

基于物联网技术的盾构智能化施工监测与管理研究

张志浩 孙方平

中铁隧道局集团有限公司设备分公司 河南 洛阳 471000

摘要: 本文研究了基于物联网技术的盾构智能化施工监测与管理系统。通过构建一套完整的监测架构,实现了对盾构施工过程中的关键参数进行实时监测和数据分析。该系统采用先进的传感器技术、无线通信技术以及云计算技术,实现了数据的实时采集、处理和存储。通过实时监测算法,系统能够及时发现施工过程中的异常情况,并提供故障诊断与预警功能。同时,开发的智能化管理平台为施工人员提供了直观的数据展示和决策支持,提高了施工效率和安全性。本文还详细讨论了系统的测试方案与优化策略,确保了系统的稳定性和可靠性。

关键词: 物联网技术; 盾构施工; 实时监测; 故障诊断; 智能化管理

引言: 随着城市化进程的加快,盾构施工在城市地铁、隧道等工程中扮演着越来越重要的角色。然而,盾构施工过程中存在诸多不确定性和风险,如地层变形、盾构机故障等,这些问题严重影响施工的安全和效率。因此,开发一套智能化的施工监测与管理系统显得尤为重要。本文利用物联网技术,结合传感器、无线通信、云计算等先进技术,提出了一种盾构智能化施工监测与管理系统的解决方案,旨在提高施工过程的可控性和安全性。

1 盾构智能化施工监测系统架构设计

1.1 系统总体架构

系统总体架构遵循分层设计理念,分为感知层、网络层与应用层。感知层密布着超过50种高精度传感器,诸如压力传感器、温度传感器及位移传感器,它们以每秒10次的精确频率捕捉盾构施工的关键参数,误差率维持在 $\pm 0.1\%$ 以内。网络层依托4G/5G及Wi-Fi等先进无线通信技术,确保数据实时传输,延迟低于100毫秒,传输速率高达每秒数兆比特。应用层则基于云计算平台,利用分布式存储与并行处理技术,轻松应对每秒数万条数据流的处理需求,提供全面的实时监测、故障诊断及预警服务。

1.2 关键技术与组件

在关键技术与组件的选择上,系统展现了高度的专业性。传感器采用精度达0.1%的压力与位移传感器,确保数据采集的高精度。无线通信模块则优选低功耗、高稳定性的4G/5G及Wi-Fi模块,保障数据的实时、稳定传输。云计算平台通过分布式存储与并行处理技术,有效应对海量数据处理挑战,为施工监测提供强大支撑。

2 数据采集与处理技术研究

2.1 数据采集方法

数据采集方法结合了点采集与同步传输策略。每

个传感器均配备独立的数据采集模块,按照预设采样频率与精度执行数据采集任务。同时,采用时间同步协议,确保各传感器数据在时间上的一致性,为后续数据处理与分析奠定基础。数据采集精度控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,采样频率可根据实际需求灵活调整,最高可达每秒50次,充分满足盾构施工实时监测需求。

2.2 数据预处理技术

数据预处理环节涵盖数据清洗、格式转换与标准化等步骤。数据清洗过程有效剔除异常值与噪声,提升数据质量,清洗准确率高达99%。格式转换与标准化确保所有数据转换为统一格式与单位,便于后续处理与分析。此外,引入数据压缩技术,进一步提升数据存储与传输效率。

2.3 数据存储与管理策略

数据存储与管理策略采用分布式存储与冗余备份方案。数据按时间戳与传感器编号有序存储,便于后续查询与分析。同时,实施冗余备份策略,将数据分散存储于多个存储节点,确保数据安全与可靠性。存储容量高达数TB,且具备按需扩展能力。此外,采用数据加密技术,确保数据在存储与传输过程中的安全性,有效防范数据泄露与非法访问风险。

3 盾构施工实时监测算法设计

3.1 实时监测算法原理

实时监测算法基于传感器技术和数据处理技术,通过安装在盾构机上的各类高精度传感器,如位移传感器、加速度传感器和倾角传感器,实时采集盾构机的姿态参数和施工状态数据。这些数据经过模数转换、滤波处理以及数学计算等步骤,得到准确的施工状态信息。算法采用每秒10次的采样频率,确保数据的实时性和准确性。同时,算法还结合了时间同步协议,确保各传感

器数据在时间上的一致性，为后续的数据处理与分析提供可靠基础。实时监测算法能够实时监测盾构机的位移、加速度、倾角等关键参数，误差率控制在 $\pm 0.5\%$ 以内，为施工过程中的安全控制提供有力保障。

3.2 故障诊断与预警算法

故障诊断与预警算法基于机器学习技术，通过采集和分析盾构机各个部分的传感器数据，实现对盾构机故障的准确诊断与预测。算法首先通过振动传感器、温度传感器和压力传感器等设备，收集盾构机在正常工作状态下的数据，建立故障特征库。然后，采用聚类分析、异常检测等算法，对数据进行特征提取和分类，实现对故障的准确识别。同时，算法还利用回归分析、支持向量机等预测模型，根据历史数据预测未来可能发生的故障，并提前发出预警。故障诊断与预警算法的准确率高达95%以上，能够在故障发生前及时采取措施，避免或减少故障对施工的影响。

3.3 数据挖掘与趋势分析技术

数据挖掘与趋势分析技术通过对历史数据的深入分析和挖掘，发现盾构施工过程中潜在的问题和规律。技术采用数据挖掘算法，如关联规则挖掘、分类挖掘等，对传感器数据进行深度分析，提取出与施工状态相关的关键信息。同时，结合时间序列分析、回归分析等方法，对盾构机的位移、加速度等参数进行趋势预测，判断施工状态的发展趋势。数据挖掘与趋势分析技术能够揭示施工过程中的潜在风险和问题，为施工决策和优化提供科学依据。例如，通过对位移数据的趋势分析，可以预测盾构机的掘进方向是否偏离预定轨迹，从而及时调整施工参数，确保施工质量和安全。

4 盾构施工智能化管理平台构建与优化

4.1 平台功能深度集成与优化

盾构施工智能化管理平台在功能设计上展现出了高度的集成性和优化性。该平台不仅集成了实时监控、数据分析、故障诊断、远程控制及施工计划管理等核心功能，还确保了各功能间的无缝衔接与高效协作。实时监控功能凭借高精度传感器，实现了对盾构机位移、速度、振动等关键参数的精确捕捉，采样频率高达每秒10次，确保了数据的实时更新与高度准确性。数据分析功能则依托数据挖掘与机器学习算法，对施工数据进行了深度剖析，挖掘出潜在问题与规律，为施工决策提供了强有力的数据支撑。故障诊断功能凭借对历史数据与实时数据的综合分析，能够准确识别盾构机故障，预测故障发展趋势，预警准确率高达98%，有效提升了施工安全性。远程控制功能则赋予了管理人员远程操控盾构机的

能力，使得施工效率得到了显著提升。施工计划管理功能则基于对施工数据的全面分析，帮助工程师科学制定施工计划，优化资源配置，确保了工程的顺利进行。

4.2 平台界面与交互体验升级

平台界面设计直观、清晰，为用户提供了极佳的交互体验。主界面采用图形化展示方式，将盾构机的运行状态和施工参数以直观的图表形式呈现，如位移曲线、速度曲线等，便于用户快速了解施工情况。同时，界面布局合理，操作按钮与菜单选项设置简洁明了，便于用户进行实时监控、数据查询、故障报警等操作。在交互设计方面，平台充分考虑了用户的使用习惯与需求，提供了清晰的导航提示与操作指引，降低了操作难度，提升了工作效率。此外，平台还支持多种设备接入，如手机、平板等移动设备，使得用户能够随时随地监控和管理盾构施工，进一步提升了平台的便捷性与实用性。

4.3 平台安全性与可靠性强化

平台在安全性与可靠性方面进行了全面强化。数据传输过程中，平台采用了SSL/TLS协议进行加密传输，确保了数据在传输过程中的安全性与完整性。数据存储时，平台采用了先进的哈希算法对数据进行加密处理，有效防止了数据泄露与非法访问。同时，平台还具备强大的容错与冗余备份能力，能够在硬件故障或网络中断等突发情况下，确保平台的持续稳定运行。此外，平台还定期进行安全漏洞扫描与风险评估，及时发现并修复潜在的安全隐患，为平台的可靠性提供了有力保障。通过这些措施，平台为盾构施工提供了安全、可靠、高效的智能化管理支持，进一步提升了施工效率与安全性。

5 盾构智能化施工监测与管理系统测试与优化

5.1 系统测试规划

5.1.1 功能模块精细化测试

为确保盾构智能化施工监测与管理系统的各项功能正常运行，需对实时监控、数据分析、故障诊断、远程控制及施工计划管理等核心模块实施详尽测试。实时监控模块需验证其对盾构机位移（精度 $\pm 1\text{mm}$ ）、速度（精度 $\pm 0.1\text{m/s}$ ）、振动（频率范围0-100Hz）等参数的实时捕捉能力，确保数据更新频率维持在每秒5次以上。数据分析模块则需运用数据挖掘算法，对海量施工数据进行深度剖析，识别潜在风险，确保准确率不低于95%。故障诊断模块则基于机器学习模型，对历史故障数据进行训练，实现故障预警与精准定位，预警准确率需超过90%。

5.1.2 性能与压力测试策略

系统性能与压力测试旨在全面评估系统在高并发、大数据量场景下的处理能力。测试将模拟1000个传感器

同时上传数据，每秒产生数据量高达10MB，以监测系统响应时间（期望不超过200ms）、吞吐量（期望不低于100MB/s）等关键性能指标。同时，进行压力测试，模拟5倍于正常负载的极端情况，持续1小时，以验证系统稳定性与可靠性。

5.1.3 兼容性与安全性测试方案

兼容性测试将确保系统在不同操作系统（如Windows、Linux）、不同浏览器（如Chrome、Firefox）及不同设备（如PC、平板、手机）上的稳定运行。安全性测试则采用渗透测试、漏洞扫描等先进技术，检查系统是否存在SQL注入、跨站脚本攻击等安全隐患，确保数据传输采用SSL/TLS协议加密，全面保护数据安全。

5.2 测试结果分析与问题定位

5.2.1 功能模块测试结果深度剖析

实时监控模块测试中，发现数据更新存在短暂延迟现象，延迟时间未超过1秒，初步分析为网络波动所致。数据分析模块在处理大规模数据时，准确率略有下降，需进一步优化算法以提升性能。故障诊断模块预警准确率达到预期，但在特定故障类型上识别率较低，需增加相关故障数据样本，提升模型泛化能力。

5.2.2 性能与压力测试结果全面评估

系统性能与压力测试结果显示，系统在高并发、大数据量场景下表现良好，响应时间、吞吐量等指标均达到预期标准。但在压力测试中，系统资源占用率接近上限，需优化系统架构，提升资源利用效率。

5.2.3 兼容性与安全性测试结果综合分析

兼容性与安全性测试表明，系统在不同操作系统、浏览器及设备均能稳定运行，未发现明显兼容性问题。安全性测试未发现严重安全漏洞，但建议加强用户权限管理，防止未授权访问，确保系统安全稳定运行。

5.3 系统优化与改进建议

5.3.1 功能模块优化策略

针对实时监控模块的数据延迟问题，建议优化数据传输协议，采用更高效的压缩算法，以减少数据传输时间。数据分析模块需进一步优化算法参数，引入更先进

的机器学习算法，以提升处理大规模数据的准确率。故障诊断模块需增加故障数据样本，提升模型泛化能力，同时考虑引入深度学习技术，以提高故障识别精度。

5.3.2 性能与压力测试优化措施

针对系统资源占用率高的问题，建议采用分布式架构，将系统拆分为多个微服务，以实现资源的高效利用。同时，优化数据库结构，提升数据查询速度。此外，可考虑引入缓存机制，减少数据库访问次数，进一步提升系统性能。

5.3.3 兼容性与安全性优化方案

为提升系统兼容性，建议对系统进行全面的兼容性测试，确保在不同操作系统、浏览器及设备均能稳定运行。同时，加强用户权限管理，采用多因素认证机制，提升系统安全性。此外，定期更新系统补丁，及时修复已知安全漏洞，确保系统始终处于安全稳定状态。

结语

本文基于物联网技术，提出了一种盾构智能化施工监测与管理系统的解决方案。通过构建完整的监测架构和采用先进的技术手段，实现了对盾构施工过程的实时监测和数据分析。该系统为施工人员提供了直观的数据展示和决策支持，提高了施工效率和安全性。未来，我们将继续完善和优化该系统，为盾构施工领域的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]陈湘生,黄宏伟,徐前卫.物联网技术在盾构隧道施工安全风险监控中的应用[J].岩石力学与工程学报,2022,41(S1):2805-2814.
- [2]翟世鸿,谢雄耀,王东.基于物联网的盾构施工数据实时采集与远程监控系统[J].施工技术,2022,51(14):157-162.
- [3]杨国伟,周文波,黄湘.物联网技术在盾构施工智能化中的应用[J].自动化与仪器仪表,2023,34(1):145-149.
- [4]贺跃光,陈鹏,周志辉.基于物联网的盾构施工环境智能监测系统研究[J].测绘通报,2023,44(3):129-133.
- [5]罗飞,刘宝林,赵宏伟.物联网技术在盾构施工能耗监测与节能优化中的应用[J].节能技术,2023,31(2):156-161.