

文章编号:1671-8879(2011)06-0050-04

数字图像处理技术在桥梁裂纹测量中的应用

张维峰¹,尹冠生²,刘 萌³,贺正权⁴

(1. 长安大学 汽车学院,陕西 西安 710064; 2. 长安大学 理学院,陕西 西安 710064;
3. 长沙机电产品研发中心,湖南 长沙 410100; 4. 西安光学精密机械研究所,陕西 西安 710119)

摘 要:基于对桥梁裂纹图像特征的深度分析,综合应用图像连通区域检测和图像边缘检测等数字图像处理技术,研发了一套基于现代数字图像处理理论的远距离非接触式裂纹几何尺寸图像识别系统。户外条件下对在役桥梁裂纹检测的对比试验结果表明,该系统对于桥梁微小损伤的远距离无损检测具有较高的工程应用价值。

关键词:桥梁工程;数字图像处理;桥梁裂纹;无损检测

中图分类号:U446.2 **文献标志码:**A

Application of digital image processing technology in surveying bridge's cracks

ZHANG Wei-feng¹, YIN Guan-sheng², LIU Meng³, HE Zheng-quan⁴

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. Changsha Research Centre of Electro-Mechanics Product, Changsha 410100, Hunan, China; 4. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Xi'an 710019, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the analysis of the characteristics of images of bridges' cracks, some special image processing algorithms, such as the edge detection, were used in order to obtain the cracks length and width. As the result of study, based on modern image processing theory, one completed system that including hardware and software was developed. The compared test of the existing bridge with cracks under the out-door environment shows that the new technology is suitable to do the long distance non-contacted crack detection of bridge structure. 1 tab, 4 figs, 9 refs.

Key words: bridge engineering; image processing; bridge crack; non-contacted detection

0 引 言

近些年来,随着科学技术的进步,数字图像处理技术已逐渐在各个行业的工程实践中得到应用。如王伟等针对试件裂纹特征,通过对直方图法、结合法、梯度法和改进 Roberts 法等 4 种图像测量分析方法的对比分析,得出采用类判别与数学形态学的

结合法,在试件裂缝测量方面效果较好^[1];路玲等针对水下结构物裂缝缺陷,采用形态学方法,在对裂缝的特征进行定量分析之后,应用计算机视觉技术计算出裂纹的真实长度和面积^[2-3];陈圣林等采用专用图像处理分析软件对桉树叶面积进行了测量^[4];贡今天等采用边缘检测方法,对获得的大型轴类工件图像进行分析,得到轴的边缘信息后,计算出轴间

收稿日期:2010-12-12

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2009 318 812 063)

作者简介:张维峰(1963-),男,陕西西安人,副教授,工学博士,E-mail:zhangwf711@chd.edu.cn。

平行度,改善了轴系平行度检测方法^[5];在土木工程领域,赵永红等采用图像相关技术,对含裂纹岩石的损伤变形进行了研究,通过相关分析得到了岩石的位移分量,进而获得了其位移场的分布规律^[6];伯绍波等针对道路裂缝特征,进行了几种图像识别算法的相互比较和研究^[7]。然而,以上分析技术或采用的是高分辨率的电子显微镜,或研究对象与图像背景反差较大,或计算的物理量相对宏观(面积,周长),或裂纹几何尺寸相对较大,无论从图像的获取手段,还是特征识别的难度,均难以满足桥梁裂纹远距离无损检测的要求。工程实践表明,桥梁、大坝等土木工程结构裂纹等微小缺陷具有物理尺寸小、背景复杂、目标物难以接近、识别精度要求极高(工程实际中要求检测出裂纹的几何宽度在几百微米)等特点,是一种业界公认的危及桥梁安全但却较难以计测的一种破损状态。对此类病害的检测,通常需要检测人员借助道路检测车或者搭架通过显微观察进行。而采用图像识别技术进行桥梁裂纹检测,目前无论是国外还是国内都研究甚少,且尚未形成工程应用。为此,本文通过普通照相机远距离获取的桥梁裂纹图像,结合对桥梁裂纹形态特征的深入研究,综合应用图像连通区域检测和图像边缘检测等数字图像处理技术,研究出了一种满足工程要求的桥梁裂纹物理尺寸的快速识别技术,并开发出了一套构造简单、造价低廉、操作简单和检测快速的现场检测系统。

1 桥梁裂纹特征和数字图像处理方法

1.1 桥梁裂纹图像特征

图 1 所示为采用自主开发的图像采集装置获取的西安南三环绕城高速路某高架桥含有裂纹的腹板图像,拍摄距离为 20 m。

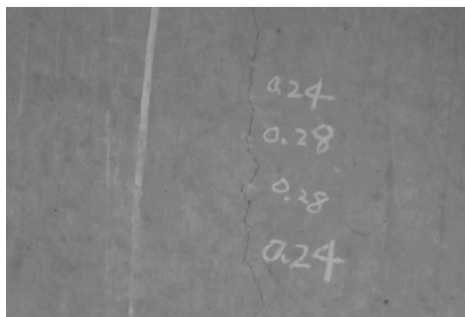


图 1 含裂纹桥梁腹板

由图 1 可明显看出:①桥梁裂纹是一个非常小的物理量,尤其是裂纹宽度;②图像中裂纹与背景的对比较小;③噪声干扰比较严重。

因此,对于如此微小的物理量要进行远距离、非接触式的准确量测,必须对图像进行诸如降噪、图像增强等处理,然后才能准确地通过边缘检测方法得到裂纹的物理尺寸。

1.2 桥梁裂纹图像识别

1.2.1 边缘检测

在图像中,边界表明一个特征区域的终结和另一个特征区域的开始,边缘检测就是通过不同区域的灰度变化这一特征来检测和确定图像发生特性变化的位置。数学上,函数的导数反映了函数的突变,而在图像分析中,灰度值的一阶导数的极大值就表征了图像灰度变化极大的地方,也就是边界点的强度。由图 1 可以看出,裂纹将图像划分成为左右 2 个区域,因此,对裂纹信息的获取,就转化成为边缘检测和图像的分割。

设图像 f 中任意点的灰度值梯度为 $G(x, y)$, 则

$$G(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: G_x 为沿 f 的 x 方向灰度值梯度; G_y 为沿 f 的 y 方向灰度值梯度; $\frac{\partial f}{\partial x}$ 为沿 f 的 x 方向的一阶导数; $\frac{\partial f}{\partial y}$ 为沿 f 的 y 方向的一阶导数。

可以用以下 3 种范数衡量梯度的幅值为

$$|G(x, y)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

$$|G(x, y)| = |G_x| + |G_y| \quad (3)$$

$$|G(x, y)| \approx \max(|G_x|, |G_y|) \quad (4)$$

在数字图像处理的实际运算中,常用一小区域的模板卷积来近似计算上述 3 个公式中的偏导数,本文采用式(4),也即无穷范数,求取裂纹区域的梯度变化值。

1.2.2 图像分割

图像分割是将图像中有意义的特征部分,如图像中的边缘、区域等提取出来,这是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。通过对大量的实测图像的统计分析,结合前述桥梁裂纹的特征信息,综合考虑计算的精度及效率。本文采用 Canny 算子对图像进行裂纹边缘检测,并通过迭代求解高、低阈值,将裂纹从背景图像中提取出来,从而实现裂纹信息与图像的分割。

1.2.3 图像增强

对于少数较为明显的图像,二值分割即可以提取所需有效信息,但大多数图像需首先进行图像增

强处理,才能得到较为明显的裂纹图像。

设图像变换表达式为

$$g(x,y) = T[G(x,y)] \tag{5}$$

式中: $G(x,y)$ 为增强前的图像灰度值梯度; $g(x,y)$ 为增强处理后的图像灰度值梯度。

而 T 则泛指对图像 f 的一种操作,其定义域在 (x,y) 上;如果以 s 和 t 分别代表 G 和 g 在任意坐标点 (x,y) 处的灰度值,则式(5) 可表示为

$$t = T(s) \tag{6}$$

如果要保持图像低端和高端的灰度值不变,把中间的灰度值从 s_1 到 s_2 拉伸到 t_1 到 t_2 ,则可采用下式计算

$$t = \begin{cases} \frac{t_2 - t_1}{s_2 - s_1} [s - s_1] + t_1 & s_1 < s \leq s_2 \\ s & \text{其他} \end{cases} \tag{7}$$

式中: s 为原始图像的灰度值; s_1 为原始图像的低端灰度值; s_2 为原始图像的高端灰度值; t 为增强图像的灰度值; t_1 为增强图像的低端灰度值; t_2 为增强图像的高端灰度值。

这样就可将需要的图像细节灰度级拉伸,将不需要的图像细节灰度级压缩。图 2 所示为对实际拍摄得到的桥梁裂纹图像进行图像增强处理后的效果对比。由图 2(b) 可以看出,裂纹信息得到了明显的增强。

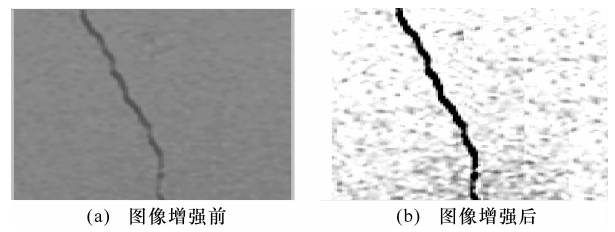


图 2 图像增强前后裂纹图像的对比

1.2.4 连通区域检测

在图像中裂纹表现为一连通区域,要确定单个裂纹的长度和宽度,首先需要对目标进行连通区域检测。本文提出了一种基于递归技术的裂纹连通区域检测方法。

设 $A(x,y)$ 为裂纹中某点,递归算法如下:① 对 $A(x,y)$ 像素点赋予一个标记 Flag;② 按从左到右、从上到下以光栅的方式从图像 $A(x,y)$ 开始扫描,直到发现一个没有标记 Flag 的像素点;③ 按图 3 的编号次序对此 A 像素(阴影)点周围的 8 个邻点进行扫描,逐个比较临点 $A(x+m,y+n)$ 与 A 的灰度值差 $\Delta = |A(x+m,y+n) - A(x,y)|$,当 Δ 小于某设定值 T 时,将 $A(x+m,y+n)$ 标记为 Flag;然后,再按上述次序扫描 8 个邻点中标记为 Flag 的 8 个邻

点,如遇到没有标记的像素,递推一层,直到没有标记的 Flag 像素点被耗尽,最终得到标记为 Flag 的像素集就构成了裂纹区域^[8-9]。

	1	2	3	
	8	$A(x,y)$	4	
	7	6	5	

图 3 连通区域检测

1.3 裂纹几何信息获取

经图像处理得到裂纹二值图像后,再通过连通域检测获得(或提取出)裂纹区域,然后,最为关键的步骤就是裂纹长度和宽度的获取。

1.3.1 裂纹宽度的获取

在确定的裂纹的切线方向上作法线,此法线与裂纹必有 2 交点 $M(x_1,y_1)$ 、 $N(x_2,y_2)$,则此两点的距离为

$$D(M,N) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{8}$$

此外 $D(M,N)$ 即为裂纹宽度。

1.3.2 裂纹长度的获取

裂纹的长度信息则通过选取裂纹的起始点及终点坐标来确定,具体计算公式与宽度计算相同,只是参与长度计算的像素点起始坐标不同。

2 实例研究

作为验证实例,下页图 4(a)为西安市南三环高速路某高架桥含裂纹下腹板图像,拍摄距离 22 m,相机为尼康 D300;图 4(b)为采用图像增强技术(滤波)获得的裂纹图像;图 4(c)为采用 Canny 边缘检测原理,通过自编程序识别出的裂纹边界的二值分割图像;图 4(d)为 0.24 mm 裂纹处的局部放大二值图像。表 1 为针对图 4(d)裂纹,通过式(8),结合图像的其他信息,计算得到的裂纹物理尺寸识别结果与显微镜实测结果对比。验证试验表明,采用合理的图像识别技术,可以对工程实际复杂背景下的微小缺陷进行有效识别。

表 1 裂纹识别宽度与实测结果对比

识别尺寸/mm	实际尺寸/mm	误差/%
0.245	0.24	2.0

3 结 语

(1)通过数字图像处理技术的研究,自主开发了针对桥梁微小裂纹的图像识别软件;经测试表明,在

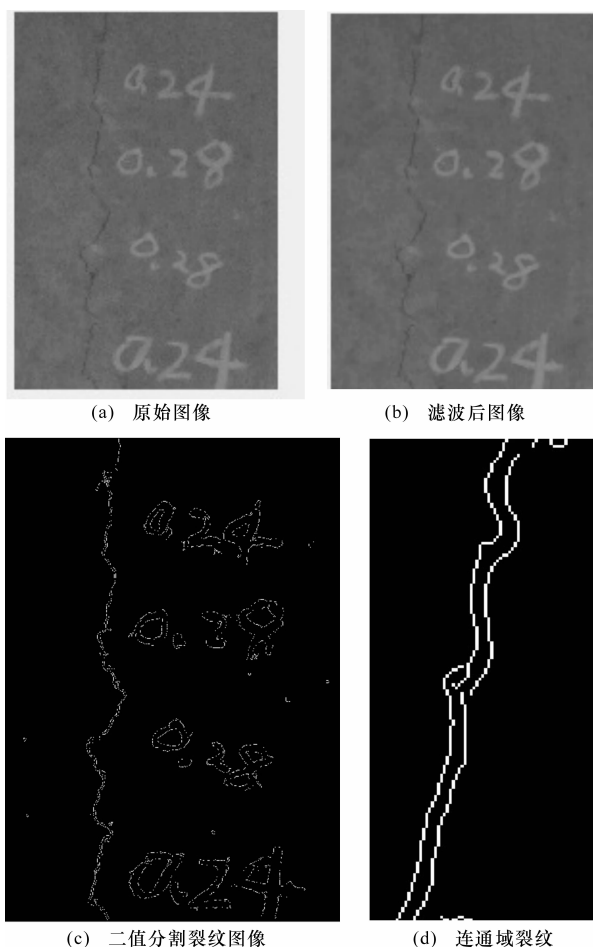


图4 桥梁裂纹图像

室外条件下,可以有效地识别出裂纹的长度和宽度,具有一定的工程实用价值。

(2)在对裂纹图像进行二值化和增强处理的同时,忽略了图像中的另一些细节,其中就包括一些微型裂纹;验证试验表明,长度小于 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 的裂纹将被视为噪声而去除,因此该检测方法不宜用于微型裂纹的检测;同时,相机的像素、拍摄距离的精确测定、人工对裂纹长度和宽度法线方向的选择都会对识别精度有一定的影响,需要在后续工作中进一步研究。

(3)使用数字图像处理技术进行桥梁裂纹检测,将有助于提高桥梁在线检测的速度,降低检测的成本,对促进桥梁检测技术的发展具有重要意义。

参考文献:

References:

[1] 王伟,何小元,肖建强.基于裂缝测试仪的图像测量技术[J].光学与光电技术,2008,6(5):45-48.

WANG Wei, HE Xiao-yuan, XIAO Jian-qiang. Measurement research of image based on crack test instrument[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2008, 6(5):45-48.

[2] 路玲,陈国明,戴扬.水下结构物裂缝特征定量分析与测量[J].计算机测量与控制,2004,12(1):10-12.

LU Ling, CHEN Guo-ming, DAI Yang. Quantification analysis and measurement of crack feature of underwater structure[J]. Computer Measurement & Control, 2004, 12(1):10-12.

[3] 陈维田,朱巍,王芳.桥梁差动裂缝的分析与预防[J].筑路机械与施工机械化,2011,28(7):80-82.

CHEN Wei-tian, ZHU Wei, WANG Fang. Analysis and prevention of bridge differential crack[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(7):80-82.

[4] 陈圣林,吴志华,马生健.基于数字图像处理的桉树叶面积分析[J].桉树科技,2006,23(1):6-10.

CHEN Sheng-lin, WU Zhi-hua, MA Sheng-jian. Measuring methods of eucalypt leaf area with digital image processing technology[J]. Eucalypt Science & Technology, 2006, 23(1):6-10.

[5] 负今天,高殿斌.基于数字图像处理技术的大型轴类工件平行度测量方法[J].中国机械工程,2007,18(7):757-760.

YUN Jin-tian, GAO Dian-bin. Study on the method of measuring parallelism for large-scale shafts based on digital image processing[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(7):757-760.

[6] 赵永红,梁海华,马生健.用数字图像相关技术进行岩石损伤的变形分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(1):73-76.

ZHAO Yong-hong, LIANG Hai-hua, MA Sheng-jian. Deformation measurement of rock damage by digital image correlation method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(1):73-76.

[7] 伯绍波,闫茂德,孙国军,等.沥青路面裂缝检测图像处理算法研究[J].微计算机信息,2007,23(4):280-282.

BO Shao-bo, YAN Mao-de, SUN Guo-jun, et al. Research on crack detection image processing algorithm for asphalt pavement surface[J]. Control & Automation, 2007, 23(4):280-282.

[8] 陈超. Matlab 应用实例精讲:图像处理与 GUI 篇[M].北京:电子工业出版社,2011.

[9] 章毓晋.图像处理和分析基础[M].北京:高等教育出版社,2002.