

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.12.012

基于探地雷达的路基脱空病害图像自动识别

夏新程,元 松
(上海市市政公路工程检测有限公司,上海市 201100)

摘 要:道路病害快速检测对于确保道路的安全和可靠运行至关重要。而探地雷达技术在道路病害检测中具有快速、无损和高分辨率等特征,因此被广泛应用。然而,以往的雷达图像处理和解释主要依赖人员的主观经验,易导致误判和漏判。为了解决这一问题,通过研究基于 YOLO 算法的图像识别方法,结合深度学习技术,开发一种智能化的道路病害识别系统,能够自动提取探地雷达图像中各类病害的特征,并实现高效、智能的识别,并通过钻孔验证,以确保识别结果的准确性,有效预防突发性道路塌陷的发生,提高道路的安全性和可靠性。

关键词:道路内部缺陷;探地雷达;图像自动识别;深度学习;YOLO 算法

中图分类号: U418.5 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2023)12-0041-03

0 引 言

近年来,随着城市道路建设的迅速发展,地下空间的不当开发导致道路坍塌事件频繁发生,严重影响城市交通安全运行,造成经济损失。如何及时发现道路下部的空洞,有效预防突发性道路塌陷事故成为道路管理部门亟需解决的难题。

目前,用于道路空洞探测的方法主要包括阻抗测量法、重力勘测法、地震勘测法和探地雷达法。然而,阻抗测量法需要布设电极,需要较长的测量时间;重力勘测法受地表地形和地下杂散引力影响,空洞的探测深度有限;地震勘测法数据采集和处理相对复杂,在城市区域等复杂地质环境中可能受到背景噪音的干扰。

相比之下,探地雷达技术利用电磁波在地下的传播和反射特性来获取地下结构的信息,具有无损、高分辨率和操作方便等优点,因此广泛应用于地下空洞的探测^[1]。然而,传统的探地雷达图像判别依赖于个人经验,且数据处理工作繁重。

为了解决上述问题,本研究以 YOLO 算法为基础,开发道路病害识别系统,用于自动识别探地雷达图像中的道路内部缺陷(如空洞、疏松等),实现对道路缺陷的高频次普查,为道路养护维修提供决策支持。

1 基本原理

1.1 探地雷达技术

探地雷达的基本原理见图 1。发射天线将高频短脉冲电磁波以定向的方式发送到地下。当电磁波在传播过程中遇到不同电性特征的介质时,会发生反射和透射现象^[2]。接收天线接收到反射波信号,并将其转化为数字信号进行记录。记录下来的波形数据经过雷达主机进行处理(见图 2),介电常数差异会表现出波形相位的不同^[3]。

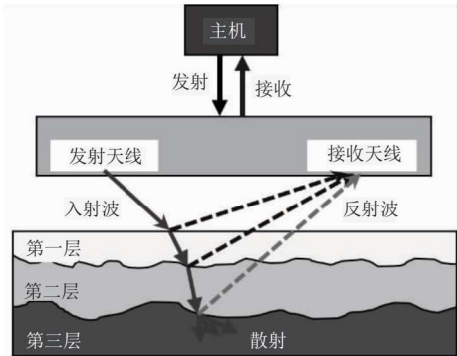


图 1 探地雷达工作基本原理图

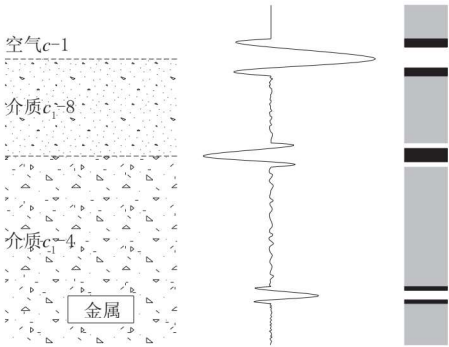


图 2 反射波相位变化规律图

收稿日期: 2023-06-02
基金项目: 上海城投(集团)有限公司科技创新计划项目(启明星专项)(CTKY-PTRC-2022-002-008)
作者简介: 夏新程(1992—),男,学士,工程师,从事桥梁、隧道、道路检测工作。

1.2 图像识别技术

图像识别技术利用人工智能来对图像进行自动识别和分类^[4]。通过对某种图像特征的数据集进行深度学习,并通过叠加多层人工神经网络来提高学习的准确性,从而创建一个用于判断的模型。经过对模型的验证,可以将该模型应用于其他图像的判定。不同道路病害的雷达图像对应着不同的图像特征,通过分析这些特征可以识别出病害的性质^[5]。

图像自动识别流程见图3。

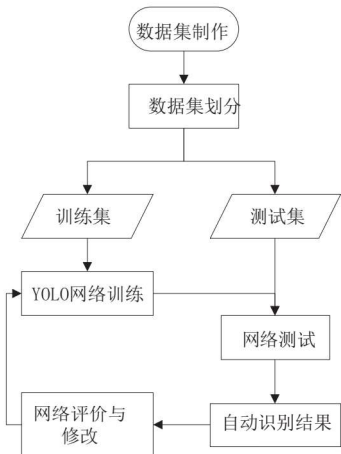


图3 图像自动识别流程图

2 雷达图像自动识别技术

将基于YOLO算法的图像识别软件应用于雷达图像病害识别,可高效、智能、准确地识别出道路内部空洞、脱空、疏松等病害,以及管线、窨井、钢筋等埋设物。

2.1 数据融合

雷达检测原始数据导入后进行自动解析和批量处理,经过数字信号归一化处理后获得的雷达图像,统一保存在文件系统中。将检测位置、采集参数、设备参数,及空洞等病害检测信息保存在数据库系统中,并建立关联关系,进行下一步资源挖掘和利用(见图4)。

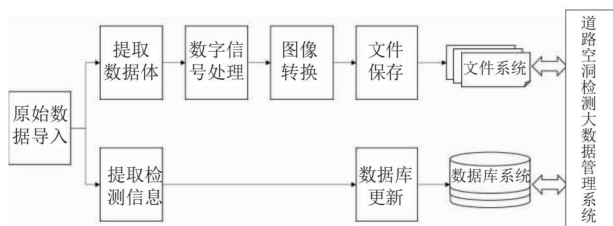


图4 原始数据融合及处理方法

2.2 样本标注

如图5所示,利用3 000余公里的雷达检测数据及获得的两万多条病害样本,进行样本标注。病害样本的真实性是决定人工智能识别准确率的关键因

素,样本类型的区分和样本量决定了训练后自动识别能力及识别精度。

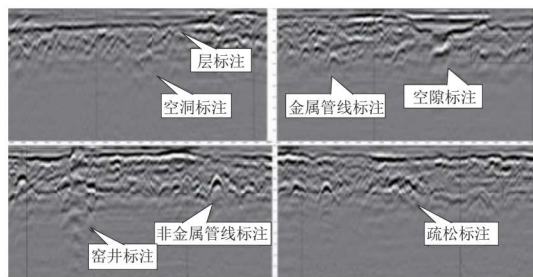


图5 雷达图像中病害样本标注

2.3 网格划分

探地雷达采集的原始数据经过处理后生成整幅道路图像,经过样本标注后的图像会被分为多个 $280\text{ px} \times 280\text{ px}$ 的网格。每个网格负责对其所覆盖的区域进行目标检测,并生成相应的预测结果。这种网格划分的方法能够快速识别图像中的多个目标。

2.4 深度学习

将已标注的雷达病害样本导入人工智能服务器进行深度学习。基于YOLO的图像识别算法结合了YOLO算法和卷积神经网络,并使用监督学习作为基础,与传统的学习方法相比,能够在未见过的数据上进行准确的预测^[6]。同时,监督学习适用于广泛的学习任务,并且通过学习输入和输出之间的关系,能够自动从数据中提取有用的特征和模式,而无需依赖繁琐的手动规则或推理过程。

将标记的数据集用于模型的训练。该过程使用雷达图像作为输入,并将缺陷类型作为输出标签。模型通过前向传播计算出预测结果,比较预测结果和真实标签,使用损失函数来衡量它们之间的差异。通过反向传播算法计算梯度,并使用优化算法(随机梯度下降)来更新模型参数,以最小化损失函数的值。这样的迭代优化过程使模型能够从数据中学习 to 更准确的缺陷类型识别规律。

在训练过程中,通过从上到下传播误差来微调网络。这意味着底层的特征提取器根据上层的分类误差进行参数调整,以更好地适应数据结构。这种方法不依赖于随机初始化,而是利用学习到的数据结构,提供更接近全局最优的初始值,从而改进结果。

如图6所示,系统通过构建适当数量的神经元计算节点和多层网络结构,选择适合的输入和输出层,利用神经网络学习和优化的过程,建立起从输入到输出的函数关系,以尽可能接近现实的相关性。通过成功训练的网络模型,实现对雷达图像的自动化

识别需求。

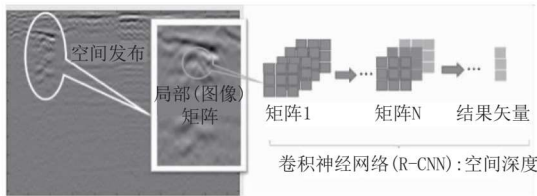
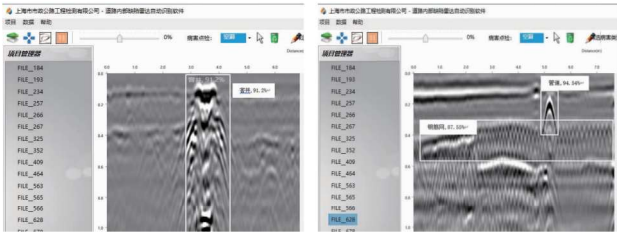


图 6 神经网络模型

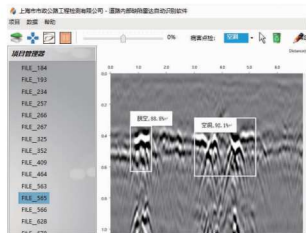
此外,随着积累的雷达检测数据和病害样本不断增多,这样能对学习模型追加训练,以提高教师模型的识别准确率和识别精度。

2.5 自动识别

人工智能系统在病害自动识别完成以后,自动将识别结果和置信度以标记文件的形式返回主系统,与雷达图像合成,见图 7。



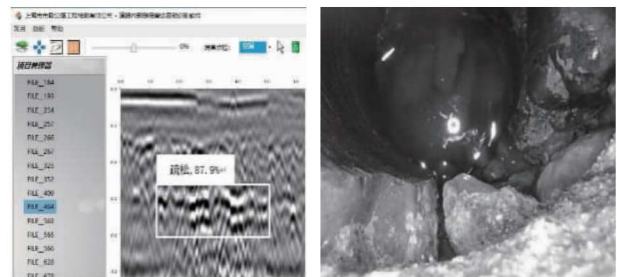
(a)窨井自动识别结果示例 (b)钢筋网、管道自动识别结果示例



(c)空洞、脱空自动识别结果示例
图 7 病害自动识别结果示例

2.6 钻孔验证

对自动识别出的置信度 85% 以上的异常区域进行了钻孔验证,验证结果与识别结果均一致。部分钻孔图像见图 8、图 9。

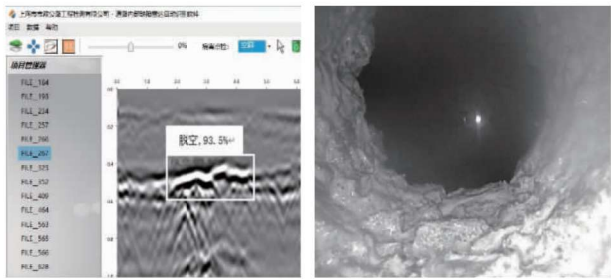


(a)疏松病害雷达图像 (b)疏松病害钻孔验证照

图 8 疏松病害钻孔验证图

3 实例分析

上海市某小区 85# 楼及 87# 楼附近区域道路、窨井、地面等构筑物出现下沉。为了调查此路面下部



(a)脱空病害雷达图像 (b)脱空病害钻孔验证照

图 9 脱空病害钻孔验证图

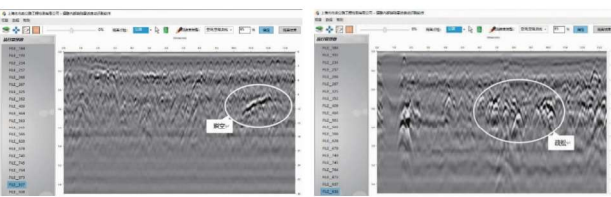
是否存在空洞等病害,对沉降影响区域进行了探地雷达检测。

(1)在 85# 楼周边区域道路共布置 21 条测线,测线总长度 421 m;在 87# 楼周边区域道路共布置 27 条测线,测线总长度 783 m。

(2)在检测范围内共探测识别出 7 处疏松,累计面积 39.79 m²;1 处空洞,面积 2.89 m²;5 处脱空,累计面积 11.37 m²。部分病害检测结果统计见表 1,典型病害雷达图像见图 10,部分病害分布见图 11。

表 1 部分道路病害汇总表

病害序号	病害类型	图像特征	顶部深度/m	顶部面积/m ²
1.1	疏松		0.51	4.03
1.2	疏松	反射信号强,同相轴不连续,错乱,呈区域化分布	0.39	11.35
1.4	疏松		0.48	2.44
1.6	疏松		0.40	6.64
1.3	空洞	反射信号能量强,呈不规则的双曲线波形特征,三振相明显	0.29	2.89
1.5	脱空	电磁波反射同相轴振幅较强,反射信号连续	0.46	1.13



(a)脱空病害 (b)疏松病害

图 10 上海市某小区道路下部病害典型雷达图像

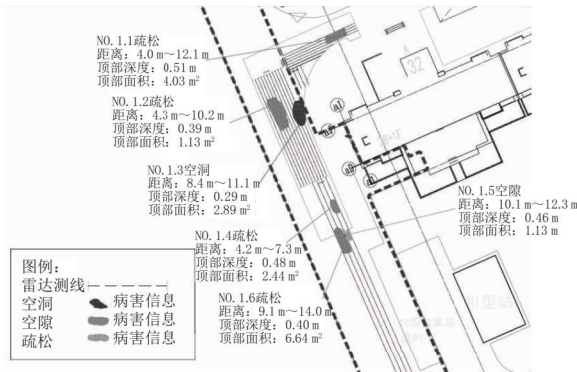


图 11 部分道路病害分布图

在容许范围内。为保证桥梁和基坑安全,坡道基坑开挖期间对已施工桥梁加强监测,现场监测的实际位移均小于监测要求及监测报警值。

4.2 注重设计细节

4.2.1 带花槽防撞护栏

济南东站作为城市对外的重要窗口,要求在桥梁上设置花槽绿化。常见的花槽形式有外挂式花盆、置顶式花盆和结构永久预留式花槽。考虑安全、经济、美观、耐久等因素,采用结构永久预留式花槽的绿化方案。预留式花槽一次投资,维护费用少,覆土深度大,保温效果好,有利于植物生长,实景照片如图 11(a)、(b)所示。



图 11 带花槽防撞护栏实景

4.2.2 钢箱梁与混凝土箱梁外形统一

常规钢箱梁挑臂是裸露的正交异性桥面板结构,与混凝土梁挑臂外观上差别较大,该工程混凝土梁和钢梁交错布置,为保证桥梁断面顺接以及整体外观的协调性,在钢箱梁挑臂下缘设置 8 mm 装饰钢板,实际应用效果较好,现场施工和建成实景照片分别如图 12(a)、(b)所示。

4.2.3 不同箱梁断面渐变接顺

对于两侧箱梁截面形式不同的情况,为保证顺接,在一侧现浇段端部 5 m 渐变,施工时采用异形钢模板,模板价格与常规钢模板基本相同,现场施工方便,现场照片如图 13 所示,图 13(a)为突变做法实景,



(a)钢箱梁施工照片



(b)钢箱梁建成实景

图 12 钢箱梁施工及建成实景

13(b)为顺接做法实景,显然顺接做法景观效果好。



(a)箱梁断面突变照片



(b)箱梁断面顺接照片

图 13 箱梁断面突变、顺接实景

5 结 语

该桥梁的景观要求较高,设计在常规桥梁结构基础上,灵活选择结构型式,重视桥梁景观设计,充分考虑相关工程影响,特别注重设计细节,较好地实现了城市设计的理念,设计中一些做法值得类似工程参考和借鉴。特别在跨龙脊河地面桥设计中,充分利用现场条件,因地制宜地选择结构形式,并对斜交异形现浇连续钢筋混凝土板进行详细的内力分析和配筋设计,成为该工程设计的另一亮点。

参考文献:

[1] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,1996.
[2] 沈中治.城市立交桥—异型平板桥设计[J].城市道桥与防洪,2003(2):1-6.
[3] 齐新,张英姿,张玉生,等.上海铁路南站广场桥梁工程设计[J].城市道桥与防洪,2007(7):47-50.

(上接第 43 页)

4 结 语

本文着力于开发一种智能化的道路病害识别系统。利用探地雷达获取的道路内部检测数据,结合深度学习技术和 YOLO 目标识别算法,可以快速地识别道路内部病害。试验结果表明所开发的识别系统具有较高的准确性和效率,为道路养护和交通管理提供有力的技术支持。将来随着病害样本库的不断扩充,识别准确度也会随之提高。

参考文献:

[1] 白云,曹钧恒,祁军,等.探地雷达信息采集与目标物识别技术[M].

北京:中国水利水电出版社,2022.

[2] 许晓莹,陈斌.探地雷达技术在城市道路地下空洞隐患检测的应用研究[J].市政技术,2021,39(S1):143-148,176.
[3] 卫苗苗,曹鸿,霍晓龙.基于地质雷达的地下空洞探测[J].绿色环保建材,2019(9):103-105.
[4] 贺丰收,何友,刘准钊,等.卷积神经网络在雷达自动目标识别中的研究进展[J].电子与信息学报,2020,42(1):119-131.
[5] 洪旭程,李秀荣.隧道衬砌检测中探地雷达图像的自动识别[J].工程地球物理学报,2015,12(6):828-832.
[6] 冯德山,杨子龙.基于深度学习的隧道衬砌结构物探地雷达图像自动识别[J].地球物理学进展,2020,35(4):1552-1556.