

基于图像处理的路面裂缝识别研究

孙波成¹, 邱延峻²

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

摘要: 传统的人工视觉检测裂缝方法具有耗力、耗时、不精确、影响交通、危险、花费高等缺点。这里介绍一种基于图像处理的路面裂缝类病害自动识别方法。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, 实验结果表明了该方法的有效性。

关键词: 路面裂缝; 阈值分割; 图像处理

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2008)01-0061-04

Pavement Cracks Identification Using Image Technology

SUN Bo-cheng¹, QIU Yan-jun²

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

2. Southwest Jiao tong University, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: Conventional visual and manual road crack detection method is labor-consuming, non-precise, dangerous, costly and it affect transportation as well. An automatic road crack detection method was described based on image process. It enhances the road image by using a mask filtrating method in the first, then segments the image by the maximum of class distance. The detecting effectiveness of the algorithm is good for the detecton of pavement crack diseases.

Key words: pavement crack; threshold segmentation; image processing

疲劳开裂和车辙是沥青公路路面两个最主要的破损形式, 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音^[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文献[2-4]。也有其他的路面图像分割算法, 文献[5]运用了神经网络图像分割算法, 而文献[6]则采用了基于样本空间的图像分割算法。

一般来说, 在采集到的路面图像中, 包含两类对象: ①状况良好的路面, 即背景; ②裂缝, 即识别的目标。因此, 数字图像可分为两类像素集: 代表背景的像素和代表裂缝的像素。理想状况下, 裂缝应该比背景更暗。但是由于各种因素的影响, 使路面图像具有以下特点: ①由于路面材料的不均匀性, 正常路面的纹理也不均匀。因此, 所采集的图像背景颜色本身有较大地变化; ②裂缝图像也有同样的情况。由于严重程度不同, 其大小、面积也不同。如果裂缝中有与背

收稿日期: 2006-11-16

基金项目: 交通部西部建设科技项目(200 431 800 054)

作者简介: 孙波成(1964-), 男, 湖北孝感人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 图像处理。

景颜色相近甚至更亮的比较大的颗粒,也会导致裂缝图像颜色的变化。但总的来说,裂缝图像比正常路面的暗;③代表裂缝的像素数量远远小于代表背景的像素数量;④正常路面的灰度值与裂缝的灰度值有部分重叠;⑤路面图像信息量较大。

根据上述道路图像自身的特点,并参考同行路面图像裂缝识别的各种算法,本文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,目的是采用一系列的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^[7]。

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,目前使用最多的是采用小区域模板卷积的方法(图1)来进行空域滤波。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。

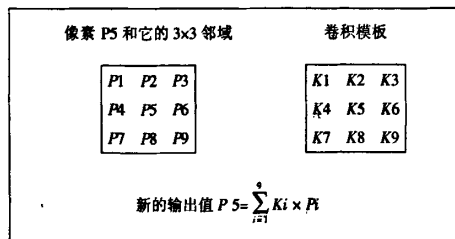


图1 卷积运算方法

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。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 $g(m,n) = \max(C_i)$ 。

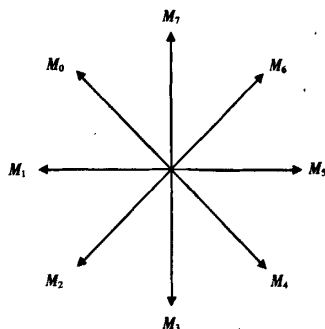


图2 模板方向定义

常用的模板有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

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} & M_1 &= \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{pmatrix} \\
 M_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} & M_3 &= \begin{pmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\
 M_4 &= \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} & M_5 &= \begin{pmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \\
 M_6 &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} & M_7 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

1.2 掩膜平滑法

路面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。也就是说在对路面裂缝图像进行滤波时,既可以去除图像噪音,又能较好的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。

在平滑时,首先计算各模板的均值和方差

$$E_i = \left[\sum_{l=1}^9 f_l(j+m, k+n) \right] \times \frac{1}{q} \quad (1)$$

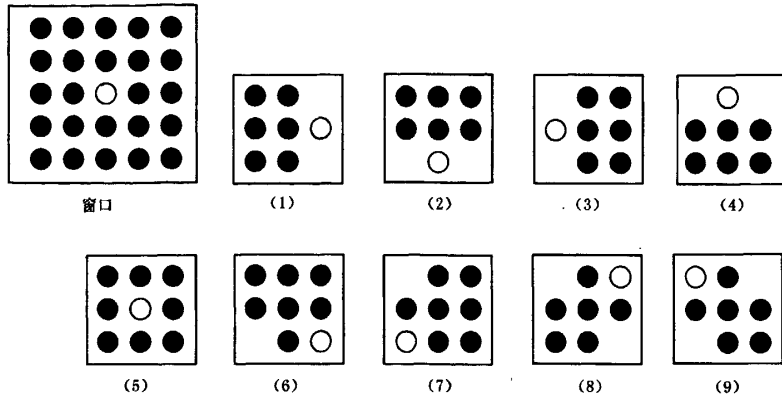


图3 掩膜平滑窗口及各掩膜模板

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

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 $j(m, n)$ 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。

$$g(j, k) = E_p | \Omega_p = \min(E_i) \quad (3)$$

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。

下面是 Robison 模板卷积和本文使用的掩膜对路面图像进行增强的结果。对比结果可以看出, 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也较好地保护了裂缝边缘。



图4 路面图像效果

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 阈值基础

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。设图像为 $f(x, y)$, 其灰度级范围为 $[z_1, z_2]$, 设 T 为阈值, 是 z_1 和 z_2 内任一值, 可得一幅二值图像, 其数学表达式为

$$f(i, j) = \begin{cases} 255, & \text{如果发 } f(i, j) \geq T \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

一幅图像通常有多个物体和背景组成, 如果其灰度级直方图有多个明显的峰值, 则可取谷峰间处的灰度值 T_1, T_2 作为阈值, 其数学表达式为

$$f(i, j) = \begin{cases} 255, & \text{如果发 } T_1 \leq f(i, j) \leq T_2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

假如希望阈值后的图像只把图像的背景表示成二值化图像, 而图像中的物体仍为多值图像, 此时可以采用半阈值技术, 把物体从背景中分离出来。其数学表达式为

$$f(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{如果发 } f(i, j) \geq T \\ 0 \text{ 或者 } 255, & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

2.2 最大类内、类间距离阈值准则

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^[8]。

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

$$N_A = \sum_{i=0}^{\tau} n_i, N_B = \sum_{i=\tau+1}^{L-1} n_i, N = N_A + N_B = \sum_{i=0}^{L-1} n_i \quad (7)$$

则区域 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

$$h_i^A = n_i / N_A, i = 0, 1, \dots, \tau$$

$$h_i^B = n_i / N_B, i = \tau+1, \tau+2, \dots, L-1 \quad (8)$$

$$p_i = n_i / N$$

区域 A 、区域 B 出现的概率为 p_A, p_B

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

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

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i = \sum_{i=0}^{\tau} ip_i + \sum_{i=\tau+1}^{L-1} ip_i$$

$$m_A = \sum_{i=0}^{\tau} ih_i^A = \sum_{i=0}^{\tau} i \frac{n_i}{N_A} = \sum_{i=0}^{\tau} i \frac{p_i}{p_A} = \frac{\sum_{i=0}^{\tau} ip_i}{p_A} = \frac{u(\tau)}{p(\tau)}$$

$$m_B = \sum_{i=\tau+1}^{L-1} ih_i^B = \sum_{i=\tau+1}^{L-1} i \frac{n_i}{N_B} = \sum_{i=\tau+1}^{L-1} i \frac{p_i}{p_B} = \frac{m - u(\tau)}{1 - p(\tau)} \quad (10)$$

从而有

$$m = p_A m_A + p_B m_B \quad (11)$$

将两个区域看作两类时, 它们的类间距离为

$$s_b^2 = p_A (m_A - m)^2 + p_B (m_B - m)^2 =$$

$$\frac{[mp(\tau) - u(\tau)]^2}{p(\tau)[1 - p(\tau)]} \quad (12)$$

类内距离为

$$s_w^2(\tau) = p_A \sum_{i=0}^{\tau} (i - m_A)^2 h_i^A + p_B \sum_{i=\tau+1}^{L-1} (i - m_B)^2 h_i^B =$$

$$\sum_{i=0}^{\tau} (i - m_A)^2 p_i + \sum_{i=\tau+1}^{L-1} (i - m_B)^2 p_i \quad (13)$$

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

$$J_f(\tau) = \frac{s_b^2(\tau)}{s_w^2(\tau)} \rightarrow \max \quad (14)$$

通过改变 τ 即可求得最佳灰度分割阈值 τ^0 。下面是运用此算法在 MATLAB 上实现图像阈值分割的结果^[9-10]。



图5 本算法图像分割结果

3 结 语

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, 并与其它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。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:

- [1] Cheng H D, Miyojm M. Automat pavement distress detection[J]. ASCE, 1998 (108): 219-240.
- [2] Meignen D, Bernadet M, Briand H. One application of neural networks for detection of defects using video data bases: identification of road distresses[C] // Database and Expert Systems Applications, 1997. Proceedings. [S.1.] Eighth International Workshop on 1-2 Sept., 1997: 459-464.
- [3] 李晋慧. 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 (31): 21-29.
- [4] 高建贞, 任明武, 唐振民, 等. 路面裂缝的自动检测与识别[J]. 计算机工程, 2003, (2): 149-150.
- [5] 王 珣. 图像分割技术及其在路面开裂损坏识别中的应用[J]. 计算机工程, 2003, 29 (17): 117-119.
- [6] Cheng H D, Shi X J, Glazier C. Real-time image thresholding based on sample space reduction and interpolation approach[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2003, 17 (4): 264-272.
- [7] 李弼程. 智能图像处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 117-119.

仿真系统提供一组工具用于在各种控制策略下的路网状况的评估,对专家系统的行为规划进行验证,并支持在各种实时状况下对短期内交通流状况的预测。

3 特点及优势

1)集成性好,具有很大的灵活性:在共用信息平台上设有交通信息交换平台模块,具有可编程能力,对不同系统可以设置不同的数据接口。原有系统可以方便地接入到信息共用平台上。有新的系统需要接入时,只需信息交换平台编写相应的数据接口即可。另外,在了解应用系统的数据需求基础上,交通数据处理引擎可以主动地从中央数据存储模块中读取数据,无需应用系统向中央数据库索取数据,节约系统的开销。如交通诱导系统需要交通流的速度、流量、车道占有率、平均间距、队列长度、旅程时间等数据,而经由采集系统来的数据在数据处理引擎融合、挖掘以后,可以主动地发给交通诱导系统。

2)具有良好的稳定性:采集系统传来的数据首先在信息交换平台上进行格式的转换,形成统一规范的数据格式,可以减轻数据处理引擎的负担,提高数据处理引擎的稳定性。采用开放标准的、分布式的CORBA结构,可以保证数据的透明性和安全性。

3)适应发展趋势:目前,各地都建立了一些智能交通的子系统,相互之间没有形成有机的协调控制,各种交通信息未能有机整合,不能及时了解城市的整体交通状况,事故处理方案由人工产生,响应速度慢。本方案解决了上述问题,使各种交通信息有机整合起来,并实现事故处理方案由平台产生,提高了处

理事故的效率。这种以分布式数据库与数据融合集成化综合数据库共享为基础的共用信息平台必然会越来越受到关注。

4 结论与展望

ITS共用信息平台是利用各子系统采集来的交通流信息,结合数据库中静态信息和管理信息进行融合处理,达到高效利用的枢纽。根据我国交通管理的现状和特点,ITS共用信息平台的主导实现模式即以分布式数据库与数据融合集成化综合数据库共享为基础的共用信息平台必将越来越受到关注和重视。笔者提出了一种主导式实现模式,并着重分析各模块的功能。

参考文献:

- [1] 关积珍. ITS共用信息平台系统结构及集成[J]. 交通运输系统工程与信息, 2002(4): 11-16.
- [2] 张振江, 刘云. 北京城轨交通信息交换平台的研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006(5): 129-132.
- [3] 王卫疆, 陈芳信, 汪秉文. 基于J2EE/CORBA的ITS共用信息平台软件总体架构的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2004(21): 31-35.
- [4] 刘卫宁, 孙棟华, 宋伟, 等. 智能交通虚拟共用信息平台研究[J]. 中国公路学报, 2004(4): 79-84.
- [5] 李瑞敏, 陆化普, 史其信. 智能交通系统综合信息平台研究[J]. 中南公路工程, 2005(2): 30-33.
- [6] 安实, 王健, 徐亚国, 等. 城市智能交通管理技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [7] 杨兆升. 基础交通信息融合技术及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [8] 崔屹. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- [9] [美] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods, Steven L Eddins. 数字图像处理 MATLAB版[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [10] 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.

(上接第64页)