

基于数字图像处理技术在裂纹检测方面的实现

邓昊¹, 侯莎莎², 郑少伟¹

¹武警工程大学信息工程学院, 陕西 西安

²中国人民银行陕西省分行, 陕西 西安

收稿日期: 2023年10月1日; 录用日期: 2023年10月31日; 发布日期: 2023年11月7日

摘要

随着我国高速公路建设的快速发展, 高速公路路基路面的质量监控体系日趋完善, 对路面检测水平的要求也越来越高。文章提出基于图像处理的裂纹检测方法研究与实现, 在图像预处理、图像分割、图像边缘检测方面进行了研究, 利用Matlab程序仿真实现了公路裂纹检测, 得到清晰可辨的裂纹特征。图像预处理包括: 图像增强、图像平滑和图像锐化。其中图像增强采用直方图均衡化和高斯滤波法; 图像平滑采用中值滤波法; 图像锐化采用Sobel算子法。区别于未处理图像, 裂纹图像经预处理后, 相较原图细节更明显。图像分割采用Otsu法阈值分割; 边缘检测采用Canny边缘检测。这两种方法能不同于其他图像分割、边缘检测方法, 更易体现裂纹图像特征。经数字图像处理后的裂缝图像, 具备更易识别、更易发现的优点, 更好帮助公路维护人员及时发现问题。

关键词

数字图像处理, 路面裂纹, 图像增强, 图像分割, 边缘检测

Realization of Crack Detection Based on Digital Image Processing Technology

Hao Deng¹, Shasha Hou², Shaowei Zheng¹

¹College of Information Engineering, Engineering University of PAP, Xi'an Shaanxi

²People's Bank of China Shaanxi Branch Engineering University of PAP, Xi'an Shaanxi

Received: Oct. 1st, 2023; accepted: Oct. 31st, 2023; published: Nov. 7th, 2023

Abstract

With the rapid development of expressway construction in our country, the quality monitoring system of expressway subgrade and pavement is becoming more and more perfect, and the re-

文章引用: 邓昊, 侯莎莎, 郑少伟. 基于数字图像处理技术在裂纹检测方面的实现[J]. 计算机科学与应用, 2023, 13(11): 2030-2036. DOI: 10.12677/csa.2023.1311201

requirement of pavement inspection level is higher and higher. This paper puts forward the research and implementation of crack detection method based on image processing, and studies image preprocessing, image segmentation and image edge detection. Highway crack detection is simulated by Matlab program, and clear and discernible crack features are obtained. Image preprocessing includes image enhancement, image smoothing and image sharpening. Histogram equalization and Gaussian filtering are used for image enhancement, median filtering is used for image smoothing, and Sobel operator method is used for image sharpening. Different from the unprocessed image, the details of the crack image are more obvious than the original image after preprocessing. Otsu threshold segmentation is used for image segmentation, and Canny edge detection is used for edge detection. These two methods can be different from other image segmentation and edge detection methods, and are easier to reflect the characteristics of crack images. The crack image processed by digital image has the advantages of easier identification and discovery, and can better help highway maintenance personnel to find problems in time.

Keywords

Digital Image Processing, Pavement Crack, Image Enhancement, Image Segmentation, Edge Detection

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究目的及意义

我国高速公路建设飞速发展，推动了我国的经济建设和综合国力提升。但由于高速公路暴露于空气中，长期受雨水侵蚀、车辆重压、人为破坏等，养护工作就显得格外重要。而在公路养护中，路面裂纹是衡量道路质量最重要的一个指标，传统依靠人工来检测高速公路的路况，已不能够满足高速公路的检测要求。

数字图像处理技术是将图像信号转换成数字信号，再利用计算机进行加工处理的技术。早期的数字图像处理主要是为了提高图像的质量，而计算机技术、微电子技术等得到飞速发展后，使得基于数字图像处理技术的路面裂纹检测技术成为可能。它不仅可以节省劳动力、去除人的主观因素影响，而且可以快速、准确地对公路的路况进行评价，是路面裂纹检测发展的必然趋势。

1.2. 国内外研究现状

在路面裂纹检测方面，近些年来国内外学者获得了一些成果。

周格利用结构光对路面裂纹图像进行检测，从光学角度去研究裂纹特征，操作难度较大[1]。马跃坤提出基于 NSCT 的轨道裂纹增强算法，但算法运行时间过长，实时性不高[2]。李磊等提出使用区域增长的方法来分割[3]，付强等利用人工神经网络对裂纹进行分类[4]。陈涵深提出了基于人工神经网络的方法来判断路面的损害程度，经实验证明效果好于人工判断的方法[5]。阮小丽等利用无人机采集裂缝图像进行识别分类[6]。目前这些研究均主要聚焦于图像处理的具体一个步骤进行创新，未能梳理出如何将一幅原始图像提取出其特征的系统方法及流程。本文从裂纹原始图像出发，选择合理的处理方法，首先进行图像预处理，其次舍弃无用信息进行图像分割，最后对裂纹进行边缘检测，提取明显特征。本文的研究

思路区别于其他方法，是一种更加体系化的裂缝检测思路，为相关行业从业者提供参考。

1.3. 研究的主要内容

本文结合公路裂缝的特点，所做的主要研究内容如下：

1) 对公路路面裂缝图像预处理，采用了三种方法：图像增强，图像平滑去噪，图像锐化。图像增强使用直方图均衡化增强和高斯滤波，图像平滑采用的是中值滤波平滑，图像锐化采用的是 Sobel 算子锐化。现有裂缝检测技术，往往针对未处理的图像直接进行分析，容易损失图像细节。本文在进行图像分析时，首先将原始图像进行预处理，通过预处理技术，提取裂缝特征。

2) 图像分割把构成图像的各个要素即像素进行分类，本文图像分割方法是 Otsu 阈值分割法。目前研究的裂缝检测，没有关注图像中不重要信息所带来的信息冗余，而图像分割这一步将裂缝图像中无关信息剔除，只保留裂缝本身信息。更易分析出裂缝本身所呈现的形态。

3) 对图像进行边缘检测。本文对裂缝图像进行边缘检测的方法是 Canny 边缘检测。Canny 边缘检测法相较于其他方法，能有效检测出图像的弱边缘，最大程度保留裂缝细节，确保得到的裂缝图像能够显示出路面开裂深度、宽度等重要信息。

2. 道路裂缝图像的预处理

2.1. 裂缝图像的增强

图像增强是指对图像的某些特征，如边缘，轮廓，对比度等进行强调或锐化，以便于显示，观察或进一步分析与处理。其目的在于提高图像的清晰度，以及将图像转化成为一种更适合于计算机进行分析处理的形式。图像增强的最大困难是很难对增强结果加以量化描述，因此图像增强方法只能有选择地使用。

2.1.1. 灰度图均衡化

直方图均衡化是把原图像的直方图通过灰度变换函数修正为灰度均匀分布的直方图，然后按均衡直方图修正原图像。当图像的直方图为一均匀分布时，图像看起来就显得清晰。大多数自然图像由于其灰度分布集中在较窄的区间，引起图像细节不够清晰。采用直方图均衡化后可使图像的灰度间距拉开或使灰度均匀分布，使图像细节清晰，达到增强的目的。处理后效果见图 1。

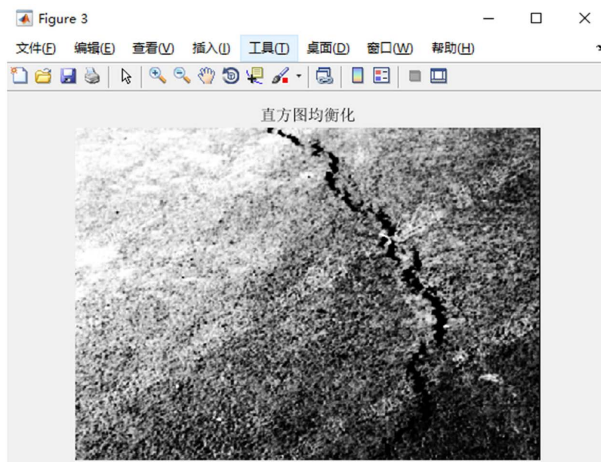


Figure 1. Crack histogram equalization treatment
图 1. 裂缝直方图均衡化处理

2.1.2. 高通滤波增强

一个 n 阶, 截止频率为 D_0 的巴特沃斯高通滤波器的传递函数为:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}}$$

取使传递函数最大值降到某个百分比的频率为巴特沃斯高通滤波器的切断频率。图像经过高通滤波处理后, 低频信号处理掉, 图像的平滑区基本上消失, 裂纹图像细节更明显, 效果见图 2。

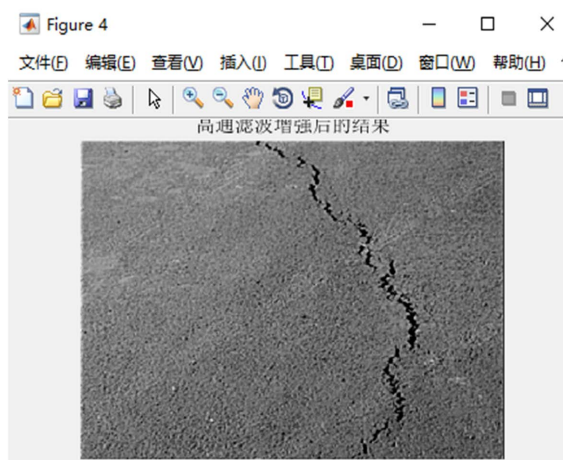


Figure 2. Crack enhanced by high-pass filter

图 2. 裂纹经高通滤波增强处理

2.2. 裂纹图像的平滑

任何一幅未经处理的原始图像, 都存在一定程度的噪声干扰, 噪声恶化了图像质量, 给分析带来困难。图像平滑的主要目的就是去除或衰减混杂在图像上的噪声的干扰, 改善图像质量。但同时图像平滑处理对图像细节有衰减作用, 去除或衰减噪声的效果越好, 图像就越模糊, 即图像细节损失越多。因此在对图像进行平滑处理的过程中, 要综合考虑。

路面裂纹图像中一般具有两类对象: 一类是背景(状况良好的路面), 另一类是要识别的目标(裂纹)。在较理想的情况下, 背景没有裂纹暗, 但实际情况由于受多种因素的干扰会有所改变, 为了能够更好的去除各种干扰对检测路面裂纹的所产生的影响, 要对裂纹图像进行增强处理, 为下一步的处理做好准备。

中值滤波平滑

中值滤波是一种减少边缘模糊的非线性平滑技术, 它是将数字图像当前的点的值用域中各点的中值代替, 即让图像中所有像素点与其邻域中每一个像素点按灰度值的大小来排序, 该像素点的输出灰度值最终为排序后的中间灰度值, 从而消除掉孤立噪声点。经中值滤波后的裂纹图像平滑掉了噪声点, 效果见图 3。

2.3. 裂纹图像的锐化

在图像处理中, 为了去除图像噪声, 通常使用图像平滑技术, 但是图像经过平滑后会使得图像中的边界、轮廓变的模糊。图像锐化的目的是为了减少这类不利效果的影响, 使图像的边缘、轮廓线以及图像的细节变的清晰, 以便人类和计算机的识别。

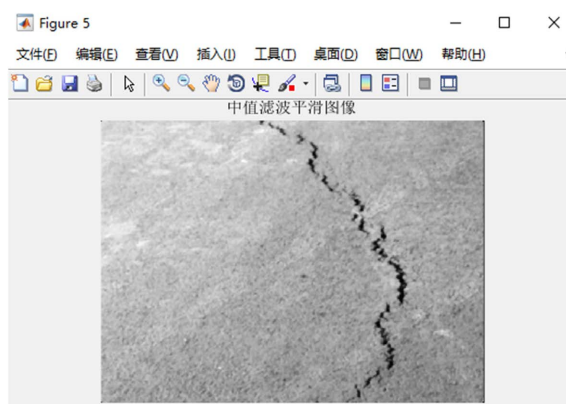


Figure 3. Crack smoothing by median filter

图 3. 裂纹经中值滤波平滑处理

Sobel 算子

Sobel 算子的基本思想是，以待增强的图像的任意像素 (i, j) 为中心，截取一个 3×3 的像素窗口，分别计算窗口中心像素在 x , y 方向上的梯度。Sobel 算子在计算 x 方向和 y 方向上的梯度时，采用两列或者两行像素灰度加权差的差值来表示，同时引入加权平均，对图像中的随机噪声具有一定的平滑作用，其边缘两侧也因 Sobel 算子采用间隔差分的计算方式得到增强。经它锐化后的图像边缘显得粗而亮，更明显的将裂纹特征提取出来，效果见图 4。

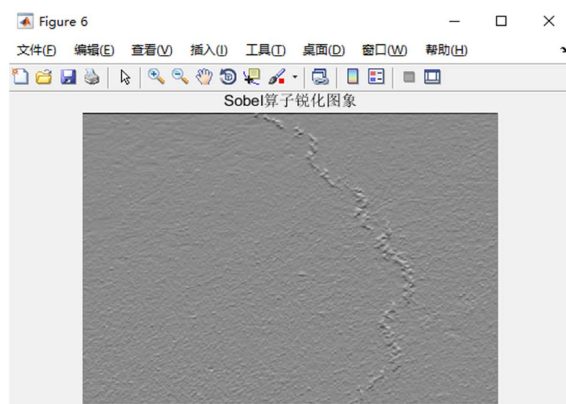


Figure 4. Crack sharpening by Sobel operator

图 4. 裂纹经 Sobel 算子锐化后处理

3. 道路裂纹图像的分割

图像分割是指把构成图像的各个要素即像素进行分类。其目的是将图像细分为它的子区域或者对象。图像分割是图像预处理和图像的识别和理解的关键一步，它是表示目标的前提，影响着特征测量的结果，为图像在更高层次的分析和理解奠定了坚实的基础。本文主要运用了 Otsu 阈值分割方法。

Otsu 法是一种使类间方差最大的自动确定阈值的方法，设图像像素数为 N ，灰度范围为 $[0, L - 1]$ ，对应灰度级 i 的像素数为 n_i ，概率为：

$$p_i = n_i / N, i = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

把图像中的像素按灰度值用阈值 T 分成两类 c_0 和 c_1 ， c_0 由灰度值在 $[0, T]$ 之间的像素组成， c_1 由灰度

值在 $[T+1, L-1]$ 之间的像素组成, 对于灰度分布概率, 整幅图像的均值为:

$$u_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$$

则 c_0 和 c_1 的均值为:

$$u_0 = \sum_{i=0}^T ip_i / w_0 \quad u_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} ip_i / w_1$$

其中:

$$w_0 = \sum_{i=0}^T pi \quad w_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} pi = 1 - w_0$$

类间方差定义为:

$$\sigma_B^2 = w_0 w_1 (u_0 - u_1)^2$$

让 T 在 $[0, L-1]$ 范围内依次取值, 使 σ_B^2 最大的 T 值为 Otsu 法的最佳阈值。裂纹经 Otsu 分割处理后效果见图 5。

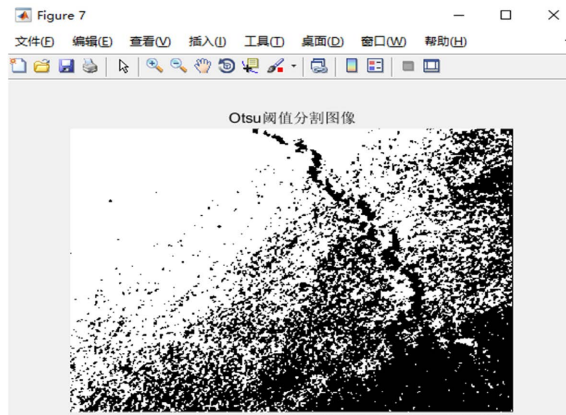


Figure 5. Crack post-treatment by Otsu segmentation
图 5. 裂纹经 Otsu 分割后处理

4. 道路裂纹图像的边缘检测

边缘检测存在于目标与背景、目标与目标、区域与区域之间, 是图像最基本的特征之一, 它蕴含了图像丰富的内在信息。如果能成功地检测出图像的边缘, 图像分析、图像识别就会方便很多, 精确度也会得到提高。边缘检测是检测图像局部显著变化的最基本运算。本文用的边缘检测方法是 Canny 算子。

Canny 算子中的滤波器能够很好地被一阶高斯导数核优化, 其引入了非极大值抑制的概念, 它是指边缘定义为在梯度方向具有最大梯度值的点, 基本思想是先将图像使用高斯函数进行平滑, 再由一阶微分的极大值确定边缘点。Canny 算子通过使用两个阈值来分别检测强边缘和弱边缘, 且仅当强边缘和弱边缘相连时, 弱边缘才会包含在输出中。这种方法不容易受噪声的干扰, 能够检测到真正的弱边缘。裂纹经 Canny 算子边缘检测后, 直接将裂纹图像特征展示出来, 效果如图 6。

5. 总结与展望

本文主要通过数字图像处理技术, 对路面裂缝进行检测。处理步骤包括裂缝图像的预处理、裂缝

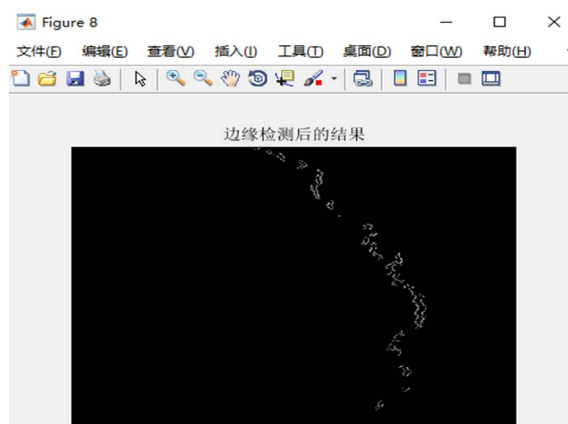


Figure 6. Crack edge detection
图 6. 裂缝边缘检测

图像的分割和裂缝图像的边缘检测。本文的创新在于对裂缝原始图像，从一开始就考虑放大有用部分，去除其中的噪声，增强裂缝细节。图像增强、平滑和锐化更加凸显裂缝本身图像特点。其次，对于除裂缝本身无用的图像信息，选用图像分割法，通过阈值判定，剔除无用背景信息。最后以边缘检测的方式，将裂缝形状边缘进行展示，方便相关行业从业者分析裂缝产生的背后原因，从而为公路养护提供参考。图像处理方法选择上突出尽可能凸显裂缝图像特征，摒弃传统数字处理方法。可以看出，经本文处理后的裂缝图像较原始裂纹图像，有更清晰的特征展示，更容易被公路维护人员发现，从而进行路面的保养修护工作。下一步，要进一步优化检测算法，提升面对复杂裂缝图像的特征提取和细节处理颗粒度，从而面对更复杂的路况环境。

参考文献

- [1] 周格. 基于结构光的隧道裂缝检测技术研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2021.
<https://doi.org/10.27107/d.cnki.ghbku.2021.000647>
- [2] 马跃坤, 李再伟, 赵彦旭, 等. 无砟轨道板表面裂缝的红外热成像检测方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(3): 579-587. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.t20210220>
- [3] 李磊. 图像分割研究现状概述[J]. 信息技术与信息化, 2015(3): 85-87.
- [4] 付强, 卜凡民, 任洪鹏, 等. 基于深度学习方法的路面裂缝目标检测[J]. 公路, 2023, 68(9): 395-405.
- [5] 陈涵深. 基于深度学习的路面破损检测研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2021.
<https://doi.org/10.27463/d.cnki.gzgyu.2020.000576>
- [6] 阮小丽, 钟建平, 吴巨峰, 等. 基于无人机的桥梁外露裂缝识别系统研究[J]. 湖南交通科技, 2023, 49(3): 104-108+114.