

文章编号: 1002-0268 (2008) 02-0064-05

路面裂缝图像处理算法研究

孙波成¹, 邱延峻²

(1. 西南交通大学峨眉校区, 四川 峨眉山 614202; 2. 西南交通大学 土木学院, 四川 成都 610031)

摘要: 为了避免传统人工视觉裂缝检测方法的耗力、耗时、不精确、影响交通、危险、花费高等缺点, 提出了一种新的基于图像处理技术的路面裂缝类病害自动识别算法。识别分为两个步骤: 首先以一个 5×5 的窗口为基准, 在这个窗口中确定 9 种不同的掩膜模板, 对有噪音的路面图像进行平滑和增强; 然后基于阈值分割理论, 采用最大类间、类内距离准则对图像进行阈值分割, 提取图像上的裂缝特征。最后对采集的 200 幅路面裂缝图像进行了平滑和分割试验研究, 和 Robison 等常用的平滑模板相比, 对图像进行增强的同时较好地保护了裂缝边缘。在对平滑后的图像进行分割当中, 和 Hough 变换、数学形态学等分割算法进行了对比研究, 结果表明了该算法在精度、速度和可靠性方面具有一定的优势。

关键词: 道路工程; 裂缝识别; 图像处理; 路面裂缝; 阈值分割

中图分类号: TP391.41; U416.217

文献标识码: A

Pavement Crack Diseases Recognition Based on Image Processing Algorithm

SUN Bo-cheng¹, QIU Yan-jun²

(1. Emei Branch of Southwest Jiaotong University, Emeishan Sichuan 614202, China;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: Conventional visual and manual road crack detection method is labor-consuming, non-precise, dangerous, costly and also it can affect transportation. To avoid these shortcomings, an automatic road crack detection algorithm based on image process was presented. It includes two steps: firstly, using nine different templates in a 5×5 window to smooth and enhance noise pavement image; secondly, based on threshold segmentation method, adopting criterion of maximum class distance to segment processed image and extract crack character. In the end, the foregoing smooth and segmentation algorithm on 200 pavement crack images were tested. Comparing with other accustomed templates, the images are enhanced and the crack edge is protected. Further comparing with segmentation methods of Hough transform and mathematic morphology, the presented method shows definite advantage in precision, processing speed and reliability.

Key words: road engineering; crack identification; image processing; pavement crack; threshold segmentation

0 引言

疲劳开裂和车辙是沥青路面最主要的破损形式, 根据交通部《高速公路养护质量检测方法(试行)》之规定, 需要定期对高速公路路面状况进行调查, 以便制订相应的维护策略, 其中重要的一项指标是路面

裂缝。而且准确的裂缝信息也是路面管理信息系统的需要。传统的基于人工视觉检测裂缝的方法愈来愈不能适应高速公路发展的要求, 主要是速度慢, 个人主观程度大, 而且花费高, 危险还影响正常交通。计算机高性能处理器、大容量存储器及图像处理技术的快速发展, 使得路面裂缝的自动检测与识别技术成为可

收稿日期: 2006-10-17

基金项目: 交通部西部交通建设科技资助项目 (200431800054)

作者简介: 孙波成 (1964-), 男, 湖北孝感人, 工学博士, 研究方向为图像处理。(sunboch@163.com)

能。

但对于采集到的路面图像,由于采集工具的不同,路面材料的影响,使图像包含大量的噪声^[1]。因而对路面图像裂缝的识别研究主要集中在图像增强和裂缝目标的分割。文献[2]采用路面图像直方图均衡化来增强图像;文献[3]运用加权邻域平均法来平滑路面图像;文献[4]则采用了中值滤波。在图像分割方面,大多采用图像全局信息(如整幅图像的灰度直方图)和局部阈值(把原始图像分为几个小的子图像)来求出最优分割阈值^[2~4]。也有其他的路面图像分割算法,如文献[5]采用了基于样本空间的图像分割算法。

本文参考上述路面图像裂缝识别的各种算法,并根据道路图像自身的特点,首先使用一种掩膜平滑法,对有大量噪音的路面图像进行增强,再采用最大类间、类内距离准则对图像进行阈值分割,提取图像上的裂缝特征。

1 图像增强

图像增强是相对图像识别、图像理解而言的一种前期处理,目的是采用一系列方法改善图像的效果或将图像转换成一种更适合人或计算机进行分析处理的形式,主要是指按需要对图像进行适当的变换突出某些有用的信息或削弱无用的信息,如改善图像的对比度、去除噪音或强调边缘的处理等。

图像增强的方法一般分为空间域和变换域两大类,常用的图像增强方法有空间域单点增强、图像平滑、图像锐化、图像滤波等^[6]。

1.1 空域滤波

在一幅数字图像中,相邻区域的变化大于区域内部的变化,同一区域内部中间像素的变化小于边缘像素的变化。为了减少和消除图像中的噪音,改善图像的质量,抽取图像的线形特征,目前空域滤波采用最多的是小区域模板卷积的方法(图1)。具体计算时,实现将模板中心和图像中待处理的某像素点重合,并将模板各元素与模板下各自的对应像素值相乘,最后将

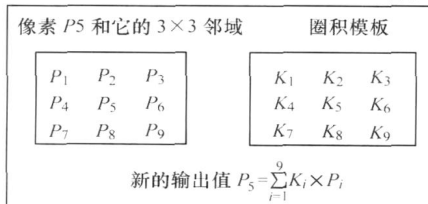


图1 圈积运算方法

Fig. 1 Loop product algorithm

模板输出响应(上步计算出的模板各元素乘积之和)作为当前模板中心所在像素的灰度值。

为了更好地突出图像线形特征的方向性,通常的做法是对上述单模板进行扩展,构造8个方向的模板。通常,对图像中的一个像素,它共有8个相邻点,因此从该点出发具有8个方向。可以事先构造8个不同方向、大小为 3×3 的模板,如图2所示。

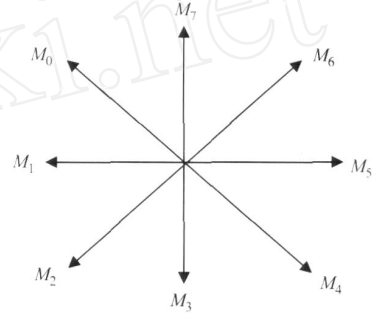


图2 模板方向定义图

Fig. 2 Template direction definition

将这8个模板依次作用于同一图像窗口。对于每一个模板,将图像窗口内各像素的灰度值分别与模板对应位置的元素相乘,再累加求和,记为 C_i , 其中 $i = 0, 1, \dots, 7$ 。则图像窗口中心像素的输出值为

$$g(m, n) = \max(C_i). \quad (1)$$

常用的有3种,即Robison模板、Prewitt模板和Kirsch模板。例如Robison模板的8个方向定义如下:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, M_1 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix},$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, M_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$M_4 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, M_5 = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix},$$

$$M_6 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, M_7 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

1.2 掩膜平滑法

图像中存在这样一个基本事实:同一区域内部的像素之间灰度变化平缓,起伏较小,统计方差小;在区域边缘,像素之间灰度值的起伏变化大,统计方差大。掩膜平滑的目的在于进行滤波操作的同时,尽可能不破坏区域边缘的细节。此方法在对路面图像进行增强时,既可以去除图像噪音,又能较好地保护裂缝的边缘

细节。

本文以一个 5×5 的窗口为基准,中心位置为 $(j,$

$k)$,在这个窗口中确定 9 种不同的掩膜模板,如图 3 所示。

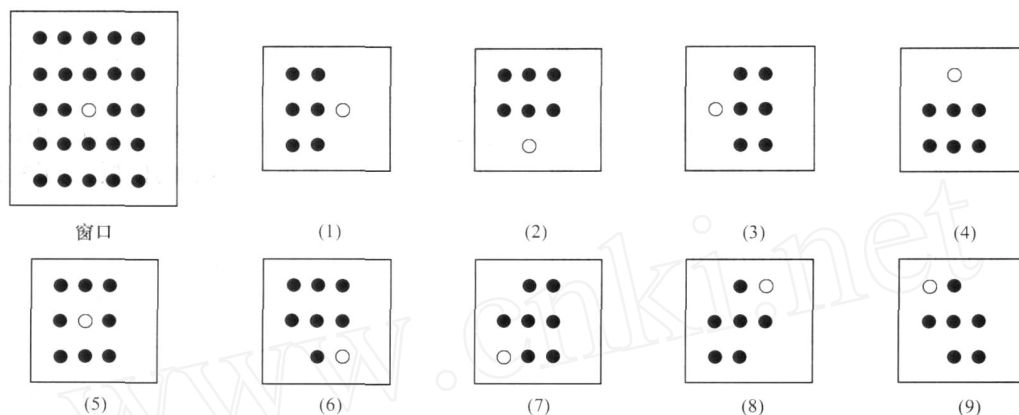


图3 掩膜平滑窗口及各掩膜模板

Fig.3 Template window and child template

在平滑时,首先计算各模板的均值和方差

$$E_i = \left[\sum_{l=1}^q f_l(j+m, k+n) \right] \times \frac{1}{q}, \quad (2)$$

$$\Omega_i = \sum_{l=1}^q \{ [f_l(j+m, k+n)]^2 - E_i^2 \}, \quad (3)$$

式中, i 表示掩膜模板的编号, $i = 1, 2, \dots, 9$; q 为对应掩膜模板中包含像素的个数; (m, n) 为掩膜模板内像素相对于中心像素 (j, k) 的位移量。

比较这 9 个模板的方差,掩膜平滑输出的新灰度值为具有最小方差的模板所对应的灰度均值,即

$$g(j, k) = E_p | \Omega_p = \min \{ \Omega_i \}. \quad (4)$$

当用同样的方法作用于图像中的每一个像素后,即可得到平滑的图像。在实际使用时,由于窗口大小为 5×5 像素,在对图像边缘的像素进行处理时,对图像进行了对称扩展。

2 图像分割

在对图像进行的研究和应用中,在某一领域往往仅对原始图像中的某些部分或者目标感兴趣。图像分割就主要根据图像在各个区域的不同特性,而对其进行边界或区域上的分割,并从中提取所关心的目标。由于图像各区域特征的巨大差异,很难用同一种图像分割算法对其进行分割处理,所有的图像分割算法均是针对某一具体问题而提出的。目前使用最多的还是阈值化分割算法。

2.1 最大类内、类间距离阈值准则

阈值 T 可以通过分析图像的直方图来确定,如果一幅图像只有物体和背景两部分组成,则选择直方图谷底处的灰度值作为阈值 T 可以很好地把物体和

背景分开。

由于路面图像的复杂性,直方图很难出现明显的峰值,往往连成一片,运用直方图选取最佳阈值变得困难。这时可以根据整幅图像的全局信息来确定阈值,运用最大类内、类间距离阈值准则提取路面图像中的裂缝取得了较好的效果^[7]。

设一幅图像的灰度级为 L , 图像中灰度值是 i 的像素个数为 n_i 。以分割阈值 τ 为准将图像分割成两个区域,定义区域 A 用来描述 $\{0, 1, 2, \dots, \tau\}$ 的灰度分布,区域 B 用来描述 $\{\tau+1, \tau+2, \dots, L-1\}$ 的灰度分布。

设区域 A 、区域 B 和图像的像素数分别为 N_A , N_B 和 N , 则

$$N_A = \sum_{i=0}^{\tau} n_i, N_B = \sum_{i=\tau+1}^{L-1} n_i, N = N_A + N_B = \sum_{i=0}^{L-1} n_i. \quad (5)$$

区域 A 、区域 B 和全图中各灰度出现的频率分别为 h_i^A 、 h_i^B 和 p_i , 即

$$h_i^A = \frac{n_i}{N_A}, i = 0, 1, \dots, \tau, \quad (6)$$

$$h_i^B = \frac{n_i}{N_B}, i = \tau+1, \tau+2, \dots, L-1, \quad (7)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}. \quad (8)$$

区域 A 、区域 B 出现的概率为 p_A 、 p_B :

$$p_A = \frac{N_A}{N} \equiv p(\tau), p_B = \frac{N_B}{N} = 1 - p(\tau). \quad (9)$$

由以上假设,得到全图的平均灰度 m 、区域 A 和区域 B 的平均灰度 m_A 、 m_B , 即

$$m = \sum_{i=1}^{L-1} ip_i = \sum_{i=1}^{\tau} ip_i + \sum_{i=\tau}^{L-1} ip_i, \quad (10)$$

$$m_A = \sum_{i=1}^{\tau} ih_i^A = \sum_{i=1}^{\tau} i \frac{n_i}{N_A} = \sum_{i=1}^{\tau} i \frac{p_i}{p_A} = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} ip_i}{p_A} = \frac{u(\tau)}{p(\tau)}, \quad (11)$$

$$m_B = \sum_{i=\tau}^{L-1} ih_i^B = \sum_{i=\tau}^{L-1} i \frac{n_i}{N_B} = \sum_{i=\tau}^{L-1} i \frac{p_i}{p_B} = \frac{m - u(\tau)}{1 - p(\tau)}, \quad (12)$$

$$\text{从而有} \quad m = p_A m_A + p_B m_B, \quad (13)$$

将两区域看作两类时,它们的类间距离为

$$s_b^2 = p_A (m_A - m)^2 + p_B (m_B - m)^2 = \frac{[mp(\tau) - u(\tau)]^2}{p(\tau)[1 - p(\tau)]}, \quad (14)$$

类内距离为

$$s_w^2(\tau) = p_A \sum_{i=1}^{\tau} (i - m_A)^2 h_i^A + p_B \sum_{i=\tau}^{L-1} (i - m_B)^2 h_i^B =$$

$$\sum_{i=1}^{\tau} (i - m_A)^2 p_i + \sum_{i=\tau}^{L-1} (i - m_B)^2 p_i. \quad (15)$$

最佳阈值的选取应使区域 A 和区域 B 的类间、类内距离比达到最大,即

$$J_f(\tau) = \frac{s_b^2(\tau)}{s_w^2(\tau)} \rightarrow \max. \quad (16)$$

通过改变 τ 即可求得最佳灰度分割阈值 $\tau^{*[8,9]}$ 。

2.2 算法实现与分析

本文在成都—绵阳高速公路采集 200 多幅路面破损图像,根据前面讨论的路面裂缝识别算法,对图像平滑和裂缝分割。图 4 是 Robison 模板卷积和本文使用的掩模对两幅路面图像进行增强的结果。可以看出,Robison 模板卷积方法使裂缝边缘产生了模糊,而本文的方法对图像进行增强的同时较好地保护了裂缝边缘。

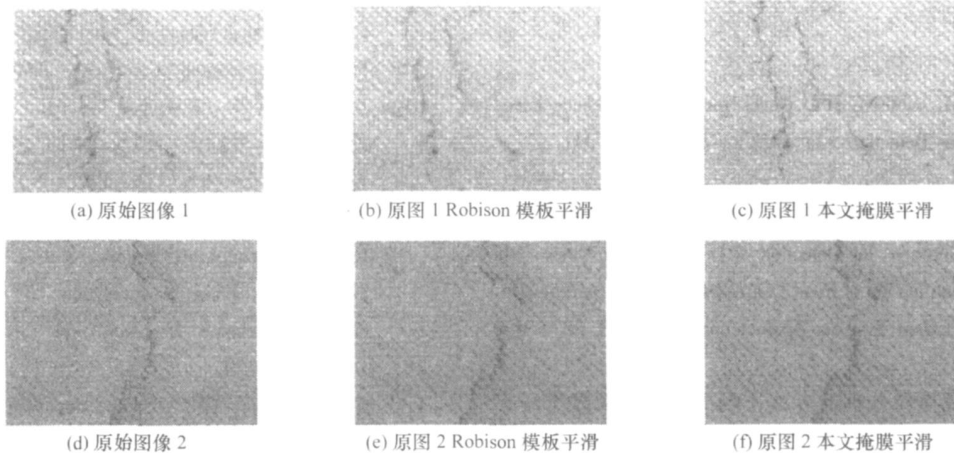


图 4 图像增强算法的实现

Fig. 4 Result of image enhancement algorithm

在 MATLAB 上运用本文算法对图 4 (c)、(f) 进行分割,结果如图 5 所示。从分割结果看,微细裂缝的识别不是很理想,对小于 1.5 mm 的裂缝识别比较困难,而且裂缝的连通也不是很好。进一步的试验说明,在分割前对图像进行数学形态学处理,再运用本

算法进行分割能够取得较好的效果。

为了进一步验证本文分割算法的可靠性,选取成都至绵阳高速公路 200 幅不同的路面裂缝图像进行分析,分别利用 Hough 变换、数学形态学方法和本文阈值算法对平滑后的图像进行分割,结果见表 1。

表 1 图像分割试验数据

Tab. 1 Image segmentation data

图像帧数	分割方法	平均响应时间/ms	被识别数量	正确率
200	Hough 变换	1 376	181	0.905
200	数学形态学	1 253	186	0.930
200	本文阈值算法	1 157	191	0.955

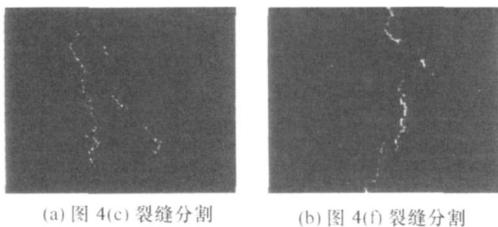


图 5 图像分割算法的实现

Fig. 5 Result of image segmentation algorithm

从结果看,每幅图像的识别响应时间差别不大,而且速度快,这是由于使用的计算机有较高的硬件配置;在正确率方面,由于我们选择的图像都是裂缝图

像, 所以3种算法都显示很好的识别效果, 而且本文分割算法显示了一定的优越性^[10,11]。

3 结论

本文分析了公路路面图像的特征, 首先使用一种掩膜平滑法, 对有大量噪音的路面图像进行增强, 并与其他图像增强方法进行了比较; 后采用最大类间、类内距离准则对图像进行阈值分割, 提取图像上的裂缝特征, 也与其他算法进行了对比分析。从分割结果看, 还存在一些孤立的噪点, 并且裂缝边缘之间存在断续情况, 限于篇幅, 本文没有对这方面进行探讨。公路路面病害是多样而复杂的, 对公路路面病害进行自动识别和检测也是一件比较困难的事情。该文只对裂缝类病害处理与检测的算法进行了探讨, 该算法用于对公路路面裂缝破损的识别检测过程中, 检测精度和检测效果都比较好。

参考文献:

References:

- [1] MIYQIM M, CHENG H D. Novel System for Automatic Pavement Distress Detection [J]. ASCE, 1998, 12 (3): 145 - 152.
- [2] MEIGNEN D, BERNADET M, BRIAND H. One Application of Neural Networks for Detection of Defects Using Video Data Bases: Identification of Road Distresses [J]. Proceedings Database and Expert Systems Applications, 1997, 9 (8): 459 - 464.
- [3] 李晋蕙. 用图像处理的方法检测公路路面裂缝类病害 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2004, 24 (3): 25 - 29.
LI Jin-hui. Pavement Crack Diseases Detecting by Image Processing Algorithm [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24 (3): 25 - 29.
- [4] 肖旺新, 张雪, 黄卫, 等. 路面破损自动识别的一种新算法 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (11): 75 - 78.
XIAO Wang-xin, ZHANG Xue, HUANG Wei, et al. A New Algorithm of Automatic Classification for Pavement Distress [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (11): 75 - 78.
- [5] CHENG H D, SHI X J, GLAZIER C. Real-time Image Thresholding Based on Sample Space Reduction and Interpolation Approach [J]. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2003, 17 (4): 264 - 272.
- [6] 李弼程. 智能图像处理技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
LI Bi-cheng. Intelligent Image Processing Technology [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004.
- [7] 崔屹. 数字图像处理技术与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
CUI Yi. Digital Image Processing Technology and Application [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 1997.
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. Digital Image Processing Using MATLAB [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004.
- [9] 胡小锋, 赵辉. Visual C++/MATLAB 图像处理与识别实用案例精选 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
HU Xiao-feng, ZHAO Hui. Image Processing and Identification Examples Using Visual C++/MATLAB [M]. Beijing: Posts & Telecommunication Press, 2004.
- [10] 余天洪, 贾阳, 王荣本, 等. 基于熵最大化图像分割的直线型车道标识识别及跟踪方法 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (6): 112 - 120.
YU Tian-Hong, JIA Yang, WANG Rong-ben, et al. Linear Lane Identification and Tracking Method Study Based on Maximum Entropy Image Segmentation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (6): 112 - 120.
- [11] SUN Bo-cheng, QIU Yan-jun. Automatic Identification of Pavement Cracks Using Mathematic Morphology [C] //International Conference on Transportation Engineering, America: American Society of Civil Engineers Press, 2007: 1 783 - 1 788.
- [12] 顾兴宇, 董侨, 倪富健. 连续配筋水泥混凝土路面裂缝发展规律研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (6): 37 - 40.
GU Xing-yu, DONG Qiao, NI Fu-jian. Research on Crack Progression of Continuously Reinforced Concrete Pavement [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (6): 37 - 40.