

基于数字图像处理的整孔预制箱梁裂缝识别技术研究*

张明^{1,2,3}, 徐建国², 叶宁波¹, 杨海鹏¹, 高沛沛², 徐银海²

(1.浙江交投交通建设管理有限公司, 浙江 宁波 315404; 2.浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 310051; 3.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 提出一种基于数字图像处理技术的整孔预制混凝土箱梁裂缝识别方法, 将采集到的图像数据进行灰度处理和图像增强, 然后利用 Otsu 算法进行图像分割, 提取图像的裂缝信息。结果表明, 基于数字图像技术的裂缝识别方法对表面光滑预制箱梁裂缝宽度的识别误差为 7.32%, 对存在蜂窝麻面的预制箱梁裂缝宽度的识别误差为 11.18%, 可应用于整孔预制混凝土箱梁结构裂缝损伤检测。

关键词: 桥梁; 预制箱梁; 裂缝识别; 数字图像处理

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)04-0139-04

与整体式现浇结构相比, 整孔预制箱梁结构具有施工周期短、环境影响小、质量易于保证、自复位能力强等优点。但在混凝土浇筑、振捣、养护、吊装运输中易产生裂缝, 严重影响结构的美观和耐久性, 甚至会导致结构承载力不足, 威胁结构安全, 缩短使用寿命。传统的人工检测耗时费力, 测量精度低, 检测人员存在安全风险。基于传感器的损伤识别技术会破坏原有结构或给施工带来不便, 且价格昂贵、算法复杂。随着计算机性能及数字图像技术的发展, 学者们结合土木工程的特点应用数字图像技术进行工程监测。Hilal A. A. 等采用数字图像技术对泡沫混凝土的破坏机理进行研究, 结果表明轻骨料的加入会降低混凝土的脆性^[1]。Tung S. H. 等采用数字图像技术对挡土墙进行变形监测, 评价挡土墙的变形趋势^[2]。Destrebecq J. F. 等采用数字图像技术研究使用条件对足尺混凝土梁受弯性能的影响, 结果表明, 采用数字图像技术测得的梁的挠度和曲率合理^[3]。张磊采用数字图像技术对路面裂缝进行识别, 有效提高了数据精度和监测效率^[4]。针对路面裂缝的特点, 袁梦霞等提出一种基于目标减背景法的三维裂缝识别方法, 结果表明该方法的识别效果较好, 对细小裂缝的识别有一定优势^[5]。房铭坤等采用形态学方法对图像进行分割除噪, 以最短距离法预测混凝土裂缝的走向^[6]。上述研究对不同构件

或路面进行监测, 未涉及基于数字图像处理的整孔预制箱梁裂缝识别。本文对基于数字图像处理的整孔预制箱梁裂缝识别技术进行研究。

1 图像实现过程

采集的原始图像背景复杂, 存在各种干扰噪声, 须采用简单、便捷的方法提取裂缝信息。数字图像技术是一种非接触式的方法, 它通过获取混凝土表面数字图像并对其进行处理实现裂缝识别, 包括图像灰度化、图像增强(线性灰度变换)、形态学处理。其中: 图像灰度化可减小图像占用的内存, 提高计算效率; 图像增强能提高图像清晰度和对比度; 形态学处理利用 Otsu 算法分割图像滤除噪声, 提取图像的裂缝信息。裂缝图像处理流程见图 1。

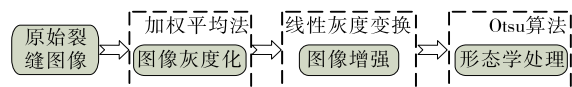


图 1 裂缝图像处理流程

1.1 图像灰度化

通过数字化设备采集的彩色裂缝图像中包含各种信息, 为提高处理效率, 根据人类对颜色的敏感程度, 采用加权平均法对裂缝图像进行灰度化处理。假设采集的裂缝图像为 $Image(i, j)$, 则图像的灰度值 $V_{Gray}(i, j)$ 为^[7-8]:

* 基金项目: 湖南省研究生科研创新项目(CX20190651)

$$V_{\text{Gray}}(i, j) = 0.3R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j) \quad (1)$$

式中: $R(i, j)$ 、 $G(i, j)$ 、 $B(i, j)$ 分别为彩色图像点 (i, j) 位置的 R、G、B (R 表示红色, G 表示绿色, B 表示蓝色) 值。

1.2 图像增强

为改善视觉效果, 提高图片质量, 运用线性灰度变换进行图像增强^[9-11]:

$$g(x, y) = \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}(g_{\max} - g_{\min}) + g_{\min} \quad (2)$$

式中: $g(x, y)$ 为线性灰度变换后输出图像的灰度值, 取值范围为 $[g_{\min}, g_{\max}]$; $f(x, y)$ 为原始图像的灰度值, 取值范围为 $[f_{\min}, f_{\max}]$ 。

1.3 形态学处理

采用 Otsu 算法计算最大类间方差, 选取阈值, 分割图像, 提取裂缝, 然后应用形态学原理滤除噪声, 突出图像的裂缝信息^[12-16]:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq f_0(x, y) + T_0 \\ 0, & f(x, y) < f_0(x, y) + T_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: T_0 为阈值。

假设输入图像为 A , 结构元素为 B , 则:

$$A \ominus B = \{x | B(x) \subseteq A\} \quad (4)$$

$$A \oplus B = \{x | B(x) \cap x \neq \Phi\} \quad (5)$$

式(4)、式(5)表明, 形态学方法可起到收缩和连通裂缝的作用。

对采集的原始裂缝图像利用不同方法进行裂缝提取的流程及效果见图 2。

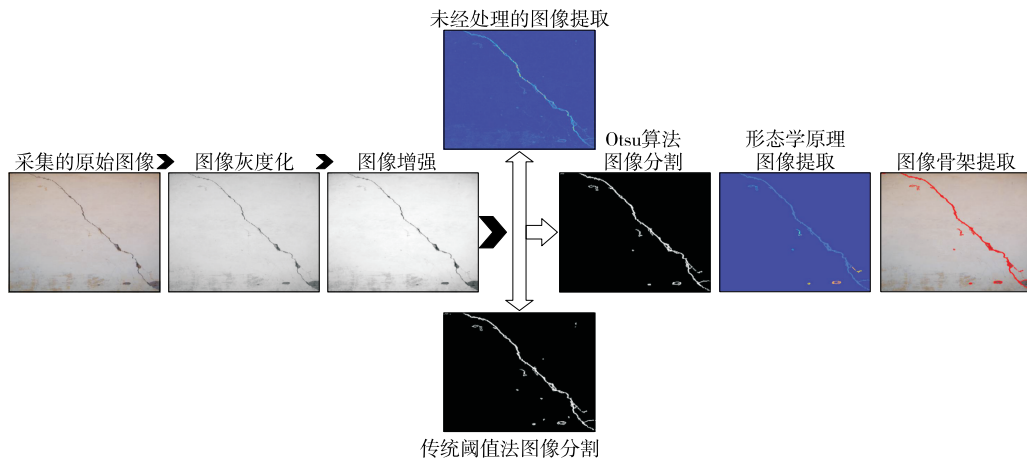


图2 原始裂缝图像和灰度化后效果

从图2可以看出: 利用 Otsu 算法分割图像滤除噪声, 提取图像裂缝损伤信息的方法优于传统阈值法。

2 工程应用

杭州湾地区环线并行线 G92N[杭甬(杭州—宁波)高速公路复线]宁波段一期工程, 采用设计速度 120 km/h 的高速公路标准建设, 双向六车道, 设计荷载等级为公路—I 级。其中整孔预制箱梁线路全长 16.868 km, 跨径分别为 32 m、37 m、40 m、50 m, 共计 805 片。首片架设的整孔预制箱梁跨径为 40 m, 梁高 2.6 m, 使用 C50 海工混凝土 478 m³, 总质量为 1 241 t, 钢筋骨架总质量为 84 t。摄像设备采用 Canon EOS 80D, 拍摄距离为 5 m, 拍摄总帧数为 36 758 帧。整孔预制箱梁和摄像设备见图 3。

大体积整孔预制箱梁混凝土浇筑中容易产生不

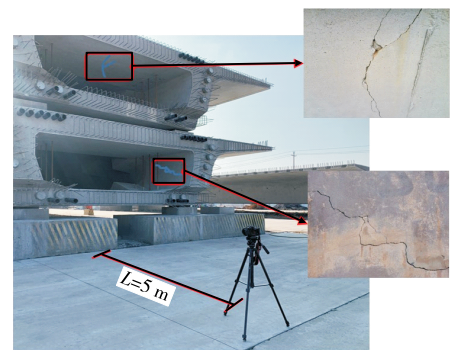


图3 整孔预制箱梁与摄像设备

确定的损伤, 如裂缝、空洞、蜂窝麻面等, 为此, 使用数字图像处理技术提取预制箱梁裂缝信息, 并与实际裂缝宽度进行对比, 评估其识别精度。为了尽可能多地保留有效信息, 根据采集结果调整采集频率。实际应用中, 采用高清数码摄像设备对整体预制箱梁进行视频采集, 采用 OpenCV 编写视频抽取程序

从每 60 帧视频中抽取 1 张图片,利用数字图像处理技术对抽取的图片进行裂缝识别。预制箱梁裂缝识别过程见图 4,裂缝识别结果见图 5。

在裂缝上随机选取 3 个点测量其宽度,然后对裂缝进行数字图像处理,比对两者之间的差异。不

同环境下拍摄的视频所产生的图像有不同的原始灰度值,须根据原始灰度值进行阈值选取。按式(3)进行计算,得阈值为 0.5。图 6 为 Otsu 算法所得数字图像效果,Otsu 算法计算宽度与实测宽度的相对误差见表 1、表 2。

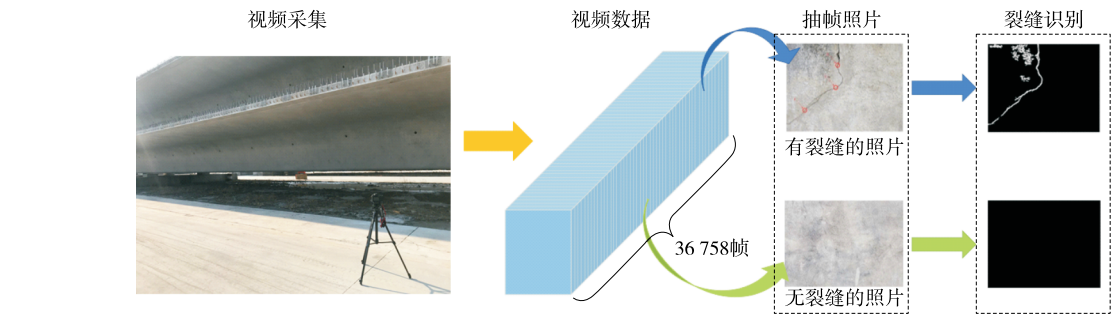
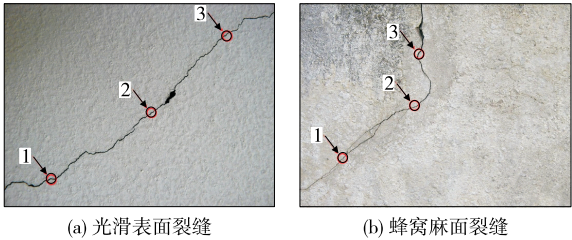


图 4 裂缝识别过程

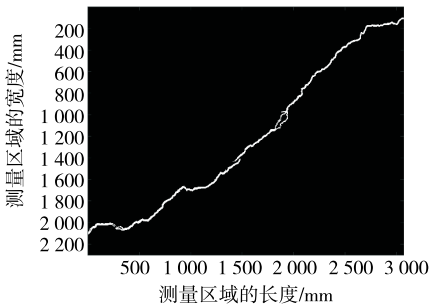


(a) 光滑表面裂缝

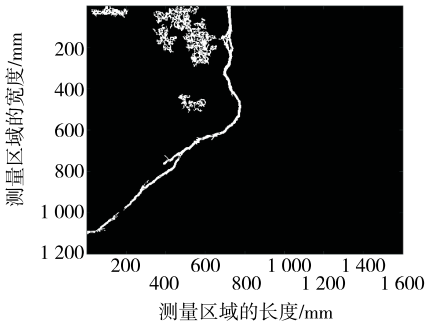
(b) 蜂窝麻面裂缝

1~3 为测点编号

图 5 预制箱梁裂缝识别结果



(a) 光滑表面裂缝处理结果



(b) 蜂窝麻面裂缝处理结果

图 6 Otsu 算法所得预制箱梁裂缝图像

由表 1、表 2 可知:光滑表面裂缝、蜂窝麻面裂缝的 Otsu 算法计算宽度与实测宽度的平均相对误

表 1 光滑表面裂缝的 Otsu 算法计算宽度与实测宽度对比

测点编号	计算宽度/mm	实测宽度/mm	相对误差/%
1	0.38	0.35	8.57
2	0.45	0.41	9.76
3	0.57	0.55	3.64

表 2 蜂窝麻面裂缝的 Otsu 算法计算宽度与实测宽度对比

测点编号	计算宽度/mm	实测宽度/mm	相对误差/%
1	0.50	0.47	6.38
2	0.49	0.44	11.36
3	0.66	0.57	15.79

差分别为 7.32%、11.18%,基于数字图像处理技术的整孔预制箱梁裂缝识别技术具有一定效果。

3 结论

采用数字图像处理技术对预制箱梁裂缝进行识别与测量,得到如下结论:

(1) 采用形态学算法 Otsu 能有效提取图像中裂缝信息,去除阈值分割后图像中的噪声,在保留裂缝信息的同时合理平滑裂缝边缘的像素点,既能保证裂缝宽度的精度,又能避免图像失真。

(2) 结构表面光滑的情况下,Otsu 算法能保证裂缝测量精度,也具备较高的稳定性。但 Otsu 算法对混凝土结构中蜂窝麻面较敏感,尤其是靠近蜂窝麻面区域,裂缝信息明显偏大,如果结构表面出现其他损伤(如蜂窝麻面、锈蚀痕迹、人为涂画等)或不良凸起,会影响裂缝信息的提取,对裂缝识别结果造

成影响,而且越靠近裂缝处影响越大,后续研究中须进行改进。

参考文献:

- [1] HILAL A A, THOM N H, DAWSON A R. Failure mechanism of foamed concrete made with/without additives and lightweight aggregate [J]. Journal of Advanced Concrete Technology, 2016, 14(9): 511—520.
- [2] TUNG S H, WENG M C, SHIH M H. Measuring the in situ deformation of retaining walls by the digital image correlation method [J]. Engineering Geology, 2013, 166: 116—126.
- [3] DESTREBECQ J F, TOUSSAINT E, FERRIER E. Analysis of cracks and deformations in a full scale reinforced concrete beam using a digital image correlation technique [J]. Experimental Mechanics, 2011, 51(6): 879—890.
- [4] 张磊. 基于图像处理的公路路面裂缝检测技术研究 [J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(2): 87—90.
- [5] 袁梦霞, 孙朝云. 基于目标减背景法的路面三维裂缝识别方法 [J]. 中外公路, 2015, 35(5): 88—93.
- [6] 房铭坤, 付国. 基于数字图像处理的混凝土裂缝宽度检测方法研究 [J]. 建筑结构, 2019, 49(增刊 2): 630—634.
- [7] 李琛, 骆汉宾, 魏威, 等. 基于图像的混凝土表面裂缝和孔洞检测 [J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(6): 118—123.
- [8] 李国耀, 王腾. 基于形态学处理与特征分析的混凝土裂缝检测研究 [J]. 建筑结构, 2020, 50(增刊 2): 529—533.
- [9] 伍高. 基于机器视觉的结构健康监测方法及应用 [J]. 湖南交通科技, 2020, 46(4): 109—112.
- [10] 余俊, 吴海军, 王武斌, 等. 基于深度学习的公路路面病害智能化检测系统 [J]. 公路工程, 2022, 47(5): 71—77.
- [11] 周辉, 黄焕立, 李玉琪, 等. 应用于微光 CMOS 图像传感器行车记录仪的快速权重均值自动曝光算法 [J]. 公路与汽运, 2017(3): 9—12.
- [12] 王永会, 陈荣. 基于分数傅里叶变换和频谱增强的路面裂缝图像识别方法 [J]. 计算机应用, 2020, 40(增刊 1): 189—194.
- [13] 李庆桐, 黄宏伟. 基于数字图像的盾构隧道衬砌裂缝病害诊断 [J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(8): 1658—1670.
- [14] 杨松, 邵龙潭, 郭晓霞, 等. 基于骨架和分形的混凝土裂缝图像识别算法 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(8): 1850—1855.
- [15] 叶云. 基于机器视觉的道路标线损坏智能检测设想 [J]. 公路与汽运, 2016(3): 55—57.
- [16] 严盛龙, 徐飞鸿. 基于亚像素算法的混凝土结构裂缝测量 [J]. 交通科学与工程, 2017, 33(4): 31—36.
- 收稿日期: 2022—07—10
- *****
- (上接第 138 页)
- [9] 姚童刚. 钢筋砼梁桥火损后检测评估与加固技术研究 [J]. 公路与汽运, 2018(5): 139—142.
- [10] 谢大川. 北京市南三环东铁营桥火灾后桥梁加固研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2017(4): 91—95.
- [11] 张方, 黄俊豪, 金聪鹤, 等. 桥梁评估与加固理论 2019 年度研究进展 [J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2020, 42(5): 76—88.
- [12] 项贻强, 吴强强. 基于性能的混凝土桥梁全寿命养护策略方法研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(5): 918—925.
- [13] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路桥梁加固设计规范: JTG/T J22—2008 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [14] 中交公路规划设计院有限公司. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [15] 交通运输部公路局, 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路工程技术标准: JTG B01—2014 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
- 收稿日期: 2022—04—15