

# 路面病害巡检评估系统中的裂缝检测技术

郭全民 刘才臻

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

**摘要:** 由于使用手持设备的网络型混凝土路面病害巡检评估系统与车载道路检测系统的病害图片处理方法不同,针对使用手持设备的网络型混凝土路面病害巡检评估系统提出一种基于图像处理的可纠正图像畸变的混凝土路面裂缝检测技术。1)使用张定友法对摄像头进行标定,获得摄像头内外参数;2)对路面病害图像进行预处理;然后,通过阈值分割法检测出路裂缝,根据背景连通域数量的差异,实现了裂缝分类;通过投影法对出横、纵和斜向裂缝实现分类。3)对线性裂缝提取裂缝骨架细化并根据实际版块长宽,求出裂缝长度、平均宽度等病害参数;对于网状裂缝通过求其最小外接矩形计算其破损面积。

**关键词:** 图像处理;路面病害;相机标定;裂缝检测

**中图分类号:** TP391 U41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Pavement crack detection method in concrete pavement disease detection and estimation system

Guo Quanmin Liu Caizhen

(School of Electronic Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Due to the different of image processing method between pavement disease detection and estimation system with handheld device and road detection system with vehicle, this paper proposes a concrete pavement crack detection method based on image processing, which can correct image distortion. Firstly, camera calibration is accomplished at first to obtain pterior parameters and exterior ones. Secondly, preprocessing is implemented, which includes gray image, gray-scale stretching and median filter. Thirdly, choose threshold segmentation algorithm(OTSU) to segment crack and background. After that, based on the different count of background connection domain between linear crack image and reticular one, classify cracks automatically. Linear crack can be subdivided to vertical, horizontal and slant crack thought projection method. The length of Linear crack can be obtain by thinning to single pixel line, then the mean width of linear crack is calculated by its percent of plate pixel count. Finally, the damaged area is calculated with reticular crack minimum enclosing rectangle.

**Keywords:** image processing; pavement disease; camera calibration; crack detection

### 1 引言

在我国国民经济的蓬勃向上的环境下,公路交通运输业也得到了迅猛的发展,公路交通量大幅度增长,公路里程急速增加,因此对我国道路养护技术提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。

目前的道路检测系统主要分为基于车载和基于手持设备2种。国内外所研发的车载道路检测系统一般在承载车前后侧安装激光或CCD线扫描相机,承载车在路面上高速行驶,通过图像信息采集模块获取路面图像,再通过承载车上的图像信息处理模块进行实时分析,得到路面

灾害信息。基于手持设备系统的传统检测方法是在道路现场,对路面裂缝、凸起等病害部位进行手工测量,获取其长度、宽度、面积等病害信息,再将其手动录入到手持设备,最终上传至上位机,进行汇总分析。

基于手持设备的网络型混凝土路面病害巡检评估系统是一种通过手持设备采集图像信息再用上位机进行图像处理的路面检测系统,其特点在于使用手持设备可以全方位采集路面病害部位图像信息,通过有线或无线方式将信息上传至服务器或客户端,再进行自动识别和分析处理。该系统符合我国当前大多数公路养护的实际情况,具有一定的实用性。

收稿日期:2015-03

该文给出了一种针对使用手持设备的网络型道路检测系统的路面病害图像检测处理方法,能够区分出不同类型的混凝土裂缝,并自动提取出其相应的病害参数。

## 2 混凝土裂缝图像检测算法原理

### 2.1 手持设备摄像头标定

由于网络型路面病害检测系统中包含有多个手持设备,经由手持设备采集得到的路面病害图像会产生畸变,因此需要对手持设备摄像头进行标定。使用“张正友法”来完成标定。其使用一个精确的点阵模板,通过模板物理坐标和图像坐标的单应矩阵求解相机内参数<sup>[2]</sup>。使用一个 $9 \times 6$ 的棋盘模板来进行标定。手持设备在多个角度距离对模板进行图像采集,对多幅图像(理论要求3张以上,实际在20张左右)进行标定处理,得到相机内外参数,并对原始图片进行纠正,如图1所示。

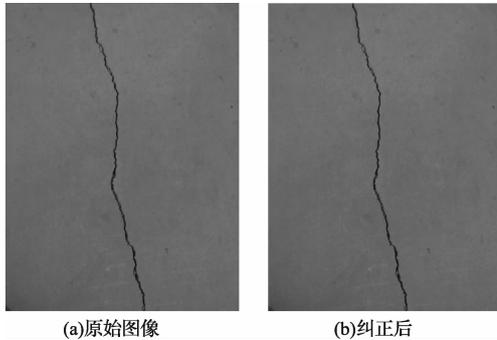


图1 相机标定后纠正

假定模板平面在世界坐标系 $Z=0$ 的平面上,则相机成像模型可变化为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \lambda K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \lambda K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

令 $H = [h_1 h_2 h_3] = \lambda K [r_1 r_2 t]$ ,则 $r_1 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_1$ , $r_2 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_2$ 。根据已知的空间三维点的坐标与像素坐标系下的坐标用最小二乘法可以求出 $H$ 。由于摄像机有5个未知内参数,图像数目大于等于3时,就可以线性唯一求解出。

### 2.2 裂缝病害图像的预处理

采集到的路面裂缝病害图像为彩色,其中包含很多不必要的信息,造成裂缝特征不明显,影响目标的识别。

首先对纠正后的裂缝图像进行灰度化。由于人眼对彩色的感知度不同,将R、G、B三分量以不同的权值加权平均得到合理的灰度图像<sup>[3]</sup>,如图2(b)所示。

图像灰度经过线性拉伸以后图像的提高了对比度,视觉感受更为明显<sup>[4]</sup>,结果如图2(c)所示。

中值滤波能有效消除路面病害图像椒盐噪声<sup>[5]</sup>,结果如图2(d)所示。

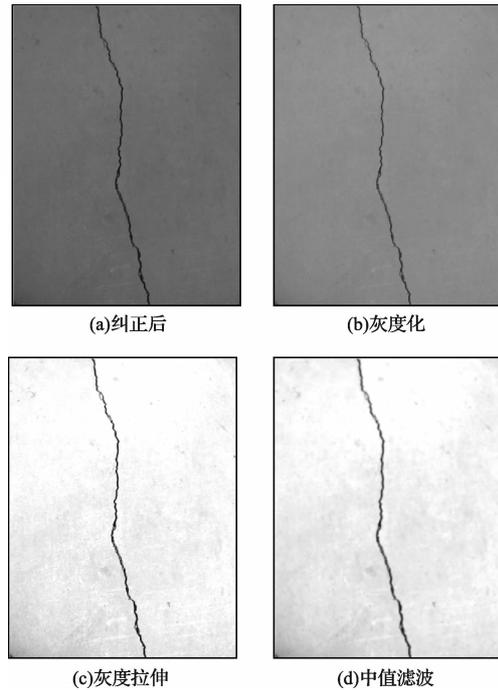


图2 路面病害图像预处理

### 2.3 阈值分割

阈值分割的思想是通过设置一个处在图像灰度值范围内的阈值,对图像中的每一个像素,令其灰度值与阈值比较,灰度值大于阈值的像素为一类,否则认为是另一类<sup>[6]</sup>。采用最大类间方差法(OTSU算法)来自动获取阈值<sup>[7]</sup>。

$L$ 表示裂缝图像的灰度级,其中灰度值为 $i$ 的像素有 $n_i$ 个,像素总个数 $N$ ,那么某个灰度级的像素数所占概率为 $P_i = \frac{n_i}{N}$ 。现假定图像的分割阈值为 $t$ ,以 $t$ 为界可以将图像灰度级分为 $C_0$ 和 $C_1$ 2大类,即:

$C_0$ 和 $C_1$ 类间的方差为:

$$\sigma^2 = \omega_0(t) [\mu_0(t) - \mu]^2 + \omega_1(t) [\mu_1(t) - \mu]^2 \quad (2)$$

式中: $\mu_0(t)$ 和 $\mu_1(t)$ 表示2大灰度类出现的均值, $\omega_0(t)$ 和 $\omega_1(t)$ 表示2大灰度类出现的概率, $\mu$ 为整体均值。当 $\sigma^2$ 取得最大值时, $t$ 就为所求的最佳阈值。

取得最佳阈值后,再对图像进行二值化,最后效果如图3所示。

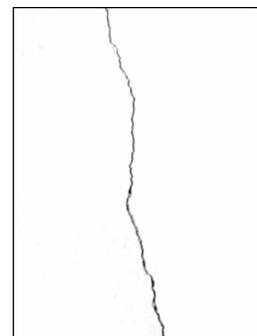


图3 OTSU自动阈值分割

### 2.4 裂缝的分类算法

线性和网状裂缝是混凝土路面裂缝主要的2大类别,这2类裂缝的评定指标不同,因此先初步区分2类裂缝。

第1步,利用标记连通域的方法区分线性和网状裂缝<sup>[8]</sup>。

这2类裂缝会将背景割裂,而它们造成的背景连通域个数有所不同。网状裂缝图像背景区域被裂缝分成3个以上连通域,如图4(a)和(b)所示。图像背景则会被线性裂缝分成2个连通域。求得背景连通域的个数 $N$ ,设阈值为 $T_n$ ,若 $N \leq T_n$ ,则判定为线性裂缝;若 $N > T_n$ ,则判定为网状裂缝。区分结果如图4(c)和(d)所示。

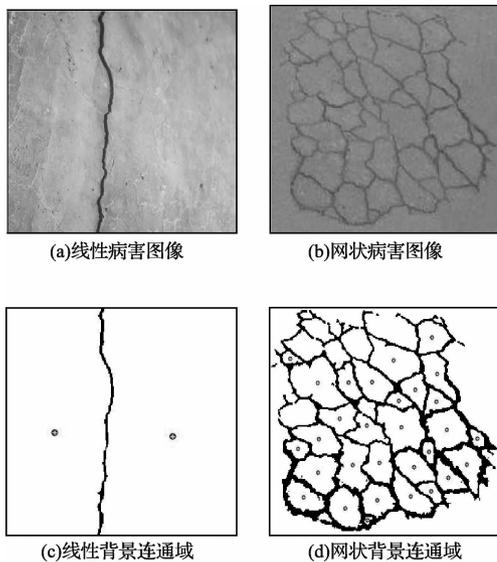


图4 标记背景连通区域的图像

第2步,采用投影法细分线性裂缝。

线性裂缝可以通过投影法被将细分为斜向、横向和纵向裂缝。将裂缝图像在X轴方向做水平投影和Y轴方向做垂直投影可知:

1)对纵向裂缝的X轴和Y轴分别做水平和垂直投影,在X轴方向直方图上会出现明显的波峰,而在Y轴方向直方图上,波峰幅值相差不大,波形整体均衡,如图5所示。

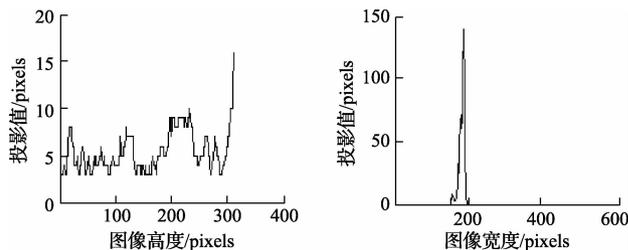


图5 纵向裂缝投影

2)对于横向裂缝,可以将其视为纵向裂缝旋转90°,因此对其X轴和Y轴方向投影可以得到与纵向裂缝相反的结果。

3)因为斜向裂缝大体上沿着对角线排布,所以无论是对X轴还是Y轴方向投影,呈现出的直方图波形均具有多个波峰,如图6所示。

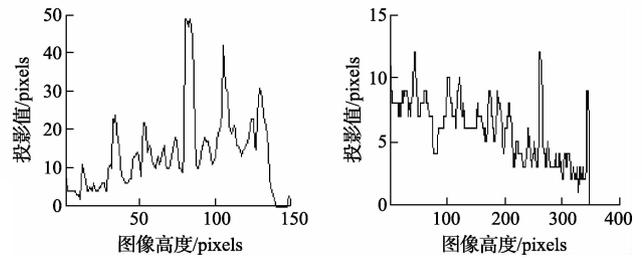


图6 斜向裂缝投影

假设 $X(i)$ 和 $Y(j)$ 分别表示在对X轴和Y轴的投影序列,分别对它们做差分运算取最大值,则有:

$$Q_v = \max |X_c(j+1) - X_c(j)| \quad (3)$$

$$Q_h = \max |Y_c(i+1) - Y_c(i)| \quad (4)$$

$$T = |Q_v - Q_h| \quad (5)$$

式中: $Q_v$ 和 $Q_h$ 分别表示垂直方向投影和水平方向投影上的最大差分值,对于横向裂缝, $Q_h$ 远小于 $Q_v$ ;纵向裂缝, $Q_v$ 远小于 $Q_h$ ;而斜向裂缝 $Q_v$ 与 $Q_h$ 值无明显差异。纵向或是横向裂缝最后可以通过比较 $Q_v$ 和 $Q_h$ 大小得出。

### 2.5 获取裂缝参数与分析

长度和宽度是线性裂缝病害参数的2个主要指标,而网状裂缝病害参数主要针对网状裂缝覆盖的破损路面面积<sup>[9-10]</sup>。

计算线性裂缝长度是先细化裂缝后再通过统计像素点取得长度;平均宽度先通过求裂缝区域面积,再将其除以长度而得到。

第1步,计算裂缝长度。

裂缝目标图像抽取骨架,细化的结果即为其长度。假设细化裂缝总共由 $n$ 个连续像素组成,2个相邻像素用 $(x_i, y_i)$ 和 $(x_{i+1}, y_{i+1})$ 代表, $S_h$ 和 $S_v$ 分别表示水平方向和垂直方向的比例因子。 $L$ 表示整个裂缝的长度, $L_D$ 表示两个相邻像素间距离,那么线性裂缝的长度为:

$$L_D = \{ [(x_i - x_{i+1})S_h]^2 + [(y_i - y_{i+1})S_v]^2 \}^{+} \quad (6)$$

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} L_D = \sum_{i=1}^{n-1} \{ [(x_i - x_{i+1})S_h]^2 + [(y_i - y_{i+1})S_v]^2 \}^{+} \quad (7)$$

第2步,获得裂缝平均宽度。

由于混凝土路面大多是版制,即每个板块的长宽和面积都是固定的。道路在进行养护检测前,板块的长宽和面积是可知的。

若裂缝图像中裂缝所占像素为 $N_c$ ,板块的真实面积为 $S_p$ ,板块内的像素个数为 $N_p$ ,那么

裂缝总面积为:

$$S_c = N_c \frac{S_p}{N_p} \quad (8)$$

则可裂缝的平均宽度为:

$$W_c = \frac{S_c}{L} \quad (9)$$

网状裂缝图像中路面损坏区域的面积约等于最小外

接矩形,如图7所示。设板块的图像面积为  $S_c$ ,网状裂缝的最小外接矩形长和宽分别为  $L_o$  和  $W_o$ ,根据与上一节类似的方法,就可以求出网状裂缝真实面积:

$$S_w = L_o W_o \frac{S_p}{S_c} \quad (10)$$

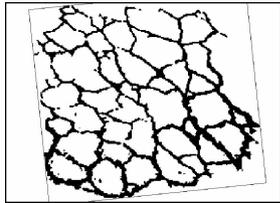


图7 网状裂缝最小外接矩形

### 3 实验结果与分析

为了验证算法的有效性,通过对本文算法以及其他2种算法进行实验对比。其中对比算法1为无相机标定且基于固定阈值分割裂缝图像算法,对比算法2为基于边缘检测分割裂缝图像算法<sup>[11]</sup>,对同一副图像处理后结果如图8所示。

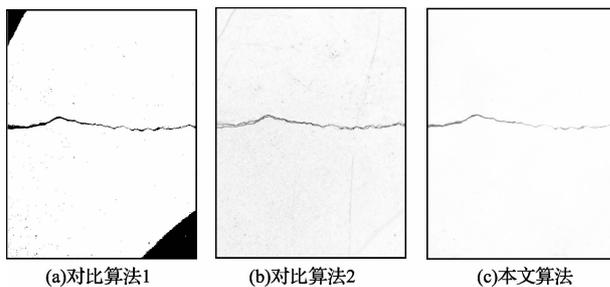


图8 裂缝图像处理算法对比

在图8(a)中,由于没有经过相机标定,图像的扭曲没有得到纠正,病害参数会有较大误差,且采用固定阈值分割导致对角落阴影产生误判;图8(b)中,虽然采用边缘检测分割裂缝图像提取出了裂缝轮廓,但对周围路面阴影处理效果还是较差;图8(c)则显示了本文算法使裂缝图像得到了纠正且采用OTSU自动阈值分割后,裂缝部位被很好地提取了出来。

为了进一步验证本文算法的适用性,对多幅裂缝图像进行处理,结果如表1所示。

表1 3种裂缝检测算法对比

实验算法	测试图像	识别分类正确	参数提取正确
对比算法1	95	64	49
对比算法2	95	77	62
本文算法	95	86	79

从表1中可知,采用3种算法对相同的95幅图像进行处理,其中本文算法能正确识别分类出83幅图像的裂缝类型,识别分类正确率为90.5%。并且对其中75幅图像裂缝提取出病害参数,病害参数提取正确率为83.2%。而对比算法1的识别分类正确率和病害参数提取正确率为67.4%和51.6%,对比算法2的则为81.1%和65.3%。

实验结果表明,相比其他2种算法,本文算法大幅提高了裂缝识别分类正确率和病害参数提取正确率。

### 4 结论

针对基于网络型混凝土路面病害巡检评估系统中客户端\服务器端所采用的路面病害图像信息分析评估软件,研究了路面病害中裂缝类病害的自动识别与病害参数提取方法。采用图像处理技术,完成了自动识别和提取路面裂缝信息以及病害参数,实验结果表明该方法对裂缝目标图像有较好的自动识别及分类效果。

### 参考文献

- [1] 丁传鑫. 公路路面检测技术综述[J]. 市政技术, 2013,31(6):160-163,173.
- [2] 金汉均,梅洪洋. Sobel算子在提取视频运动目标轮廓中的应用研究[J]. 电子测量技术,2014,37(11):29-32.
- [3] 顾晓东,杨诚. 新的颜色相似度衡量方法在图像检索中的应用[J]. 仪器仪表学报,2014,35(10):2286-2292.
- [4] 陈明亮,陈成新,古建平. 一种基于直方图的自适应分段线性变换法[J]. 国外电子测量技术,2015,34(2):36-38.
- [5] 王耀东,余祖俊,白彪,等. 基于图像处理的地铁隧道裂缝识别算法研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(7):1489-1496.
- [6] 李小红,武敬飞,张国富,等. 结合分水岭和区域合并的彩色图像分割[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(3):247-252.
- [7] 胡敏,李梅,汪荣贵. 改进的Otsu算法在图像分割中的应用[J]. 电子测量与仪器学报,2010,24(5):443-449.
- [8] 郭全民,张海先. 基于图像处理技术的混凝土路面裂缝检测[J]. 传感器与微系统,2013,32(4):61-64.
- [9] WANG X N, WANG X N, HOU D X, et al. Surface crack imaging based on delayed temperature difference at symmetric points by laser spot thermography[J]. Instrumentation,2014,1(2):30-37.
- [10] 张海先. 混凝土路面病害检测系统手持终端设备设计[D]. 西安:西安工业大学,2013.
- [11] 刘岩俊. 嵌入式DSP图像处理系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2013,32(9):11-14.

### 作者简介

郭全民,1974年出生,副教授,硕士生导师。主要研究方向为路面检测、图像处理及机器视觉、智能传感与信息融合等。

刘才臻,1989年出生,工学硕士研究生。主要研究方向为图像处理和路面检测。

E-mail: zhen6939@163.com