

形态学与区域延伸相结合的图像裂缝检测算法研究

瞿 中^{1,2} 林丽丹¹ 郭 阳¹

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院 重庆 400065)¹ (重庆邮电大学移通学院 重庆 401520)²

摘 要 在复杂背景下,由于光照不均、混凝土气泡、阴影等噪声干扰,导致路面裂缝误检并存在不同程度的断裂。为了解决此问题并实现路面裂缝的精确检测,提出一种结合数学形态学和区域延伸的裂缝检测算法。该算法首先用形态学对自然条件下采集的路面图像进行预处理,并结合 Canny 边缘检测和形态学来对裂缝进行粗略检测,然后用区域延伸算法对裂缝进行精确检测,最后对检测裂缝进行后处理。实验结果表明,提出的算法能够对图像裂缝进行高效、精确的检测。

关键词 裂缝检测,预处理,Canny 边缘检测,形态学,区域延伸

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.11.058

Algorithm of Image Crack Detection Based on Morphology and Region Extends

QU Zhong^{1,2} LIN Li-dan¹ GUO Yang¹

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

(College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 401520, China)²

Abstract In a complex background, the interference of uneven illumination, concrete bubbles, shadows and other noise, results in false detection of cracks and varying degrees of crack fracture. To solve these problems and implement detecting cracks accurately, an algorithm of crack detection which combines mathematical morphology and region extends was proposed in this paper. Firstly, images collected on the natural conditions are preprocessed using the method of morphology, and then Canny edge detection and morphology are combined to achieve the coarse detection of cracks. Secondly, the regional extension algorithm is adopted for accurate detection. Finally, the cracks are processed to make them natural. Experimental results show that the proposed algorithm can detect the cracks on concrete pavement cracks accurately and efficiently.

Keywords Crack detection, Preprocess, Canny edge detection, Morphology, Region extends

1 引言

裂缝是混凝土路面最常见也是最严重的病害之一,裂缝检测技术是维护混凝土结构安全进而延长其寿命的经济有效的重要技术。为了对路面进行有效的养护,必须对路面裂缝进行定期检测和分析^[1]。

基于数字图像处理的裂缝自动检测方法能够快速获取裂缝信息,克服人工裂缝检测的主观性,是一种无损检测技术,已在病害检测领域得到广泛应用。Abdel-Qader 等^[2]比较了小波变换、快速 Fourier、Sobel 和 Canny 4 种边缘检测方法对桥梁表面图像裂缝检测的效果,认为快速 Fourier 检测效果最佳,但边缘检测在检测目标边缘的同时,也对混凝土路面光照不均、污点、阴影等噪声进行检测,可能产生大量非裂缝噪声,造成误检。对图像先进行预处理去除噪声再用阈值分割算法检测裂缝的方法^[3,4],虽然能消除部分噪声干扰,但同时会消除部分裂缝像素,造成裂缝不同程度的断裂,不利于裂缝长度的估计。Christina Gunkel 等^[5]提出用 Dijkstra 最短路径算

法实现对微裂缝的检测,但该算法在检测裂缝群时很难排除噪声的干扰。T. Yamaguchi 和 S. Hashimoto 的基于渗流模型的裂缝检测方法^[6],能够对细微裂缝进行很好的检测,但该算法时间复杂度高,很难满足实时性。基于数学形态学的裂缝检测方法^[7,8],主要通过膨胀、腐蚀、细化等运算提取裂缝信息,但不足之处是难以排除团状噪声的干扰。基于主动生长连接的裂缝检测算法^[9]能实现断裂裂缝的连接,但不能很好地去掉噪声区域,导致大量误连接。

本文针对复杂背景下的混凝土路面裂缝特征,提出形态学和区域延伸相结合的裂缝检测算法。该算法主要分为图像预处理、裂缝粗检测、裂缝精检测和裂缝后处理 4 个模块。预处理采用形态学去噪,排除光照不均的干扰;裂缝粗检测使用 Canny 边缘检测和形态学的闭运算,大致确定图像中的裂缝;裂缝精检测先根据裂缝的长度特征对裂缝图像去噪,去除由污点、阴影等形成的团状噪声干扰,再对裂缝区域进行延伸,连接断裂裂缝;裂缝后处理主要对检测到的裂缝图像进行形态学处理,将裂缝毛刺去除,使裂缝自然完整。

到稿日期:2013-12-10 返修日期:2014-01-25 本文受重庆市科委自然科学基金计划项目(2010BB2399)资助。

瞿 中(1972—),男,博士,教授,主要研究方向为数字图像处理、普适计算、物联网技术等, E-mail: quzhong@cqupt.edu.cn; 林丽丹(1989—),女,硕士生,主要研究方向为数字图像处理; 郭 阳(1989—),硕士生,主要研究方向为数字图像处理。

2 图像预处理

自然条件下采集的混凝土路面图像中含有多种噪声干扰,本文首先将采集到的路面图像进行灰度化,然后对灰度图像进行形态学处理,主要目的是去除光照不均、污点等噪声干扰。

2.1 图像灰度化

图像灰度化是将彩色图像中每个像素点的 RGB 3 个分量的通道设为同一个数值,其值即为灰度值。本文采用加权平均法实现路面图像灰度化,其转换如式(1)所示:

$$\text{gray}(x,y) = 0.3 * R(x,y) + 0.59 * G(x,y) + 0.11 * B(x,y) \quad (1)$$

其中, $R(x,y)$ 、 $G(x,y)$ 、 $B(x,y)$ 分别表示红色、绿色、蓝色, $\text{gray}(x,y)$ 是位于 (x,y) 处像素点的灰度值。

2.2 灰度图像形态学处理

高帽变换和低帽变换是数学形态学重要的算法形式,高帽(top-hat)变换是原图像与原图像开操作结果图像之差,低帽(bottom-hat)变换是原图像闭操作结果图像与原图像之差。高、低帽变换的一个重要作用是校正不均匀光照的影响,低帽变换适用于亮背景上的暗物体,而高帽变换则用于相反的情况。设 f 是输入图像, b 是结构元素,高、低帽变换分别如式(2)、式(3)所示:

$$T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b) \quad (2)$$

$$B_{\text{hat}}(f) = (f \bullet b) - f \quad (3)$$

其中, f 是输入图像, $f \circ b$ 是对输入图像进行开操作, $f \bullet b$ 是对输入图像进行闭操作。

根据混凝土路面中裂缝像素的灰度值低于背景像素灰度值的特征,本文采用低帽变换对灰度图像进行处理。结合裂缝呈线性的特征使用自定义的 3×3 矩形结构元素,对图像先进行闭操作,然后与原图像作差,来去除不均匀光照的干扰。原灰度图像和低帽变换后的图像分别如图1、图2所示。

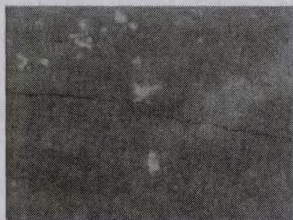


图1 原灰度图像



图2 低帽变换图像

从图2可以看出光照不均、阴影等噪声已基本去除,接下来的工作就是先粗略检测出裂缝,然后再对裂缝进行精检测。

3 裂缝检测算法

首先对预处理图像进行 Canny 边缘检测和数学形态学

的膨胀、腐蚀操作,实现裂缝粗检测,然后依据裂缝呈线性的特征再次去除团状噪声干扰,根据裂缝有一定长度及延伸方向的特点,用区域延伸算法连接断裂裂缝,最后采用形态学膨胀、腐蚀操作对裂缝图像进行后处理,最终实现对裂缝的精确、完整提取,裂缝检测流程如图3所示。

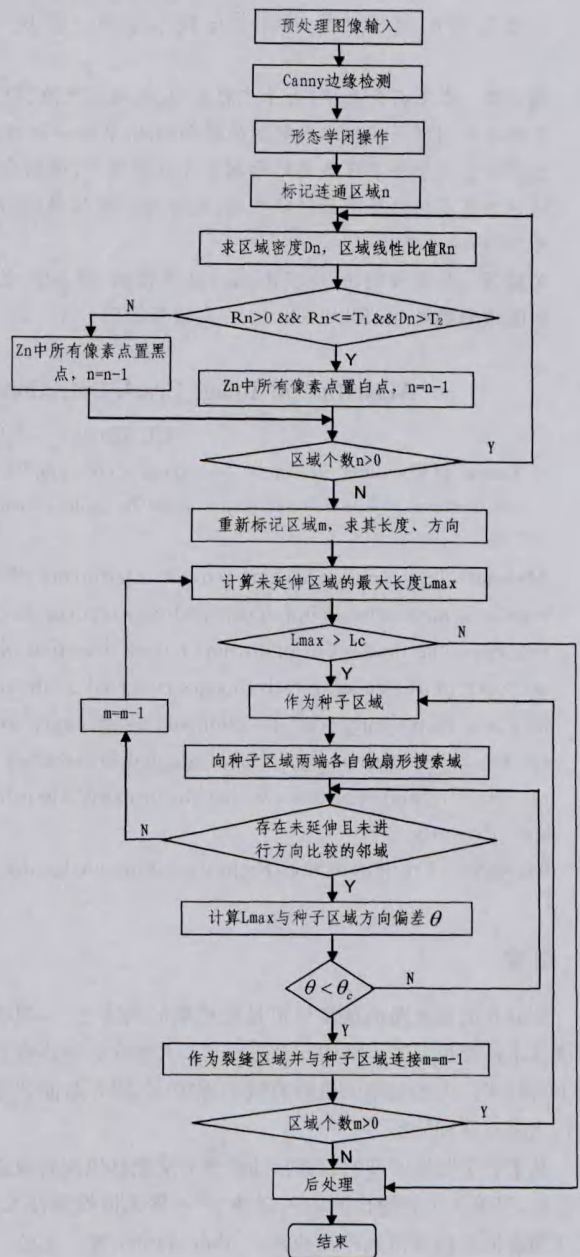


图3 裂缝检测流程

3.1 裂缝粗检测

混凝土路面上裂缝与背景的灰度差异决定了裂缝上存在大量的边缘信息,裂缝区域有较高的边缘点密度,而这些边缘特征在裂缝检测过程中相对稳定。

通过实验对比几种边缘检测算子的检测效果,发现Canny算子检测到的裂缝边缘信息最完整,定位最准确,同时对图像进行了增强处理,并且具有较好的连续性,降低了裂缝存在大量断裂的可能性。与此同时,经过 Canny 边缘检测后得到的图像不可避免地保留了一些非裂缝的噪声边缘。

形态学闭操作是先对二值图像进行腐蚀运算再进行膨胀运算,其作用是消除小的孔洞并填补轮廓线中的断裂。本文依据测试集中裂缝宽度一般较小的特征,采用 3×3 的结构元素对裂缝边缘图进行闭操作,以填充边缘间的空隙,同时连接边缘中比较狭小的间断,实现对裂缝的粗略检测。经过裂缝粗检测后的图像如图4所示。

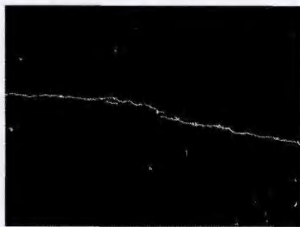


图4 粗检测裂缝图像

3.2 裂缝精检测

裂缝精检测的主要目的是去除图像中误检为裂缝的噪声区域,连接断裂裂缝。为了保证区域延伸^[10]的准确性,本文考虑首先根据裂缝的线性特征,去除一部分团状噪声干扰。具体算法步骤如下:

(1)在粗检测得到的二值图像上标记连通区域,其个数为 n ,并分别计算每个区域中第一个点到最后一个点的距离之和作为区域线性长度,同时计算每个区域中任意两点之间的距离之和作为区域长度,统计各个区域中像素点的个数,并计算每个区域的最小面积外接矩形及矩形对角线长度。

(2)区域线性比值 R_n 为区域线性长度与矩形对角线之比;区域密度 D_n 为区域长度与区域点个数之比。 R_n 描述区域的线性,用于去除图像中呈团状的噪声区域; D_n 表示区域中点的聚集度,用于去除稀疏点构成的区域。

(3)如果 $R_n > 0, R_n \leq T_1$ 且 $D_n > T_2$ (T_1, T_2 分别是判定为裂缝的最小区域线性比值和最小区域密度),则置该区域中所有黑点为白点,否则置该区域中的所有白点为黑点。

(4)查找种子区域。标记二值图的连通区域,个数为 m ,用线性拟合计算每个区域的长度、方向,并与判定为裂缝的最低长度 L_c 进行比较,选取大于 L_c 的最大长度区域作为裂缝种子区域。

(5)搜索相邻区域。沿着种子区域的方向,分别以种子区域的两个端点为圆心,向两头各自做扇形搜索域,搜索落在范围内的区域。

(6)裂缝区域延伸。查找扇形搜索域中的区域,从最大的长度区域开始,与种子区域作方向一致性匹配,当 $\theta < \theta_c$ (θ 为最大长度区域与种子区域的方向偏差, θ_c 为判断是否为同一个裂缝的偏差的最小值)时,匹配成功,之后不再对搜索域中剩余的区域做判断,将当前匹配成功的区域作为裂缝区域与种子区域进行连接,而连接后的整个区域作为新一轮延伸的种子区域,重复步骤(5)与(6)的操作,直到没有邻域可以延伸为止,至此一条裂缝提取完成。

(7)下一个种子区域的查找。将所提取的裂缝中存在的区域部分在二值图中去除,继续选取大于 L_c 的最大长度区域作为新的裂缝种子区域,重复步骤(5)~(7)的操作,直到不存

在大于 L_c 的区域为止,停止区域延伸,所有裂缝提取完毕。

通过以上精检测处理,去除了图像上团状噪声,并且连接了断裂裂缝,只需要再对裂缝进行后处理,去除裂缝周围多余的毛刺即可。经过裂缝精检测后得到的图像如图5所示。

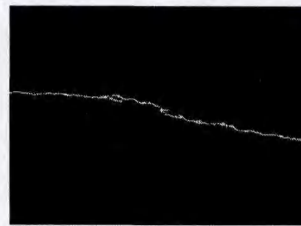


图5 精检测裂缝图像

3.3 裂缝后处理

对图像进行先膨胀后腐蚀操作能平滑图像中对象的轮廓,但对于某些边缘特别粗糙的情况,可能需要使用多种结构元素,简单的结构元素只适合移除或平滑单像素的不平整。由于经过裂缝精检测提取的裂缝周围存在少量误检为裂缝的毛刺区域及裂缝上存在部分孔洞,本文采用另一种解决方案,即先后进行 N 趟膨胀、 N 趟腐蚀操作,平滑裂缝周围多个像素的不平整。结合裂缝的线性特征进行了大量的实验测试,结果表明:重复执行3次膨胀操作,然后再执行3次腐蚀操作能够去除裂缝周围的毛刺,保证裂缝的自然、完整。通过对裂缝进行后处理操作得到的裂缝图像如图6所示。



图6 后处理裂缝图像

由专业测绘人员绘制的实际裂缝如图7所示。

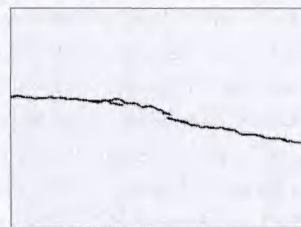


图7 实际裂缝图像

4 裂缝检测结果及分析

为了验证所提出的算法的精确性及有效性,本文对在自然条件下拍摄的250张混凝土路面裂缝图像进行检测,每张图像大小为 500×375 像素。采用精确率 P 和召回率 R 量化评估本文算法,精确率 P 和召回率 R 的定义如下:

$$P = \frac{N_p}{N_{total}}, R = \frac{N_p}{N_r} \quad (4)$$

其中, N_p 是检测到的裂缝像素点中真正属于裂缝的像素点的个数, N_r 是专业测绘人员绘制的裂缝所包含的像素点的总数, N_{total} 是用本文算法检测到的裂缝所包含的像素点总数。

随机测试 250 张图像集中的 25 张图像, 每张图像的精确率 P 和召回率 R 如表 1 所列。

表 1 裂缝检测量化分析

序号	P	R	序号	P	R
01	0.9347	0.9213	14	0.9348	0.9279
02	0.8987	0.8874	15	0.9103	0.9442
03	0.9127	0.9334	16	0.9705	0.9628
04	0.9650	0.9421	17	0.8826	0.7918
05	0.8145	0.7923	18	0.9128	0.9213
06	0.9067	0.9241	19	0.9008	0.8825
07	0.8642	0.8809	20	0.8049	0.8526
08	0.8239	0.8525	21	0.9121	0.9332
09	0.9621	0.9543	22	0.9350	0.9217
10	0.8974	0.9007	23	0.8814	0.8561
11	0.9152	0.9803	24	0.8273	0.8768
12	0.8827	0.9030	25	0.8907	0.9041
13	0.9592	0.9738	Ave	0.9001	0.9048

由式(4)得出, 如果检测得到的图像中未包含实际裂缝, R 值会很小; 如果检测到的裂缝中含有大量噪声, P 值会减小。从表 1 可以看出, 本文提出的算法能保证裂缝检测的精确率和召回率平均达到 90% 以上, 因而能精确检测出图像中的裂缝。

结束语 本文提出了数学形态学与区域延伸相结合的图像裂缝检测算法, 该算法有效解决了光照不均、污点、阴影等噪声对裂缝检测干扰的问题, 同时解决了裂缝断裂问题, 最终检测到精确、完整的裂缝。实验结果表明, 该算法检测混凝土路面裂缝能够达到很高的精确率, 具有较好的鲁棒性。下一步我们将会对该算法中使用到的参数进行自适应研究。

参 考 文 献

[1] 王平让, 黄宏伟, 薛亚东. 基于图像局部网格特征的隧道衬砌裂

缝自动识别[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(5): 991-999

[2] Abdel-Qader I, Abudayyeh O, Kelly M E. Analysis of edge-detection techniques for crack identification in bridges[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2003, 17(4): 255-263

[3] Fujita Y, Hamamoto Y. A robust automatic crack detection method from noisy concrete surfaces[J]. Machine Vision and Applications, 2011, 22(2): 245-254

[4] Rathod V R, Anand R S. A comparative study of different segmentation techniques for detection of flaws in NDE weld images[J]. Journal of Nondestructive Evaluation, 2012, 31(1): 1-16

[5] Gunkel C, Stepper A, Müller A C, et al. Micro crack detection with Dijkstra's shortest path algorithm[J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23(3): 589-601

[6] 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

[7] Landstrom A, Thurley M J. Morphology-based crack detection for steel slabs[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2012, 6(7): 866-875

[8] Jahanshahi M R, Masri S F. Adaptive vision-based crack detection using 3D scene reconstruction for condition assessment of structures[J]. Automation in Construction, 2012, 22: 567-576

[9] 朱平哲, 黎蔚. 基于主动生长的断裂裂缝块的连接方法[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3382-3384

[10] 林伊. 车载路面裂缝检测图像处理系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011

[11] 程仁贵, 刘书忻. 基于边缘检测的影像多线自动测量算法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2013, 27(2): 89-92

(上接第 290 页)

[10] Juan L, Gwon O. A comparison of sift, pca-sift and surf[J]. International Journal of Image Processing (IJIP), 2009, 3(4): 143-152

[11] Tola E, Lepetit V, Fua P. Daisy: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(5): 815-830

[12] Calonder M, Lepetit V, Strecha C, et al. BRIEF: binary robust independent elementary features[M]// Computer Vision-ECCV 2010. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 778-792

[13] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R Y. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints[C]// 2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE, 2011: 2548-2555

[14] Alahi A, Ortiz R, Vandergheynst P. Freak: Fast retina keypoint [C]// 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2012: 510-517

[15] Guo Y, Mu Z C, Zeng H, et al. Fast Rotation-Invariant DAISY Descriptor for Image Keypoint Matching[C]// 2010 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM). IEEE, 2010: 183-190

[16] 刘天亮, 霍智勇, 朱秀昌, 等. 基于 DAISY 描述符和改进型权重核的快速局部立体匹配[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2012, 32(4): 70-76

[17] Winder S, Hua G, Brown M. Picking the best daisy[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009 (CVPR 2009). IEEE, 2009: 178-185

[18] Fischer J, Ruppel A, Weisshardt F, et al. A rotation invariant feature descriptor O-DAISY and its FPGA implementation[C]// 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2011: 2365-2370

[19] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630

[20] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors[C]// Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004 (CVPR 2004). IEEE, 2004, 2: 506-513

[21] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395

[22] Visual Geometry Group[OL]. <http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/data/data-aff.html>

[23] 王君, 高颖慧, 王平, 等. 一种 ICP 改进算法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(10): 71-76