

刘娜, 宋伟东, 赵泉华. 形态学和最大熵图像分割的城市路面裂缝检测[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2015, 34(1): 57-61. doi:10.11956/j.issn.1008-0562.2015.01.012

Liu Na, Song Weidong, Zhao Quanhua. Morphology and maximum entropy image segmentation based urban pavement cracks detection[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2015, 34(1): 57-61. doi:10.11956/j.issn.1008-0562.2015.01.012

形态学和最大熵图像分割的城市路面裂缝检测

刘 娜, 宋伟东, 赵泉华

(辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 针对路面检测过程中后期处理数据工作量大、城市路面图像噪声多等特点, 提出利用形态学和最大熵图像分割的城市路面裂缝检测方法。路面图像经过初始分类后, 利用数学形态学变换对路面裂缝图像预处理, 采用不同尺度、不同方位的结构元素对灰度图像做开运算重构, 以提高图像中裂缝目标与路面背景之间的灰度差异; 利用最大熵法进行图像分割, 并对二值化后的裂缝图像进一步精细化处理; 利用投影分析方法进行裂缝分类。研究表明: 该方法能够在抑制噪声干扰的同时, 实现快速、准确地检测路面裂缝边缘, 并准确完成裂缝分类。

关键词: 城市路面检测; 裂缝提取; 数学形态学; 最大熵分割; 裂缝分类

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

文章编号: 1008-0562(2015)01-0057-05

Morphology and maximum entropy image segmentation based urban pavement cracks detection

LIU Na, SONG Weidong, ZHAO Quanhua

(School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to solve the problem of big workload in the post-processing and more image noises in the urban pavement image, using morphology and the maximum entropy image segmentation, a method to detect urban pavement crack is proposed. After the initial classification, based on morphology with different scales and different directions of elements, this study uses opening-by-reconstruction to enhance gray difference between the crack target and the pavement background, then uses the maximum entropy image segmentation to make image segmentation, and further process the binary image, and lastly classifies crack according to the principle of projection analysis. The experimental results show that the synthetic method obtains a better detection result, rapidly and accurately detecting the edge of the crack while effectively suppressing the noise.

Key words: urban pavement detection; crack extraction; morphology; maximum entropy image segmentation; crack classification;

0 引言

目前, 图像处理技术已经广泛应用于路面病害数据调查中, 国内外陆续开发了一系列路面病害检测系统, 如瑞典的 PAVUE 系统^[1]、美国阿肯色大学开发的 DHDV 检测车^[2]、中国武汉大学开发的 ZOYON-RTM 型车载智能路面检测系统^[3]等。但是, 现有系统对路面图像的分析仍然采用人机交互甚至完全人工的方式, 且大多数路面检测技术是针对高速公路路面图像进行的。相对于高速公路, 城市道路路面状况更复杂、路面病害更多、裂缝检测难度更大, 因此, 需要进一步研究基于城市路面图像的裂缝自动识别方法。文献[4]提出了一种基于相位编

组法的裂缝提取算法, 能够较好的提取细小裂缝。文献[5]利用非下采样 contourlet 变换(NSCT)进行裂缝增强, 在此基础上利用图像形态学方法和中值滤波实现裂缝检测, 但该方法计算较复杂, 需要进一步提高算法效率。文献[6]、文献[7]结合沥青路面裂缝特点, 在应用传统算法的基础上进行改进, 分别利用 BP 神经网络和分水岭分割的改进算法进行裂缝提取。文献[8]根据裂缝灰度特征, 计算其灰度相关性进行裂缝提取, 该方法虽然能够克服复杂背景的噪声, 但是还不能精确提取裂缝。文献[9]提出了利用视觉显著性的方法进行路面裂缝检测。综上所述, 近年来有关学者在路面检测领域作了大量研究工作, 并取得了一定的成果, 但是由于路面的实际状

收稿日期: 2014-04-14

作者简介: 刘娜(1990-), 女, 辽宁 沈阳人, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。本文编校: 朱艳华

况复杂、污染物较多,裂缝图像具有噪声强、光照不均匀、形式多样等特点,大多数算法仍然存在缺少通用性、计算复杂程度较高等缺点.

针对目前国内外路面检测算法存在的问题,为实现图像处理过程中路面病害的自动识别,提出一种适合城市路面检测的结合数学形态学和最大熵图像分割的裂缝检测方法,并对实际采集路面裂缝图像进行实验分析,该方法获得了较好的实验结果.

1 城市路面图像预处理

在通过智能道路检测车等路面图像采集设备获得的的城市路面图像中,绝大多数的路面都是完好的,只有少部分图像存在路面病害,因此,为了提高处理效率,需要先对所有的采集图像进行初始分类再进行裂缝检测.首先采用较低复杂度的算法对图像定性分析,筛选出需要进一步处理的路面裂缝图像,然后采用复杂度较高的算法提取裂缝,进行裂缝定量分析,并对裂缝分类,计算路面的破损程度,为路面养护提供决策信息^[10].本文提出的基于形态学和最大熵图像分割的裂缝检测流程见图1.

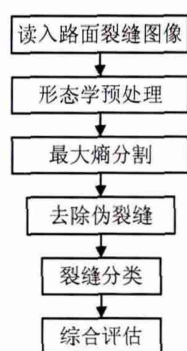


图1 城市路面裂缝检测流程

Fig.1 flow chart of urban pavement cracks detection

1.1 形态学预处理

经过初始分类之后,对确定存在裂缝的路面图像进行数学形态学预处理.数学形态学的基本思想是利用附有相关知识的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,其中结构元素的形态决定了这种运算所提取的图像中的形态信息^[11],所以在图像未进行其它预处理时,可以直接利用数学形态学对含有噪声的城市路面图像进行处理.

1.2 灰度数学形态学

在预处理阶段采用灰度形态学对破损图像进行形态学变换,灰度形态学是对二值形态学运算的推广,其最基本的操作包括膨胀和腐蚀.设 $f(x,y)$ 是输入图像函数, $b(i,j)$ 是结构元素函数.

灰度膨胀运算定义为

$$(f \oplus B)(x, y) = \max\{f(x-i, y-i) + b(i, j) | f(x-i, y-j) \in f, b(i, j) \in B\}.$$

灰度腐蚀运算定义为

$$(f \ominus B)(x, y) = \min\{f(x+i, y+j) - b(i, j) | f(x+i, y+j) \in f, b(i, j) \in B\}.$$

灰度形态学的实现类似于空间卷积处理,可以理解结构元素在图像中所有位置平移,膨胀运算是在每个位置计算结构元素与图像像素的和,求其最大值,这样输出图像的暗细节就被消弱或去除,亮区域边缘得到增强^[12].腐蚀运算与其相反,使输出图像亮区域的范围得到加粗和放大.

1.3 多尺度多方位结构元素形态学

在数学形态学中,结构元素的形状和大小都会影响提取边缘信息的结果.因此,对于图像噪声较多、边缘梯度变化复杂的城市路面裂缝图像,选择合适的结构元素很重要.利用不同尺度的结构元素进行检测时,小尺度的结构元素去噪能力弱,不能有效消除背景里的噪声斑点,但能较好检测边缘;大尺度的结构元素检测的边缘较粗,但去除噪声能力强.多尺度组合的算法能够做到抗噪性能较好,但不能检测出较多方向的细节^[13];而多方位的结构元素可以较好地提取路面裂缝的方向特点,所以多尺度、多方位结构元素形态学可以在滤除噪声的基础上较好的提取裂缝边缘.图2为0°、45°、90°、135°这4个方向的线形结构元素,可以分别用于检测裂缝在4个不同方向上的梯度变化.

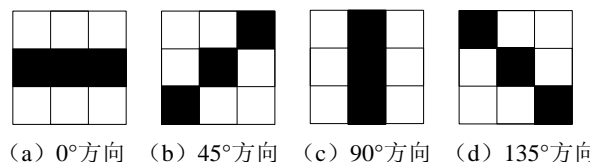


图2 多方位结构元素

Fig.2 multidirectional structural elements

本文采用的多尺度、多方位结构元素形态学预处理流程如下:

步骤1 读入路面裂缝图像,对灰度裂缝图像进行顶帽操作,由原图像中减去开运算后的图像 $f(x,y)-(f \odot B_1) \oplus B_1$,初步提取裂缝边缘;

步骤2 构建不同大小的圆盘状结构元素 B_2 ,对图像做开运算重构 $R_f(f \odot B_2)$,即将原图像作为掩模,腐蚀后图像作为标记图像,进行重构运算,去除与结构元素相比尺寸较小的亮斑点噪声;

步骤3 构建4个方向的线形结构元素 B_3 ,对图像进行闭运算,即对图像先膨胀再腐蚀 $(f \oplus B_3) \odot B_3$,消除与结构元素相比尺寸较小的暗噪声,增强裂缝边缘。

2 城市路面图像裂缝识别

2.1 最大熵法图像分割

现有的路面图像分割主要采用阈值分割方法,在阈值分割的过程中,阈值的确定大多通过人工选择。然而,通过人工选择阈值的分割方法明显不能满足自动识别的要求。本文利用图像的灰度信息对灰度图像进行分割,选择最大熵作为分割阈值选择的标准。所谓最大熵分割法就是使分割后的图像中目标熵和背景熵的和尽可能的大。一般认为,分割后图像熵值越大,从原图中得到的信息量越大,分割图像细节越丰富^[14],进而保证良好的总体分割效果,尽可能保留裂缝的细节信息。

设给定论域 U ,目标(裂缝)熵 $H_A(U)$ 和背景熵 $H_B(U)$ 分别定义为

$$H_A(U) = - \sum_{i=0}^T \frac{p_i}{p_A} \ln \frac{p_i}{p_A};$$

$$H_B(U) = - \sum_{i=T+1}^{L-1} \frac{p_i}{p_B} \ln \frac{p_i}{p_B},$$

式中, p_i 为各个灰度级出现的概率; p_A 为裂缝区域的出现概率; p_B 为背景区域的出现概率; L 为图像的灰度级; T 为分割阈值。

总熵 $H(U)$ 定义为 $H(U) = H_A(U) + H_B(U)$ 。

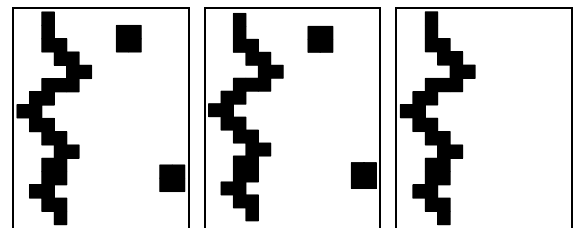
基于最大熵法路面裂缝图像分割的具体流程如下:

- (1) 读入预处理后的路面破损图像;
- (2) 计算图像直方图 h_i , 图像大小 N ;
- (3) 计算最小灰度值 \min_gray , 最大灰度值 \max_gray , 计算各个灰度级出现的概率 $p_i = h_i/N$, $i = \min_gray, \dots, \max_gray$;

(4) 设定初始分割值 $T, T = \min_gray, \dots, \max_gray$. 分段搜索使 $H(U)$ 最大的 T , 计算此种划分的熵, 得到最优阈值。

2.2 去除伪裂缝

利用最大熵分割法分割后的裂缝二值图像将裂缝进行粗提取,虽然包含裂缝区域,但是还包含了多个噪声干扰区域。由于提取出的路面裂缝区域多为连续的线性分布,而非裂缝区域是大片阴影块状分布或者是零星的点状分布,所以可以采用标注连接分量的去噪方法进行精细处理^[15]。其实现原理见图3。图3(a)为含有噪声的裂缝粗提取结果。为了去除伪裂缝信息,搜索整幅图像的连接分量,并标记连通域,见图3(b)。然后设置一个合理的面积阈值,去除干扰,图3(c)中可以看到线状裂缝得到了保留,图像右侧两块噪声区域被删除。



(a) 裂缝提取结果 (b) 标记连通区域 (c) 去除干扰

图3 去除伪裂缝示意

Fig.3 schematic diagram of removing false cracks

2.3 裂缝分类

提取裂缝的最终目的是通过计算路面损坏状况指数 PCI 对路面的质量进行评估,其值越大,表明路况越好。 PCI 由沥青路面破损率 DR 计算得出。文献[16]给出 PCI 的计算公式为

$$PCI = 100 - 15DR^{0.412},$$

式中, DR 为路面综合破损率,

$$DR = (D/A) \cdot 100 = (\sum \sum D_{ij} \cdot K_{ij}) / A \cdot 100,$$

式中, A 为调查路段总面积, m^2 ; D_{ij} 为第 i 类破损, j 类严重程度的实际破损面积, m^2 ; K_{ij} 为第 i 类损坏, 第 j 类严重程度的换算系数。

在计算 DR 时,路面不同类型的裂缝对应着不同的换算系数。因此在对路面破损图像进行检测时,还需对裂缝目标进行分类。基于投影分析的裂缝分类方法原理简单、实现容易、更适合实际应用。在二值化的裂缝图像中,令目标像素点取值为0,背景

取值为1, 计算其在水平方向和垂直方向上的投影向量为 X 和 Y 。检测车沿道路行驶进行相片拍摄, 其前进方向即为路面图像的垂直方向 Y 轴方向。

$$X(i) = \sum_{j=0}^m f(i, j) \quad (i = 1, 2, \dots, n);$$

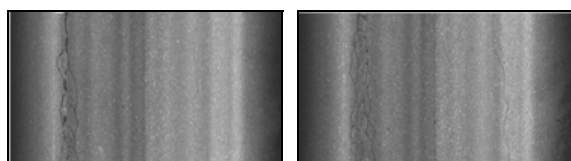
$$Y(j) = \sum_{i=0}^n f(i, j) \quad (j = 1, 2, \dots, m).$$

根据投影结果分析裂缝类型: 对于纵向裂缝, 其在 X 轴的投影信号将会出现一个明显的波峰, 而在 Y 轴投影的波形相对均匀; 对于横向裂缝, 其在 X 轴投影的波形相对均匀, 而在 Y 轴的投影向量会出现一个明显的波峰; 对于不规则的裂缝, 其在 X 轴和 Y 轴上的投影都会形成多个明显的波峰^[17]。

3 实验结果与分析

基于本文所述裂缝检测方法, 采用 MATLAB R2009a, 对智能道路检测车采集到的沈阳李相新城地区三级公路沥青路面图像进行了实验, 图像的尺寸为4 096pix×2 048pix。

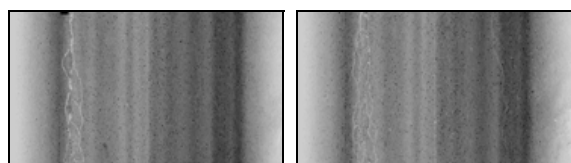
图4为两张城市路面裂缝图像, 可以发现原始图像光照非常不均匀, 背景噪声非常大。首先进行预处理, 利用多尺度、多方位结构元素形态学直接对原始图像进行处理, 结果见图5。可以看到原始图像经处理后颜色较深的裂缝目标与背景之间的灰度值差异进一步加大; 然后利用最大熵分割法对形态学处理后图像二值化, 图6为裂缝粗提取结果, 得到含有裂缝区域详细信息和部分干扰噪声的二值图像; 最后对二值化图像标记连通区域, 删除孤立点和噪声, 去除伪裂缝结果, 见图7。



(a) IMG_1 原图像 (b) IMG_2 原图像

图4 原图像

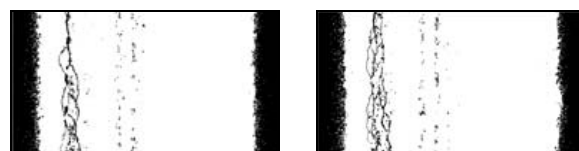
Fig.4 original images



(a) IMG_1 预处理结果 (b) IMG_2 预处理结果

图5 形态学预处理后图像

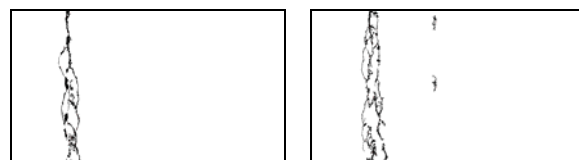
Fig.5 images after morphological preprocessing



(a) IMG_1 最大熵分割结果 (b) IMG_2 最大熵分割结果

图6 最大熵法分割后图像

Fig.6 images after maximum entropy segmentation



(a) IMG_1 去除伪裂缝结果 (b) IMG_2 去除伪裂缝结果

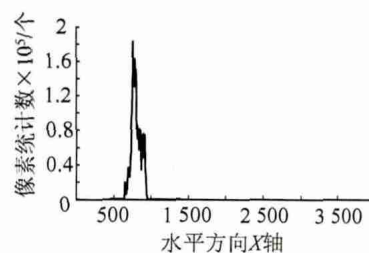
图7 去除伪裂缝后图像

Fig.7 images after removing pseudo cracks

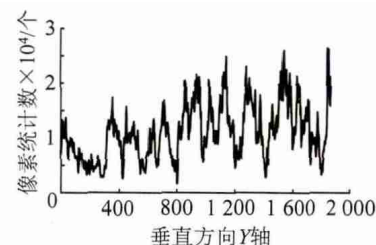
对图8(a)的裂缝提取结果进行裂缝分类, 分别计算其 X 、 Y 轴投影, 结果见图8(b)和8(c)。可以看出裂缝在 X 轴投影长度明显大于其在 Y 轴投影长度, 并且其在 Y 轴的投影波形相对比较均匀, 而在 X 轴的投影波形有明显的波峰, 说明裂缝方向为垂直方向, 可以判断其裂缝类型为纵向裂缝。



(a) 裂缝提取结果



(b) X 轴投影



(c) Y 轴投影

图8 纵向裂缝投影分析

Fig.8 projection analysis of longitudinal crack

裂缝分类后,参照《公路沥青路面养护技术规范》对该路段进行综合评估,查表得纵向裂缝路面破损换算系数,通过 DR 计算公式得到该路段路面综合破损率为1.16%,PCI指数为84,路面行驶质量为良。

4 结论

对基于图像处理技术的城市路面裂缝检测方法进行了研究,提出一种结合多尺度、多方位结构元素形态学预处理和最大熵法图像分割的裂缝检测算法。实验结果可以看出,该方法更简明快速,并且更多的保留了裂缝的详细信息,促进进一步实现路面病害的自动识别。该算法的缺点是提取后的裂缝图像有少量失真,还存在进一步改进的空间,接下来的工作可以研究如何更精确的提取裂缝信息。

参考文献:

- [1] Gavilán M,Balcones D,Marcos O,et al.Adaptive road crack detection system by pavement classification[J].Sensors,2011,11(10):9 628-9 657.
- [2] Wang, Kelvin C P Gong Weiguo.Real-time automated survey system of pavement cracking in parallel environment[J].Journal of infrastructure systems,2005(9):154-164.
- [3] 张宏,英红.沥青路面裂缝图像识别技术研究进展[J].华东公路,2009(4):81-84.
Zhang Hong,Ying Hong.Image detection algorithm research for asphalt pavement crack.[J].East China Highway,2009(4):81-84.
- [4] 张娟,沙爱民,孙朝云,等.基于相位编组法的路面裂缝自动识别[J].中国公路学报,2008,21(2):39-42.
Zhang Juan,Sha Aimin,Sun Chaoyun.Pavement crack automatic recognition based on phase-grouping method[J].China Journal of Highway and Transport,2008,21(2):39-42.
- [5] 马常霞,赵春霞,胡勇,等.结合 NSCT 和图像形态学的路面裂缝检测[J].计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(12):1 761- 1 767.
Ma Changxia,Zhao Chunxia,Hu Yong,et al.Pavement cracks detection based on NSCT and morphology[J].Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics,2009,21(12):1 761- 1 767.
- [6] 樊海玮,张国翊,丁爱玲,等.BP 改进算法及其在路面裂缝检测中的应用[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(1):46-52.
Fan Haiwei,Zhang Guoyi,Ding Ailing,et al.Improved BP algorithm and its application in detection of pavement crack[J].Journal of Changan University:Natural Science,2010,30(1):46-52.
- [7] 黎蔚,高璐.基于改进的分水岭算法的路面裂缝检测[J].计算机工程与应用,2013,49(20):263-266.
Li Wei,Gao Lu.Pavement crack detection based on improved watershed algorithm[J].Computer Engineering and Applications,2013,49(20): 263-266.
- [8] 董安国,梁苗苗.基于灰度相关性的裂缝检测算法[J].计算机应用研究,2013,30(10):3 121-3 123.
Dong Anguo,Liang Miaomiao.Crack detection algorithm based on gray correlation[J].Application Research of Computers,2013,30(10):3 121-3 123.
- [9] 徐威.基于图像显著性的路面裂缝检测[J].中国图像图形学报,2013,18(1):69-76.
Xu Wei.Pavement crack detection based on image saliency[J].Journal of Image and Graphics,2013,18(1):69-76.
- [10] 李清泉,胡庆武.基于图像自动匀光的路面裂缝图像分析方法[J].公路交通科技,2010,27(4):1-5.
Li Qingquan,Hu Qingwu.A pavement crack image analysis approach based on automatic image dodging[J].Journal of Highway and Transportation Research and Development,2010,27(4):1-5.
- [11] 李刚,贺显曜.多方位结构元素路面裂缝图像边缘检测算法[J].计算机工程与应用,2010,46(1):224-226.
Li Gang,He Yuyao.A novel image detection and classification for pavement crack under non-uniform illumination[J].Computer Engineering and Applications,2010,46(1):224-226.
- [12] 张莉,贾永红.基于数学形态学的遥感影像边缘检测研究[J].地理空间信息,2006,4(4):52-54.
Zhang Li,Jia Yonghong.Edge detection algorithm for remote sensing image based on mathematical morphology[J].Geospatial Information, 2006,4(4):52-54.
- [13] 冯永安,刘万军.边缘检测改进算法在路面破损检测中的应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2007,26(11):176-178.
Feng Yongan, Liu Wanjun.Application of improved algorithm of edge detection in road damage examination[J].Journal of Liaoning Technical University:Natural Science,2007,26(11):176-178.
- [14] 吴刚,刘海砚,王俊超,等.基于熵的模糊决策在最优路径选取中的应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2012,31(4):470-473.
Wu Gang,Liu Haiyan,Wang Junchao,et al.Application of fuzzy decision-making based on entropy in selecting optimal path[J].Journal of Liaoning Technical University:Natural Science,2012,31(4): 470-473.
- [15] 陈艳君.基于特征空间的路面裂缝检测与识别算法研究[D].武汉:武汉工程大学,2012.
Chen Yanjun.Research on detection and recognition method for pavement crack based on feature space[D].Wuhan:Wuhan Institute of Technology University,2012.
- [16] 中华人民共和国交通部.JTJ 073.2-2001.公路沥青路面养护技术规范[S].北京:人民交通出版社,2001.
Ministry of Communications of the People's Republic of China.JTJ 073.2-2001.Technical Code for Maintenance of Highway Asphalt Pavement[S].Beijing:China Communications Press,2001.
- [17] 邱汉兴.基于图像分割的路面裂缝检测与识别研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
Qiu Hanxing.Study of pavement crack detection and identification based on image segmentation[D].Chongqing:Chongqing Jiaotong University,2012.