

P 分位改进算法及其在路面裂缝检测中应用^①

文 立

(湖南理工职业技术学院 信息工程系, 湘潭 411104)

摘 要: 针对传统的 P 分位分割算法容易受到道路标线的干扰, 设计了一种改进型 P 分位算法分别对含有或没有含有道路标线的裂缝图像进行二值化, 其中对不含道路标线的裂缝图像采用传统的 P 分位法, 而对含道路标线的裂缝图像分三种情况进行细化处理. 实验结果表明, 与传统 P 分位算法相比, 改进后的算法对路面裂缝图像分割及后续的图像处理产生较好的效果.

关键词: P 分位法; 道路标线; 神经网络; 路面裂缝

Improved P Algorithm and its Application in Pavement Crack Detection

WEN Li

(Information Engineering Department, Hunan Vocational Institute of Technology, Xiangtan 411104, China)

Abstract: In view of the traditional P algorithm is easy to be interfered by the road markings, this paper designed a kind of improved P algorithm. It is used to obtain binary image for containing or not containing road crack image. The crack image which does not contain the road marking is the traditional P algorithm, and the crack image containing road marking were thinning of three cases. The experimental results show that, with the traditional P algorithm, the improved algorithm for pavement crack image segmentation and subsequent image processing to produce good results.

Key words: P algorithm; road marking; neural network; pavement cracks

公路路面自动检测技术是降低管理成本、提高公路养护效率、减少公路检测人员受伤风险较好的技术手段之一, 因此它成为世界各国科研人员争相研究的热点、难点. 而其中公路路面裂缝检测是公路路面自动检测中较难检测类型之一. 它的技术处理过程一般主要是经历五个阶段: 原始图像采集、图像增强、图像分割、图像分类和评估. 从其处理流程中可以看出图像分割步骤在公路路面裂缝检测中起着非常关键的作用, 裂缝目标的提取好坏即分割效果直接影响到后期裂缝图像的分类和评估. 由于受到公路路面图像的多目标性、裂缝的弱信号性、图像光强的多边形影响, 开发出一种识别率高、运算速度快、通用性强的路面裂缝分割算法是目前广大研究者的一个重大挑战. 本文通过查阅大量文献[1-3]及相关实验后发现阈值分割算法是较好的一类运算速度快、识别率较高的

算法, 如果能对其算法不断进行改进, 增强其通用性, 将会是很好的一类裂缝图像分割算法. 近 30 年目前集中在阈值分割算法方面研究主要有以 Kirschke 等^[4]为代表提出基于直方图的路面裂缝图像统计方法, 其原理是将路面裂缝图像划分为子块, 在子块内根据直方图特征划分裂缝子块和非裂缝子块, 该方法只适用于无道路标线干扰的裂缝图像处理中, 具有算法速度较快特点; Cheng 等^[5]提出基于模糊集的阈值确定方法, 该方法耗时较长, 且无法检测细小裂缝; 孙波成等^[6]为代表的提出最大类间、类内距离准则确定阈值, 提取路面图像的裂缝特征, 从效果看, 该方法对有噪声、道路标线的裂缝图像处理效果欠佳; 李清泉等^[7]提出将裂缝图像从像素级转换为单元级, 用领域差直方图确定阈值, 该方法同样不适合像含有道路标线的裂缝图像识别. 为改善对含有道路标线等弱信号的裂缝图

^① 基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(13C380)

收稿时间: 2014-08-15; 收到修改稿时间: 2014-09-19

像处理效果, 本文提出了一种针对路面裂缝检测的改进型 P 分位算法, 将其应用到路面裂缝分类检测中, 其实验效果不错. 路面裂缝分类检测的处理步骤是: 1)对图像进行融合增强, 如灰度校正等; 2)判断图像是否含有道路标线; 3)对已判断的裂缝图像分别处理, 若含有道路标线的裂缝图像采用改进的 P 分位法二值化, 若不含道路标线的裂缝图像采用传统的 P 分位法二值化; 4)特征提取, 利用 BP 神经网络进行分类. 具体的路面裂缝图像分类流程图如下:

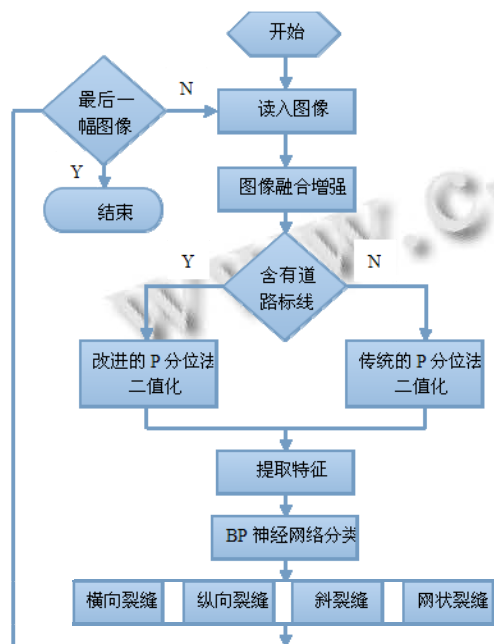


图 1 裂缝图像分类处理流程图

1 传统的P分位算法及其缺点

传统的 P 分位阈值分割算法是在图像增强(预处理)后路面裂缝图像进行二值化, 其原理是:

$$I(x, y) = \begin{cases} 0, I(x, y) > T \\ 255, I(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

其中的 $I(x, y)$ 为图像 F_{Map} 处的灰度值, 阈值 T 满足

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^T h(i) \leq P \quad (2)$$

且

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{T+1} h(i) > P \quad (3)$$

其中 $M \times N$ 分别为图像的宽度和高度, $h(i)$ 为图像的灰度直方图, P 一般根据经验确定, 取值范围为 10~20%.

我们采用传统的 P 分位算法对含有道路标线的裂缝图像进行实验, 其实验结果如下图:

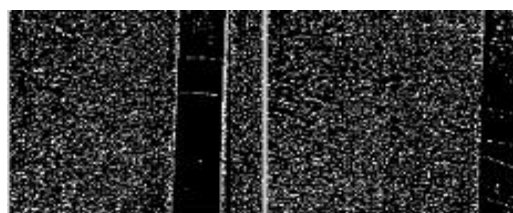


图 2 P 分位算法的实验结果图

从图像中可以看出, 含有道路标线的图像经过 P 分位法处理后在边界处产生较大的连通区域, 以致在提取路面裂缝特征时会产生较大的干扰, 从而会影响裂缝图像分类的正确性. 为此, 在实验基础上本文提出一种改进型的 P 分位算法.

2 改进的P分位算法思想及步骤

改进的 P 分位算法思想:先用最小误差动态阈值法对含有道路标线的裂缝图像进行标线分割; 然后对含有道路标线的裂缝图像和没有含道路标线的裂缝图像分别处理. 如果是没有含道路标线的裂缝图像, 则采用传统的 P 分位算法处理; 如果是含道路标线的裂缝图像, 则采用改进的 P 分位算法处理; 在此处理基础上提取特征, 进行裂缝图像的分类处理.

改进的 P 分位算法步骤:

1) 先采用基于最小误差动态阈值法^[8]将道路标线的图像进行标线分割, 如果图像含道路标线, 则用下述步骤 2~3 操作, 否则采用传统的 P 分位阈值法进行二值化. 最小误差动态阈值法的步骤是:

①将道路标记图像分割成互不重叠的 64×64 的子块图像;

②用最小误差阈值法求出子块图像的阈值, 该阈值视为各块子图像中心点的阈值, 用 $T(i, j)$ 表示. 其中 (i, j) 为子块图像中心点在整个图像中的坐标;

③采用双线性插值法, 采用步骤 2 算出 8×8 个阈值, 求出其他像素点的阈值, 即求出 $T(i, j)$;

④图像每一像素的灰度用 $F(i, j)$ 表示, 如果 $F(i, j) > T(i, j)$, 就判断该点为标线点.

2) 将最小误差阈值法分割出道路边线, 将其标线区域所有像素的灰度置为 -1.

3) 将图像分成大小为 64×64 的子块, 分块统计 0~255 的像素分布, 然后分三种情况进行处理:

①如果图像子块中不含有灰度值为 -1 的像素, 采用传统的 P 分位算法进行二值化;

②如果图像子块中含有灰度值为-1 的像素,就统计灰度值在 0~255 之间的灰度直方图,再用下述公式将子块图像进行二值化,灰度值为-1 处的像素灰度置为 0;

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^T h(i) \leq P \quad (4)$$

$$\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{T+1} h(i) > P \quad (5)$$

③如果图像子块位于道路标线内,直接将子块中所有像素的灰度置为 0;

3 实验结果与分析

本文中采用融合灰度和 Beamlet 变换方法判断图像中是否含有道路标线,其思想是通过 Beamlet 方法检测出路面图像中道路标线的直线边缘,并通过边缘直线及延长线将图像分割区域,然后根据不同区域平均像素灰度差判断是否包含道路标线,最后判断此图像是否含有道路标线。

为说明改进前后 P 分位法在裂缝图像处理中的分割效果,本文从裂缝图像库中随机选定含道路标线的图像进行实验,其效果如下:

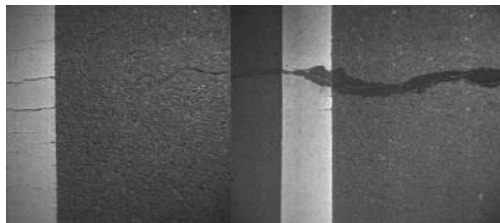


图 3 原始图像

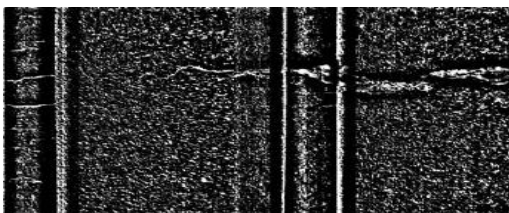


图 4 改进前 P 分位法处理的二值图像

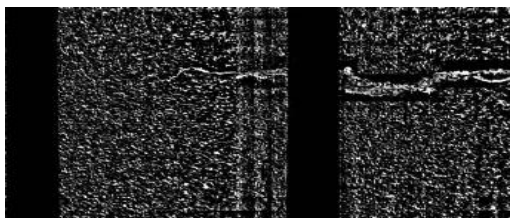


图 5 改进后 P 分位法处理的二值图像

从上述三组图像中,可以看出经过改进后 P 分位法处理的二值图像效果更佳,特别是有效连通区域效

果更好,减少了后续特征提取的干扰.为验证本文算法的实用性,对传统 P 分位法和改进 P 分位法的时间复杂度进行比较,实验硬件环境为 T4500 双核 2.3G 的 CPU,4G 的内存,软件环境为 MATLAB7.1,算法单位时间为毫秒,算法时间结果如下表:

表 1 算法时间复杂度对比(时间单位: 毫秒)

图像	传统 P 分位法	改进的 P 分位法
图 3	20	23

为验证改进后 P 分位法对裂缝图像分类效果的影响作用,进行了道路标线检测、特征提取、BP 神经分类等系列实验.本文根据文献[9]利用垂直方向的投影方差、水平方向的投影方差两个特征实现横向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝、网状裂缝区分,其思想是先采用公式(6~7)计算裂缝图像在水平和垂直方向投影,然后用公式(8~9)计算水平和垂直方向的投影方差.因为横向裂缝的水平方向投影方差较大,垂直方向的投影方差较小;纵向裂缝的水平方向投影方差较小,垂直方向的投影方差较大;斜向裂缝和网状裂缝的水平方向投影方差和垂直方向投影方差都较小,由此区分出横向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝和网状裂缝。

$$X_{(i)} = \sum_{j=1}^M f(i, j), i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$Y_{(j)} = \sum_{i=1}^N f(i, j), j = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

$$X_{\max} = \max\{X(i+10) - X(i); i = 1, 2, \dots\} \quad (8)$$

$$Y_{\max} = \max\{Y(j+10) - Y(j); j = 1, 2, \dots\} \quad (9)$$

路面裂缝分布密度特征能够区分单向裂缝和网状裂缝,其算法思想是先计算裂缝的几何质心坐标,再以几何质心坐标为中心,以 R 为边长作外接矩形,然后计算外接矩形区域内的裂缝像素数和外接矩形面积的比值,就是矩形区域内裂缝像素的分布密度.如果计算出来的百分比小于 80%,则扩大外接矩形的边长,再计算裂缝的分布密度,直到计算出来的比值大于等于 80%为止.最大连通区域外接矩形的长宽比特征能区分含有噪声的单向裂缝类和网状裂缝类图像,其算法思想是:最大连通区域外接矩形的长宽比是指二值图像中最大连通域的物外接矩形长轴 W 与短轴 H 值之比,长轴指二值图像中最大连通域外接矩形的两个像素间最长距离,短轴是指外接矩形长轴的法线与最大连通域的割线长度;根据连通区域特征,对于单向裂

缝,最大连通区域外接矩形的长宽比值较大;对网状裂缝,其比值较小.根据上述方法将提取路面裂缝二值图像的平均分布密度、最大连通区域长宽比、垂直投影方差、水平投影方差四个特征向量.在得到路面裂缝图像的特征后,按照文献[10]提出的改进BP神经网络算法,采用4个特征值对48幅图像进行训练.然后对采集到的400幅裂缝图像进行分类,输出结果用一维向量表示:[0,0]表示横向裂缝图像;[0,1]表示纵向裂缝图像;[1,0]表示斜裂缝图像;[1,1]表示网状裂缝图像.

实验中用到BP神经网络结构参数表如下:

表2 BP神经网络结构参数

输入层神经元个数	隐含层神经元个数	输出层神经元个数	精确度
4	10	4	0.001
训练函数	学习函数	传递函数	训练次数
trainlm	learnqdm	logsig	1000

为验证本文提出的算法有效性,对同一批次的裂缝图像上分别采用传统P分位法提取特征和改进后P分位法提取特征,然后在文献[10]提出的改进后BP神经网络算法进行测试,测试中用到的识别率是每种算法正确识别横向裂缝、纵向裂缝、斜向裂缝、网状裂缝每一类的图像个数与对应类别的人工视觉测试个数之比.测试结果如下:

表3 不同算法识别率的比较

	人工视觉测试个数	传统P分位法基础上BP算法识别率(%)	改进P分位法基础上BP算法识别率(%)	文献[10]算法识别率(%)
横向裂缝	110	88.19	93.8	92.7
纵向裂缝	105	88.57	94.29	91.43
斜向裂缝	95	81.05	89.5	87.37
网状裂缝	90	84.44	95.56	91.11

通过传统P分位法基础上BP算法、改进P分位法基础上BP算法、文献[10]算法测试结果比较.经平均统计,得出传统算法的平均正确识别率是85.56%,改进P分位法基础上的BP算法的平均正确识别率是93.29%,文献[10]算法的识别率是90.65.改进P分位法基础上的BP算法比其它两种算法分别提高7.73%

和2.64%,由此可见,改进后P分位算法的识别率有了比较明显的提高.

4 结论

含道路标线的路面裂缝图像对连通区域特征提取有较大干扰,采用传统的P分位法无法避免这个问题,所以在传统的提取算法基础上进行改进和创新是很有必要的.本文结合道路标线检测特点,在传统P分位算法基础上改进,然后在路面裂缝检测中应用.实验证明改进后的算法在目标分割方面取得不错效果,而且有较强的适用性.但本文的算法也存在不足,对噪声如油污等混合在一起的裂缝图像的目标分割相对效果较差一些,该算法还存在进一步改进的空间.

参考文献

- 1 初秀民,严新平,陈先桥.路面破损图像二值化方法研究.计算机工程与应用,2008,44(28):161-165.
- 2 高建贞,任明武,唐振民,杨静宇.路面裂缝的自动检测与识别.计算机工程,2003,29(2):149-150.
- 3 邱汉兴.基于图像分割的路面裂缝检测与识别研究[学位论文].重庆:重庆交通大学,2012.
- 4 Cheng HD, Chen JR, Glazier C, Hu YG. Novel approach to pavement distress detection based on fuzzy set theory. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999,13(4): 270-280.
- 5 Kirschke KR, Velinsky SA. Histogram-based approach for automated pavement-crack sensing. Journal of Transportation Engineering, 1992, 118(4): 700-710.
- 6 孙波成,邱延峻.路面裂缝图像处理算法研究.公路交通科技,2008,25(2):64-68.
- 7 李清泉,刘向龙.路面裂缝影像几何特征提取算法.中国科技论文在线,2007,2(7):517-522.
- 8 Chow CK, Kaneko T. Automatic boundary detection of the left ventricle from cineangiograms. Computers and Biomedical Research, 1972(5): 338-410.
- 9 高璐.路面裂缝图像检测与分类研究[学位论文].焦作:河南科技大学,2013.
- 10 高璐,黎蔚.改进的BP算法在路面裂缝分类中应用.计算机工程与应用,2012,48(28):201-205.