

一种基于种子填充的图像二值化方法^{*}

伍 静 李 宁 陈世福

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京210093)

摘 要 本文提出了一种基于种子填充的图像二值化的算法,并将此算法应用于高速公路路面破损智能识别系统中,用来去除采集图像中的检测车影。实验表明此算法能改善目标与背景的分割效果,提高高速公路路面破损识别的正确率。

关键词 图像二值化,种子填充,直方图最频法,漫水法,图像识别

A Seed Filling Based Image Thresholding Algorithm

WU Jing LI Ning CHEN Shi-Fu

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract This paper describes a new seed filling based image thresholding algorithm, and this algorithm has been applied to the system for recognition of freeway's surface diseases in order to eliminate the shadow of the detective bus from the gathered images. Experimental results show that this algorithm can improve the effect of segmentation of object and background and it improves the exactness of freeway's surface disease recognition.

Keywords Image threshold, Seed filling, Histogram frequency algorithm, Flooding algorithm, Image recognition

1 引言

在高速公路路面破损识别系统中,因为日光的照射,使得采集的路面图像可能包含检测车影,严重影响破损识别的正确率,因此国内外相关的系统都采取一些措施来去除检测车影^[1~3]。一些系统在采集路面图像时使用探照灯,使检测车影不被包含在原始的路面图像中。但考虑到采集成本,国内的系统大多不使用探照灯,而是在自动识别过程中使用二值化的方法来去除路面图像中的检测车影。

目前国内外相关系统中用来去除检测车影的二值化方法大多是根据路面图像灰度直方图特性^[4],选取恰当的全局或自适应阈值,来判定车影目标和背景。这些方法利用了路面图像的直方图特性进行二值化,但没有充分利用路面图像中车影目标区域的特性,使得检测车影的去除复杂且不够精确。

我们通过实验发现路面图像中检测车影内部的灰度与其周围的背景灰度差别比较明显,但由于光照的影响,使得图像中间的灰度偏亮,四角的灰度偏暗且与检测车影的灰度相近。本文针对路面图像的这种特性,提出了基于种子填充的图像二值化方法,不仅利用图像的直方图特性,而且利用了目标区域的连通特性,提高了检测车影去除的精确度。该方法已应用于我们研制的高速公路路面破损智能识别系统,其效果很好。

2 研究的理论背景

2.1 图像二值化

在我们所研究的路面图像处理这一特定领域中,图像的二值化是指将灰度图像转化为只包含黑、白两个灰度的二值图像。

设 G 为灰度范围,选择 $t \in G$ 作为阈值, $B = (b_0, b_1)$ 为

对灰度级, $b_0, b_1 \in G$ 。用阈值 t 对图像函数 $f(x, y)$ 进行二值化,产生一个二值的图像函数 $f_t: N \times N \rightarrow B$, 用公式表示如下^[5]

$$f_t(x, y) = \begin{cases} b_0 & \text{if } f(x, y) < t \\ b_1 & \text{if } f(x, y) \geq t \end{cases} \quad (1)$$

图像二值化包括两步,选择阈值 t 和用阈值 t 对图像进行分割。

阈值选取技术一直是二值化领域的研究重点,现有的阈值选取技术可以分为全局的和局部的阈值选取方法^[5~7]。全局的阈值选取是指根据整幅图像确定一个阈值,运算速度比较快,但对噪音比较敏感,适用于目标和背景比较清楚的图像。局部阈值选取方法是根据每个像素及其邻域像素的灰度值情况动态地计算分割所需的阈值,也叫自适应阈值化算法。局部阈值选取方法对背景不均匀或目标灰度变化率比较大的图像处理效果比较好。但由于局部阈值选取方法常常需要对图像中每个像素点都计算阈值,也就是说,对整幅图像求出一个阈值面(通常是曲面),因此计算量很大,运算速度比较慢。

公路路面检测系统一次需要处理上万幅路面图像,对处理速度要求很高,因此局部阈值选取方法对此系统不适用。另外在路面图像中检测车影内部的灰度与其周围的背景灰度差别明显,直方图比较平滑,少有毛刺,因此在此系统中,使用全局阈值选取方法中的直方图最频法已经可以准确地选择阈值。

直方图最频法:是直方图方法中很常用的简单方法。当图像灰度直方图呈现明显的双峰状时,选取两峰之间的谷底(最小值)对应的灰度值为阈值。

确定阈值 t 后,如何对图像进行分割也是二值化的关键,但此步骤常被忽视。常用的方法是用阈值 t 对图像的整个矩

^{*} 本文得到江苏省自然科学基金资助(DK200208)。伍 静 硕士研究生,研究方向:图像处理,模式识别。李 宁 副教授,研究方向:图像处理,人工智能。陈世福 教授,博士生导师,研究方向:人工智能。

形区域进行分割,但这种方法没有考虑颜色的分布,若图像的背景区域也具有目标的颜色时,二值化分割是达不到预期效果的,上一节所说的受光照影响的含车影的路面图像就是这个问题。针对这个问题,目前常用的一个改进的方法是将图像划分为若干规则的子区域,然后对某个或某几个子区域用选定的阈值 t 进行分割。这种改进的方法虽然能在一定程度上考虑到目标颜色的分布,但由于目标的形状往往是不规则的,因此得到分割结果与预期的效果仍有误差。

本文提出的基于种子填充的二值分割方法在确定阈值 t 后,根据 t 值使用种子填充找到目标所在的不规则区域,同时进行分割。由于得到的不规则区域比较准确地刻划了目标的形状和位置,因此有效提高了二值化的精度。这种找出不规则区域进行分割是对传统的规则区域分割的一种创新。

2.2 种子填充算法

种子填充算法是图形学中的算法,是轮廓提取算法的逆过程,目前已有漫水法、边界填充算法^[8,9]、扫描线种子填充算法等各种成熟的实现方法。种子填充算法的思想就是首先假定区域内某点是已知的,称为种子点,然后算法开始搜索与种子点相邻(四连通或八连通)的点,如果此点满足填充条件且未被访问过,那么填充此点,并且将这一点作为新的种子点,然后继续地搜索下去。

定义 用函数 $F(x, y)$ 来描述种子填充算法,其输入是种子点,输出是填充后的图像矩阵,定义符号 $[1]_{x,y}$ 表示填充像素点 (x, y) 后的图像矩阵,符号 $[0]_{x,y}$ 表示不填充 (x, y) 像素点,即图像矩阵没有变化。这样种子填充算法可形式化地用递归函数表示如(2)式所示:

$$F(x, y) = \begin{cases} [1]_{x,y} + \sum_{i=-1}^1 F(x+1, y+i) + \sum_{i=-1}^1 F(x-1, y+i) + \\ F(x+1, y) + F(x-1, y), C(x, y) = \text{true}, & (2) \\ [0]_{x,y}, C(x, y) = \text{false}, \end{cases}$$

其中 C 是填充条件, $C(x, y) = \text{true}$ 表示像素点 (x, y) 满足填充条件, $C(x, y) = \text{false}$ 表示像素点 (x, y) 不满足填充条件。 C 一般是灰度条件 C_1 , 或边界条件 C_2 , 或它们的交集, 则:

当 $C = C_1$, 表示填充在规定灰度范围内的连通区域;

当 $C = C_2$, 表示填充一个封闭轮廓的内部区域;

当 $C = C_1 \cap C_2$, 表示填充一个封闭轮廓内满足规定的灰度范围的连通区域。

漫水法是最简单的种子填充算法,此算法所采用的填充条件就是灰度条件 C_1 。而边界填充算法所采用的填充条件是灰度条件 C_1 和边界条件 C_2 , 即 $C_1 \cap C_2$ 。

3 基于种子填充的图像二值化方法

3.1 确定种子点

将种子填充算法应用于图像阈值分割首先要选择一个初始的种子点。有两种方法选定初始种子点:由用户交互式指定初始种子点,使用模板匹配找出初始种子点。

3.1.1 由用户交互式指定初始种子点 此方法可应用于连续识别一批图像中。因为连续的公路路面图像中检测车影的位置和形状是缓慢变化的,差异不大,所以用户可以在识别过程的开始,在一幅路面图像中选择检测车影内部一点作为种子点,将这点位置 (x, y) 记录下来,在其后连续的一批图像处理过程中,都以 (x, y) 位置的这点作为种子点来填充。

3.1.2 使用模板匹配找出初始种子点 该方法使程序

能自动找出种子点而避免了用户的干预。检测车影的形状按照日照方向的不同可分为固定的几种,将这几种固定的车影保存下来作为模板,在识别的时候用这些模板图像与路面图像相匹配找到检测车影的大致位置信息,根据这位置信息找到检测车影的中心一点,用此点作为填充的种子点。

在使用模板匹配找种子点的方法中模板图像与路面图像的匹配过程是种子点选取准确与否的关键。模板图像中只包含车影轮廓,而待处理的路面图像中包含多个连通区域的轮廓,用模板图像中的车影轮廓与待处理的路面图像中的各个轮廓相匹配,以确定路面图像中车影轮廓的位置。匹配的内容是模板轮廓的和待处理的路面图像中各轮廓的 Hu 矩,匹配结果是模板轮廓与待处理的路面图像中各轮廓之间的相似度 I 。

Hu 矩是根据二阶和三阶中心矩 μ 所构造的7个不变矩 $M_1 \sim M_7$ ^[10]:

$$\begin{aligned} M_1 &= \mu_{20} + \mu_{02} \\ M_2 &= (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \\ M_3 &= (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2 \\ M_4 &= (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \\ M_5 &= (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ &\quad + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ M_6 &= (\mu_{20} - \mu_{02})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \\ M_7 &= (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ &\quad - (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \end{aligned} \quad (3)$$

其中轮廓 R 的归一化中心矩 $\mu_{pq} = 1/a \iint_R (x - a_{10})^p (y - a_{01})^q dx dy$; a 是轮廓 R 的面积: $a = \iint_R dx dy$; a_{10}, a_{01} 是轮廓 R 的重心: $a_{10} = \iint_R x dx dy, a_{01} = \iint_R y dx dy$ 。

根据这7个不变矩,可以计算轮廓 A 和轮廓 B 之间的相似度 I , 计算公式如下:

$$I(A, B) = \sum_{i=1}^7 | -1/m_i^A + 1/m_i^B | \quad (4)$$

其中 $m_i^A = \text{sgn}(M_i^A) \log_{10} |M_i^A|, m_i^B = \text{sgn}(M_i^B) \log_{10} |M_i^B|$

计算出模板中车影轮廓与待处理图像中各轮廓的相似度后,选择待处理图像中最相似的轮廓来计算其中的一点作为初始种子点。

3.2 基于种子填充的二值化算法

3.2.1 算法设计思想 我们通过实验发现路面图像中检测车影内部的灰度与其周围的背景灰度差别比较明显,但由于光照的影响,使得图像中间的灰度偏亮,四角的灰度偏暗且与检测车影的灰度相近。本文针对路面图像的这种特性,提出基于种子填充的图像二值化方法,既利用图像的直方图特性,也利用目标区域的连通特性,去除路面图像中检测车车影。

使用3.1节的方法确定了种子点后,就可以将二值化阈值选取算法与种子填充算法相结合来准确地找出路面图像中的检测车影。公路路面图像的检测车影和路面背景对比清晰,因此采用全局的直方图最频法来确定二值化的阈值是一种高效的选择。对种子填充算法的选择由选择初始种子点的方法决

定。当由用户交互指定初始种子点时,没有明显的边界信息,因此采用漫水法来填充。当使用模板匹配找出初始种子点时,可以采用漫水法,也可以采用边界填充法,实验表明使用漫水法时间效率较高。下面给出将直方图最频法与漫水法相结合的基于种子填充的图像二值化算法,种子点使用模板匹配方法来获得。

3.2.2 算法描述

```

step 1 Create (NewWhiteImage);
step 2 BinaryImage:= 直方图最频法二值化 (OriginalImage); //将原始路面图像二值化
step 3 TemplateContour:=轮廓提取 (TemplateImage); //提取模板图像轮廓
    BinaryImageContours:= 轮廓提取 (BinaryImage); //提取二值化后路面图像轮廓
step 4 For 每一个 contour in BinaryImageContours
        根据公式(4)计算 I2相似度 (contour, Template-Contour);
    EndFor
step 5 BusContour:=I2相似度最小 contour;
step 6 seed:=BusContour 中心一点; //确定种子点
step 7 Initialize(访问矩阵 visited, FALSE);
step 8 Push (seed, stack); //以下使用种子填充方法进行二值化
step 9 If stack==empty
        goto step13
    Else goto step10
step10 Pop (stack, point);
        SetPixel(NewWhiteImage, point, 0);
        visited[point]= TRUE;
step11 For 每一个八连通像素点 point' in BinaryImage
        If ( point' 像素值 == 0 and visited [point'] == FALSE)
            Push (point', stack);
        EndFor
step12 goto step 9
step13 End.
    
```

3.3 相关工作的比较

基于种子填充的图像二值化方法采用填充条件作为像素点二值化的判断条件,由于填充条件中可以包括边界条件,因此比起直方图最频法中仅采用灰度条件来判断,不仅有效提高了图像二值化的精度,而且能够准确方便地实现任意形状子区域的二值化,而直方图最频法只能对一指定的矩形区域进行二值化。

基于种子填充的二值化方法得到的二值化区域是连通的,因此可以有效地避免孤立噪声点的干扰,而直方图最频法由于二值化后区域不连通,往往需要在二值化后额外增加一去噪声的过程。

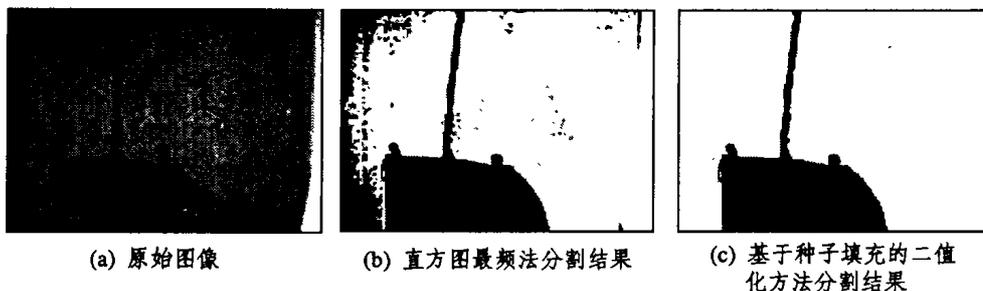


图2 两种方法的二值化结果

从图2 (b)可见,使用直方图最频法,由于路面图像四角灰度较暗,使得车影的检测不精确。而图2 (c)则表明使用基于种子填充的二值化方法避免了四角灰度较暗的影响,提高了车影检测的精确度。

图3是分别使用直方图最频法和基于种子填充的二值化方法对同一幅路面图像进行去除车影干扰的处理得到的最终识别效果图。(a)是原图像,(b)是使用直方图最频法去除车影干扰的最终病害识别效果图,(c)是使用基于种子填充的二值化方法去除车影干扰的最终病害识别效果图。

当然,基于种子填充的二值化方法在提高二值化精度的同时,其时间效率比直方图最频法有所下降,这主要是由于判断条件增多的缘故。

4 实验环境与结果分析

4.1 实验环境

我们和江苏省交通科学设计院共同研制的高速公路路面破损智能识别系统是针对摄像设备采集的数字图像,结合数字图像处理和决策树分类技术,开发出的能够高效率地识别高速公路路面破损情况的智能系统。该系统已经应用一年,效果很好,可以识别出大于等于2mm的路面裂缝。系统总体结构如图1所示。

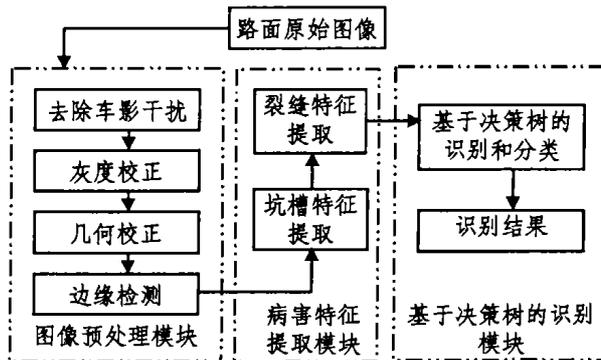


图1 系统的总体结构图

本系统没有使用探照灯来预防检测车影,因此在图像预处理模块中使用本文提出的基于种子填充的二值化方法去除车影干扰。实验结果表明此方法可以避免将图像四角灰度较暗的背景信息与车影目标一起分割出来,与使用直方图最频法相比^[7],改善了目标与背景的分割效果,提高了破损识别的正确率。

4.2 实验结果与分析

图2是使用传统二值化方法和本文提出的二值化方法的二值化结果。(a)是原图像,(b)是使用直方图最频法的二值化分割结果,(c)是使用模板匹配找出初始种子点,然后使用基于种子填充的二值化方法进行分割。

从图3(b)可以看出,由于使用直方图最频法不能准确分割车影和背景,使得有些靠近边缘的病害不能识别出,而图3 (c)则表明使用基于种子填充的二值化方法能有效地解决这个问题,提高了病害识别的正确率。

我们在高速公路路面破损智能识别系统中对200幅路面图像使用两种方法进行实验,一种方法是使用直方图最频法分割检测车影和背景,另一种方法是使用基于种子填充的图像二值化方法分割检测车影和背景。结果表明在我们的系统

结论和展望 本文提出的算法吸收了来自生物免疫系统免疫识别的灵感,采用了改进的基因编码方式,并且采用了新的部分匹配方式来适应这种编码方式,通过泛化操作减少检测子的数目,同时覆盖尽可能大的异常空间,最后经过遗传算法进化检测子,并保证检测子的多样性,仿真实验结果表明该算法具备较好的检测性能。同时实验结果也表明检测性能对参数比较敏感,需要一个参数训练的过程;检测性能对数据样本的表示顺序不敏感。在真实系统的状态属性集合中,并不是每一个属性对于系统性能的作用都是相同的,本算法没有根据属性的重要程度赋予相应的权重,而假设每一个属性有相同的地位,未来的异常检测算法可以考虑这一方面对于检测性能的影响。

参考文献

- 1 Forrest S, Hofmeyr S A. Immunology as information processing [A]. In: Segel L. A, Cohen I. R, eds. Design Principles for the Immune System and Other Distributed Autonomous Systems [C]. USA: Oxford University Press, 2000
- 2 Forrest S, et al. Self-Nonself Discrimination in a Computer. In: Proc. of 1994 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, Los Alamos, CA: IEEE Computer Society Press, 1994
- 3 D'haeseleer P. A Distributed Approach to Anomaly Detection. ACM Transactions on Information System Security, 1997
- 4 Fayyad U M, Irani K B. Multi-Interval Discretization of Continuous-Valued Attributes for Classification Learning. In: Proc. of The Thirteenth Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, 1993. 1022~1027

- 5 Smith R E, et al. Searching for Diverse, Cooperative Populations With Genetic Algorithm [J]. Evolutionary Computation, 1997, 1(2): 127~149
- 6 Kim J, Bentley P J. Towards an Artificial Immune System for Network Intrusion Detection: An Investigation of Clonal Selection with a Negative Selection Operator. the Congress on Evolutionary Computation (CEC-2001), Seoul, Korea, May 2001. 1244~1252
- 7 Written I H, Frank E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations. Morgan Kaufmann Publishers
- 8 Kephart J O, Chess D M. The vision of automatic computing. Computer, 2003, 36(1): 41~52
- 9 McCoy D F, Devarajan V. Artificial immune systems and aerial image segmentation. In: Proc. IEEE Intl. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Orlando, Florida, 1997. 867~872
- 10 Kerber R. ChiMerge: Discretization of Numeric Attributes, Learning: Inductive, AAAI92, 1992. 123~128
- 11 Kohonen T. Self-Organizing Maps. Springer Verlag, 1995
- 12 D'haeseleer P, Forrest S, Helman P. An Immunological Approach to Change Detection: Algorithms, Analysis and Implications. IEEE Symposium on Security and Privacy, 1996
- 13 Matthew V, Mahoney, Philip K. Chan. Learning Rules for Anomaly Detection of Hostile Network Traffic. In: Proc. Third IEEE Intl. Conf. on Data Mining (ICDM), 2003. 601~604
- 14 Ye Nong, Chen Qiang. An Anomaly Detection Technique Based on A Chi-square Statistic for Detecting Intrusions into Information Systems, Quality and Reliability Engineering International, 2001, 17(2): 105~112
- 15 Nguyen B V. An Application of Support Vector Machines to Anomaly Detection, CS681 (Research in Computer Science - Support Vector Machine) report, Fall 2002
- 16 李千目, 张琨, 等. 一种基于生物免疫学的入侵检测系统. 计算机工程与应用, 2003, 39(8): 45~48
- 17 Murphy P M, Aha D W. UCI Repository of machine learning databases, 1992

(上接第101页)

中使用本文提出的二值化方法比使用直方图最频法在误检率

不变的基础上有效降低了破损识别的漏检率,提高了破损识别的正确率。实验结果如表1所示。

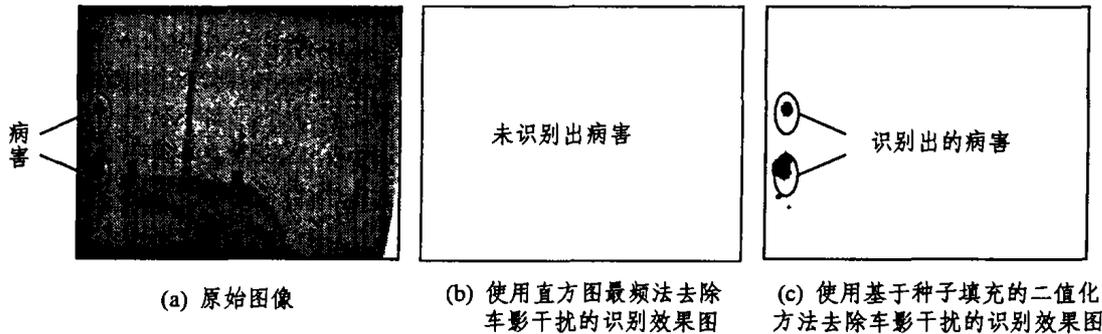


图3 两种方法的最终识别效果

表1 使用两种方法去除检测车影后的破损识别效果

	误检率	漏检率	正确率
直方图最频法	1%	11.5%	87.5%
基于种子填充的图像二值化方法	1%	3%	96%

从表1中可以看出,本文提出的基于种子填充的图像二值化方法在漏检率和正确率方面都比直方图最频法要好。

结束语 在公路路面病害检测的去除检测车影的应用中,由于目标和背景的灰度对比比较明显,因此采用了将直方图最频法和漫水法相结合的基于种子填充的图像二值化方法。由前面的介绍可以看出阈值化方法其实多种多样,因此根据不同的应用需要,可以将种子填充方法应用到不同的阈值化方法中来提高阈值化的精度。此外种子填充中初始种子点的选择方法还需要改进,在本文给出的交互式指定方法自动程度不高,使用时不够方便,而模板匹配方法比较复杂,不够直接,是否能找到一种不需要人工干预,又简洁明了的确定初始种子点的方法,这还需要进一步的研究。

参考文献

- 1 Pynn J, Wright A, Lodge R. Automatic Identification of Cracks in

- Road surfaces. In: Proc. of 7th Intl. Congress on Image Processing and its Applications, IEE, 1999, 2: 671~675
- 2 Wang K C P, Elliott R P. Investigation of Image Archiving for Pavement Surface Distress Survey: A final report submitted to Mack-Blackwell Transportation Center. July, 1999
- 3 Paterson, William D. Proposal of Universal Cracking Indicator for Pavements: Transportation Research Record, Washington, D. C., 1994, 1455: 69~76
- 4 李晋惠, 楼伟, 姜寿山. 基于 CCD 的公路路面病害检测技术研究. 西安工业学院学报, 2002, 22(2): 95~99
- 5 李冠. 灰度文档图像的直接局域二值化方法: [南开大学硕士研究生毕业论文]. 天津, 2002
- 6 Yang H S. Split-and-Merge Segmentation Employing Thresholding Technique. Image Processing. In: Proc. Intl. Conf. on Published, 1997, 1: 239~242
- 7 Rosin P L, Ioannidis E. Evaluation of global image thresholding for change detection. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(14): 2345~2356
- 8 Mehnert A, Jackway P. An improved seeded region growing algorithm. Pattern Recognition Letters, 1997, 18(3): 1065~1071
- 9 刘相滨, 胡峰松, 张邦基. 一种新的区域种子填充算法. 计算机工程与应用, 2002, 8
- 10 Prokop R J, Reeves A P. A survey of moment-based techniques for unoccluded object representation and recognition. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1992, 54(5): 438~460