

墙体浅层裂缝检测的数字化图像处理方法

傅 军^{1,2}, 金伟良¹, 康 锋², 陈云华²

(1. 浙江大学 结构工程研究所, 杭州 310058; 2. 浙江理工大学, 杭州 310018)

摘 要: 数字图像处理技术应用于墙体浅层裂缝测量可获取数字化的裂缝信息, 具有操作灵活、测量精度高等优点, 可以克服传统墙体裂缝宽度测量技术的费时费力、精度不高等不足, 具有广泛的应用前景。该文提出了一种新的基于神经网络进行图像分割的方法, 对墙体裂缝图像进行提取, 一定程度上克服了传统分割方法对背景图像的依赖性, 减少了伪点和伪区域, 降低了采用形态学算法带来的不准确性, 提高了测量准确性; 同时介绍了对墙体裂缝图像进行数字化处理的具体方法和流程。结合工程实例进行实验, 结果表明该技术测量精确, 操作方便, 具有明显的工程意义和一定的实用价值。

关键词: 图像处理; 神经网络; 图像分割; 裂缝; 宽度测量

中图分类号: TU602 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2009)06-0137-05

Detection of Shallow Cracks in the Wall with Digital Image Processing

FU Jun^{1,2}, JIN Wei-liang², KANG Feng², CHEN Yun-hua¹

(1. Structural Engineering Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310058, P. R. China; 2. Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou 310018, P. R. China)

Abstract: A new method of image segmentation based on neural network was proposed to extract the cracks image, with which it could overcome, in some extent, the dependence of the background image and reduce the pseudo-points and pseudo-regions. The measurement accuracy can be improved compared with that from morphological algorithm. Furthermore, the specific methods and processes to measure the walls crack with image digital processing were presented. And with the case study, it was found that this method can measure the cracks accurately with convenient operation.

Key words: Image processing; Neural network; Image segmentation; cracks; Width measurement

新型墙体材料应用带来了框架填充墙裂缝问题^[1], 一定宽度的裂缝影响到建筑物的安全和使用, 如引起渗漏, 保温性能失效等, 因此这方面的研究在工程中非常重要。

传统的裂缝宽度测定方法是采用照相机拍摄墙体的开裂情况, 然后用坐标纸定出点位, 裂缝的宽度采用读数显微镜读取, 最终手工或计算机绘图描述。上述方法虽然简单, 但存在一些问题, 主要表现在: 1) 人工操作多, 费时费力, 效率低和误差大, 测量记

录还需要大量样本的统计、分类, 个人的主观程度高、多次读数的一致性差; 2) 有些裂缝肉眼很难判别, 读数显微镜的结果尚不能很好的反映全局裂缝的宽度、长度、面积等信息; 3) 没有数字化的裂缝处理信息以便进行量化, 当样本多时, 比如说要进行整个建筑物多个部位的观测记录并做统计分析时, 很难实现; 4) 在复杂环境下(如高层某处), 不能搭设平台, 不能上墙观测, 应该采用非接触的方式。

数字图像分析技术在土木工程领域中有了较广

收稿日期: 2009-06-12

基金项目: 国家科技支撑计划子课题(2006BAJ03A04-03); 浙江省教育厅项目(20070383)

作者简介: 傅军(1970-), 男, 副教授, 博士生, 主要从事砌体结构及工程设计研究, (E-mail) fujunfujun@163.com。

金伟良(联系人), 男, 教授, 博士生导师, (E-mail) jinwl@zju.edu.cn。

泛的应用。文献^[2-6]等介绍了采用数字图像技术对混凝土裂缝、公路路面裂缝、桥梁裂缝检测等的应用。目前采用数字图像分析技术对墙体裂缝宽度检测的研究较少。该文提出了一种基于神经网络进行图像分割的新方法,对墙体的表层裂缝图像进行数字化处理,提取裂缝宽度等信息,并对测量结果进行了评价。

1 墙体裂缝检测流程

工程裂缝宽度分布范围较广,从 0.01~15 mm 不等,但一般占拍摄图像的宽度不多、裂缝周边的噪声点不多、裂缝处亮度与背景有明显的区别、背景区域的灰度值差别较小等,适合图像技术进行处理。利用数字图像技术对墙体表层裂缝进行数字化图像处理的过程如图 1 所示。

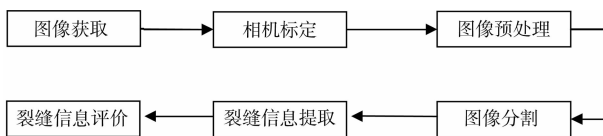


图 1 检测流程图

图像获取一般采用高分辨率数码相机拍取试样上含裂缝区域的照片。由于在图像拍摄时裂缝信息或被放大或被缩小,为获取真实的裂缝信息,必须进行相机标定,在试样上预先设定一个参照长度,以作为图像处理和析时的基准。图像拍摄前,须预设数码相机的分辨率,清洁试样的表面,并在试样上标注裂缝序号和一条参照线。由于很多情形下,裂缝特征不够凸现或对比度不高,因而须对数码相机拍摄的 RGB 图像进行预处理,以增强裂缝图像信息。图像分割主要根据裂缝图像的特征,对其边界或区域进行分割,提取所关心的目标,其他的作为背景,因此分割图像往往用二值化图像表示。由于图像各区域特征的差异,很难用同一种图像分割算法对其进行分割处理,目前使用最多的是阈值化分割算法。裂缝信息提取主要是采用合理的算法量化分割图像中可用于表征裂缝信息的指标,比如长度、面积、宽度、方向度、分数维、曲折度等。最后根据工程技术准则对裂缝信息进行评价,以采取相应的措施。

2 基于神经网络的图像分割和信息提取

图像分割(Image Segmentation)在整个图像分析和处理时非常重要也通常是最困难的步骤,分割的结果往往决定了最后的分析结果^[7-8]。传统分割算法一般采用阈值法,然而采用这种方法对背景图像有很强的依赖性,如果背景图像中存在亮度值与目标接近的像素点,特别是在目标图像的边界区域,那么分割往往就会失败。采用阈值法进行图像分

割,分割图像中往往包含很多伪点或伪区域,这对后续处理带来很多困难,孤立点或小区域一般可采用形态学的方法进行消除,但是在消除的过程中,也给边界带来了模糊,使得最后的测量结果不准确。

采用多层前馈神经网络对裂缝图像进行分割。像素点的色彩和位置信息作为样本特征进行网络训练,网络训练采用 Levenberg-Marquardt (LM) 训练算法。网络的输出结果可用二维函数 Z 表示^[9]:

$$Z = f(X) = \begin{cases} 1 & X \in A \\ (-1, 1) & X \in D \\ -1 & X \in B \end{cases} \quad (1)$$

式中矢量 X 表示样本点的 n 个特征, A 表示裂缝区域, B 表示背景区域, D 表示 A 与 B 之间的过渡区域。显然, $Z \in [-1, 1]$ 且连续,因此可以通过选择合适的阈值得到分割结果。

2.1 网络结构

多层前馈神经网络的结构形式如图 2 所示。网络含有 1 个输入层、2 个隐层和 1 个输出层。输入层有 5 个节点,用来输入图像的样本像素点的特征,输出层只有 1 个节点,其输出用 Z_i 表示。学习样本的形式如式(2)所示:

$$C = \{[X_i, z_i], i = 1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

分割结果可分为两类, C_a 表示裂缝样本集合, C_b 表示背景样本集合,分别用(3)、(4)表示。

$$C_a = \{[X_{a,i}, 1], i = 1, 2, \dots, N_a\} \quad (3)$$

$$C_b = \{[X_{b,i}, -1], i = 1, 2, \dots, N_b\} \quad (4)$$

其中 N_a 、 N_b 分别表示 C_a 类、 C_b 类样本数。

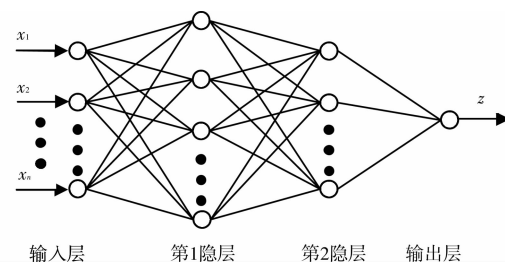


图 2 用于分割的神经网络结构

2.2 特征选择

人类的眼睛可以识别数千种颜色,然而对于灰度图像只能识别数十种。与灰度图像相比,彩色图像能表达的更详细的目标和背景信息,因此在图像分析和模式识别中,色彩信息是一种非常重要的特征^[7,10]。由于在不同的环境中墙体颜色变化很大,特别是多年服役的建筑外墙颜色较深,与外墙裂缝颜色相似,在灰度图像中,外墙和其裂缝的亮度值非常接近,因此利用传统图像分割方法很难准确提取裂缝区域。

RGB 色彩模型是一种线性模型, R 、 G 、 B 这 3 种

颜色分量是高度相关的,即只要亮度改变,3个分量都会相应改变,而且,由于RGB是一种很不均匀的颜色空间,所以两种颜色之间的知觉差异(色差)不能表示为该颜色空间中两点间的距离。因此这种颜色模型不适于进行模式识别。在HSV色彩模型中,色调(hue, H)表示颜色,与饱和度(saturation, S),表示颜色的纯度,亮度(intensity, V)。HSV模型具有表的人类视觉感知色彩的能力,非常适用于彩色图像的模式识别^[8]。

边缘信息对于图像分割非常重要,往往包含着分割信息。因此在该文中采用像素点的H、S、V分量与坐标作为样本特征,选择合适的样本点组成 C_a 、 C_b 训练样本集。

$$C_a = \left\{ \left[\begin{array}{c} x_{H,i} \\ x_{S,i} \\ x_{V,i} \\ x_{1,i} \\ x_{2,i} \end{array} \right], 1, i = 1, 2, \dots, N_a \right\} \quad (5)$$

$$C_b = \left\{ \left[\begin{array}{c} x_{H,i} \\ x_{S,i} \\ x_{V,i} \\ x_{1,i} \\ x_{2,i} \end{array} \right], -1, i = 1, 2, \dots, N_b \right\} \quad (6)$$

其中, $x_{H,i}$ 、 $x_{S,i}$ 、 $x_{V,i}$ 分别表示所选样本点的H、S、V分量, $x_{1,i}$ 、 $x_{2,i}$ 是样本像素点的坐标。

2.3 基于神经网络的分割

由于5个特征变量的值域不在同一范围,为提高神经网络的健壮性,特征变量需进行预处理,使得它们在同一范围内。

$$x' = \left(2 * \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} - 1 \right) \cdot \alpha \quad (7)$$

其中 x' 变换后的特征值, x 是变化前的特征值, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为变量 x 的最大和最小值, α 是一个 $[0,1]$ 之间的实数,表示变量 x' 在输入变量中的权值。

网络的传递函数为sigmoid函数,可用式(8)表示。

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (8)$$

式(8)的值域为 $[-1,1]$ 。训练算法采用LM算法,目标函数采用均方误差(mean squared error, MSE)。LM认为是Gauss-Newton法和gradient descent法之间的一个过渡算法,通常可以认为是最快的BP算法^[11-13]。

训练完成后,将整幅图像的像素点都输入神经网络,可以得到一个 $[-1,1]$ 之间的二维连续矩阵Z,通过选择合适的阈值,可以得到分割后的二值图像。

2.4 裂缝信息提取

经过分割处理后得到二值化图像,可以根据一

定的算法进行提取裂缝的平均宽度、平均长度、面积、最大及最小裂缝宽度等一系列信息。

设裂缝左边界点的坐标为 (x_l, y_l) ,右边界点的坐标为 (x_r, y_r) ,则根据平面上两点间距离公式 $d = ((x_l - x_r)^2 + (y_l - y_r)^2)^{1/2}$,单位是像素,再与标定系数相乘便是要求的裂缝宽度。

把得到的裂缝细化后,再进行像素计算所得的结果乘以标定系数可得到长度 L ;设一个像素点的面积 s ,测出整张图片裂缝所占有的像素点数 n ,则最后的面积 $S = s \times n$;而平均宽度 $D = S/L$ 。

3 裂缝信息评价

通常工程应用上需要对裂缝宽度作出合适的评价,进而采取相应的对策。其中最主要的是裂缝形式与最大裂缝宽度。目前中国仅对房屋鉴定和加固有相应的标准,而一般填充墙体使用性质上的裂缝宽度评价标准并没有明确给出。

对于非结构性构件,一般从耐久性、防水性、美观性等多个角度来综合判断裂缝是否需要修补。参照混凝土构件的规定:中国耐久性指标规定的裂缝宽度一般为0.2 mm;防水性方面,根据孔隙漏水量的公式,裂缝漏水量与裂缝宽度成正比,神山幸弘等试验表明^[14],当未经抹面处理的墙体处于饱和含水状态时,在无风和微风时产生漏水的最小裂缝宽度是0.06~0.08 mm;美观性方面,D. Haldane^[12]的心理试验表明,如果裂缝宽度大于0.25 mm建筑师就难以接受。

砌体结构的最大裂缝宽度限值按混凝土的标准的话,可能过于严格,美国砌体规范按照不漏水或者水平灰缝钢筋不屈服为基准,推算出考虑抹面防水的砌体允许裂缝宽度约为0.5 mm^[15]。

具体实践时应根据建筑物的功能、重要性、用户要求等综合判断。

4 实验和分析

实验对象为某校区框架结构教学楼,采用粘土多孔砖作填充墙,墙面采用普通抹灰。投入使用若干年后,在墙体表面的不同部位出现了裂缝。部分裂缝在墙体中部,部分在角部、门窗洞口和电器开关等处,均为非贯通性的。

实验过程中,现场拍摄采用的相机为SONY DSC-15,510万像素,对墙体进行垂直拍摄,拍摄距离分别是1000 mm和500 mm,拍摄时间是晴朗的白天,光线充足。为了进行标定和对比,裂缝位置安放了裂缝宽度读数尺,同时记录了人工测量的读数并标注在图片上,部分图片见图3。

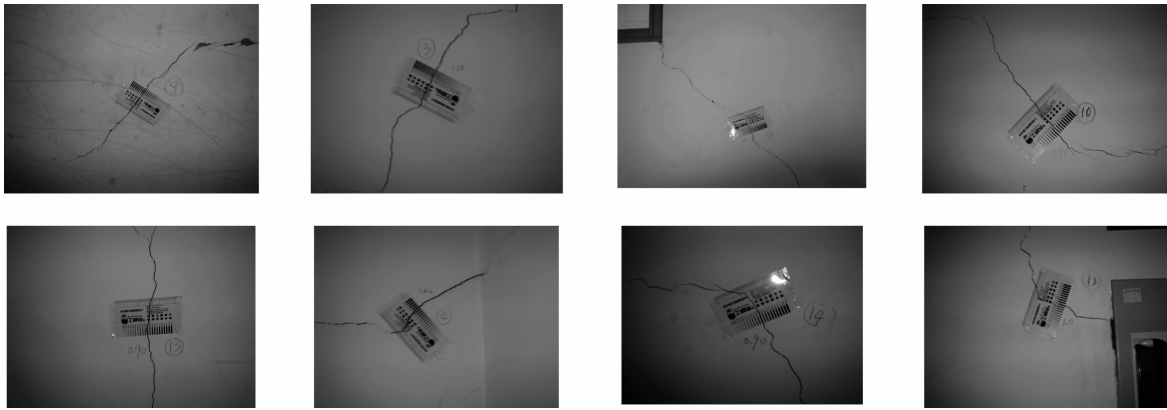


图 3 某工程墙体部位部分裂缝照片

表 1 裂缝图像数字化处理结果

裂缝 图像 序号	最大裂缝宽度 (实测)/ mm	最大裂缝宽度 (该文算法)/ mm	裂缝面积 (该文算法)/ mm ²	裂缝长度 (该文算法)/ mm
1	0.700	0.709	28.132	34.795
2	0.700	0.682	26.361	35.991
3	0.800	0.923	13.639	16.987
4	0.800	0.850	9.836	13.170
5	0.800	0.793	7.988	12.758
6	0.900	1.008	15.882	18.210
7	0.900	0.884	15.142	19.006
8	0.900	0.999	15.281	16.144
9	0.900	0.957	6.519	7.579
10	0.900	0.836	13.619	13.889
11	1.000	0.947	10.893	10.585
12	1.100	1.146	8.472	20.518
13	1.100	1.159	10.351	13.645
14	1.100	1.118	8.333	22.514
15	1.100	1.151	13.787	20.055
16	1.100	1.103	31.610	23.373
17	1.100	1.114	41.312	33.596
18	1.200	1.280	16.640	16.552
19	1.200	1.267	16.657	15.594
20	1.300	1.292	22.580	20.075
21	1.400	1.406	26.787	21.429
22	1.400	1.458	27.626	24.418
23	1.600	1.620	35.105	21.511
24	1.600	1.631	34.052	26.971

实验中,用神经网络对裂缝图像进行分割时,对于 $x_{H,i}$ 、 $x_{S,i}$ 、 $x_{V,i}$ 、 $x_{1,i}$ 、 $x_{2,i}$ 变量 α 分别为 0.2、0.3、0.8、1.0、1.0,第 1 隐层数为 45,第 2 隐层数为 25,根据不同的图像可取不同数量的训练样本,一般取 100 个样本可以得到较好的分割图像。当训练结束后将图像中所有的像素点输入神经网络,得到 1 个二维矩阵,选择合适的阈值后得到二值化分割图像。

应用上述流程对墙体裂缝情况进行了数字图像处理和分折。从表 1 结果可以看出,如果考虑到实际测量的方法有一定的误差的话(部分照片拍摄时相机发生了抖动),裂缝图像处理得到的最大宽度结果与实际比较接近。

实验表明,该教学楼浅层墙体裂缝一般出现的位置和形式属于填充墙裂缝,可能是由于温度、干缩、材料性能等原因引起。考虑到该建筑的使用功能是教学、其美观性要求一般、裂缝面积、长度也不大,因此可以分别考虑解决方案:对于外墙裂缝应及时修补、对于内墙 ≥ 0.5 mm 的裂缝需要采取抹面覆盖措施。

实验中发现,样本的选择对裂缝图像分割结果非常重要。裂缝区域边缘的样本包含更多有关分割的信息,但只选择靠近边缘的样本将增加神经网络训练的时间,而且分割结果不够精确。由于背景图像中可能存在某些像素点的颜色特征与裂缝区域的颜色特征相似,在这种情况下,神经网络的训练时间将大大增加,而且难以收敛。因此,应在背景区域中选择一些与裂缝区域颜色特征相近的像素点作为样本特征,将提高神经网络的泛化性,以提高分割准确性。此外,对于形状复杂的裂缝图像,应增加训练样本点,特别是选择不规则边界上的像素点。

5 结 论

该文介绍了对墙体浅层裂缝图像进行数字化检

测的方法和流程,并提出了一种利用神经网络对图像进行分割的新方法,一定程度上克服了传统分割方法对背景依赖性大、分割不准确的缺点;同时归纳总结了墙体不同裂缝宽度的功能评价;根据算法设计的软件结合实际工程进行了实验。结果表明,该方法可以较准确的对墙体浅层裂缝进行测量,得到了裂缝的有关统计信息,并保留了裂缝的原始图像信息,有利于数据的保存、分析及后续处理。

参考文献:

- [1] 于飞, 赵国兴, 郑国泰, 等. 框架填充墙裂缝调查与成因分析[J]. 新型建筑材料, 2006(1): 8-9.
- [2] AMMOUCHE A, RISS J, BREYSSE D, et al. Image analysis for the automated study of microcracks in concrete[J]. Cement and Concrete Composites, 2001, 23: 267-278.
- [3] 查旭东, 王文强. 基于图像处理技术的连续配筋混凝土路面裂缝宽度检测方法[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2007, 4(1): 13-17.
- [4] 王静, 李鸿琦, 等. 数字图像相关方法在桥梁裂缝变形监测中的应用[J]. 力学季刊, 2003, 24(4): 512-516.
- [5] 耿飞, 解建光, 等. 图像分析技术对混凝土裂缝的定量评价[J]. 混凝土, 2005, 187(5): 79-87.
- [6] 王雷, 黄战华, 蔡怀宇, 等. 工程结构构件裂缝图像的处理与宽度测量[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(8): 992-1003.
- [7] DESHMUKH S, SHINDE N. An adaptive color image segmentation [J]. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, 2005, 5: 12-23.
- [8] CHENG H, JIANG X, SUN Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12): 2259-2281.
- [9] WANG Y, WANG Y, LIU F, et al. The segmentation of optic cup in eye funds image based on neural network [J]. Journal of Basic Science And Engineering, Chinese, 1998, 6: 314-318.
- [10] CELIK T, DEMIREL H. Fire detection in video sequences using a generic color model[J]. Fire Safety Journal, 2009, 44: 147-158.
- [11] KERMANI B, SCHIFFMAN S, NAGLE H. Performance of the Levenberg-Marquardt neural network training method in electronic nose applications [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 110: 13-22.
- [12] NOR A, SUBHI M, KAMAL Z, et al. Suitable features selection for the HMLP and MLP networks to identify the shape of aggregate[J]. Construction and Building Materials. 2008, 22(3): 402-410.
- [13] Bishop C M. Neural networks for pattern recognition [M]. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [14] 日本混凝土工程协会. 混凝土裂缝调查及修补规程 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [15] 梁建国, 方亮, 等. 美国砌体结构房屋墙体裂缝的控制 [J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2007 (6): 2-6.

(编辑 胡 玲)

(上接第 127 页)

- [10] WANG S L, TZOU Y M, LU Y H, et al. Removal of 3-chlorophenol from water using rice-straw-based carbon[J]. J. Hazard. Mater., 2007, 147(1/2): 313-318.
- [11] RADHIKI M, PALANIVELU K. Adsorptive removal of chlorophenols from aqueous solution by low cost adsorbent-Kinetics and isotherm analysis [J]. J. Hazard. Mater., 2006, 138(1): 116-124.
- [12] 马晓雁. 土臭素和二甲基异冰片的控制技术及其机理研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007: 100-110.
- [13] HAMEED B H. Equilibrium and kinetics studies of 2, 4, 6-trichlorophenol adsorption onto activated clay[J]. Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects, 2007, 307(1/2/3): 45-52.
- [14] AMEED B H, TAN I A W, AHMAD A L. Adsorption isotherm, kinetic modeling and mechanism of 2, 4, 6-trichlorophenol on coconut husk-based activated carbon [J]. J. Chem. Eng., 2008, 144(2): 235-244.
- [15] WIGHTMAN P, FEIN J B. Experimental study of 2, 4, 6-trichlorophenol and pentachlorophenol solubilities in aqueous solutions: derivation of a speciation-based chlorophenol solubility model [J]. App. Geochem. 1999, 14(3): 319-331.
- [16] LANGERGREN S, SVENSKA B K. Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe [J]. Veternskapskad Handlingar, 1989, 24(4): 1-39.
- [17] HO Y S, MCKAY G. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solutions by sphagnum moss peat [J]. Can. J. Chem. Eng., 1998, 76(1): 822-826.
- [18] HO Y S, Ng J C, MCKAY G. Kinetics of pollutants sorption by biosorbents: review [J]. Separation Purif Method, 2000, 29(2): 189-232.

(编辑 胡英奎)