

排水管线健康检测数字化平台

马男

上海市城市排水有限公司

摘要：目前排水管线缺陷检测主要采用CCTV拍摄管线内部视频，经由人工查看视频来判断管线的缺陷情况，人工分析对人工经验要求高、工作量大，因此本研究利用人工智能技术学习和积累现有人工经验，构建了缺陷识别分析模型，实现了对管线缺陷的自动分析、识别和统计，在此基础上又结合管线GIS的应用，构建了排水管线健康检测数字化平台，有效提升了管线的精细化管理和运行质量，实现了排水管线管理数字化的转型。

关键词：人工智能；管线缺陷；排水管线

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.032

Abstract: At present, the detection of defects in drainage pipelines mainly uses CCTV to shoot internal videos of pipelines, which are manually viewed to determine the defect situation of pipelines. Manual analysis requires high manual experience and a large workload. Therefore, this study uses artificial intelligence technology to learn and accumulate existing manual experience, constructs a defect recognition and analysis model, and realizes automatic analysis, recognition, and statistics of pipeline defects. On this basis, it is combined with the application of pipeline GIS, We have built a digital platform for health inspection of drainage pipelines, effectively improving the refined management and operational quality of pipelines, and achieving the transformation of digital management of drainage pipelines.

Key Words: Artificial intelligence; pipeline defects; drainage pipelines

一、引言

排水管线是城市重要基础设施，在城市运行当中起到重要作用，排水管线的安全运行关乎着整个城市的安全和发展。由于排水管线长期深埋地下，且埋层较深，使得管线缺陷检测、养护、维修难度大。目前相对于城市地下管道建设的飞速发展，国家对已有管道的养护管理比较忽视，养护工作水平落后，缺乏必要的检测手段，尚未形成科学、系统、稳定的管理及修复机制，管道检测技术主要还是通过传统的CCTV进入到管道中进行拍摄，依靠人工经验，从视频中提取、判断出管道的缺陷。为了提升管线的检测效率，形成完善的管线管理及修复机制，必须构建排水管线健康检测数字化平台为排水管网的运行、检测、养护、管理提供有效数据支撑，本研究主要通过以下方法构建平台：

1. 利用数字化手段，实现管线基础信息管理、CCTV

视频管理、缺陷图片自动识别和积累、缺陷信息统计分析等功能，实现管道信息集中化、数据化管理；

2. 利用人工智能技术，根据管线缺陷分类及等级标准，学习人工判定缺陷经验，积累缺陷图片库，最终实现由人工智能技术的缺陷识别模型代替人工经验判断；

3. 利用陀螺仪惯导技术，解决了地下管线没信号无法获取位置信息问题，给管道机器人加装定位装置，定位数据加算法实现管线经纬信息的获取，为管线的养护提供数据支撑。

二、排水管线健康检测数字化的应用

排水管线是城市运行重要的基础设施，为了保障管线正常健康运行，需管线管理单位及时、准确、全面掌握管线各项信息，因此构建排水管线健康检测数字化的应用非常必要。为CCTV加装定位装置，获取位置信息后结合GIS应用，有效提升养护工作效率；利用人工智能技术代替人工缺陷的判断，有效降低对经验人员依赖，同时不断积累历史经验，增加识别的准确率；提供对管线缺陷信息统计分析能力，为管线管理决策提供数字支撑。

(一) 系统应用架构设计

排水管线健康监测数字化平台系统架构设计如下：



图 1 系统架构设计

(二) 系统功能性设计

排水管线健康检测数字化平台增加CCTV北斗定位装置，获取北斗经纬度信息，实现经纬度与管道缺陷位置融合，并增加GIS可视化应用功能，构建以人工智能技术为核心的排水管线健康检测数字化平台。在实现缺陷识别准确率提升的基础上，增加GIS可视化应用等各项功能，为提升排水管线运行质量提供技术支撑。

1. 缺陷识别模型构建及优化

(1) 收集变形、破裂、脱节、异物、支管暗接5类缺陷图片样本，使用Labelme软件对样本进行人工打标，形成可进行模型训练的数据集；

(2) 采用人工智能计算机视觉库YOLOV5的目标

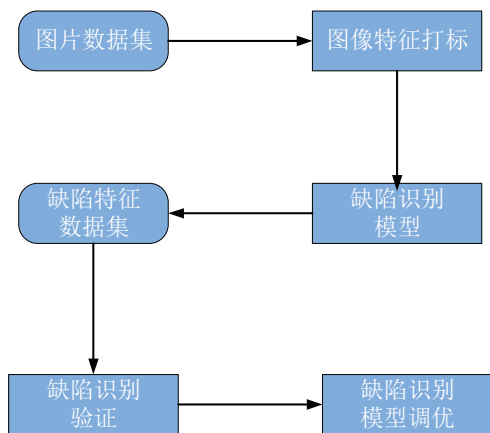


图2 缺陷识别模型整体构建流程

检测技术，搭建多层卷积神经网络，使用梯度下降法（SGD）对卷积进行优化，采用均方误差（MSE）进行回归计算，对打标后的缺陷图片进行多批次的卷积神经计算，最终训练成缺陷识别模型；

(3) 对缺陷模型进行试验并优化，提升缺陷识别的准确率，主要采用的研究方法如下：

①因初始建立的缺陷识别算法模型缺乏海量缺陷样本支撑，故在系统使用过程中，可基于缺陷样本的扩容及用户对缺陷识别结果的反馈对缺陷识别算法进行迭代修正及优化，以不断提升缺陷识别的准确性及适用性。

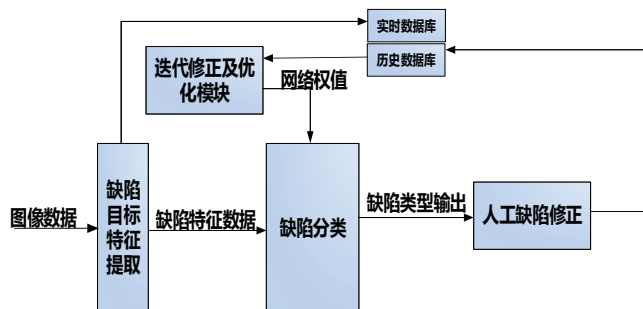


图3 缺陷识别模型迭代优化

通过调整训练的步长、批次、训练参数、样本集的增强对模型进行不断的优化；

②针对拍摄晃动、环境干扰等2个需求构建对象前置识别条件，实现过滤功能，为提升缺陷识别准确率提供基础支撑，所采用研究方法包括图像清晰度判断法、管道中心点判断法、特征向量值判断法、曝光特征判断法、OCR拍摄时间识别法及OCR管道位置识别法等。

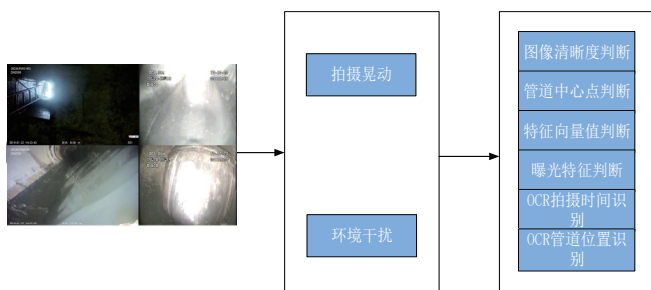


图4 模型前置识别算法

通过构建及优化缺陷识别模型，起到对识别缺陷经验的数字化，提高管线缺陷的识别率，减少对人工的依赖和人工的核查工作，提高管线质量管理效率。

2. 管线缺陷定位研究

CCTV管道机器人扩展北斗定位装置，由于CCTV的系统不具备功能的扩展和二次开发，需要另外开发北斗定位装置的终端系统，机器人在拍摄同时北斗终端系统也启动经纬度信息的采集，北斗装置下井前获取初始化经纬度，下井后利用陀螺仪的惯性实时计算得出新经纬度，再通过进出2个井口的经纬度对陀螺仪计算得出经纬度进行过滤纠错，经纬度保存间隔为每10秒存储一条记录，最后根据拍摄的时间段从终端下载经纬度和时间的数据包，为管线缺陷位置提供精准定位，提高管线维护工作便捷度，更多角度进行故障的统计，为决策提供数据支撑。

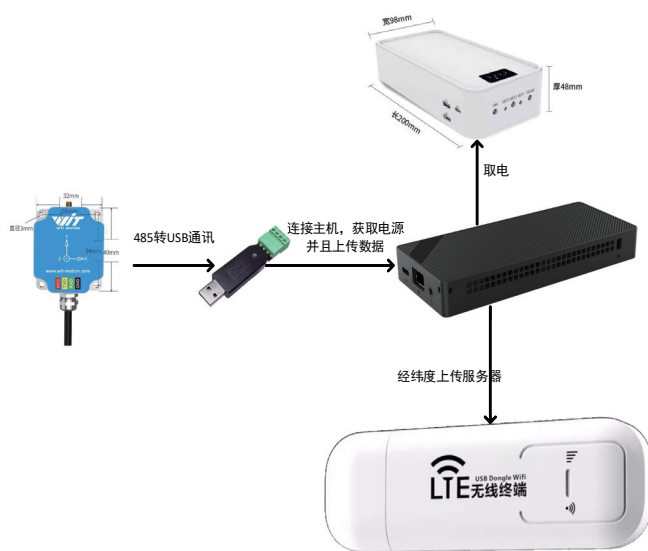


图5 北斗装置图

北斗装置由主机、电池、陀螺仪、无线网卡经由外盒组合为整体，在CCTV上焊接一个螺栓，陀螺仪装置通过螺母与CCTV进行固定，外盒装置采用电池底部、上层主机和陀螺仪，空余位置放置无线网卡，每个组件设定卡槽固定避免晃动，外壳引出一根USB航空插头用于充电。迷你主机经由移动电池供电，陀螺仪和无线上网卡通过迷你主机USB供电；陀螺仪获取的经纬度信息经迷你主机解析后，先本地存储，侦测具备网络情况下经由USB连接4G无线网卡上传经纬信息至服务器端。

3. 缺陷数据库构建

利用缺陷模型对CCTV拍摄的管线视频进行检测，过滤其中重复的图片，将检测后图片分为缺陷图片、疑似图片、正常图片三类。

将缺陷类型、缺陷路径、所属管线、所属分段、所属视频、图片OCR识别的时间、图片类别、北斗经纬度存储入数据库，按照缺陷类型、所属管线进行多维度的分析比较，形成管线质量数据，构建排水管线数据库，为实现管线的统计分析、管线质量评价提供基础支撑。

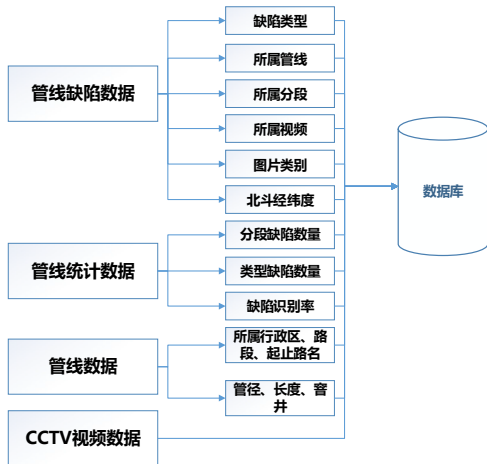


图 6 数据存储

4. 排水管线健康检测数字化平台研发

排水管线健康检测数字化平台可以实现排水管线历史数据的收集、溯源，相关检测经验的积累以及管道缺陷的自动识别和统计分析功能，通过设置管线预警信息可以为领导决策和养护工作提供数据支撑，最终完成管线管理的数字化转型。该平台的主要功能包括如下：

(1) 管线基础信息的管理

通过构建管线数据信息库，实现管线名称、所属干线、长度、管径等信息的数字化维护、管理。

(2) 水下机器人视频资源管理

将水下机器人拍摄的视频和北斗的经纬度文件上传至排水管线健康检测数字化平台，利用管线拍摄的时间与北斗经纬度定位时间匹配出缺陷图片的经纬度信息，实现后期对视频的追溯和管理功能，并可通过识别模型进行缺陷分析。

序号	所属行政区	所属管线	所属分段	视频ID	拍摄日期	视频长度	物体长度	备注	状态	操作
1	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频007	2021-07-26	4	4		新增	删除 删除 缺陷分析
2	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频006	2021-07-21	2	1		分析完成	
3	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频005	2021-07-21	2	2	111	分析完成	
4	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频004	2021-07-26	3	2		分析完成	
5	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频002	2021-07-16	2	2		分析完成	
6	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.2号-中山北路	测试视频002	2021-07-14	3	3		分析完成	
7	徐汇-静安	彭越路桥山洪沟	3.1号-中山北路	测试视频001	2021-07-20	1	1		分析完成	

图 7 视频资源管理

(3) 管线缺陷信息管理

构建管线缺陷信息库，实现对缺陷类别的变更、误识别缺陷的移除、缺陷记录的增加，并且可将缺陷数据进行批量性导出，为后期模型自学习优化提供基础支撑。

(4) 管线缺陷统计与分析

根据缺陷类别、缺陷等级、所属管线对缺陷数据进行统计及分析，为管理人员的决策提供有效数据支撑。

(5) 管线预警信息生成

缺陷数据与管线相结合进行统计分析，根据平台设定缺陷率的预警线，对超过预警线则自动产生预警信息，利用管线缺陷的经纬度信息并可在GIS地图上输出预警信息，为管线的质量决策提供数据支撑。

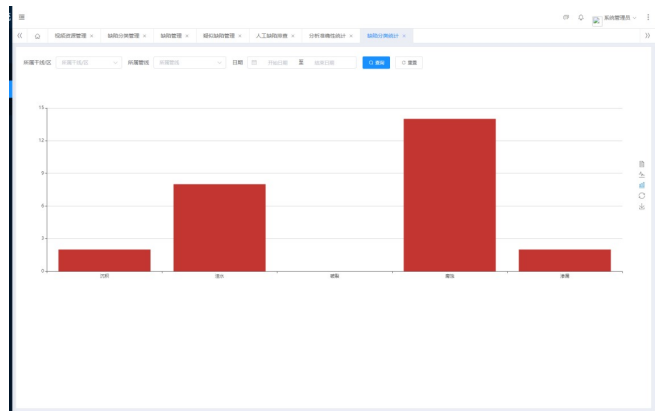


图 8 缺陷统计分析

三、项目效益分析

经由排水管线健康监测数字化平台应用，可实现如下项目效益：

1. 缺陷识别范畴包括沉积、洼水、渗漏、腐蚀、变形、破裂、脱节、异物、支管暗接9类缺陷，可为系统在排水管线缺陷提取、识别全面性应用提供支撑，充分挖掘管线数字资产，提升应用价值；

2. 增加拍摄晃动、环境干扰等人工智能核心算法，可有效提升排水管线缺陷识别的准确性，为人工智能技术的排水管线缺陷识别提供有效技术支撑；

3. 增加GIS可视化应用、不同管段数据差异性对比、分析能力，系统构建后将不再局限于排水管线内部缺陷提取及应用，将可为排水管线的业务管理、数字化管理提供全面性、技术性支撑手段，实现排水管线运行管理数字化转型的目标；

4. 基于系统化手段实现排水管道内部缺陷的自动提取、识别、分类功能，有效降低人力成本投入，减少对有经验识别人员的培训，加快识别效率，实现排水管道运行管理降本增效的目标。

四、总结

排水管线健康检测数字化平台能够有效提升排水管线管理的数字化水平，通过人工智能自动识别管道缺陷可以提高管道检测的准确率，降低由于人工经验不足导致缺陷误判的风险，减少人工工作量，提高工作效率；通过数字化平台能够全面的分析管线健康情况，提前预判出各类病害对管道运行和管道安全产生的影响，为管线的后续养护、管理工作提供有力的数据支撑，实现数字化管理。

参考文献

[1] GB50289-2016城市工程管线综合规划规范国家标准. [2016-12-1].
 [2] 秦永元, 张洪钺, 汪叔华. 卡尔曼滤波与组合导航原理 (第4版) [M]. 西北工业大学出版社. 2021-11-01.
 [3] 严恭敏, 翁浚. 捷联惯导算法与组合导航原理 [M]. 西北工业大学出版社. 2019-08-01.
 [4] 谭志. 基于深度学习的目标检测与识别技术 [M]. 化学工业出版社. 2021-08-01.