

基于破损密度因子的路面 破损识别新方法

肖旺新^{1,3} 张 雪² 黄 卫³

1. 嘉应学院, 计算机系, 广东, 梅州 514015

2. 东南大学, 计算机系, 南京 210096

3. 东南大学, 智能运输系统研究 (ITS) 中心, 南京 210096

摘 要: 结合图象处理、模式识别等先进技术开发路面破损自动检测系统已经成为本领域的研究热点。要提高识别率, 适当的裂缝分类及其数量的统计方法显得十分重要。在系统总结分析前人的研究成果的基础上, 本文提出一种路面破损裂缝的分类和数量统计的新方法——基于破损密度因子的路面破损评价和分类方法。文中对破损密度因子进行了定义, 并且, 用本文的方法与一些已存在的方法进行了比较分析。结果表明, 本方法不仅简单, 实用, 而且在算法的平移不变、旋转不变、和反映路面实际破损程度方面都优于其它方法。

关键字: 路面破损检测; 破损识别; 破损密度因子

中图分类号: U416

文献标志码: A

文章编号: 1672-4747(2004)02-0082-08

A New Method for Distress Automation Recognition of Pavement Surface Based on Density Factor and Image Processing

XIAO Wang-xin^{1,3} ZHANG Xue² HUANG Wei³

1. Department of Computer Science & Engineering,

Jiaying University, MeiZhou 514015, Guangdong, China

2. Department of computer science & Engineering,

投稿日期: 2004-3-31.

作者简介: 肖旺新 (1975-), 男, 湖南邵阳新邵人, 嘉应学院计算机系教师, 东南大学智能运输系统研究 (ITS) 中心在读博士, 研究方向: 交通图象处理与识别。

Southeast University, Nanjing 210096, China

3. ITS Research Center,

Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract : Automatic pavement surface distress survey system based on image processing and pattern recognition has become the hotspot in this field. In the research of this system, classification of pavement surface distress and the statistics of the distress data are very crucial. In order to improve the accuracy and efficiency to identify the pavement surface distress by the image information, one new algorithm based on density factor is put forward, in which pavement surface image is divided into sub-image of 40×40 pixels. Comparison and analysis are made among the results from the new algorithm, UCI method and PROXIMITY method. Results show that the new algorithm is better than the latter two methods in translation invariance, rotation invariance and reflection of distress.

Key words : Pavement surface distress classification, image processing, pavement surface distress density factor

0 路面破损研究基本现状

我国现有公路里程已经超过 180 万公里,高速公路近 3 万公里^[1]。随着公路交通运输业的发展,人们对公路路面质量及其养护提出了更高的要求。路面破损是路面数据中最重要的指标之一。路面破损信息系统是二十世纪 70 年代开始兴起的路面管理系统的关子系统。在我国现阶段,路面破损的调查基本上采用人工目测、丈量的方法。人工检测有劳动强度密集、妨碍交通、危险性大(野外操作不安全)、效率低、准确度低(人为随意性较大)和难以对路面破损进行客观和准确的评价的缺点。

我国研究人员现在已经开始路面破损自动检测的研究。初秀民等^[2]结合不变矩特征,利用神经网络分割和识别破损沥青路面。储江伟^[3]、初秀民^[4]设计了基于 BP 神经网络的路面子块图像模式分类器,减少沥青路面破损图像识别的计算量。

美国等发达国家在破损自动检测方面的研究,起步于上世纪 60 年代。随着 70 年代全面提出路面管理系统的概念,破损自动检测研究迅速升温。二十世纪 80 年代初到 90 年代末是研究的高峰,至今仍方兴未

艾^{[5],[6],[7]}。近 5~6 年已有路自动检测系统产品陆续问世。但是,由于成本和技术原因,路面破损自动检测,即使在发达国家普及率也非常之低。在结果准确性方面,20 世纪 90 年代早期美国联邦公路局和得克萨斯交通局曾组织测试,对不同设备的结果和人工测试的结果进行比较,发现各种设备存在很大差异。美国路面破损自动检测市场主要由 RoadWare 和 Terrecon 公司占领,1998 年 Wang, K. 等对 RoadWare 公司的产品和人工测试的结果进行比较,发现设备的结果精度不能保证,设备对裂缝的识别没问题,但主要问题在对裂缝的分类和数量的统计上。

1 路面图像破损识别一般过程

路面破损自动检测步骤的一般为三步:采集、压缩和识别。破损识别是最终目的,路面识别的关键是要有简单、有效的路面特征描述方法,即模式识别中通常所说的特征提取。这里的简单指的是特征描述的数据量应远远小于原图像的数据量,而且越少越好;这里的有效指的是使用该特征描述能充分识别图象,达到有实际应用价值的识别率。

1.1 路面图象特征提取

图象识别中所说的图象特征是通过图像描述来实现的。图像描述是把分割出的物体目标用计算机中的数据、公式、符号来描述感兴趣的物体区。描述是以图像中各物体目标的特征为基础的,特征描述的数据量应远远小于原图像的数据量。

常见的图像目标特征有:灰度特征、纹理特征和几何形状特征等。目前,对于路面破损图像特征的研究大多采用区域与几何特征来度量。

图像的区域特征包括傅立叶描述特征和矩描述特征等。在路面破损图像区域特征的描述中大多以矩特征^{[2][5]}描述为主。

路面破损图像的几何特征主要包括:分割后小区域的计数、骨骼化^[8]、几何形状特征^[9](如破损区域的周长、面积等)等。Miyojim M等^[7]对路面破损图像进行细化处理,并提取骨骼化后的路面破损的交叉点、破损区域的周长、面积、数量等几何形状特征来描述路面破损图像。熊和金^[9]采用龟状裂缝和块状裂缝的面积以及破损区域的周长,作为龟状裂缝和块状裂缝分类器的输入特征。

考虑到路面图象的特殊本性(如噪声多)和路面识别的实时性,基于路面子块的路面图象识别成为一种新的研究方向^{[2][6]}。

2 基于破损密度因子的路面破损评价和路面破损识别

我们所提的方法——基于破损密度因子的路面破损识别方法,是一种基于路面子块的方法,该方法既可以用于路面破损评价也可以用于路面破损识别。

2.1 破损密度因子的定义

本文提出的破损密度因子分别为 3×3 和 5×5 的滤波算子,如图 1 所示。以 5×5 卷积算子为例说明。从左到右,从上到下编号,共 25 个,即 A_1, A_2, \dots, A_{25} 。对一幅已经 0, 1 子块化的路面图象,按照我们提出的基于破损密度因子的方法,处理过程如下:从

左到右,从上到下对路面图象进行扫描,遇到零子块,不做任何处理或运算;只有遇到“1”子块(为了区别,我们把这个“1”子块取名为中心“1”子块),才用破损密度因子对其进行卷积运算。这里的卷积运算是指 A_{13} 对准中心“1”子块,破损密度因子与相应的路面图象进行卷积运算。

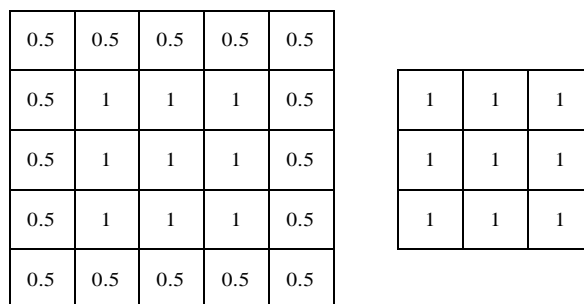


图 1 两个大小不同的破损密度因子
Fig.1 Two different-size density factors of crack

为了形象说明,我们采用文献^[4]中的一张实际路面子块图(见图 2)进行运算。当破损密度因子采用 3×3 的滤波算子,结果如图 3 所示。当破损密度因子采用 5×5 的滤波算子,结果如图 4 所示。

很明显,无论是 5×5 的破损密度因子,还是 3×3 破损密度因子,破损越密集的地方,即“1”子块越密集的地方,该破损区域与破损密度因子卷积后的值越大。

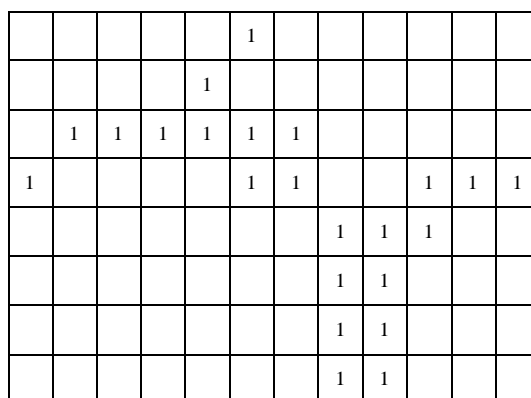


图 2 一张实际路面子块图
Fig.2 A divided sub-block image of a real road hard surface

					2						
				5							
	3	3	4	5	6	4					
2					5	5			4	4	2
							5	6	5		
							6	7			
							6	6			
							4	4			

图3 在密度因子为 3×3 情况下图 2 的结果
Fig.3 Calculation result of Fig.2 using the density factor of 3×3

					4						
				7							
	3.5	4.5	6	7	7.5	6.5					
2.5					7	7.5			6	5	3
							8.5	8.5	7.5		
							9	9.5			
							7.5	7.5			
							5	5			

图4 在密度因子为 5×5 情况下图 2 的结果
Fig.4 Calculation result of Fig.2 using the density factor of 5×5

这种卷积运算的本质是，统计出破损密度因子大小范围内的破损总值，并把该破损总值赋给临时中心“1”子块位置处的元素。这样做的目的是，把临时中心“1”子块周围附近的破损，纳入路面破损评价和路面破损分类的考虑范围。而且是离临时中心“1”子块越近，权值越大，本文在这种情况下，权值取值为“1”；相反，离临时中心“1”子块越远，权值越小，本文在这种情况下，权值取值为“0.5”。正因为权值有这种远近的区别，感觉就象离临时中心“1”子块越近，密度越大，相反则密度越小。所以取名为破损密度因子。根据需要，我们可以设计不同大小或不同形式的破损密度因子。

2.2 基于破损密度因子的路面破损评价比较

关于路面破损评价的研究，文献[6]提出一种算法，

用以计算路面的统一破损指数（unified crack index，简称 UCI 方法）。该方法首先对路面图象进行中值滤波，然后把路面图象划分为 40×40 像素的子块，根据局部平均值进行回归分析计算得出局部阈值，接着根据子块（40×40）的局部阈值进行二值化。最后根据子块中破损像素的百分率把子块 0、1 化，子块中破损像素的百分率低于 1%的，该子块赋值 0，否则该子块赋值 1。百分率 1%是通过作图得出的，为噪声和破损像素的交点，关于这一点最详细的论述见文献[6]。文献[6]提出将子块 1 的数目作为路面破损程度的评价标准，即 crack index，简称 CIs，其精确的定义如下：

$$CIs = \frac{\text{一幅图中子块1的数目}}{\text{该图中子块1、0的总数目}} \quad (1)$$

下面把我们的方法与之进行对比。

2.2.1 路面破损评价对比

首先与文献[6]的方法进行对比。

按照本文方法的 3×3 破损密度因子计算。图 5 的破损为

$$6 \times 16 \times 2 + 4 \times 2 \times 2 = 208$$

图 6 的破损为

$$3 \times 16 \times 2 + 2 \times 2 \times 2 = 104$$

由计算看出，图 5 的破损严重，而实际情况也是图 5 破损得更厉害。而按照公式（1），图 5、图 6 的破损率是相等的，都是 1/6，评价结果是一样的。

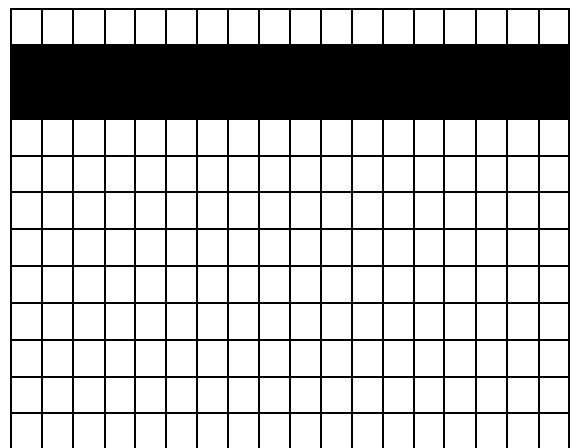


图5 两条相邻的贯穿横向裂缝

Fig.5 Two joined transverse cracks

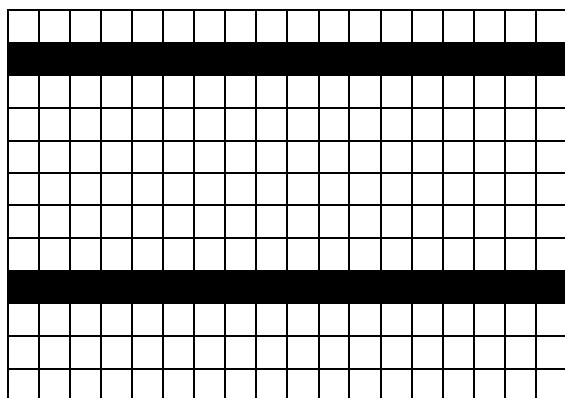


图6 两条不相邻的贯穿横向裂缝

Fig.6 Two un-joined transverse cracks

看图7, 8两种情况。用本文方法, 图7的破损为

$$5 + 6 + 4 + 3 + 5 + 6 + 4 = 33$$

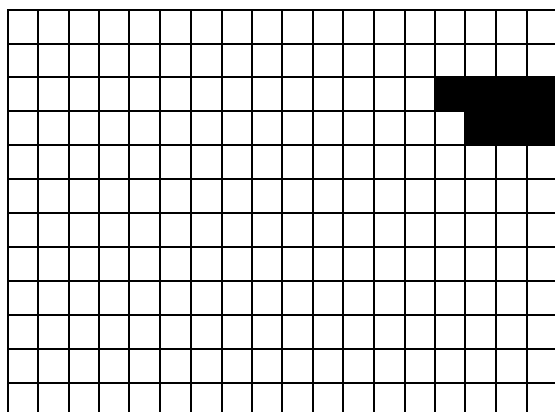


图7 两条相邻的小横向裂缝

Fig.7 Two jointed transverse cracks

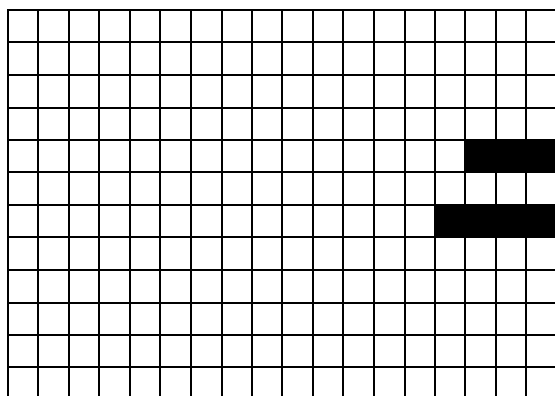


图8 两条不相邻的小横向裂缝

Fig.8 Two un-joined transverse cracks

图8的破损为

$$2 + 3 + 2 + 2 + 3 + 3 + 2 = 17$$

它们的破损差别已显示出。

按照 UCI 方法, 图7与图8、图7与图9的破损值相等。UCI 方法没有考虑到破损的密集程度, 而本文方法考虑了。

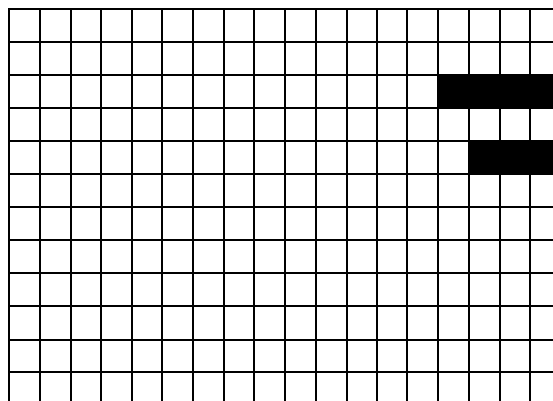


图9 路面子块图7的一种变化形式

Fig.9 A changed form of the divided sub-lock of road surface of Fig.7

以上分析表明, 本文的方法比其它方法更加客观而有效。按照 UCI 计算方法, 在相同的破损百分率情况下, 破损形式千差万别, 而用本文的考虑破损密度的方法后, 能够得到更多的信息。这些信息不但对路面破损评价有用, 而且对路面破损识别也有用。例如一龟状裂缝路面与一块状裂缝路面, 用 UCI 方法具有相同的破损百分率, 根据 UCI 则无法区分, 而用本文的方法, 能把他们区分出来。

2.3 基于破损密度因子的路面破损识别

文献[5]采用和文献[6]一样的方法对路面进行二值化和对子块图象进行 0, 1 化。文献[5]提出了一种识别率最高的路面破损特征描述方法, 即 PROXIMITY 方法。它的计算步骤如下: 在路面子块 0, 1 二值化后, 作垂直方向的投影和水平方向的投影, 得水平方向的投影序列 $x(m) = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 和垂直方向的投影序列 $y(n) = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 然后计算:

$$s_y = \sum_{i=1}^n |y_{i+1} - y_i| \quad (2)$$

$$s_x = \sum_{i=1}^n |x_{i+1} - x_i| \quad (3)$$

$$s = \sum_{i=1}^m y_i \quad (4)$$

以 s_y 和 s_x 和 s 作为路面图象的特征,本文主要对该算法的平移不变、旋转不变以及反映路面破损的真实情况这三个方面,与文献[5]进行比较。

文献[5]的 PROXIMITY 方法,至少存在明显的“边界错误”和“间隔错误”。“边界错误”是指在边界处按照 PROXIMITY 方法会产生误判的情况。例如,一横向裂缝在最边界处,其 s_y 的值是 18,但是,若其不在最边界处,其 s_y 值则是 36,同时 s_x 和 s 保持不变。限于篇幅,对于“边界错误”我们省略图例。“边界错误”说明 PROXIMITY 方法不具有充分的平移不变。而本文的方法具有充分的平移不变。

“间隔错误”是指由于破损的间隔带来的误判。按照 PROXIMITY 方法,图 8 比图 10,图 6 比图 5 破损更严重。因为 s_x 和 s 相同,而 s_y 的大小决定破损程度。但是,使用本文的方法可以得出与 PROXIMITY 方法正好相反的结论。由此可见,考虑破损密度因子时比 PROXIMITY 方法具有更优的识别性质。

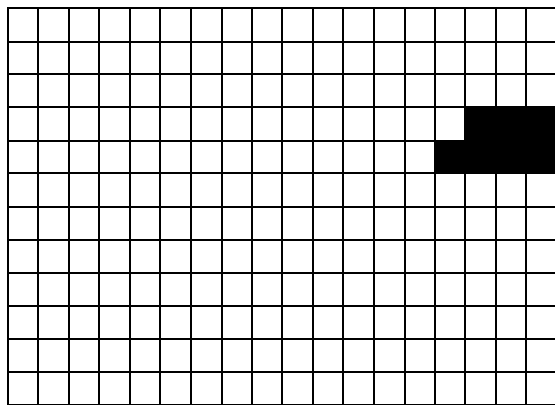


图 10 路面子块图 8 的一种变化形式

Fig.10 A changed form of the divided sub-lock of road surface of Fig.8

文献[5]的 PROXIMITY 算法具有一定程度的平移不变,和 180 度旋转不变特性。这种优点在图象识别中是非常重要的,也决定了 PROXIMITY 这种算法优于文献[5]的其它两种算法。例如图 7 和图 10,图

8 和图 9,相当于旋转 180 度,文献[5]的 PROXIMITY 方法可以把他们归为一类。同样地,我们的方法也具有 180 度旋转不变性,即图 7 和图 10,图 9 和图 8 的破损值相等。

因为我们的破损密度因子是 3×3 算子,所以,当间距超过一定范围时,就可能会失效。例如,图 8 和图 11 的破损密度和都是 17。但是,当采用 5×5 的密度因子时,图 8 为 31,图 11 为 20,它们是可以区分的。我们利用 5×5 和 3×3 的两种密度因子卷积,得 S_5 和 S_3 ,令原图破损值为 S_0 ,计算特征 $F_1 = (S_3 - S_0) / S_0$, $F_2 = (S_5 - S_0) / S_0$,拟利用 S_0 、 F_1 与 F_2 作为特征,用以区分龟裂和块裂。限于篇幅,仅举一例,见表 1 和表 2。比较表 1 和表 2,容易得到,采用破损密度因子后,较文献[5]的方法,图 12 和图 13 变得容易区分多了。

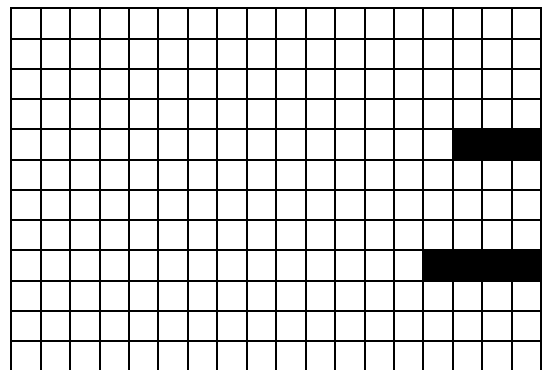


图 11 路面子块图 8 的另一种变化形式

Fig.11 Another kind of changed form of Fig.8

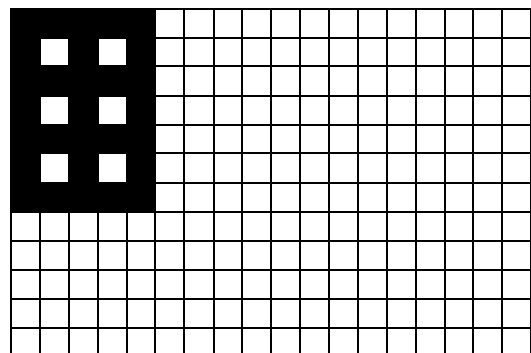


图 12 模拟龟状裂缝

Fig.12 Simulative alligator pavement distress

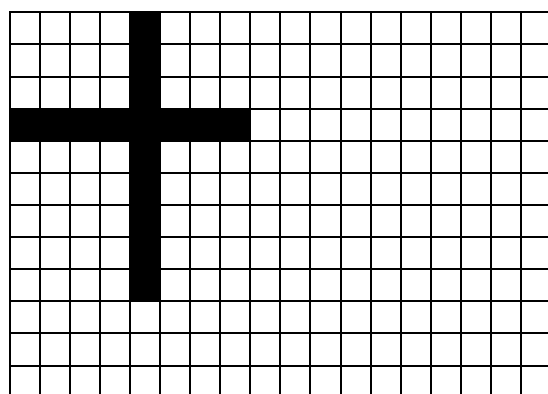


图 13 模拟块状裂缝

Fig.13 Simulative block pavement distress

最后，不妨再举一例。图 14 也是文献[5]中的路面子块图，为一块状裂缝，因为具有较强的对比性，

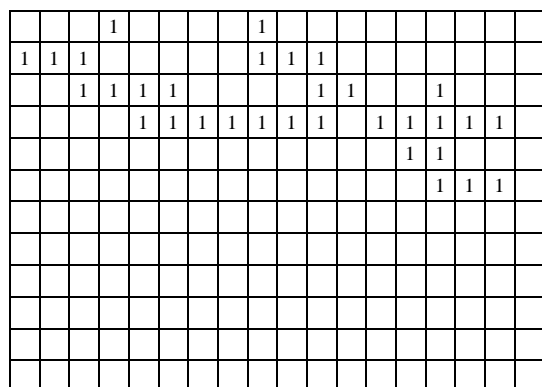


图 14 实际一块状裂缝

Fig.14 One block of real pavement distress

我们把其分析结果列于表 1 表 2 中。图 14 与图 12 按照 PROXIMITY 的方法是根本无法区分和识别的，而按照我们的破损密度因子方法，根据 F_1 和 F_2 的值是可以区分和识别的。我们已经分析过的 50 幅左右图象，得出的基本趋势是块状裂缝的 F_1 小于 4 甚至 3.8，块状裂缝的 F_2 小于 6。

参考文献

[1] 张 弛. 我国高速公路通车里程接近 3 万公里 [EB/OL]. <http://www.chinahighway.com/dpinfo.php?infoid=61892> 2004-01-15.

表 1 按照破损密度因子计算的特征

Tab.1 Features based on density factor of distress

模拟图象	S_0	S_3	S_5	F_1	F_2	破损类型
图 12	29	145	258	4.000	7.897	龟状裂缝
图 13	16	54	79	2.375	3.938	块状裂缝
图 14	35	153	235	3.371	5.714	块状裂缝

表 2 按照 PROXIMITY 方法计算的特征

Tab.2 Features based on PROXIMITY method

模拟图象	S_0	S_x	S_y	破损类型
图 12	29	19	17	龟状裂缝
图 13	16	17	15	块状裂缝
图 14	35	13	18	块状裂缝

4 结束语

本文提出了一种基于破损密度因子的路面破损评价和识别的新方法。并通过一系列子块路面图象，与文献[5]的 UCI 方法和文献[8]的 PROXIMITY 的方法进行了比较分析。经过手工分析了 50 幅左右的路面图象，发现我们的方法比 UCI 方法和 PROXIMITY 方法均有很大的改进，无一例外。而且分析所采用这些路面图象完全是随机的选自于文献[3]、[4]、[5]、[6]。例如图 12、图 13 是文献[5]中分析过的图象，是文献[5]作者承认采用 PROXIMITY 方法难以识别的路面图象，也是我们开始寻求新方法的起点。

我们正在进行的工作是通过对更多的实际路面图象分析，包括分析尽可能多的破损类型和同种类型的不同变化形式破损，结合神经网络训练和识别，以求最终得到一种简单、有效的基于破损密度因子的自动识别算法。

[2] 初秀民, 王荣本, 储江伟, 等等. 基于不变矩特征的沥青路面破损图像识别[J]. 吉林大学学报(工学版), 2003; 33(1): 1-7.

- [3] 储江伟, 初秀民, 王荣本, 等等. 沥青路面破损图像特征提取方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2003; 8A(10): 1211-1217.
- [4] 初秀民, 王荣本, 储江伟, 等等. 沥青路面破损图像分割方法研究[J]. 中国公路学报, 2003; 16(3): 11-14.
- [5] Lee B. J. Development of an integrated digital pavement imaging and neural network system [D]. Iowa, USA: Faculty of the University of Iowa, 2001.
- [6] Siriphan Jitprasithsiri. Development of a new digital pavement image processing algorithm for unified crack index computation [D]. Utah: University of Utah, 1997.
- [7] Mei X. Y. Automatic detection of pavement surface crack depth on Florida roadways [D]. South Florida Tampa: University of South Florida Tampa, 2001.
- [8] Miyojim M, Cheng H D. Novel system for automatic pavement distress detection [J]. ASCE, 1998; 12(3): 145-152.
- [9] 熊和金. 路面破损诊断的神经网络方法[J]. 公路交通科技, 2001; 18(1): 10-12.

上接第 75 页

车的制造成本,但是,对于确保汽车的安全行驶和防止国家税费流失的意义却不容低估,具有可行性。

4 结 语

汽车超载现象已成为当前道路交通管理工作的积弊,如果不予治理,将严重危害道路交通安全以及道路交通运输事业的健康发展。规定货车的最大比功

率和给货车加装质量限定装置,可以从限制货车发动机的最大后备功率和主要承载车桥的最大允许载荷入手,消除汽车自身的超载能力。当然,这只是为防止货车超载运输提供了可能的技术措施,至于措施的具体推广应用则需要法律的支持和保障,并且,对货车超载运输现象的最终禁止是一项涉及社会生产和生活(尤其是物价)稳定的工作,尚需精心筹划后稳妥施行。

参考文献

- [1] 徐焱, 黎政祥, 王业丰. 12 吨车竟装 150 吨!五省区市联合治理公路超载超限[N/OL]. <http://www.cnradio.com.cn/picture/200311270207.html>. 2003-11-28.
- [2] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社, 1989. 57-58.
- [3] 国家技术监督局. 机动车运行安全技术条件(GB7258—1997) [S]. 1997.
- [4] 国家经济贸易委员会, 公安部. 关于在生产及使用环节治理整顿载货类汽车产品的通知[Z]. 国经贸产业[2001]808号.
- [5] 国务院. 中华人民共和国道路交通管理条例[Z]. 1988.
- [6] 公安部. 高速公路交通管理办法[Z]. 1994.