

燃气管道巡检机器人中异常检测系统的改进策略探讨

王哲铭

杭州哥伦布机器人有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：伴随城市燃气广泛应用，燃气管道安全运行意义重大。燃气管道巡检机器人是维护管道安全的关键工具，其异常检测系统性能左右检测成效。本文着眼当下燃气管道巡检机器人异常检测系统应用情形，深度探究传感器技术、数据处理途径、算法模型等层面改良策略，目标在于增强异常检测系统精准度、时效性与稳定性，为确保燃气管道安全平稳运行筑牢根基。经剖析研究各项改良策略，寄望能为相关领域后续发展给予借鉴。

关键词：燃气管道；巡检机器人；异常检测系统；传感器技术；算法模型

引言

燃气作为清洁高效能源，于城市生活与工业生产中大量使用。燃气管道多深埋地下或铺设于复杂环境，受腐蚀、外力冲击等因素作用，易出现泄漏等安全隐患。鉴于传统人工巡检效率欠佳且存在漏检风险，燃气管道巡检机器人得以研发应用。异常检测系统作为巡检机器人关键组件，其对异常状况的精准检测能力，关乎燃气事故防范与公众生命财产安全保障。目前，异常检测系统在实际运用过程中尚存有缺陷，亟须加以完善。

1 燃气管道巡检机器人异常检测系统现状

1.1 现有系统构成

现阶段燃气管道巡检机器人异常检测系统的构成，主要涵盖传感器模块、数据传输模块、数据处理与分析模块。传感器模块内集成多种传感器，像检测气体浓度的气体传感器、监测管道压力的压力传感器、感知管道温度波动的温度传感器等，它们持续收集管道周边环境和管道自身状态数据。数据传输模块凭借Wi-Fi、蓝牙、ZigBee等无线通信技术，将传感器采集的数据输送至数据处理与分析模块。数据处理与分析模块借助特定算法对数据加以处理，判别其中有无异常。以常见巡检机器人系统为例，气体传感器检测甲烷浓度，浓度超出设定阈值时，系统便认定存在燃气泄漏异常的可能。

1.2 检测原理

燃气管道异常检测依据正常运行状态下各项参数设定与监测。管道压力正常运行时有稳定区间，系统预先划定范围，压力传感器检测值超出此范围，无论高低均视为异常。温度检测中，管道区域温度升降偏离正常曲线，异常检测机制启动^[1]。气体浓度方面，可燃气体浓度达危险阈值，即判定为异常，暗示可能燃气泄漏。部分系统会综合多种参数判断，像压力异常降低且气体浓度升高，可更精准判定管道泄漏。

1.3 应用效果与问题

实际应用场景下，现行异常检测系统在燃气管道巡检效率与精准度方面取得一定成效。不少城市燃气管道网络运用该系统后，成功探查出多起潜在泄漏位置与管道压力异常状况，切实防范安全事故发生。但系统仍存在不少缺陷。传感器精度与稳定性欠佳，部分传感器在高温、高湿、强电磁干扰等复杂环境中，检测数据易失准，造成误判或漏检。数据处理算法较为单一，面对复杂异常情形时，识别能力有限，管道多种异常并发时，现有算法难以精准定位根源。数据传输环节同样存在信号中断、延迟等状况，致使异常检测时效性不足。

2 传感器技术改进策略

2.1 新型传感器选用

改善传感器性能可选取新型传感器。基于量子点技术的气体传感器，与传统气体传感器相比，对各类可燃气体有着更强的灵敏度与选择性。量子点特殊的光学、电学属性，使其能够更为精确地察觉极少量气体浓度变动，于燃气泄漏初期便可及时检测。城市地下燃气管道环境复杂，湿度大且存在干扰气体，量子点气体传感器凭借自身特性，在甲烷浓度低至ppm级别时即可敏锐感知，相比传统传感器，检测时间可提前30%以上，大幅提升燃气泄漏预警的及时性。压力检测可引入光纤光栅压力传感器。该传感器借助光纤光栅应变-波长特性，对压力变化反应迅速，且不受电磁干扰，能够在复杂电磁环境中稳定运行，保障压力检测数据的准确性。在工业厂区周边燃气管道，因周边电气设备多、电磁干扰强，光纤光栅压力传感器可稳定输出精准压力数据，为管道压力异常检测提供可靠参考。温度检测采用基于石墨烯的温度传感器。石墨烯优异的热导率和电学性能，使其能够快速、精准地测量温度，提升温度检测的精度与响应速率。在冬季严寒或夏季酷热地区进行燃气管道巡检

时, 石墨烯温度传感器面对环境温度剧烈变化, 能够以毫秒级响应速度精准反馈管道温度, 防止因温度检测滞后造成异常漏检。

2.2 多传感器融合技术

仅依靠单一传感器进行检测存在一定不足, 多传感器融合技术则能够很好地对此加以改善。把气体传感器、压力传感器、温度传感器和振动传感器等多种传感器采集到的数据加以融合处理^[2]。运用卡尔曼滤波算法等数据融合算法, 对各传感器数据进行综合分析, 以此增强异常检测的准确性。在某城市老旧燃气管道区域, 曾有过因管道老化引发的轻微泄漏事件。气体传感器检测到甲烷浓度有轻微上升, 压力传感器监测到压力出现细微下降, 同时振动传感器察觉到因气体泄漏致使管道产生的细微振动变化。多传感器融合技术对这些不同类型传感器的数据进行融合分析, 快速且准确地判断出管道存在泄漏异常情况, 相较于单一传感器检测, 误报率下降40%, 漏报情况基本杜绝。当管道遭受外部机械损伤, 压力传感器会率先感知压力波动, 振动传感器捕捉到异常振动频率, 温度传感器或许会因管道摩擦出现温度变化, 多传感器融合技术能够整合这些数据, 迅速确定损伤位置和程度, 为管道维修提供详尽信息, 全方位提升异常检测的可靠性与实际应用价值。

2.3 传感器自校准与自适应技术

传感器自校准技术依托内置校准模块, 定时对传感器开展自动校准操作。在燃气管道长期巡检过程中, 气体传感器易受环境因素干扰出现性能漂移, 而自校准功能可实现传感器每日自动校准, 确保其连续使用数月后检测误差仍维持在 $\pm 1\%$ 以内。自适应技术赋予传感器依据环境改变自动调节检测参数的能力。在温度波动剧烈的环境中, 温度传感器可自主调整温度补偿系数, 以契合环境温度变化, 保障测量精度。于昼夜温差显著的区域, 温度传感器的自适应功能能够实时监测环境温度, 每隔10分钟调整一次补偿系数, 从而让管道温度测量始终保持精准。除温度外, 在湿度变化频繁、粉尘浓度较高的环境中, 传感器自适应技术还可对自身防护机制与检测参数进行调整, 降低环境因素对检测结果造成的干扰。凭借自校准与自适应技术, 传感器在复杂多变的环境下稳定性与可靠性得以提升, 促使燃气管道巡检机器人的异常检测系统持续高效运转。

3 数据处理方法改进

3.1 数据预处理优化

数据预处理作为数据处理重要开端环节, 对原始数据含有的噪声、缺失值及异常值进行处理^[3]。降噪处理

常用中值滤波、高斯滤波手段, 中值滤波将数据点邻域排序取中值替换, 有效消除离散噪声同时保留数据真实性; 缺失值填充依据数据特性选择方法, 时间序列数据适用线性插值, 依据前后数据线性推算填充; 异常值识别采用 3σ 原则, 将偏离均值三倍标准差数据判定为异常, 依实际情况修正或删除。数据预处理各环节协同作用提升数据品质, 为后续分析、模型构建及异常诊断筑牢根基, 充分发挥数据在燃气管道运维监测中的价值。

3.2 大数据处理技术应用

燃气管道巡检数据规模持续扩张, 传统数据处理技术渐显力不从心。此时, 引入Hadoop与Spark框架等大数据处理技术成为必然选择。Hadoop分布式文件系统(HDFS)可实现海量数据的分布式存储模式, 通过将数据分散部署于多个节点, 有效拓展存储容量并增强数据可靠性。MapReduce编程模型针对大规模数据具备并行处理能力, 极大地提升数据处理效能。在分析长期积累的海量燃气管道压力数据时, MapReduce可将数据切分为若干子块, 分发至不同节点同步计算, 迅速得出压力变化趋势等分析结论。Spark采用内存计算机制, 与Hadoop依赖磁盘读写的模式相比, 显著加快数据处理速度, 特别适用于迭代式算法场景, 在机器学习算法多次迭代训练等应用中, 能够更高效地完成巡检数据深度剖析。

3.3 实时数据处理架构搭建

欲达成异常快速检测目标, 实时数据处理架构搭建不可或缺。选用Apache Flink这类流处理技术, 其优势在于可对实时涌入的数据即刻开展处理, 无需等待数据完整采集。传感器数据实时传输至系统后, Flink随即启动数据分析流程, 一旦发现异常状况, 便能迅速触发警报机制。燃气管道运行期间突发泄漏时, 气体浓度、压力等数据会出现瞬间波动, 依托Flink构建的实时处理架构, 可在极短时间内捕捉到这些数据变化, 快速完成异常判定并通知相关人员, 大幅提升异常检测时效性, 为及时处置、防止事故扩大赢得关键时间。

4 算法模型改进策略

4.1 机器学习算法优化

机器学习算法于异常检测领域占据关键地位。传统机器学习算法里, 支持向量机(SVM)可借由核函数优化与参数调适提升检测效能^[4]。挑选适宜的核函数, 像径向基核函数、多项式核函数, 能够更出色地把非线性可分数据映射至高维空间完成分类。运用交叉验证等途径对SVM参数, 诸如惩罚参数 C 、核函数参数 γ 进行优化, 探寻最佳参数组合, 进而增强对异常数据的分类精度。决策树算法方面, 采用随机森林算法加以改良。随机森

林构建众多决策树，对数据实施多次抽样及特征选取，再整合多个决策树的结果做出判断，有力规避决策树过拟合现象，提升异常检测的稳定性与精准度。

4.2 深度学习算法应用

深度学习算法于复杂数据处理及模式识别领域展现显著优势。卷积神经网络（CNN）可应用于燃气管道图像数据异常检测，此类图像多由巡检机器人搭载摄像头获取管道内壁影像。CNN凭借卷积层、池化层与全连接层等架构，自动提取图像特征，精准识别管道内壁裂纹、腐蚀等缺陷。循环神经网络（RNN）及其变体LSTM适用于处理燃气管道运行的时间序列数据，像压力、温度随时间演变的数据。LSTM独特结构有效处理数据长期依赖关系，精确预测数据变化趋势，敏锐捕捉异常波动。以LSTM分析管道压力数据为例，经学习训练建立预测模型，当实际压力数据超出预测范围即判定为异常状况。

4.3 混合算法模型构建

欲进一步提升异常检测效能，构建混合算法模型不失为良策。把机器学习算法与深度学习算法相融合，使二者优势互补^[5]。以朴素贝叶斯算法对数据开展初步分类，筛选出疑似异常的数据子集，再将这些数据输入深度信念网络DBN做进一步细致分析。如此混合算法模型，既发挥机器学习算法的简洁高效，又借助深度学习算法处理复杂数据的专长，提升异常检测的精准度与效率。依据不同应用场景和数据特性，灵活调配混合算法模型中各算法的权重与组合形式，从而达成更优的异常检测效果。

结语

燃气管道巡检机器人异常检测系统的优化升级，对守护燃气管道安全运行影响重大。于传感器技术层面，择取新型传感器，运用多传感器融合以及自校准自适应技术；数据处理领域，完善数据预处理流程，引入大数据处理技术并搭建实时处理架构；算法模型方面，改良机器学习算法，运用深度学习算法并构建混合算法模型。这些举措协同发力，能够切实增强异常检测系统性能。展望未来，伴随科技持续演进，需始终紧跟新技术发展步伐，不断优化异常检测系统，使其更从容应对燃气管道复杂运行环境，为城市燃气安全筑牢稳固防线。

参考文献

- [1]李雪,谢波,李昱昂.复杂空间燃气管道辅助无人巡检技术的研究及展望[J].城市燃气,2024,(09):18-22.
- [2]巫宇航,王强,肖瑶,等.燃气管道巡检四足机器人的改进沙猫群优化SLAM算法研究[J].电子测量与仪器学报,2024,38(10):128-136.DOI:10.13382/j.jemi.B2407509.
- [3]梁成文.燃气管网巡检机器人控制系统的设计与研究[J].自动化应用,2024,65(07):77-79.DOI:10.19769/j.zdhy.2024.07.022.
- [4]王国栋,康熙,姚三刚,等.无人机载激光燃气巡检系统在农村燃气管道应用探究[J].城市燃气,2021,(04):26-30.
- [5]顾寻奥.市区燃气管道风险分析及巡检策略优化[D].北京建筑大学,2021.DOI:10.26943/d.cnki.gbjzc.2021.000191.