

基于霍夫变换的 OSTU 改进算法在 路面裂缝检测中的研究

李媛媛, 黄泉源, 侯智新

(长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710000)

摘要: 由于光照不均、路面污渍及沥青颗粒等因素的影响,传统阈值分割算法应用于路面裂缝处理时效果不佳。针对这一问题提出了基于霍夫变换的 OSTU 改进算法,对分割后图像进行霍夫变换得到霍夫矩阵,统计其极值和最大值分布情况作为判定依据,不断修正由传统 OSTU 算法得到的初始阈值并重新分割检验,最终得到最佳阈值。对新算法进行理论和实际验证,结果表明,新算法分割效果良好、稳定,抗噪声能力强,极大地提高了裂缝提取的准确度和完整度。

关键词: 裂缝检测; 图像分割; 霍夫变换; 霍夫矩阵

中图分类号: TN391

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2016)05-0043-04

Improve of OSTU based on hough transformation and applied in pavement crack detection

LI Yuan-yuan, HUANG Quan-yuan, HOU Zhi-xin

(College of Computer Science, Chang'an University, Xi'an 710000, China)

Abstract: Traditional OSTU algorithm is not applicative in binary process due to the uneven illumination, stains and asphalt particles on surface. Aiming at this problem, an improved algorithm based on hough transformation is proposed, which uses the distribution of the maximum in hough matrix after image segmentation as a judge to correct the initial threshold of traditional OSTU, until find the appropriate threshold. New algorithm overcomes the drawbacks of traditional algorithm. The segmentation results are stable and have strong anti-noise capacity, improve the accuracy and integrity of crack segmentation efficaciously.

Key words: crack detection; image segmentation; hough transformation; hough matrix

DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2016.06.013

对路面裂缝图像进行分割, 准确完整的提取出裂缝以获得其特征信息是在沥青路面裂缝的检测与识别过程中至关重要的步骤,也是进行裂缝测量及判别分类的基础。文献[1]根据灰度稀疏性、全局对比度计算粗尺度下的裂缝显著值,由裂缝局部亮度、边缘特性、连续性特点进行不断扩张的细尺度的局部邻域显著性增强,经空间显著性加强后,采用自适应阈值分割提取裂缝。文献[2]提出一种基于直方图估计和形状分析的沥青路面裂缝识别算法,采用直方图估计的方法获取每个子块图像原始直方图的混合高斯拟合函数,两个高斯函数的交叉点即是每个子块图像的最优分割阈值。文献[3]使用不断增大的结构元素对图像进行交替开闭滤波以消除噪声,使用多尺度形态学边缘检测器提取裂缝边缘,最后使用基于标记符的分水岭变换分割出裂缝对象。

文献中算法都是建立在裂缝图像清晰,光照均匀,噪声较小的情况下。工程中,由于拍摄环境、摄像机等硬件因素以及路面本身纹理特征的影响,所提取的图像明暗不均,路面

图像中间亮、两边暗,质量并不能达到最佳,裂缝图像难以辨识。在对裂缝图像进行预处理后,虽能减少部分噪声,但在对图像进行阈值分割的时候,由于算法得出不恰当的阈值,不能保证裂缝提取的完整性和准确性。对此,提出基于霍夫变换的 OSTU 改进算法,并用连通域标记法^[4-5]得到连通域特征去除噪声。

1 裂缝图像预处理

由于照明光源影响、道路两旁物体的投影、路面上的污渍等外界因素,以及路面本身纹理特征的干扰,摄取的图像普遍存在着缺陷:图像整体偏暗、亮度不均、噪声多且杂等。这些会使裂缝很难被辨识或者被完整的提取。为了能清晰完整的分割裂缝与背景,需对裂缝图像进行预处理。本文采用下列步骤对图像进行预处理:

Step 1 对图像进行灰度化及降低分辨率处理。

Step 2 用加权邻域平均法^[6]对图像进行平滑操作,去除噪声。

Step 3 用八方向 Sobel 算子^[7]对图像进行边缘增强。

收稿日期:2015-03-25

稿件编号:201503352

作者简介:李媛媛(1991—),女,陕西西安人,硕士研究生。研究方向:数字图像处理在道路方向的应用。

2 传统的 OTSU 阈值分割

传统的 OTSU 法是按图像的灰度特性,找到使类间方差最大的阈值,将图像分成前景和背景两部分。前景和背景之间的类间方差越大,说明构成图像的两个部分差别越大。但是这种算法对噪声和目标的大小十分敏感,它仅对类间方差为单峰的图像产生较好的分割效果。而实际中,摄取的路面图像通常会出现整体偏暗,裂缝目标与背景的大小比例悬殊且亮暗不均、噪声多等问题,其类间方差函数可能会出现双峰或多峰。此时,传统的 OTSU 算法的二值分割效果并不理想。

3 改进的 OTSU 阈值分割法

3.1 裂缝图像的霍夫矩阵分析

一般来说,沥青混凝土路面裂缝大体分为两种类型:一种是荷载型裂缝,即主要由于行车荷载作用下产生的裂缝。另一种是非荷载型裂缝,以温度裂缝为主的低温收缩裂缝和温度疲劳裂缝。两种类型的裂缝分别通过横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝和反射裂缝等形式表现出来。一幅分割良好的二值裂缝图像,前景应为一或多条裂缝,背景无噪声。为此,可以把二值裂缝图像近似认为是在低噪声背景上的一条或多条线段。

霍夫变换是检测图像形状的基本方法,其基本应用就是从二值图像中检测直线。基本思想是把图像平面上的点映射到参数平面上的线,最后通过统计特性来解决问题。假如图像平面上有两条直线,那么最终在参数平面上就会看到两个

峰值点,依此类推。由于 $y=k*x+b$ 形式的直线方程没有办法表示 $x=c$ 形式的直线(斜率为无穷大)。所以采用参数方程:

$$p=x*\cos\theta+y*\sin\theta \quad (1)$$

这样,图像平面上的一个点就对应到参数($p-\theta$)平面上的一个曲线上。其中 θ 为直线斜率角,范围为 0 到 180; p 为原点到直线的距离,范围为 0 到图像对角线长度。一幅数字图像的大小为 $M*N$,则经过霍夫变换,得到参数平面上一个 $180*\sqrt{M^2+N^2}$ 大小的矩阵,记为霍夫矩阵。霍夫矩阵中的值代表参数平面上被映射的点的个数,霍夫矩阵中的极大值对应着平面上的一条直线。为研究裂缝图像的霍夫矩阵特性,把霍夫矩阵的值映射到灰度空间的一幅图像,记为霍夫图像。矩阵值的范围为 (a,b) ,8 位图像的灰度空间范围为 $(0,0xff)$,则矩阵中的一个点把 $B(x,y)$ 值映射到灰度空间的方法为:

$$Gray(x,y)=\frac{(B(x,y)-a)*255}{b-a} \quad (2)$$

其中, a 为 0, b 为霍夫矩阵中的最大值, $Gray$ 为映射后的灰度值,255 为十六进制 0xff 的十进制表示。

把霍夫矩阵映射为霍夫图像是为了直观的看到霍夫矩阵中统计量的变化,观察矩阵中极值的分布情况。设置分割后图像的前景点为白色,一条近似直线如图 1(a)所示,其所有前景点在霍夫图像(图 1(b))中分别对应一条曲线。一条直线上的所有前景点在($p-\theta$)平面上的曲线最终都会相交于一点,形成霍夫图像中最亮的点(极大值点),如图 1(b)所示。由极大值点的参数就可以得到原图中的近似直线,如图 1(c)所示。



图 1 近似直线的处理过程

Fig. 1 Process of approximate line image

纯噪声点图像处理结果如图 2 所示,可以看出,由于噪声点近似均匀分布,没有近似直线的组成,前景点映射到参数($p-\theta$)平面,映射图近似均匀分布,霍夫矩阵中没有突变的极大值,即映射图中没有某一点亮度有突变。

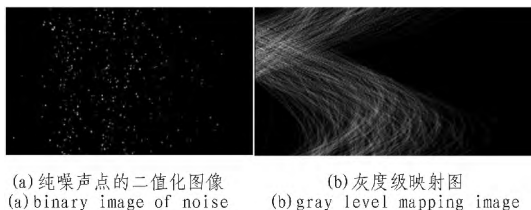


图 2 噪声图像的处理过程

Fig. 2 Process of noise image

对比图 1 图 2 可以得出,映射后霍夫图像越趋近一个点,映射前图像越趋近一条直线。把映射后霍夫图极大值所

在的较亮区域的像素记为目标像素,分割后裂缝图像对直线的趋近程度在霍夫图像中反映为目标像素在前景像素中的分布情况。一幅分割良好的裂缝图,其映射的霍夫图像中,目标像素都分布在极大值点附近。对裂缝图分割效果的评价可以由霍夫图像中目标像素的分布情况统计得出。

3.2 基于霍夫变换的分割算法

一幅待分割灰度图像,其大小为 $w*h$,灰度级范围为 $\{1,2,\dots,S\}$ 。阈值 T 将图像分为前景 $C_f\{1,2,\dots,s\}$ 和背景 $C_b\{s+1,\dots,S\}$ 。对所有属于前景的 C_f 像素点进行霍夫变换,映射到霍夫矩阵中,构造对霍夫矩阵中目标像素分布的统计量 $H(t)$:

$$H(t)=\frac{\sum c_1(x,y)}{\sum c_2(x,y)} \quad (3)$$

$$c_1(x,y) \begin{cases} 1 & \text{Gray}(x,y) > \text{Max}(\text{Gray}(x,y)) * p \\ 0 & \text{Else} \end{cases} \quad (4)$$

$$c_2(x,y) \begin{cases} 1 & \text{Gray}(x,y) > 0 \\ 0 & \text{Else} \end{cases} \quad (5)$$

$$T = \min(H(t)) \quad (6)$$

H 大小反应了霍夫矩阵中目标像素的分布情况。新算法首先用传统 OSTU 算法找到基准阈值 t_1 , 然后用 $H(t)$ 作为评价标准, H 越大, 说明目标区域占比高, 即极大值附近像素过多, 噪声多, 分割后图像对直线趋近率低。寻找 t_1 附近获得最小 H 值时的 T 作为最终阈值才能使二值分割达到最佳状态。这里, 目标像素定义为: 霍夫图像中灰度大于最大灰度 $p\%$ 的像素。

3.3 新算法中 p 值选取分析

p 的选取影响对统计量 H 的计算, 最终影响对分割效果的判断。为了研究 p 选取不同值时对 H 值的影响, 对一幅含有较多噪声的裂缝灰度图像进行多阈值分割, 并记录对应阈值的霍夫图像映射图, 以及在不同的 p 下, H 值的变化, 如图 3 所示:

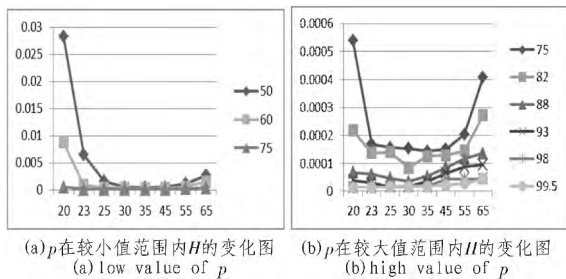


图 3 多 p 值下不同阈值分割后的极大值分布统计

Fig. 3 Maximum value distribution statistics at different threshold under different p value

可以看出, 当 p 选取 98% 以上时候, H 统计的较亮区域像素个数在非背景像素的占比都很小, H 值曲线为缓慢递增, 不能表现出最佳阈值附近 H 值的极小趋近情况。当 p 选取过小为 82% 以下时候, 统计量在较差阈值时急剧增高, 虽然 H 值曲线整体趋近凹函数, 但最小值处波动较大, 不能在最佳阈值附近取得最小值。当 p 取值为 88% 和 93% 的时候, H 值曲线趋近凹函数, 在最佳阈值 30 附近取得极值, 符合 H 值在最佳阈值分割时候取得最小值这一规律。故算法中的 p 取值为 90%。

4 测试分析

4.1 同一图像算法验证

对一裂缝图像进行不同阈值的分割, 在 p 取 90% 时候, 从小阈值到过大阈值, 其映射图及对应的阈值分割图如图 7 所示, 不同阈值分割后的极大值分布如表 1 所示。通过对比分析发现, 图 4(a) 选取的阈值过小, 对应极大值分布 H 偏大, 映射曲线过多, 亮度突变并不明显, 分割出来的图像如图 4(b) 所示, 前景点过多, 裂缝的部分特征被噪声点淹没, 较难识别。而图 4(e) 选取的阈值过大, 映射图中的曲线较少, 对应极

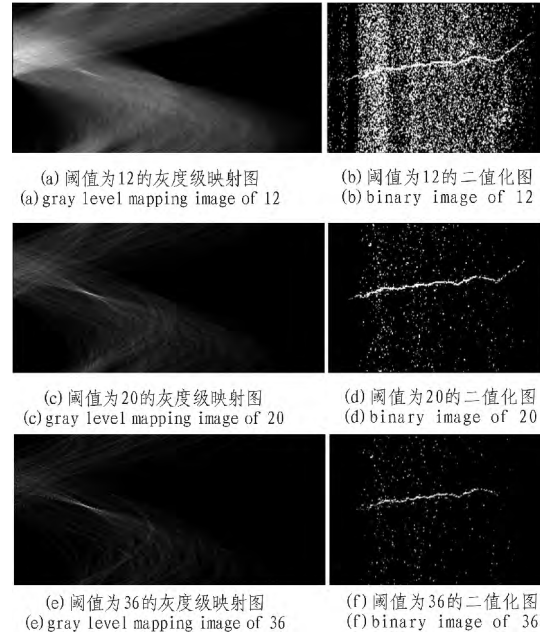


图 4 新算法最佳阈值逼近过程映射图及相应的阈值分割图

Fig. 4 Gray level mapping image and Binary image at different threshold

大值分布 H 也较大, 分割出的图像如图 4(f) 所示, 部分裂缝被置为背景, 影响裂缝提取的完整度。而图 4(c) 选取的阈值对应的极大值分布 H 在所有的阈值中是最小的, 其映射图中的极大值点亮度突出, 分割出的图像如图 4(d) 所示。对比三幅二值化图像可以看出, 极大值分布 H 最小对应的阈值分割出来的图像效果最好, 裂缝完整且清晰。后续处理中, 根据连通域的面积、形心等统计特性, 去除噪声, 将裂缝从噪声点中提取出来。

4.2 与其他算法的效果对比验证

为了验证新算法的优越性, 本文选择具有代表性的图像, 图 5(a) 的路面裂缝图像 (L1.jpg) 像质清晰, 光照均匀, 噪声较小; 图 6(b) 的图像 (L2.jpg) 明暗不均, 颗粒杂质较多且存在树的倒影, 车辙等痕迹。对这两幅图像进行相同的预处理后, 分别用传统 OSTU 算法和本文提出的基于霍夫变换的改进算法进行二值化处理。结果如图 5 和图 6 所示。

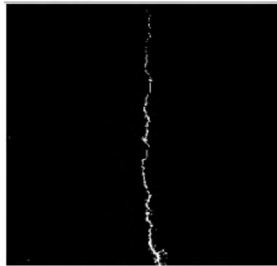
从两幅图像的整体分割来看, 本文的新算法能将裂缝从路面背景中完整良好地分割出来。

图 5 的分割效果对比图说明, 当待测的路面图像像质优良, 光照均匀, 裂缝目标明显, 噪声较少时, 传统的 OSTU 算法和本文的新算法分割效果相当, 没有明显的差异。

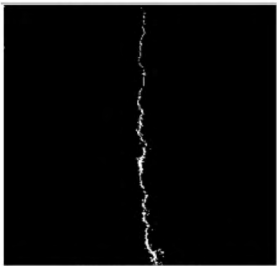
图 6 的分割效果对比图说明, 当待测的路面图像存在树木的投影、车辙等痕迹, 且光照不均, 路面颗粒杂质较多等问题时。由于传统的 OSTU 算法对噪声和目标的大小十分敏感, 分割后过多的噪声淹没了裂缝特征, 且裂缝不连续, 出现了多处断点。而本文新算法的分割效果明显优于传统的 OSTU 算法。图 6(c) 可以看到裂缝完整且连续的与背景分割开来, 这对于后续的裂缝边缘提取和特征识别具有非常重要



(a) 原始图像
(a) original image



(b) 传统OSTU算法
(b) traditional OSTU

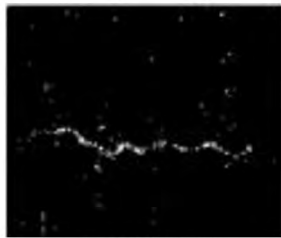


(c) OSTU改进算法
(c) new algorithm

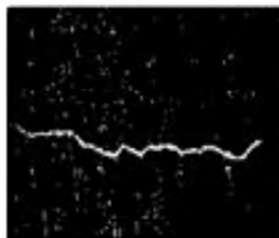
图5 L1.jpg的分割效果对比图
Fig. 5 Binary image of L1.jpg



(a) 原始图像
(a) original image



(b) 传统OSTU算法
(b) traditional OSTU



(c) OSTU改进算法
(c) new algorithm

图6 L2.jpg的分割效果对比图
Fig. 6 Binary image of L2.jpg

的意义。

为了验证新算法的可靠性,选择100幅复杂的存在裂缝的路面图像进行测试,分别统计两种算法分割的成功率。对比结果如表1、表2所示。

表1 新算法分割结果

Tab.1 Test result of new algorithm

	测试图片数量/张	较好分割数量/张	成功率
第一组	32	30	93.8%
第二组	40	36	94.7%
第三组	28	27	96.4%

表2 传统的OSTU分割结果

Tab.2 Test result of Traditional OSTU algorithm

	测试图片数量/张	较好分割数量/张	成功率
第一组	32	13	40.6%
第二组	40	22	55.0%
第三组	28	9	32.1%

从两张表的结果对比中可以看出,对于含有较多噪声的裂缝图像来说,新算法分割的成功率远高于传统算法,且具有良好的稳定性及可靠性,满足裂缝自动检测系统的需求。

5 结束语

针对传统OSTU算法在处理光照不均、路面杂质及沥青颗粒影响的裂缝图片时,二值阈值选取不佳的问题,提出了基于霍夫变换的改进算法,新算法利用图像分割后的霍夫矩阵极大值的分布情况作为判定,不断修正传统OSTU的初始阈值,直至有效分割出裂缝图像。经批量裂缝图像验证,新算法稳定可靠,相比传统算法,有效的提高了裂缝提取的准确性和完整性。但是由于路面图像的复杂性,单一的阈值分割算法并不完全适用于所有的图像,下一步将考虑将图像进行多区域阈值分割,即对针对图像不同区域的特征采用不同的阈值进行分割。进一步提高裂缝提取的准确度和完整度。

参考文献:

- [1] 徐威,唐振民,吕建勇. 基于图像显著性的路面裂缝检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(1): 69-77.
- [2] 徐志刚,赵祥模,宋焕生,等. 基于直方图估计和形状分析的沥青路面裂缝识别算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2260-2266.
- [3] 梁世庆,孙波成,邱延峻. 数学形态学路面裂缝识别算法研究[J]. 路基工程, 2010, (1): 44-46.
- [4] 左敏,曾广平,涂序彦,等. 基于等价对的图像连通域标记算法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(1): 14-16.
- [5] 张亚南,朱长青,杜福光. 多进制小波变换的图像分辨率定量降低方法[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(3): 352-357.
- [6] 杨会云,张有会,霍利岭,等. Bayes理论和邻域平均法在图像去噪中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(9): 149-151.
- [7] 郑英娟,张有会,王志巍,等. 基于八方向Sobel算子的边缘检测算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(11): 354-356.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内刊号: CN61-1477/TN

国际刊号: ISSN 1674-6236

在线投稿系统: <http://mag.ieechina.com>

dzsjgc@vip.163.com (广告)

地址: 西安市劳动南路210号5-1-3信箱

邮政编码: 710082