

文章编号:1004-4213(2010)08-1405-4

# 不均匀光照的路面裂缝检测和分类新方法\*

李刚, 贺昱曜

(长安大学 电子与控制工程学院, 西安 710064)

**摘要:**针对受光照不均影响的路面裂缝图像,提出一种基于 Sobel 算子和最大熵法的图像分割算法,并采用长线段与原图进行与操作和判断黑色像素所占比例的方法去除图像孤立噪声点.根据不同类型裂缝的几何形态,提取投影向量、分布密度和空洞数等特征值作为路面裂缝分类的依据,设计径向基函数神经网络的分类器实现对裂缝的准确分类.实验结果表明,较传统全局阈值算法,本文算法对光照不均图像的处理不仅能很好的提取裂缝边缘,且具有很强的抗噪能力,对路面裂缝的分类准确率高.

**关键词:**图像分割;光照不均;投影;欧拉数;目标分类

**中图分类号:**TP391.41

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20103908.1405

## 0 引言

模式识别是图像处理的重要研究领域,它是将图像处理、特征定义与变换、分类方法、数字计算等各种技术综合应用,自动地识别和分类物体图像中的几何目标、区域纹理和数学描述体的目标的过程.对于路面图像,裂缝目标的分类是模式识别所依赖的最重要特征,也是图像参数提取的重要信息源和基础.文献[1]对传统的遗传算法进行了改进,采用自适应遗传算法进行搜索,同时考虑了像素的空间性,对目标边缘进行检测,找出可能的目标区域.文献[2-3]通过四种结构元素的中值滤波算法增强路面灰度图像,并利用形态学梯度算子、闭合算子进行边缘检测和裂缝空隙弥合,利用改进的腐蚀算子细化裂缝并获取其骨架,通过计数的方法得到裂缝的长度和宽度.文献[4]以路面裂缝图像子块模式特征作为路面裂缝图像的整体特征,在此基础上设计了基于全局优化算法的路面裂缝前馈神经网络分类器.此外,还有用于裂缝检测的图像模糊增强算法<sup>[5-6]</sup>、模糊逻辑法<sup>[7-8]</sup>等,以及用于裂缝分类的 Proximity 方法<sup>[9]</sup>等.

文献中所介绍的算法均是建立在光照均匀、图像受噪声影响小、裂缝目标清晰且能完整分割出来的基础上,低估了路面图像的复杂程度,难以满足工程应用的需求.本文针对现有路面裂缝检测和分类算法的不足,系统地研究了裂缝的存在类型,对算法进行了改进,主要包括两方面:1)针对光照不均引起

的路面图像中间亮、两边暗的问题,提出了一种基于 Sobel 算子和最大熵法的图像分割算法,并利用长线段与原图进行与操作和判断黑色像素所占比例的方法去除了图像孤立噪声点;2)根据不同类型裂缝的几何形态,提取投影向量、分布密度和空洞数等特征值作为路面裂缝分类的依据,设计径向基函数(Radial Basis Function, RBF)神经网络的分类器实现对裂缝的准确分类.

## 1 路面裂缝图像的预处理

利用 Basler L402K 线扫描摄像机辅以 Camera-Link 高速数据采集卡等设备采集路面裂缝图像(采集车最高能以 70 km/h 速度行驶,图像分辨率为  $4\ 080 \times 1\ 000$  pixel<sup>2</sup> 且经 1:4 的小波压缩),由于选用的 LED 照明光源亮度的限制以及路面各部分对光线的反射角度不同,采集到的路面图像亮度明暗不均,且受到路面纹理特征的干扰,路面图像普遍存在缺陷:路面裂缝图像中间亮、两边暗,图像整体偏暗,使得裂缝目标难以辨识.这些缺陷非常不利于路面裂缝图像的处理,严重影响到裂缝目标的分类以及后续的参数提取,甚至会得到错误的结果.因而,首先对路面图像进行预处理来消除这些缺陷.

### 1.1 改进的光照不均路面图像的处理算法

对于光照不均的路面裂缝图像见图 1(a).如果直接采用传统的全局阈值法对其进行分割,算法很容易将目标区域误认为是背景,从而使分割后的图像出现大块白色区域,甚至会丢失整幅图像信息,见图 1(b).

依据裂缝目标与相邻像素点具有紧密相关性,而噪声点与相邻像素无关的特点,本文提出基于 Sobel 算子的边缘检测来提取裂缝目标,实现路面

\*教育部特殊地区公路工程重点实验室项目(KLP200501)和陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2007E229)资助  
Tel:029-82334364 Email:lglg930@163.com  
收稿日期:2008-12-12 修回日期:2009-02-03

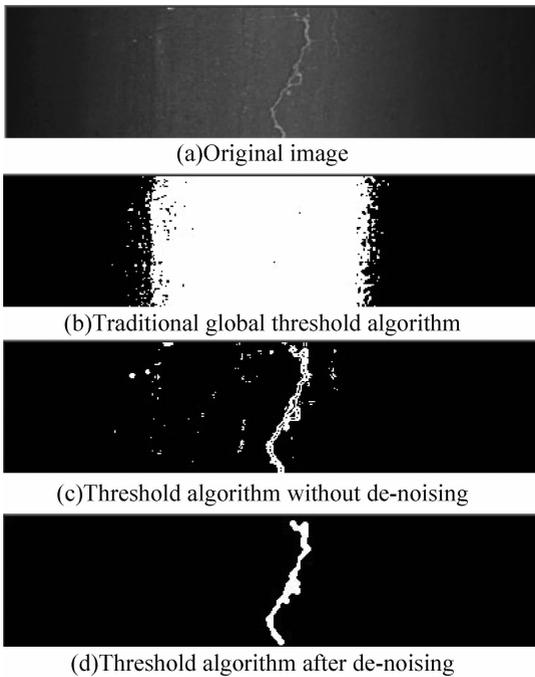


图1 不同算法的路面裂缝图像预处理

Fig.1 The result of different enhancing methods of the pre-processing for the crack pavement image

图像的二值化,具体步骤为:

**Step 1** 采用基于准米字窗口的中值滤波进行图像平滑运算.

**Step 2** 构造 8 个方向的卷积核,利用 Sobel 算子对图像进行边缘检测.

**Step 3** 利用最大熵法对图像进行二值化运算.

依据此流程进行二值化后,得到图 1(c)所示的分割图像.

## 1.2 去除孤立噪声点

可以看到,在二值图 1(c)上仍然存在一些孤立噪声点,这些噪声点会影响到后续的裂缝分类以及参数提取等工作,因此还需进一步消除这些孤立噪声点.采用长线段与原图进行与操作和判断黑色像素所占比例的方法,可以有效去除孤立点,步骤为:

**Step 1** 用 3 个像素长的线段,在  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $135^\circ$  四个方向上扫描二值化图,对其进行与操作.如果在任意一个方向上值为 1,就保留该区域,否则认为是背景.经过这一步处理可消除大部分孤立噪声点.

**Step 2** 判断  $3 \times 3$  邻域内,黑色像素所占的比例,低于设定值,认为是噪声,并将其去除,否则保留.

经以上步骤可以得到去噪后的二值化图像,见图 1(d).

对比处理前后的图像,可以看出,绝大部分孤立噪声点被去除.由分割图像可知,本文提出的分割算法明显优于传统的全局阈值法.

## 2 路面裂缝图像的目标分类算法

路面裂缝类病害主要包括横向裂缝、纵向裂缝、不规则网状裂缝和龟裂裂缝,此类裂缝的主要差异体现在拓扑性质上,因而根据拓扑形态上的差异实现对它们的分类是一种有效的分类方法.在数字图像中,能表现拓扑性质的量是指当图像伸缩变化时,保持图像特征不变的量,欧拉数恰好就是可以描述物体结构而与其特定几何形状无关的拓扑参数.由于横向裂缝和纵向裂缝具有较强的方向,而块状裂缝和网状裂缝方向性较弱,裂缝在不同方向上的投影有较大差异.因此本文提出一种基于投影向量、分布密度和欧拉数的路面裂缝分类的新方法.

### 2.1 利用投影法区分线性裂缝与不规则网状裂缝

基于预处理过程得到的二值图像  $I$ ,将其裂缝目标像素点取值为 1,将完好路面背景像素点取值为 0,分别计算图像  $I$  在水平方向和垂直方向上的投影向量  $X$  和  $Y$ .

$$X(i) = \sum_{j=0}^M I(i, j) \quad i=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$Y(i) = \sum_{i=0}^M I(i, j) \quad j=1, 2, \dots, N \quad (2)$$

通过对大量裂缝图像作投影运算知:1)对于一条标准的横向裂缝,轴的投影向量会出现一个明显的波峰,而  $Y$  轴投影的波形均匀,不会出现突出的波峰,见图 2(a);2)对于一条标准的纵向裂缝, $X$  轴的投影信号将会出现一个明显的波峰,而  $Y$  轴投影的波形均匀,不会出现突出的波峰;3)对于龟裂和网状裂缝,由于是不规则的各个方向的线段组成的,所以  $X$  轴和  $Y$  轴的投影都会出现多个明显的波峰,如图 2(b).

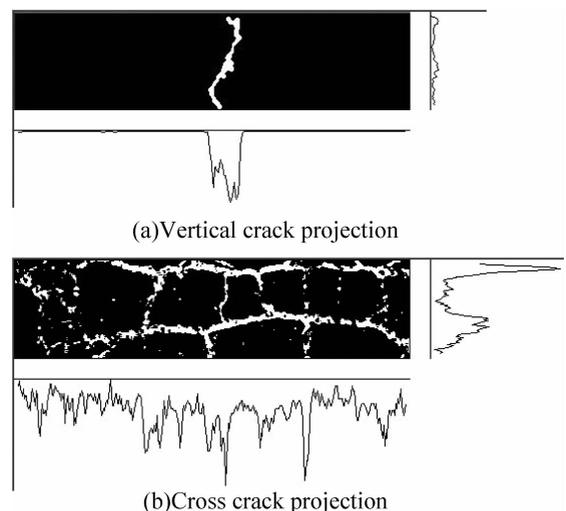


图2 投影向量的运算

Fig.2 Calculation of the projection vector

分别对投影序列  $X(i)$ 、 $Y(j)$  进行差分运算,并对其差分做绝对值累加,即

$$Q_s = \sum_{i=0}^N |X_s(i+1) - X_s(i)| \quad (3)$$

$$Q_t = \sum_{j=0}^N |Y_t(j+1) - Y_t(j)| \quad (4)$$

依据投影特征可知,  $Q_s$ 、 $Q_t$  能反映裂缝特征值在不同方向上的分布情况, 它们的值越大, 其裂缝图像在该方向上的投影差作绝对值累加就越大, 因此: 1) 横向裂缝的  $Q_t$  明显大于  $Q_s$ ; 2) 纵向裂缝的  $Q_s$  明显大于  $Q_t$ ; 3) 网状裂缝的  $Q_s$  与  $Q_t$  的值差别不大. 投影方差可以将横向裂缝与纵向裂缝有效区分, 但不能将网状裂缝和龟裂类裂缝很好的区分.

## 2.2 裂缝区域像素数及其分布密度

不同的裂缝类型包含的总像素数 sum 存在较大差异, 横向裂缝和纵向裂缝往往只占整幅图像中很小的一部分比例, 因此其像素数目较少; 网状裂缝占据了图像较大面积, 因而其像素数较多; 龟裂裂缝可看作是一种更密集的网状裂缝, 其占有的像素数大于网状裂缝. 因此, 裂缝包含的像素数在一定程度上可以反映裂缝分类信息.

设裂缝的分布密度为  $p$ , 其值为裂缝区域像素数 sum 和裂缝区域的外接矩形面积  $S_a$  的比值. 在实际的分割算法中, 裂缝区域的外接矩形可直接通过其最外围的像素点获得, 但直接计算比值的方法得到的分布密度误差也很大, 需对算法进行改进, 改进算法的步骤为:

**Step 1** 计算裂缝的几何质心坐标  $x_{geo}, y_{geo}$

$$x_{geo} = \frac{1}{\sum_{I(i,j) \neq 1} j} \quad (5)$$

$$y_{geo} = \frac{1}{\sum_{I(i,j) \neq 1} i} \quad (6)$$

**Step 2** 以  $I(x_{geo}, y_{geo})$  为中心, 以  $2r+1$  为边长做外接矩形 ( $r$  初始化为 10), 并计算外接矩形区域内的裂缝像素数  $sum_r$ . 占总的像素数 sum 的百分比  $p$ , 如果  $p \leq 80\%$ , 转 Step 3, 否则转 Step 4;

**Step 3** 令  $r=r+10$ , 并转 Step 2;

**Step 4** 计算裂缝的分布密度  $p = sum_r / (2r+1)^2$ .

分析可知, 线性裂缝的分布密度一般较小, 而网状裂缝的分布密度较大, 龟裂裂缝的分布密度最大, 因而可将裂缝区域像素分布密度  $p$  作为判断裂缝类型的依据之一.

## 2.3 基于改进欧拉数的裂缝分类

在二维图像中, 欧拉数  $E$  定义为图像目标连接体数  $C$  与其中的孔洞数  $H$  之差. 用公式表示为:

$$E = C - H \quad (7)$$

对于二值化后的路面图像  $I$ , 孔洞数  $H$  被定义为具有边界的背景区域, 即网状裂缝边缘目标边缘像素所包围的区域. 对于无孔洞图像, 可以用欧拉数来计算连接体数目或作为判定线性裂缝的条件. 欧

拉数是利用相邻像素值计算的, 由于图像的连接分为四连通和八连通, 因此四连通和八连通的欧拉数计算公式不同, 具体为

$$\text{四连通: } E(4) = Q_1 - Q_3 + D_1 \quad (8)$$

$$\text{八连通: } E(8) = Q_1 - Q_3 - D_2 \quad (9)$$

式中,  $Q_1, Q_3, D_1$  和  $D_2$  分别代表二值图像  $I$  中具有如下排列模式  $\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$  的个数.

为简化欧拉数的运算过程, 本文提出一种计算图像欧拉数的新公式, 它只需对图像采用逐行扫描由上而下的方式扫描一次, 而且每次只需使用两行数据, 占用内存少. 同时对四连通和八连通所用公式是统一的. 公式为

$$E = \sum_{m=1}^M \sum_{k=0}^K (1 - V_{mk}) \quad (10)$$

式中,  $V_{mk}$  表示图像第  $m$  行, 第  $k$  个图段所对应的上相邻域. 而且  $V_{m0} \equiv 1$ , 即当  $k=0$  时,  $v_{mk} = 1$ . 表示当  $m$  行无图段时, 该行对欧拉数无贡献. 计算四连通与八连通欧拉数的区别仅在于第  $k$  段所对应的上一行的宽度不同, 八连通比四连通左右各多一个像素.

分析欧拉数、孔洞数与路面图像裂缝类型的关系可知: 1) 线性裂缝的孔洞数  $H \leq 1$ ; 2) 网状裂缝和龟裂裂缝的孔洞数  $H \geq 1$ ; 3) 网状裂缝图像中单位面积的孔洞数远远小于龟裂类裂缝的孔洞数. 根据这一原理, 结合投影方差  $Q_s, Q_t$ 、裂缝区域像素分布密度  $p$  和空洞数可以对四类裂缝进行有效的分类.

## 2.4 裂缝分类实验

在 Visual C++ 6.0 开发环境中, 结合 MIL 8.0 动态链接库中的函数, 分别计算图像的投影方差  $Q_s, Q_t$ 、像素分布密度  $p$  以及图像的空洞数  $H$ , 并依据上述分类原理实现了裂缝分类算法. 实验采用基于 RBF 神经网络的分类器对裂缝进行分类实验, 该分类器采用梯度下降法, 通过比较选定径向基层为 50 个节点, 输入节点为 4 个, 输出节点为 4 个. 分类器的输入为向量  $(Q_s, Q_t, p, H)$ , 输出为 (01、10、11、00), 分别表示横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝和龟裂裂缝. 选取 200 幅图像求得 200 个特征向量, 作为训练样本, 且目标误差设定为 0.018, 训练 5000 次后学习过程收敛, 分类结果如表 1.

表 1 裂缝图像分类统计

Table1 classify and statistics for crack image				
	Horizontal crack(01)	Vertical crack(10)	Netted crack(11)	Checking crack(00)
Total of image	123	115	68	37
Correct statistics number	113	106	58	29
Precision	91.9%	92.2%	85.3%	78.4%

从表 1 的结果可以看出,本文采用的分类方法准确率高,能满足工程实际中裂缝分类精度要求。

### 3 结论

针对光照不均的路面裂缝图像呈现的中间亮、两边暗等问题,本文设计了基于 Sobel 算子和最大熵法的路面裂缝图像分割算法,并采用长线段与原图进行与操作和判断黑色像素所占比例的方法去除了图像孤立噪声点;通过抽取投影方差  $Q$ 、 $Q_i$ 、像素分布密度  $p$  以及图像的空洞数  $H$  四个具有鉴别意义的特征值,设计 RBF 神经网络对裂缝进行分类。实验表明,本文算法能够准确把握裂缝的线性特征及裂缝目标像素对相邻像素的紧密相关性,克服了传统的全局阈值法易受噪声、杂物以及不均匀光照条件等干扰的问题,对不同状况路面中的裂缝均能取得良好的检测效果,是一种高效实用的弱目标图像处理算法,且对裂缝的分类取得了较高的准确率。

#### 参考文献

- [1] ESQUEF I, ALBUQUERQUE M, ABUQUERQUE M. Nonextensive entropic image thresholding: proceedings of the XV brazilian symposium on computer graphics and image processing[C]. Fortaleza-CE: IEEE, 2002, **8**: 402-403.
- [2] YAN Mao-de, BO Shao-bo, HE Yu-yao. A method of image detection and analysis for pavement crack based on morphology [J]. *Journal of Engineering Graphics*, 2008, **2**(2): 142-147.
- 闫茂德, 伯绍波, 贺昱曜. 一种基于形态学的路面裂缝图像检测

- 与分析方法[J]. *工程图学学报*, 2008, **2**(2): 142-147.
- [3] HUI Jian-jiang, LIU Zhao-hui, LIU Wen, *et al.* Application of mathematical morphology on infrared image of multi-dim-small target[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(4): 626-629.
- 惠建江, 刘朝晖, 刘文, 等. 数学形态学在红外多弱小目标提取中的应用[J]. *光子学报*, 2006, **35**(4): 626-629.
- [4] CHENG H D, WANG J, HU Y G. A novel approach to pavement cracking detection based on neural network [J]. *Transportation Research Record 1764, Assessing and Evaluating Pavement*, 2002, **30**(2): 119-127.
- [5] TANG Lei, ZHAO Chun-xia, Wang Hong-nan, *et al.* An adaptive fuzzy enhancement algorithm for road surface images [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(10): 1943-1948.
- 唐磊, 赵春霞, 王鸿南, 等. 一种自适应路面图像模糊增强算法 [J]. *光子学报*, 2007, **36**(10): 1943-1948.
- [6] HUANG Xin-an, LIU Zhao-hui, JIANG Hai-jun, *et al.* Search algorithm for image serial usefulness target segment based on contrast box [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(9): 1917-1920.
- 黄信安, 刘朝晖, 蒋海文, 等. 基于 Contrast box 算法的图像序列有用目标段搜寻方法 [J]. *光子学报*, 2008, **37**(9): 1917-1920.
- [7] XIE Mei-hua, WANG Zheng-ming. Edge-directed enhancing based anisotropic diffusion denoising [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2006, **34**(1): 59-64.
- 谢美华, 王正明. 基于边缘定向增强的各向异性扩散抑噪方法 [J]. *电子学报*, 2006, **34**(1): 59-64.
- [8] SHUAI Hui-jing, WANG Yong-tian. A new denoising method for small target detection [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 609-612.
- 袁慧晶, 王涌天. 一种抗干扰的弱小目标检测方法 [J]. 2004, **33**(5): 609-612.
- [9] HUANG Ya-xiong, XU Bugao. Automatic inspection of pavement cracking distress [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2006, **15**(1): 1-6.

## A Novel Image Detection and Classification for Pavement Crack under Non-uniform Illumination

LI Gang, HE Yu-yao

(School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Compared with traditional global threshold algorithms, which can not extract the pavement crack exactly under non-uniform illumination, an improved image segmentation and classification method is proposed to overcome the drawbacks. Firstly, a new image segmentation method combining sobel and maximum entropy is presented and the solitary noise is reduced based on the pixel geometrical shape of the image. Secondly, a pattern classifier based on RBF neural network is designed to recognize different cracks according to the geometrical shape differences of different cracks. The experimental result indicates that compared with other image segmentation algorithms, the method proposed in this paper has a good ability to extract the image edge, and a strong ability to suppress the noise in the image. Moreover, it can achieve classification accuracy.

**Key words:** Image segmentation; Non-uniform illumination; Projection; Euler number; Target classification



**LI Gang** was born in 1975. He is a Ph. D. degree candidate, and his research interests focus on image processing and pattern recognition.



**HE Yu-yao** was born in 1956. Now he is a Doctorial Supervisor and his research interests focus on intelligent control and pattern recognition.