特点，使其成为提高列车运行的效率和安全性理想选择。

时至今日，基于2G技术构建的GSM-R标准，早已无法满足现代铁路的发展需求。GSM-R以语音业务为主，频率效率低，窄带数据带宽最多只有100多KB，难以承载铁数据传输速度、列车位置监测、实时列车控制和乘客体验等方面等铁路数字化改造后的通信大带宽需求和安全可靠的需求，这些挑战需要一种先进的通信技术，以满足日益增长的要求。5G-R基于5G技术，具备超大带宽、超低时延、海量连接的特点，网络性能几乎碾压GSM-R。在网络能力上，5G-R支持网络切片、边缘计算等业务，可以为铁路关键业务提供服务质量保障。在安全性和可靠性上，5G-R也有巨大的提升。本文探讨了5G技术如何应用于铁路通信领域，并研究其潜在应用以及可能的挑战和解决方案，强调5G技术在铁路通信中的潜在影响。

1 5G技术的概述

1.1 基本原理和关键特点

5G技术代表第五代移动通信技术，它不仅是对前一代通信技术的进化，更是一项革命性的改进，为各行业提供了更高的性能和更多的应用潜力。

1.1.1 高带宽

5G技术具有远高于4G的带宽，这意味着可以传输更多数据。高带宽是5G技术的重要特点之一，它使得大规模数据传输和流媒体应用能够在更高的质量下运行。对于铁路通信，高带宽意味着可以传输更多列车数据、视频监控信息内容，从而提高列车网络的性能和效率。

1.1.2 低延迟

5G技术的低延迟使得数据传输变得更加迅速，几乎实时。这对于铁路通信至关重要，因为列车控制、信号系统和紧急情况响应需要及时的数据传输。

1.1.3 广连接

5G技术支持大规模设备之间的连接，这意味着更多的设备可以同时连接到网络，而不会降低性能。这对于铁路通信来说尤为重要，因为有许多列车、传感器、监控设备需要连接到铁路通信网络。广连接使铁路系统更具可伸缩性，可以满足不断增长的需求。

1.1.4 频谱效率提升

5G技术利用了更高的频段，从毫米波到微波，提高频谱效率。这意味着更多的数据可以在更少的频谱上传输，从而减少了通信成本。对于铁路通信，频谱效率的提升有助于降低通信成本，特别是在覆盖范围较大的铁路网络中。

1.1.5 网络切片

5G技术支持网络切片，这允许不同的应用在同一基础设施

上实现定制化的网络配置。这对于铁路通信非常有用，因为不同的应用，如列车控制、乘客娱乐和维护监测，可能需要不同的网络性能。网络切片可以确保每个应用都获得所需的网络资源。

1.2 5G技术的影响和潜力

5G技术对通信领域的影响和潜力是显著的，它为通信系统带来了巨大的改进和创新，提供了比以前更高的带宽，更多数据可以以更快的速度传输，满足了现代通信系统对高带宽的需求，对于高清视频流、大型文件传输、虚拟现实和增强现实应用等数据密集型任务至关重要。5G技术显著降低了通信延迟，在铁路通信领域，低延迟对列车控制、信号系统和紧急情况响应至关重要。5G技术支持大规模设备之间的连接，更多设备可以同时连接到网络，而不会降低性能，实现智能城市、智能工厂和智能交通等应用。

5G技术利用更高的频段，更多的数据可以在更少的频谱上传输，降低了通信成本，对于通信运营商和企业用户来说是一个重要的经济优势。5G技术允许不同的应用在同一基础设施上实现定制化的网络配置，不同应用可以根据其性能需求进行优化，从而满足不同用例的需求，如智能城市、工业自动化和智能交通等。

2 铁路通信的挑战和需求

2.1 铁路通信系统的挑战和局限性

2.1.1 数据传输速度

传统铁路通信系统通常使用固定线路或卫星通信，其数据传输速度相对较低，这导致在传输大容量数据时出现瓶颈，数据传输速度的不足可能会影响列车控制、维护监测和乘客体验。

2.1.2 安全性

铁路通信系统需要高度的安全性，保护列车和基础设施免受潜在威胁的影响。传统系统可能更容易受到网络攻击、数据泄露和未经授权的访问。

2.1.3 可靠性

铁路通信系统必须是高度可靠的，因为任何通信中断可能会导致列车运行问题或安全风险，传统的通信系统可能受到天气、物理损坏和设备故障的影响，这可能导致通信中断或质量下降。

2.1.4 覆盖范围

铁路通信系统需要广泛的覆盖范围，覆盖城市、郊区和偏远地区。然而，传统的通信系统可能无法提供均匀的覆盖，尤其是在偏远地区，对列车运行和乘客服务产生不利影响。

2.1.5 成本

更新和维护传统铁路通信系统通常需要昂贵的设备和基础设施，高成本可能对铁路公司运营可持续性产生负面影响，尤其是在需要频繁升级和维护系统时。

2.2 铁路行业对通信技术的需求

铁路行业对通信技术有着多方面的需求，这些需求涵盖了多个关键领域，包括实时监测、列车控制、乘客体验和运营。

2.2.1 实时监测

铁路系统需要实时监测来确保列车和线路的安全性，这包括对列车的位置、速度、信号系统状态、轨道条件以及任何可

能的障碍物或危险情况的监测。实时监测能够及时发现问题并采取相应措施,以防止事故发生。

2.2.2 列车控制

铁路系统需要精确的列车控制,确保列车能够按计划安全运行,通信技术允许列车与中央控制中心以及列车与列车之间进行实时通信,以接收指令、报告状态并进行调度。

2.2.3 乘客体验

通信技术可以用于提供高速互联网连接,乘客在列车上使用移动设备、浏览互联网、观看高清视频等,乘客也期望获得实时的旅行信息,例如车站到站信息、乘客通知和娱乐内容。

2.2.4 维护

通信技术可以用于监测轨道和基础设施的状态,预测设备的维护需求,以及安排维修工作,有助于降低维护成本,并延长设备的使用寿命。

3 5G技术在铁路通信中的应用

3.1 行车指挥及控制

5G技术可以使列车之间建立高速、低延迟的通信连接,这种通信对于协调列车运行、共享交通和路况信息非常重要。列车之间的实时通信可以在列车之间进行协同操作,绕开交通堵塞、调整速度以及避免碰撞,从而提高列车运行的安全性和效率。5G技术也提供了可靠的通信通道,以便列车与中央控制中心保持连接,对于列车控制、调度和实时监测至关重要,列车可以发送数据、位置信息和状态报告,同时接收指令、新的路线信息和灾害防护与周界入侵监测信息等。

5G技术的应用在智能列车控制方面带来了革命性的变革,允许列车在运行中实现更高层次的自动化,列车可以借助传感器和通信系统来感知环境、跟踪其他列车和基础设施的状态,自主进行决策并调整运行,提高了列车的安全性,减少了人为错误,同时也提高了运行的效率。

利用5G技术,操作员和调度员可以实时监控列车的状态,远程进行列车操作和干预,这使得操作员可以迅速应对突发情况,例如停车、应急制动或紧急情况的处理。最后,在紧急情况下,列车能够与控制中心或紧急服务进行通信,5G技术提供了高效的通信渠道,以支持紧急通信和救援操作。

3.2 实时监测

5G技术提供高带宽和低延迟的通信通道,以支持实时数据传输。列车可以传输大量数据,对于监测和安全分析非常有用。通过5G技术,可以将列车车载设备动态监测系统(DMS)信息、自轮运转设备行车指挥及控制远程监测(GMS)信息、空口及无线电干扰监测系统信息、机车信号远程监测信息、基础设施动态综合检测信息、基础设施健康管理信、晃车监控(机车)信息、列车运行监控设备监测管理(LMD)信息、动车组司机操控信息分析系统(EOAS)信息、机车远程监测与诊断(CMD)信息、供电安全监测检测(6C)信息、动车组车载信息无线传送系统信息、客车运行安全监控(TCDS)信息、司机、随车机械师、车辆乘务员维修及工作状态信息等各个车内车外的监测系统信息实时传送给车辆和后台各个系统,后台运维人员和车辆驾驶人员可以实时掌握列车的运行状态,并进行数据分析、智能诊断。

3.3 运营维护

5G技术提供的海量连接可以将铁路沿线的技术设施纳入到监测范围,铁路沿线的监测传感器可以通过5G技术传输数据,将桥梁、轨道、地基、隧道、接触网、铁塔、灾害等各个基础设施的健康状况传到运营管理平台中,便于及时发现潜在的问题,通过智能化的监测可以减少人员的数量,降低人员的工作强度,提高铁路运维效率。5G技术可将车载设备数据进行远程更新,作业信息、试验数据、视频监控数据远程传送,以及重点枢纽地区的热点覆盖,大大简化运维的繁琐程度,使铁路实现智能化运维。

4 5G技术在铁路通信中面临的挑战与解决方案

4.1 应用挑战

5G技术在铁路通信中虽然带来了许多潜力和机会,但也面临一些挑战和障碍。

4.1.1 网络覆盖范围

5G技术的高频段信号传播范围较短,因此需要更多的基站来覆盖广大的铁路网络。在偏远和不易覆盖的地区,建设和

维护基站可能会变得昂贵和复杂。

4.1.2 网络可靠性

调度、列控等5G-R主要应用场景对设备安全性、可靠性要求极高,因此对于网络传输的网络性能要求较高。

4.1.3 通信干扰

高速行驶的列车会引发通信干扰,尤其是在高速列车之间的通信。确保列车之间和列车与基础设施之间的稳定通信需要采取额外的技术措施,以减轻这种干扰。

4.1.4 网络安全

铁路通信系统需要高度的网络安全,防止网络攻击和未经授权的访问。

4.1.5 频谱管理

5G技术需要分配和管理无线频谱,在拥挤的频谱环境中会带来挑战。协调和管理频谱的使用是必要的,以确保不会发生干扰。

4.2 解决方案

4.2.1 网络基础设施扩建

扩大5G网络覆盖范围,特别是在偏远地区和隧道内,需要增加基站的密度,这可以通过合理的基站规划和布设来实现,以确保全面的覆盖。

在基站间距方面,5G-R采用同址双网,更有利于发挥其扁平架构和快速切换的优势。按照RRU在铁塔下、小区上行边缘速率在5Mb/s的前提下,5G-R基站间距综合建议值为2-3km。

4.2.2 通信干扰管理

针对高速行驶列车引发的通信干扰,可以采用技术手段来降低其影响,这包括使用定向天线、频谱分配技术以及信号处理算法来减轻干扰问题。5G-R系统使用同频组网,存在同频干扰问题。针对小区内干扰,分为上行干扰和下行干扰2类。用于解决小区间干扰的干扰协调技术,是指基站给不同的小区划分不同RB资源并分配起始位置,每个小区根据当前小区类型,选择一种固定的RB分配起始顺序。当小区RB占用率不高时,不同小区间频域资源错开,降低干扰,提升吞吐量。

4.2.3 网络可靠性措施

为满足5G-R业务传输需求,5G-R网络在不同业务场景下,端到端网络传输时延不大于60ms,标准远高于运营商网络,同样也高于GSM-R网络。因此需要合理规划网络布局,满足铁路高质量需求。

4.2.4 网络安全措施

建立强大的网络安全策略,包括数据加密、身份验证和入侵检测系统,保护通信系统免受网络攻击,定期的安全审计和漏洞修复也是必要的。

4.2.5 频谱管

政府监管机构可以采取相应措施来管理和分配5G频谱,确保不会出现干扰和频谱争用。

5 结束语

在不断发展的铁路通信领域,5G技术的应用为其带来了前所未有的机遇。然而,这也伴随着一系列挑战,如网络覆盖、通信干扰和网络安全。通过合作、创新和系统性解决方案,我们有机会充分利用5G技术的潜力,提高铁路运营的效率、安全性和可持续性。5G技术将推动铁路通信系统的现代化,为未来的铁路交通奠定坚实的基础,以满足不断增长的需求,实现更安全、更高效和更智能的铁路系统。

参考文献

- [1] 陈云柯,葛裴.大数据技术在5G通信网络中的应用[J].科技资讯,2023,21(18):25-28.
- [2] 梁轶群,李辉,欧阳智辉等.基于多源数据的铁路5G-R运用质量评估系统设计[J/OL].铁道标准设计:1-8[2023-10-17].https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202208190002.
- [3] 邢雅娟,乐建炜.5G环境下的高速铁路通信系统应用研究[J].内江科技,2022,43(06):17+80.
- [4] 谢克宇.铁路通信技术的应用及发展趋势初探[J].现代工业经济和信息化,2021,11(01):76-77.
- [5] 张广福.5G无线通信技术及其在铁路通信系统中应用[J].中国新通信,2021,23(02):39-40.