

一种基于改进渗流模型的混凝土表面裂缝快速检测算法

瞿中^{1,2} 郭阳¹ 鞠芳蓉³

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院 重庆 400065)¹

(重庆市软件质量保证与测评工程技术研究中心 重庆 400065)²

(重庆邮电大学软件工程学院 重庆 400065)³

摘要 由于混凝土表面不平整、光照不均、裂缝背景较为复杂等因素的干扰,传统的基于图像处理的裂缝检测方法对裂缝检测的效果不佳,尤其是不清晰和比较细小的裂缝。基于渗流模型的裂缝检测方法充分考虑了裂缝亮度低、形状较为细长的特点,对裂缝的检测效果很好,尤其是图像中的细小裂缝,但是该方法需要大量的处理时间。为了解决上述问题,提出了一种加速渗流处理的算法,该算法通过暗点预提取来减少渗流时需要处理的像素点个数,以此来减少渗流处理时间。实验结果表明,所提算法能明显加快渗流处理的速度,并且精确率基本保持不变。

关键词 图像处理,裂缝检测,重叠分块,渗流模型,预提取,去噪

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.01.055

Algorithm of Accelerated Cracks Detection Based on Improved Percolation Model in Concrete Surface Image

QU Zhong^{1,2} GUO yang¹ JU Fang-rong³

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)¹

(Chongqing Engineering Research Center of Software Quality Assurance, Testing and Assessment, Chongqing 400065, China)²

(School of Software Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)³

Abstract Due to concrete surface roughness, uneven illumination, shadows, complex background and other disruptive factors, the traditional concrete crack detection method based on image processing cannot accurately detect concrete cracks, especially unclear cracks and some tiny cracks. Crack detection method based on percolation model which fully considered the low brightness and slenderness features of cracks can accurately detect unclear and tiny cracks. But this method is time-consuming. In order to solve these problems, an improved algorithm of image crack inspection based on percolation model was proposed in the article, which can reduce processing time through reducing the number of percolated pixels. Experimental results show that the proposed algorithm in this article can significantly accelerate crack detection and maintain a high detection precision.

Keywords Image process, Crack detection, Overlapped block, Percolation model, Pre-extraction, De-noise

地震、冰冻、盐侵蚀、雨水等都可能导致混凝土表面损坏。裂缝是混凝土表面的早期病害之一,裂缝的产生会严重影响混凝土的结构强度,因此对混凝土结构进行裂缝检测是十分必要的。传统的混凝土表面裂缝检测是通过拍照和人工测量等方式进行,这些方式的检测结果受人为影响较大,需要专业人员进行操作以保证检测的准确性;另一方面,人工检测需要耗费大量的人力和物力,不利于批量检测。为了克服人工检测的缺陷,学者们基于数字图像处理的裂缝检测算法。

Tara C. Hutchinson 等^[1]运用小波变换和 Canny 滤波器,通过选择合适的阈值将像素点划分为裂缝或者背景。之后 F. Roli 提出了一种基于方向特征的裂缝检测算法^[2-4],但由于局部窗口大小固定,该方法不能适应不同种类的裂缝。Fujita 等提出了运用相减法和海森矩阵这两种预处理算法来对 Roli 的方法进行预处理^[5-7],该算法能较为完整地检测图像中的裂缝,但对于较为细小的裂缝不能很好地检测。

T. Yamaguchi 等^[8,9]提出了基于渗流模型的裂缝检测算法,其检测效果良好,但是由于生长区域固定,无法适应不同种类的裂缝^[10]。之后,该作者又将固定窗口改为可变窗口,但是该算法需要大量计算,算法效率不高^[11]。在此基础上,此作者又提出了停止和跳跃条件来提高算法效率,但是所需的处理时间仍然较长^[12]。

瞿中等提出了改进算法^[13],通过在部分条件下根据一次渗流的结果来确定多个点是否为裂缝像素点来提高渗流速度,同时通过使用基于渗流模型的去噪方法,可以将裂缝中的团状噪声消除,从而提高检测精确率。但是该算法仍然没有解决渗流处理耗时间长的的问题。

本文提出了一种渗流处理前的预处理算法,通过在渗流处理之前预先将可能为裂缝的像素点提取出来并在渗流处理过程中只处理这些像素点,提高了渗流算法的效率。

到稿日期:2015-12-16 返修日期:2016-04-20 本文受重庆市科委基础科学与前沿技术研究重点项目(cstc2015jcyjB0269),重庆市科委基础科学与前沿技术研究(cstc2014jcyjA1347),重庆市高校优秀成果转化资助项目(KJZH14219)资助。

瞿中(1972-),男,博士,教授,CCF会员,主要研究方向为数字图像处理、物联网技术等,E-mail:quzhong@cqupt.edu.cn;郭阳(1989-),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理;鞠芳蓉(1993-),女,硕士生,主要研究方向为数字图像处理。

1 渗流模型

渗流模型是基于流体渗流自然现象的一种物理模型。这个模型在流行病的传播、果园火灾、铁磁性和无线网络等方面有很广泛的应用。

在渗流模型中,将每一个像素点分别对应一个局部窗口并对其运用区域生长算法进行生长,同时根据生长的结果来确定这个像素点是否为裂缝像素点,并在此基础上使用改进算法^[13]对渗流处理的结果进行去噪。

2 加速算法

传统的渗流算法需要对图像中的每一个像素点进行一次渗流处理,因此需要耗费大量的时间,而实际上每幅图像中的裂缝并不多,对每个像素点进行渗流处理会浪费大量的时间。因此本文提出了一种裂缝的预提取算法,即在渗流处理之前将基本不可能为裂缝的像素点去除掉,只对剩下的像素点进行渗流处理,从而提高渗流处理的速度。

从裂缝图像中可以发现,裂缝的灰度值较低,与周围的像素点有明显的区别,因此可以将图像中像素点灰度值较高的像素去除掉,并将剩下的像素点标记为暗点,在渗流处理时只处理标记为暗点的像素点,从而提高渗流处理的速度。

由于裂缝图像存在光照不均等问题,简单地去除图像中亮度较高的像素点不能达到理想的效果,因此本文提出了一种窗口重叠的思想来去除高亮度的像素点,保留可能为裂缝的像素点。

窗口重叠的思想是将图像划分为若干个小的网格,并且每个网格之间存在重叠。设定 C 表示窗口重叠的次数,当 $C=1$ 时,表示没有重叠部分;当 $C=2$ 时,表示在水平方向和垂直方向每一个窗口与前一个窗口或上一个窗口重叠二分之一,因此每个像素点将会同时包含在 4 个窗口中,如图 1 所示。在图像的边界部分,也按照同样的方法进行重叠并去除超出图像边界的部分来保证每个像素点包含的次数相同。

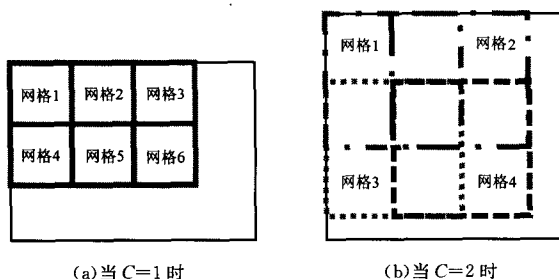
(a) 当 $C=1$ 时(b) 当 $C=2$ 时

图 1 将图像划分为带重叠区域的窗口

在研究中发现,存在裂缝的窗口对比度相对较高,而不存在裂缝的窗口对比度较低。但分析实验结果后发现,直接计算每个窗口对比度并根据对比度将窗口分类的效果不理想,原因是有些窗口中虽然不包含裂缝,但是存在一些较亮的亮块,或者其背景中存在暗色斑点,这些都会对计算对比度造成影响,导致在有些不包括裂缝的区域的对比度也很高,同时只存在细小裂缝的窗口的对比度较低。

因此本文提出一种新的计算像素点权值的方法:在计算窗口内像素点灰度的最值和均值时,不是计算所有像素点的最值和均值,而是将像素点灰度值较大的像素点排除之后再

进行计算。最大值 L_{Max} 为去掉高亮像素点之后剩余像素点灰度的最大值,均值 L_{Avg} 为剩余像素点灰度的均值,最小值 L_{Min} 为剩余像素灰度值排序中前 0.3% 像素点灰度的平均值。通过实验发现, $L_{Avg} - L_{Min}$ 对图像中包含的少量暗点较为敏感,因此本文根据 $L_{Avg} - L_{Min}$ 的取值范围来大致判断该窗口是否包含裂缝,一般来说 $L_{Avg} - L_{Min}$ 的值越大,存在裂缝的可能性也越大,此时就选取较多的点,而 $L_{Avg} - L_{Min}$ 值较小时,选取较少的点或者不选择任何点。本文算法的思想如下:

1) 如果 $L_{Avg} - L_{Min}$ 取值很小(小于 T_1),说明该窗口基本不可能包含裂缝,此时将所有像素点权值设为负值,这样可以最大限度减小误检;如果取值介于 T_1 与 T_2 之间,也认为该窗口不包含裂缝,将所有像素点权值设为 0。

2) 如果取值介于 T_2 与 T_3 之间,则认为该窗口包含裂缝但数量不多,此时减小暗点的提取比例。

3) 如果取值大于 T_3 ,则认为窗口中包含大量裂缝,提取比例不变。

4) 最后根据暗点提取比例选取窗口中灰度值升序排序靠前的像素点,且排位越靠前权值越大(其中 T_1, T_2, T_3 均为经验值,分别为: $T_1=8, T_2=10, T_3=20$)。

在对每个窗口分别计算权值之后,统计每个像素点的权值之和,并排除权值较小的像素点。在确定最后的像素点时,根据之前设置的提取比例进行提取,之后将得到的像素点运用渗流算法进行裂缝的提取。

改进的暗点提取算法的步骤如下:

1) 定义一个矩阵 $Mat(i, j)$ ($i \in [0, height-1], j \in [0, width-1]$), 其中 $height$ 为图像的高度, $width$ 为图像的宽度,并将矩阵初始化为 0。

2) 将图像划分为包含重叠区域的窗口,窗口大小为 $L \times L$,重叠次数为 $C \times C$,本文选取的阈值为 $L=150, C=3$ 。

3) 选择一个未处理的窗口,并按照亮度值升序进行排序。

4) 计算最大值 L_{Max} 、均值 L_{Avg} 和最小值 L_{Min} 。

5) 若 $L_{Avg} - L_{Min} < T_1$,将窗口中的所有像素点的权值设置为 -0.5 并跳至步骤 3); 若 $T_1 \leq L_{Avg} - L_{Min} < T_2$,将窗口中的所有像素点的权值设置为 0 并跳至步骤 3)。

6) 若 $T_2 \leq L_{Avg} - L_{Min} < T_3$,计算窗口内暗点提取比例 $P_2 = 0.5 + (L_{Avg} - L_{Min} - T_2) / T_3$; 若 $T_3 \leq L_{Avg} - L_{Min}$,设置窗口内暗点提取比例 $P_2 = 1$ 。

7) 选择窗口中灰度值排序靠前的像素点,并记作 D_N , D_N 的数量为 $Num \times P_1 \times P_2$,其中 Num 是窗口中包含像素点的个数, P_1 是提取暗点的阈值, $P_1 \in [0, 1]$ 。

8) 对每一个 D_N 设置权值 W ,权值的大小根据 D_N 在灰度值排序中所处的位置设定,其排序越靠前权值越大,权值的取值范围为 $[P_1, 1]$ 。

9) 根据式(1)更新 $Mat(i, j)$:

$$Mat(i, j) = Mat(i, j) + W \quad (1)$$

10) 如果存在未处理的窗口,跳至步骤 3)。

11) 对 $Mat(i, j)$ 中的权值 W 进行降序排序,并去掉权值小于 W_T 的像素点并记录到暗点图中,其中 W_T 为实验得出的经验值。

12) 运用基于渗流模型的去噪算法,去除暗点图中的点状噪声。

13) 对标定为暗点的像素点运用渗流算法进行裂缝检测。

14) 去除渗流结果中的团状噪声。

暗点提取原图及结果如图 2 和图 3 所示。之后对标记为暗点的像素点进行渗流处理, 算法流程图如图 4 所示。

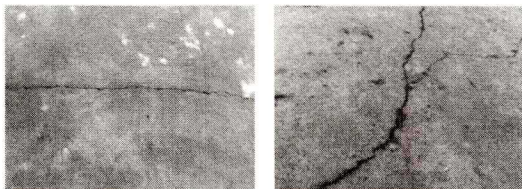


图 2 暗点提取原图

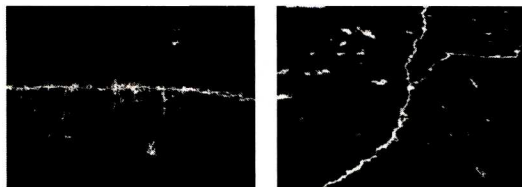


图 3 暗点提取结果图

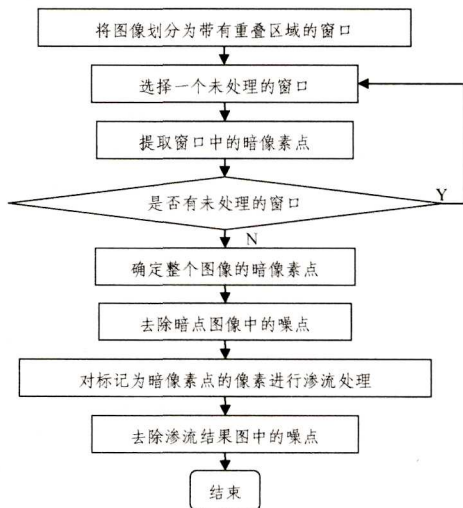


图 4 加速算法流程图

3 裂缝检测结果及分析

本文选取若干大小为 400×300 像素的裂缝图像, 这些图像涵盖了不同的形状裂缝, 包含不同类型的噪声。图 5 为选取的渗流处理实验图像, 图 6 为运用原加速算法和去噪算法的实验结果, 图 7 为本文提出的加速算法的实验结果, 图 8 为人工提取的真实裂缝。

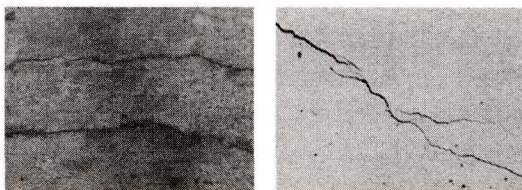


图 5 渗流处理原图

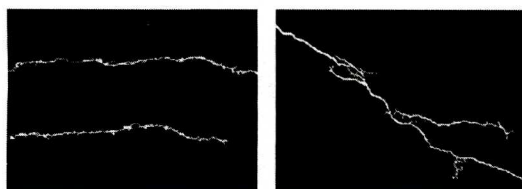


图 6 原渗流算法处理结果图

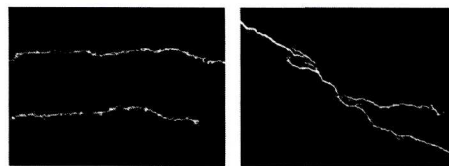


图 7 本文使用的改进渗流算法处理结果

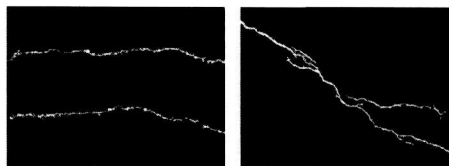


图 8 人工处理的真实裂缝

从实验结果中可以看出, 之前的渗流算法和本文提出的加速算法都能够较为完整地检测出图像中的裂缝。从图 8 暗点处理图中可以看出, 本文提出的暗点选取算法能有效地检测到图像中的暗点, 并且暗点选取结果包含了大部分的裂缝像素点, 这样就保证了后续处理的准确性。在排除了大量的背景像素点之后, 实际通过渗流处理的像素点并不多, 能够明显提高渗流算法的效率。

在定量分析时, 本文运用精确率 P 和召回率 R 对实验结果进行评估^[5,6]。

$$R = Np / Nr \tag{2}$$

$$P = Np / Nt \tag{3}$$

其中, Np 是检测结果中被正确检测并认定为裂缝的像素点个数; Nr 是人工提取的裂缝图像中裂缝像素点的数量; Nt 是检测结果认定为裂缝的像素点个数。当 R 较低时, 说明检测结果不准确, 漏检较多裂缝像素; 当 P 较低时, 说明误检裂缝像素较多。

注: 编号 1—9 的图像为从裂缝实验图像中选择不同类型的裂缝图像, 其中图 2 和图 5 中的图像分别对应序号 1, 2, 4, 6。

从图 9 和图 10 的对比结果可以看出, 与改进前的实验结果相比, 改进后的算法精确率稍有降低, 召回率降低比较明显, 但是还能保证较高的精确率和召回率。从图 8 可以看出, 虽然精确率有所降低, 但是基本上没有损失裂缝细节, 主要损失的是裂缝的宽度信息, 而裂缝的主体部分保留较为完整, 能够较为完整地检测出图像中的裂缝。

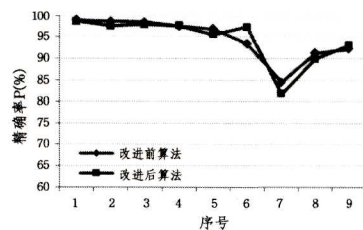


图 9 改进算法的精确率比较

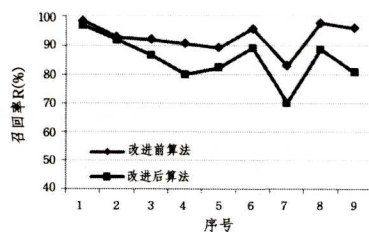


图 10 改进算法的召回率比较

- Journal, 2007, 7(5): 778-789.
- [18] YI A A, KARARA H M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in Close-Range Photogrammetry[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015, 81(2): 103-105.
- [19] TSAI R Y, LENZ R K. A new technique for fully autonomous

- and efficient 3D robotics hand-eye calibration[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1989, 5(3): 345-358.
- [20] ZHANG Zheng-you. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations[C]// Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra, Greek, 1999: 666-673.

(上接第 302 页)

从表 1 所列的实验结果看出,使用本文提出的加速算法后,平均 88.86% 的像素点不再需要渗流处理,大大减少了渗流处理次数,能明显提高渗流处理速度,在此基础上运用原渗流加速算法,最后需要渗流的像素点平均只有 4.07%,可以明显提高算法的效率。

表 1 加速效果分析

序号	原加速算法中不需要渗流的像素点		改进的加速算法中不需要渗流的像素点		渗流处理的点		总像素点
	数量	百分比	数量	百分比	数量	百分比	
1	15393	12.83	95738	79.78	8869	7.39	120000
2	13251	11.04	99153	82.63	7596	6.33	120000
3	8780	7.32	107543	89.62	3677	3.06	120000
4	10246	8.54	104937	87.45	4817	4.01	120000
5	8535	7.11	106940	89.12	4525	3.77	120000
6	3392	2.83	114290	95.24	2318	1.93	120000
7	6926	5.77	109179	90.98	3895	3.25	120000
8	4507	3.76	111249	92.71	4244	3.54	120000
9	5308	4.42	110641	92.20	4051	3.38	120000

表 2 原加速算法与改进的加速算法效率对比

序号	原算法处理时间(s)	改进算法处理时间(s)				节省的时间(s)	效率提高(%)
		暗点处理时间	去噪	渗流	总时间		
1	7.774	0.842	0.179	1.406	2.427	5.347	220.31
2	39.077	0.780	0.239	4.875	5.894	33.183	563.00
3	46.217	0.796	0.248	3.907	4.951	41.266	833.49
4	41.671	0.920	0.223	6.191	7.334	34.337	468.19
5	30.381	0.858	0.267	5.010	6.135	24.246	395.21
6	42.919	0.998	0.273	5.608	6.879	36.040	523.91
7	43.323	1.103	0.184	10.944	12.231	31.092	254.21
8	35.600	1.039	0.258	9.631	10.928	24.672	225.77
9	43.100	1.021	0.260	9.276	10.557	32.543	308.26

从表 2 所列的实验数据看出,对不同图像进行处理时,改进算法中暗点处理和去噪的处理时间相差不大,但是渗流处理的时间有很大区别。同时,改进的算法能明显提高裂缝检测的效率,即使是原渗流算法用时较少的图像,改进算法也能明显提高检测效率。

结束语 本文改进了基于渗流模型的裂缝检测算法,通过提取灰度值较低的像素并在此基础上进行渗流处理,来减少渗流处理的像素点的个数。实验结果表明,本文提出的改进算法能精确、快速地检测到图像上的裂缝,具有很强的鲁棒性。

参 考 文 献

- [1] ADU-GYAMFI Y O, OKINE N O A, Garateguy G, et al. Multi-resolution Information Mining for Pavement Crack Image Analysis[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2012, 26(6): 741-749.
- [2] HASSAN M, MAN S H, CHENG Z N, et al. Development of Energy Harvested Wireless Sensing Node for Structural Health Monitoring[C]// Mixed-Signals, Sensors and Systems Test Workshop (IMS3TW). Taipei, Taiwan, 2012.
- [3] GRUZMAN I S. Using the model of a mixture of a uniform distribution and a von Mises distribution for segmentation of anisotropic images[J]. Optoelectronics Instrumentation & Data Processing, 2014, 50(2): 118-124.
- [4] HATADA T, SAITOH F. Crack detection method for drain by using directional smoothing[J]. IEEE Transactions on Electronics Information & Systems, 2007, 127(2): 241-246.
- [5] FUJITA Y, MITANI Y, HAMAMOTO Y. A Method for Crack detection on a Concrete Structure[C]// 18th International Conference on Pattern Recognition. Hong Kong, 2006.
- [6] FUJITA Y, MITANI Y, HAMAMOTO Y. A robust method for automatically detecting cracks on noisy concrete surfaces[C]// Next-Generation Applied Intelligence. 22nd International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems IEA/AIE. Tainan, Taiwan, 2009.
- [7] FUJITA Y, HAMAMOTO Y. A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces[J]. Machine Vision and Applications, 2011, 22(2): 245-254.
- [8] YAMAGUCHI T, HASHIMOTO S. Image processing based on percolation model[J]. IEICE transactions on information and systems, 2006, E89-D(7): 2044-2052.
- [9] YAMAGUCHI T, HASHIMOTO S. Automated crack detection for concrete surface image using percolation model and edge information[C]// IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics. Paris France, 2006.
- [10] YAMAGUCHI T, HASHIMOTO S. Improved percolation-based method for crack detection in concrete surface images[C]// International Conference on Pattern Recognition. Florida USA, 2008.
- [11] YAMAGUCHI T, NAKAMURA S, SAEGISA R, et al. Image-Based Crack Detection for Real Concrete Surfaces[J]. IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2008, 3(1): 128-135.
- [12] YAMAGUCHI T, HASHIMOTO S. Fast crack detection method for large-size concrete surface images using percolation-based image processing[J]. Machine Vision and Applications, 2010, 21(5): 797-809.
- [13] QU Zhong, LIN Li-dan, YANG Guo, et al. An improved algorithm for image crack detection based on percolation model[J]. IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2015, 10(2): 214-221.