

轨道交通LTE集群调度系统的应用探析

金显强 孙永峰

上海地铁维护保障有限公司通号分公司 上海 200040

摘要: 随着轨道交通的快速发展, 高效和安全的调度系统成为焦点。LTE集群调度系统以其先进的通信技术为轨道交通提供一种新的高效解决方案。本文旨在深入探讨LTE技术在轨道交通中的应用及其核心技术, 并通过实际应用实例进行解析, 最后对其未来的发展进行展望。

关键词: 轨道交通; LTE技术; 集群调度; 数据传输

Application Analysis of LTE Cluster Dispatching System in Rail Transit

Jin Xianqiang Sun Yongfeng

Shanghai Metro Maintenance and Guarantee Co., LTD. Communication Branch, Jing'an District Shanghai, 200040

Abstract: With the rapid development of rail transit, efficient and safe scheduling systems have become the focus. The LTE cluster scheduling system provides a new and efficient solution for rail transit with its advanced communication technology. This article aims to deeply explore the application and core technologies of LTE technology in rail transit, and analyze them through practical application examples. Finally, it provides prospects for its future development.

Keywords: rail transit; LTE technology; Cluster scheduling; data transmission

引言: 轨道交通作为现代城市的主要交通方式, 其高效、准确和安全的运营对于城市的正常运行至关重要, 为满足这些要求传统的调度系统已经难以满足日益增长的通信需求。LTE (长期演进) 技术作为一种先进的无线通信技术, 因其高传输速率、低时延和高可靠性等特点, 被视为一个潜在的解决方案, 结合集群调度系统LTE技术能够满足轨道交通中对于实时性、安全性和高效性的要求, 本文将详细探讨LTE技术及其在轨道交通中的应用, 并分析其核心技术和实际应用效果。

1 LTE技术在轨道交通中的引入

1.1 LTE技术简介

长期演进 (Long-Term Evolution, LTE) 技术源于3GPP的一个项目, 旨在优化第三代移动通信系统UMTS的技术体系, 以满足日益增长的数据传输需求。LTE被设计为支持只用包交换 (PS) 的网络结构, 其主要特点包括高数据传输速率、低时延和改进的系统容量和覆盖范围。在技术细节上LTE使用正交频分多址 (OFDMA) 在下行链路和单载波频分多址 (SC-FDMA) 在上行链路, 这种配置不仅提高频谱效率, 还降低对移动终端功耗的要求。另外LTE的多输入多输出 (MIMO) 技术使其能够通过多天技术提高数据传输速率。LTE网络架构称为系统架构演进 (SAE), 为简化的扁

平化架构, 主要由用户设备 (UE)、电路交换域、分组交换域和无线接入网络组成, 有效减少传输时延并提高资源的利用效率, 最后通过高级调制技术和先进的信道编码, LTE能够在广泛的无线信道条件下实现高效可靠的数据传输。

1.2 为何选择LTE技术

轨道交通的通信需求与普通的移动通信有所不同, 除了对稳定性和安全性有更高的要求外, 轨道交通还需要支持大量的实时数据传输, 如视频监控、乘客信息系统和各种传感器数据。传统的轨道交通通信系统, 如TETRA或GSM-R, 已经难以满足这些需求, 特别是在数据传输速率和系统容量方面。LTE技术凭借其高频谱效率、大容量和低时延, 为轨道交通提供一个理想的解决方案。在数据传输速率方面LTE能够提供上行100Mbps和下行1Gbps的速率, 远远超过TETRA或GSM-R的速率。在系统容量方面LTE使用高级的无线接入技术, 如OFDMA和MIMO可以同时支持更多的用户和服务。而在时延方面LTE的扁平化网络架构和先进的调度算法确保低时延和高实时性, 这对于轨道交通的实时控制和安全监测至关重要。此外, LTE的开放标准和全球部署确保设备的互操作性和长期的技术支持, 为轨道交通投资者提供更大的投资保障^[1]。

2 LTE集群调度系统的核心技术



2.1 资源调度技术

资源调度在任何通信系统中都是核心问题,特别是在需要支持高数据速率、多用户和多种服务类型的LTE系统中,调度算法决定了如何分配无线资源给各个用户,从而满足其服务要求并优化整体系统性能。在LTE集群调度系统中资源调度技术主要涉及时间、频率和空间维度的资源分配。正交频分多址(OFDMA)技术为下行数据传输提供灵活的频率资源分配方式,允许在频域上为不同的用户和服务类型分配不同的子载波。与此同时单载波频分多址(SC-FDMA)为上行数据传输提供相似的频率资源分配能力,但具有更好的峰值到平均功率比,从而降低移动终端的功耗。另外多输入多输出(MIMO)技术为LTE提供空间资源分配的能力,使得同一频率和时间资源可以被多个天线同时使用,从而提高数据传输速率和系统容量。在资源调度技术中还包括一系列的算法,如公平性调度、最大吞吐量调度和QoS(服务质量)优先调度,这些算法基于用户的信道质量、业务要求和系统优化目标进行决策。为支持实时的轨道交通应用,如实时监控和控制资源调度技术还需考虑低时延和高可靠性,这通常通过为这些应用分配专用的资源、采用高可靠性的调制和编码方案以及优先处理这些应用的数据来实现^[2]。

2.2 数据传输与安全保障

轨道交通的运营安全对于整个交通体系至关重要,这就要求其通信系统具有高度的数据传输安全性。在LTE集群调度系统中数据传输安全主要涉及两个方面:数据的机密性和完整性。数据的机密性确保了只有授权的用户和设备能够访问数据,从而防止对数据的未经授权的访问和泄露,这通常通过对数据进行加密来实现,其中,LTE使用先进的AES(高级加密标准)算法以保障数据的机密性。数据的完整性则确保数据在传输过程中没有被修改或损坏,这通常通过对数据加上数字签名或使用哈希函数来实现,从而保障数据的源始性和完整性。除了数据传输安全LTE集群调度系统还考虑网络的访问安全和物理安全。网络的访问安全通过身份验证和授权来实现,确保只有合法的用户和设备能够接入网络。物理安全则涉及到设备的抗干扰和防护能力,保障设备在各种环境条件下的正常运行。轨道交通中的设备通常需要满足更高的防护等级,如IP67或IP68,以应对恶劣的工作环境。

2.3 实时性与稳定性分析

轨道交通涉及大量的实时控制、监控和数据传输,对其背后的通信系统实时性和稳定性要求极高。LTE集群调度系统在这两个方面都展现出强大的性能,从实时性角度看LTE的扁平化网络架构有效地减少了传输时延,尤其是对于小数据包的传输。此外,采用的调度算法在资源分配时考虑到服务的时延要求,为实时应用如语音和视频通话提供低时延的数据传输通道。LTE还采用时间分频复用(TDD)和频分双工(FDD)两种模式来满足不同的实时性需求,其中TDD模

式特别适用于时延敏感的应用,因为它允许在短时间内灵活地调整上行和下行的资源分配。从稳定性角度看LTE的高度模块化和冗余设计为系统的持续运行提供保障。例如多输入多输出(MIMO)技术可以通过多个天线提供多条数据传输路径,当其中一条路径受到干扰或失效时,其他路径可以继续传输数据,从而提高系统的稳定性。此外LTE的自适应调制和编码技术可以根据无线信道的质量动态调整数据传输速率和编码方案,确保在各种信道条件下都能够实现可靠的数据传输。更值得注意的是LTE的自组织网络(SON)功能可以实现自动的网络优化、配置和修复进一步提高系统的稳定性^[3]。

3 轨道交通中LTE集群调度系统的应用实例

3.1 都市轨道交通

都市轨道交通作为大城市的交通主干,日益显现其对于稳定高效的通信系统的需求。以东京都市区为例,其繁忙的铁路系统每日服务近1400万乘客,与此同时实时的车辆、轨道监控和数据流量需求也在急剧增加,东京地铁2018年的数据显示仅智能支付系统每天就需要处理超过500万笔交易,这还未计入实时车辆调度、安全监控以及乘客信息服务系统的数据流量。LTE集群调度系统在这种情境下展现了其优势,传统的调度系统面临着频繁的网络拥堵、数据传输延迟和连接中断的问题,但自从引入LTE技术后系统的整体稳定性和响应速度得到显著提升,特别是在2019年东京热门旅游季,尽管乘客流量急剧增加,但地铁系统的通信仍然保持99.8%的在线率,几乎没有发生任何由通信故障引起的列车延误,这种稳定性不仅提高了运营效率,更重要的是确保了每位乘客的安全和便利。此外,现代的轨道交通系统更加依赖于数据驱动的决策支持,LTE的高速数据传输特性使得车辆故障预测、动态调度和能源管理等先进应用成为可能。

3.2 跨区域铁路交通

中国的“和谐号”高铁已经成为全球铁路交通的标杆,其先进的技术和高效的运营为世界铁路业界所瞩目。从设计、建设到运营,它涉及的技术和管理挑战都远超一般的铁路项目,特别是在通信技术方面,“和谐号”在保持列车高速运行的同时也确保了数据传输的实时性和稳定性。根据2020年的报告数据和谐号全年运输旅客超过10亿人次,这背后的车辆调度、信号控制以及乘客信息服务等均依赖于高效的通信系统,传统的铁路通信技术由于其传输带宽和实时性的局限性,难以满足“和谐号”这样的高速铁路系统的需求。然而通过引入LTE集群调度系统,“和谐号”成功解决这一难题,通过LTE技术不仅大幅提高数据传输的速度,更重要的是显著提升了系统的稳定性和实时性,即便是在350公里/小时的高速运行状态下,LTE技术也能保证与调度中心、沿线信号设备和其他列车之间的无缝通信。此外,“和谐号”也采用LTE技术实现了车厢内的无线网络服务,使得乘客在高速移动中也能享受到稳定的网络连接,这种技术的

引入不仅提高了“和谐号”高铁的运营效率，更为乘客提供更为舒适的出行体验^[4]。

3.3 未来高速铁路项目

未来的高速铁路项目追求更高的速度、更广泛的网络连接以及更为先进的车载系统集成，预示着对通信技术的依赖将更为加剧。在这方面LTE集群调度系统凭借其卓越的传输能力、高稳定性和灵活的网络架构表现出非凡的潜力。以高达350公里/小时甚至更高的运行速度为例，通信系统必须能够适应极高的移动速度，确保与基站之间的无缝切换和持续的数据连接。LTE技术在这方面经过精心的设计和优化，确保即使在高速移动条件下也能提供稳定的信号质量和低延迟的数据传输。此外，高速铁路的车辆越来越多地整合了先进的自动驾驶、预测维护和智能监控系统，这些系统产生的大量数据需要在车辆、沿线设施和远程控制中心之间进行高速、可靠的传输。LTE集群调度系统的高数据吞吐量和QoS支持确保了这些应用的流畅运行。从网络架构的角度看未来的高速铁路网络可能涵盖数千公里，跨越多个国家或地区，这就要求通信系统能够支持大规模、跨域的网络管理和数据交换。LTE技术的扁平化、模块化设计使其易于扩展和整合，满足了这些复杂网络环境的需求^[5]。

4 对 LTE 集群调度系统的展望

随着5G技术的普及和6G技术的研发进程，LTE集群调度系统的未来将更加向智能化、自动化的方向发展。物联网（IoT）与LTE的深度融合预示着轨道交通的实时监控、故障

预警和优化调度将进一步实现。例如，通过传感器技术，车辆和轨道的健康状态可以实时反馈到调度中心，使得预测性维护和应急响应变得更为迅速和精确。安全性问题特别是数据传输和存储安全也变得尤为重要。未来的LTE系统将更加注重安全防护，采用先进的加密技术、异常检测和入侵防御机制以确保轨道交通的连续性和乘客的安全。

结论

LTE集群调度系统已证明其在轨道交通中的至关重要性，通过多个实例如“和谐号”高铁，明确显示LTE技术在提升通信速度、稳定性和实时性方面的优势，该技术不仅满足了现代轨道交通的高效运营需求，同时也极大地增强了乘客的出行体验。预测未来LTE将继续在轨道交通领域发挥核心作用，推动其向更智能、高效的方向发展。

参考文献

- [1]常峰,刘雪萍.基于LTE技术的城轨交通综合承载网络方案[J].铁路技术创新,2022(03):65-70.
- [2]王盛.上海城市轨道交通LTE-M系统建设规划研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(11):75-79.
- [3]李浔.城市轨道交通窄带集群调度向宽带集群调度过渡的改造方案[J].城市轨道交通研究,2021,24(11):80-83.
- [4]戴俊杰.基于LTE综合承载系统的城市轨道交通集群调度方案设计[J].智能城市,2021,7(14):3-5.
- [5]刘向尚.轨道交通LTE集群调度系统的研究与应用[J].中国设备工程,2021(05):50-51.

