

改进的路面图像背景校正算法

李 莉, 孙立军, 陈 长

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 针对 CCD(charge coupled device)摄像机在拍摄路面图像时存在的背景光照不均问题,对传统的背景校正算法进行了改进,提出了改进的基准背景法和两种改进的背景平均校正法:减背景法和校正系数法.结合实例对上述方法进行验证,结果表明,改进的基准背景法运算简便,适用于任何路面图像的背景校正;减背景法抑制背景噪声的能力优于校正系数法,但后者校正的图像更符合人眼的观测习惯.另外,对背景校正后的图像进行图像分割的结果也表明,当路面图像背景亮度均匀时,大津法可以获得理想的图像分割效果.

关键词: 路面损坏; 背景校正; 图像处理; 图像增强

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

Modified Background Correction Algorithms for Pavement Images

LI Li, SUN Lijun, CHEN Zhang

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Pavement images through charge coupled device (CCD) cameras always go with nonuniform background illumination, therefore, the paper presents an improved typical methods for background correction, including modified Cheng's method and two modified average background methods, background subtraction and correction coefficient method. The methods mentioned are applied to real pavement distress images and the results show that modified Cheng's method has advantage in simplified calculation and can be applied to any pavement image. Moreover, background subtraction has stronger ability to eliminate background noise compared to the correction coefficient method, but images corrected by correction coefficient method are more suitable to the observation of human eye. Besides, the result of segmentation after background correction shows that Ostu method can provide good segmented images when the background is

uniform in pavement images.

Key words: pavement distress; background correction; image processing; image enhancement

典型的路面状况自动检测系统一般由图像采集、预处理(图像增强与分割)和病害识别(路面损坏分类与定量分析)3个子系统构成,其中图像分割是路面病害识别的基础. Maser 在直方图均衡化的基础上提出一种图像分割阈值的确定方法^[1],分别讨论了直方图呈双峰和单峰特征的图像,但没有指出应如何选取阈值初值. Koutsopoulos 等人比较了 4 种图像分割方法的效果,包括大津法、Kittler 算法、改进的松弛算法和回归阈值法,结果表明松弛算法和回归阈值法的分割效果相对较好^[2]. 申红平提出用“极差法”来分割图像^[3],分割效果理想,但阈值的确定需依赖人工训练,在路段特征变异性较大时工作量也随之上升.

上述图像分割算法的共同特点是分割效果取决于原始路面图像的质量,每种算法都只对某一类或几类图像有效. 造成这种现象的原因之一是通过 CCD(charge coupled device)摄像机拍摄的路面图像通常缺乏统一的光强背景,而人工补光常会出现中间亮、四周暗的光照不均现象. 此外,目标物距离成像系统的远近也会影响图像背景的光强. 针对这一问题,一些消除图像背景差异的算法相继提出,代表性的有 Cheng 等人的基准背景法^[4]和 Koutsopoulos 等人的背景平均法^[5]. 前者利用单幅图像自身的信息对背景灰度进行校正,而后者则是在同系列多幅图像的基础上扣除共同的背景特征.

本文将分析和比较这两种算法,分别对其进行

收稿日期: 2009-09-14

第一作者: 李 莉(1983—),女,博士生,主要研究方向为道路设施管理系统. E-mail: tjulili@yahoo.cn

通讯作者: 孙立军(1963—),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为道路设施管理系统、路面结构与路面材料、交通信息系统和交通战略管理. E-mail: ljsun@tongji.edu.cn

改进,并结合实例评价这两种算法对图像分割效果的影响.本文假设路面图像中损坏区域的灰度值总是低于背景区域.

1 基准背景法

1.1 算法模型

基准背景法将图像矩阵分成尺寸相同的子矩阵,利用子矩阵的灰度特征构造该图像的“理想背景”.

Cheng 等人认为图像灰度的变异来自 3 个方面,如式(1)所示.

$$I(p) = I_b(p) + I_n(p) + I_d(p) \quad (1)$$

式中: $I(p)$ 为像素灰度; $I_b(p)$ 为照明信号; $I_n(p)$ 为噪声信号,主要指路表微观纹理引起的噪声; $I_d(p)$ 为损坏信号,包括真实的路面损坏或由泛油、污渍等引起的其他不规则痕迹.

为了提取图像中的损坏信息,需要将背景灰度转换为分布特征确定的基本灰度 B ,如式(2)所示.方法是将图像矩阵划分为子矩阵并计算其平均灰度.由于光照和损坏分布的不均性,子矩阵之间存在灰度差异,含有损坏区域的子矩阵平均灰度较低.而光强是缓慢、连续变化的,因此可沿行(列)对子矩阵的平均灰度进行检测,当灰度值突降时,用相邻子矩阵平均灰度的均值代替该子矩阵的灰度值.随后在均匀化的子矩阵灰度中选定基本背景灰度 B ,按式(3)计算子矩阵转换系数 $M(p)$,并插值得到每个像素的转换系数,使整个图像的背景灰度值分布在 B

值附近,即“理想背景”,此时得到的图像即为增强后的路面图像.

$$I_b(p) = B \quad (2)$$

$$M(p) = B/I(p) \quad (3)$$

由上述算法构造可知,式(2)中基准背景灰度 B 的选取是整个算法的关键,它决定了图像灰度值的调整幅度,也即决定了目标物和背景是否能有效分离.但遗憾的是,Cheng 等人并没有给出明确的 B 值确定方法,使该算法难以实际应用,因此本文提出一种改进的基准背景法.

1.2 算法改进

当对子矩阵平均灰度进行检测和替换后,子矩阵灰度的变化趋势即代表图像亮度的整体变化趋势.校正后的图像背景应趋于均匀,也即亮度变化趋势应近似水平,因此可采用“逐格平移”的方法将各子矩阵平均灰度平移到同一水平,得到基准背景 B .

此外,为简化计算,本文提出 2 点假设:①子矩阵内的像素灰度变化幅度相同;②将全部子矩阵平均灰度的中值作为基准背景灰度.由于子矩阵尺寸通常较小,因此假设①对图像精度的影响不大,而假设②则使校正后的图像在视觉上与原图像较为近似.按照改进后的基准背景法,校正时只要简单地计算子矩阵平均灰度与基本背景灰度的差值即可.

1.3 改进后算法的校正效果

将上述改进后的算法应用于 $462 \text{ 像素} \times 324 \text{ 像素}$ 的示例龟裂图像,如图 1a 所示.计算时将原图像分解为 $14 \text{ 像素} \times 18 \text{ 像素}$ 的子矩阵,以子矩阵平均灰度的中值作为基准背景灰度 B ,校正结果见图 2.

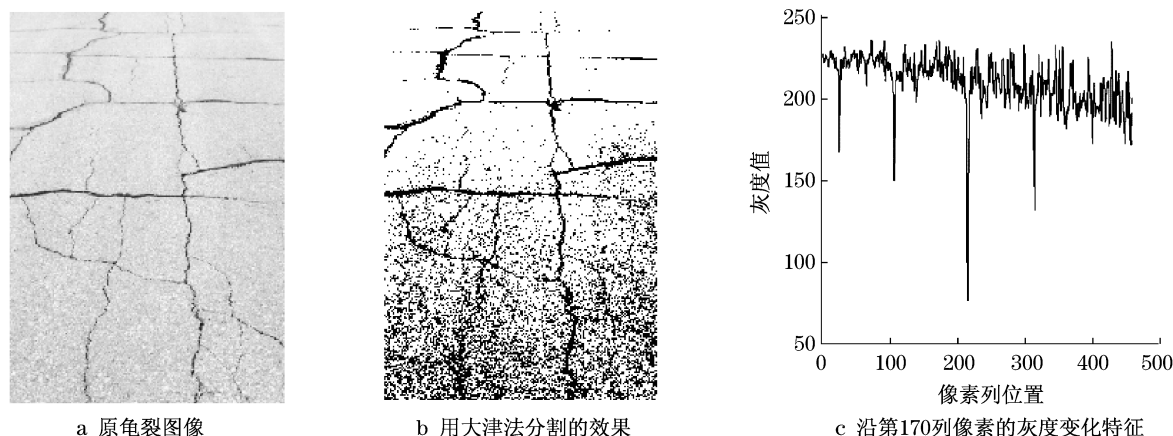


图 1 校正前的龟裂图像

Fig.1 Cracking image before background correction

对比图 1,2 可知,校正后图像的背景变得更加均匀,上明下暗的背景分布得到改善.当用大津法直

接分割原图像时,分割后的图像出现大面积背景噪声,如图 1b 所示,而 Koutsopoulos 等人也认为大津

法虽然具有运算简单快速的优点,但却并不适用于分割路面图像^[2].而本文对背景校正后的图像运用大津法分割时却发现其可以得到理想的分割效果,如图2b所示,除了少量细弱裂缝外,绝大多数裂缝都可以从背景中提取出来.由此也可看出,当对路面图像的背景进行校正后,即使简单的图像分割方法也可能获得理想的分割效果,这就为用同一种相对简单的算法分割绝大多数路面图像提供了可能.

此外,任意选取该龟裂图像中的一列像素,观察其灰度特征在背景校正前后的变化,分别见图1c和图2c.曲线的整体起伏趋势反映了图像对应列的背景明暗程度,而曲线突降则代表该处存在损坏.校正后曲线变化趋于平稳,说明此时背景亮度较为均匀,而校正前后曲线突降的幅度没有明显变化,说明背景校正过程没有削弱原图像的损坏特征,因此在图像分割前进行背景校正是可行的.

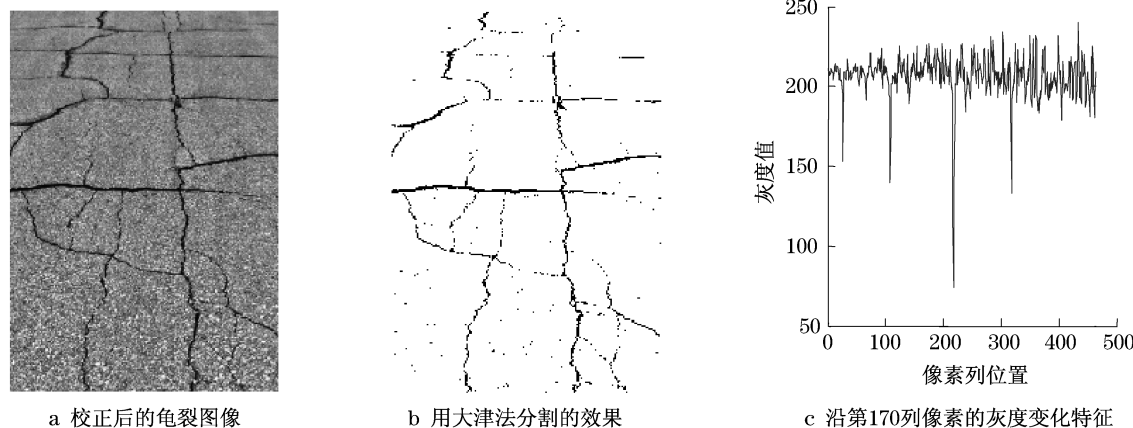


图2 改进的基准背景法校正后的龟裂图像

Fig.2 Cracking image after background correction by modified Cheng's method

2 背景平均法

2.1 算法模型

背景平均法利用了拍摄条件相同、路段状况相似的多幅图像的背景信息. Koutsopoulos 等人把路面图像分为2层:图像层和像素层.消除背景不均影响的图像预处理发生在图像层.与 Cheng 等人的观点类似, Koutsopoulos 等人认为路面损坏图像可分为3个部分:①光照不均匀的背景;②路表纹理噪声;③路面开裂或其他物体引起的噪声.其中①和②对同系列中的所有图像影响相同.

Koutsopoulos 等人首先选取某一图像系列中的所有 n 幅无损图像,按式(4)计算得到其平均图像,以此作为损坏图像的“理想背景”,其中 $g_i(x, y)$ 表示第 i 幅无损图像的灰度水平.然后从损坏图像 $g_d(x, y)$ 中扣除“理想背景”得到目标图像 $g'_d(x, y)$,如式(5)所示,其中 c 为正常数,用来避免校正后的图像灰度值出现负值.

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i(x, y) \quad (4)$$

$$g'_d(x, y) = g_d(x, y) - \bar{g}(x, y) + c \quad (5)$$

由于该算法的计算基础是无损图像,因此背景消除计算不会影响损坏图像中的损坏信息,且对背景取平均后,路面纹理噪声的变异程度也降为原来的 $1/n$.

但在校正计算中发现,严格按照式(5)校正图像存在2个问题:①常数 c 难以确定,需要多次试算;②即使设置了防止灰度出现负值的常数 c ,也很难得到符合实际的校正图像,因为一般图像显示设备的灰度取值范围为 $0 \sim 255$,当数值溢出时将自动显示为边界值,也即按照式(5)计算有可能使校正后的图像失真.因此,本文提出2种改进的背景平均校正算法.

2.2 改进算法1——减背景法

减背景法仍采用式(5)扣除平均背景的思路,由于平均背景的灰度值通常不低于损坏图像对应像素的灰度值,因此可使用在平均背景中扣除损坏图像的方法来消除背景,如式(6)所示.减背景法利用的仍是损坏图像和平均背景的灰度差,因此同样需要加上防止灰度值出现负值的常数 c ,只是此时灰度值为负的概率较小,也即校正后图像失真的概率较小.

$$g'_d(x, y) = \bar{g}(x, y) - g_d(x, y) + c \quad (6)$$

2.3 改进算法2——校正系数法

减背景法能够一定程度上抑制校正后的图像失真,但仍不能彻底解决这一问题,因此有必要从其他

思路设计改进算法.为此,本文提出校正系数法.

背景平均法的隐含假设是在拍摄条件相同、路段状况类似的情况下,同一组路面图像的背景亮度分布应相似,因此可以用从无损图像中提取出的平均背景校正损坏图像.从此假设可以得出一个推论:平均背景对无损图像和损坏图像的校正效果应相同.因此,可以先求出平均背景和无损图像间的校正系数,再用此系数校正损坏图像,如式(7)所示, $g'_i(x, y)/g_i(x, y)$ 即为校正系数.

$$g'_d(x, y) = g_d(x, y) \frac{g'_i(x, y)}{g_i(x, y)} \quad (7)$$

2.4 改进后算法的校正效果

背景平均法是利用同系列多幅图像的信息进行背景校正的方法,因此需要准备拍摄条件相同、路段状况相似的多幅图像.为了获取不影响图像损坏特征的平均背景,多幅图像中还必须包括一定数量的

无损图像.本文以 ARRB(澳大利亚公路集团有限公司)路面检测车拍摄的一组图像为例,图像尺寸均为 288 像素×384 像素,共 55 张,其中无损图像 25 张,损坏图像 30 张,并以其中一张损坏图像为例,分析其灰度特征在校正前后的变化及用大津法进行图像分割的效果.

该损坏图像如图 3a 所示,可以看到原图下边缘有明显的车辆阴影.其相应的直方图和灰度变化特征分别见图 4a 和图 5a.由图 4a 可以看出,该图像的直方图表现为多峰特征,因此直接用大津法分割效果较差,如图 6a 所示,分割后的图像阴影与损坏连成一片难以区分.

由 25 张无损图像计算得到的平均背景见图 3b,平均背景下边缘保留了该系列图像所共同具备的阴影特征,因此车辆阴影已成为图像背景的一部分,可以在背景校正中消除.

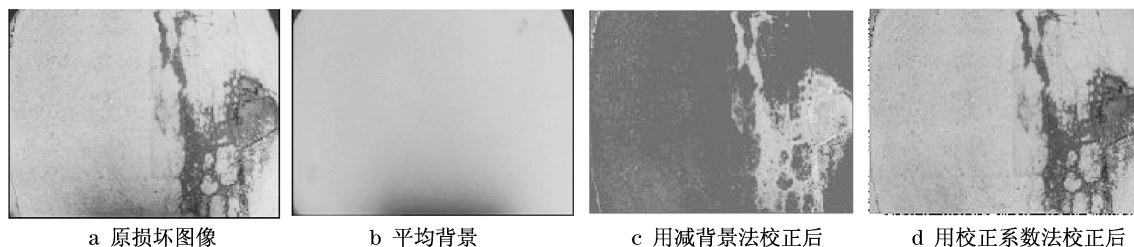


图3 损坏图像校正前后对比

Fig.3 Distress image before and after correction

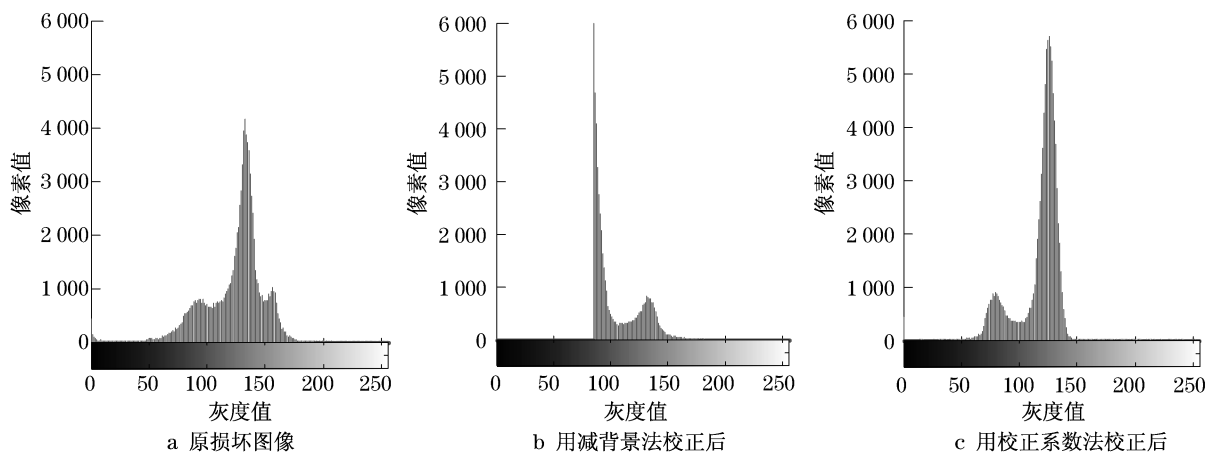


图4 校正前后损坏图像的直方图

Fig.4 Histogram of distress image before and after correction

2.4.1 减背景法校正效果

减背景法的校正效果见图 3c,其相应的直方图和灰度变化特征分别见图 4b 和图 5b.由图 3c 可以看出校正后的图像和原图相比有较大反差,但损坏区域与背景的对比如有所增强,这一点从图 4b 所示

的直方图中也可看出,校正后图像的直方图由多峰变成双峰,有利于图像分割,但由于在平均背景和损坏图像相减的过程中也出现了灰度值溢出的问题,所以用 c 值修正后直方图左侧呈现整齐边缘,而图 5b 所示灰度特征变化曲线的灰度最小值形成水平线

段.可以说式(6)也会使原图像出现一定程度的失真,只是相比式(5)而言失真较轻微,对图像分割影

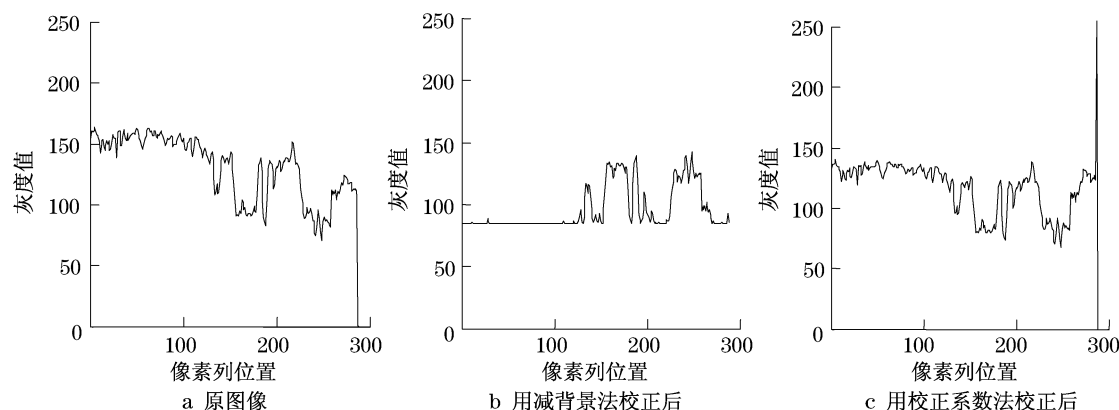


图5 损坏图像沿第300列像素的灰度变化特征

Fig.5 Variation of gray level along row 300 of distress image

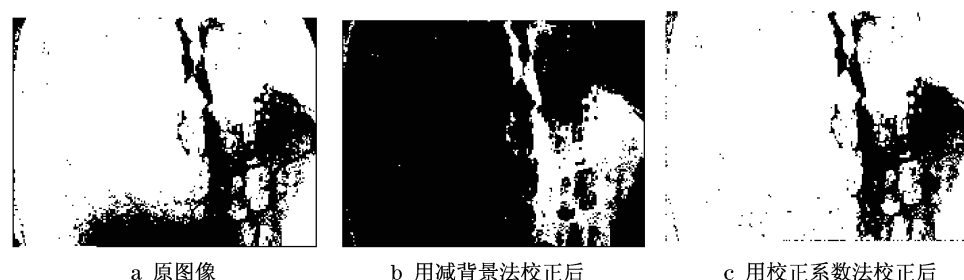


图6 损坏图像用大津法分割的效果

Fig.6 Segmentation of distress image by Ostu method

此外,减背景法的优势还在于当损坏图像中存在标线、杂物等灰度值高于损坏区域的亮区时,背景校正后这些区域的灰度值会显著低于损坏区域,从而在图像分割中成为区别于损坏区域的背景,不会对损坏区域产生干扰.减背景法校正后的图像用大津法分割的效果见图6b,从图中可以看出阴影对原图像的影响已完全消除.与未校正的原图像分割效果图6a相比,损坏区域提取得更加完整,背景中的点噪声也得到明显抑制.

2.4.2 校正系数法校正效果

校正系数法的校正效果见图3d,其相应的直方图和任意列像素灰度变化特征分别见图4c和图5c.由图3d可以看出,校正后的图像消除了下边缘的阴影,背景趋向均匀,并同时保持了原图中的损坏特征.这一点也可从图5c中看出,校正后除因消除下边缘阴影引起末端灰度突增外,整个灰度曲线的变化趋势基本保持了校正前的特征,而曲线整体变得更加平缓也说明图像背景已趋向均匀.此外,与减背景法的校正结果图4b相似,校正系数法校正后,图3d的直方图图4c也呈现出明显的双峰特征,但峰值

呈过渡式变化,更符合实际.

校正后的图像用大津法分割的效果见图6c,可以看出分割后的图像完整地保留了原图中的损坏特征并消除了阴影的影响,与图6b相比,除黑白对比相反外,提取损坏特征的能力没有明显差别,但对背景噪声的抑制略差.这说明当用大津法分割时,校正系数法和减背景法都可以获得较好的校正效果,而减背景法在抑制背景噪声方面优势更大.

3 两种背景校正算法的比较

(1) 从算法适用的范围来看,基准背景法仅利用损坏图像本身的信息,对图像样本数量和图像质量没有要求,因此理论上适用于任何路面图像的背景校正.而背景平均法则需要大量拍摄环境和路段条件类似的路面图像,且其中相当一部分是无损图像,校正效果主要受图像样本数量和质的影响,因此在适用范围上具有一定的局限性.

(2) 从校正效果来看(以本文选取的路面图像为例),改进后的基准背景法在使背景均匀的同时较

好地保留了原图像中的损坏特征,取子矩阵灰度中值为基准背景灰度的假设也简化了计算,因此校正效果令人满意.而在改进的背景平均法中,减背景法既保留了原图像中的损坏特征,又较好地抑制了背景噪声,虽然直方图变化趋势与实际反差较大,但对分割效果无实质影响,相比之下校正系数法对背景噪声的抑制能力略差,从这个角度来看,减背景法优于校正系数法.

4 结论

本文对两种典型的路面图像背景校正算法进行了改进,并结合实例分析了各改进算法的校正效果,得出结论如下:

(1) 改进后的基准背景法运算简便,适用于任何路面图像的背景校正.

(2) 当具备背景平均法适用条件,且图像中存在标线、杂物或其他明显的背景噪声时,减背景法的适用性更好.校正系数法的优势在于校正后的图像更符合人眼观测的习惯.

(3) 传统认为不适于分割路面图像的大津法对

背景校正后的图像也能获得理想的分割效果,这就为用同一种相对简单的方法处理大多数路面图像提供了可能.

参考文献:

- [1] Maser K R. Computational techniques for automating visual inspection [R]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1987.
 - [2] Koutsopoulos H N, Sanhoury I E, Downey A B. Analysis of segmentation algorithms for pavement distress images [J]. Journal of Transportation Engineering, 1993, 119(6): 868.
 - [3] 申红平. 应用计算机视觉进行沥青路面开裂识别的研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 1994.
SHEN Hongping. Research of cracking recognition for asphalt pavement using computer vision [D]. Shanghai: Tongji University. College of Transportation Engineering, 1994.
 - [4] Cheng H D, Miyojim M. Novel system for automatic pavement distress detection [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1998, 12(3): 145.
 - [5] Koutsopoulos H N, Downey A B. Primitive-based classification of pavement cracking images [J]. Journal of Transportation Engineering, 1993, 119(3): 402.
-
- (上接第 78 页)
- [13] 周文献, 施小忠, 施祖兴, 等. 水泥混凝土路面调查及网级使用性能预测模型[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(5): 624.
ZHOU Wenxian, SHI Xiaozhong, SHI Zuxing, et al. Investigation and network-level prediction model of Portland cement concrete pavement performance [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2006, 34(5): 624.
 - [14] 林佳慧, 葛湘玮, 李英豪. 接缝式混凝土铺面高差预测模式之建立——以 LTPP 资料库为例[C]//2007 世界华人铺面专家联合学术研讨会论文集. 台湾: 台湾云林科技大学, 2007: 543-552.
LIN Jiahui, GE Xiangwei, LI Yinghao. Development of faulting prediction models for jointed concrete pavement using LTPP database [C]//The 14th National Conference on Pavement Engineering. Taiwan: Yunlin University of Science & Technology in Taiwan, 2007: 543-552.
 - [15] 庄凯驿, 葛湘玮, 李英豪. 刚性铺面糙度预测模式之建立——以 LTPP 资料库为例[J]. 铺面工程, 2007, 5(3): 9.
ZHUANG Kaiyi, GE Xiangwei, LI Yinghao. Development of IRI prediction models for jointed concrete pavement using LTPP database [J]. Pavement Engineering, 2007, 5(3): 9.
 - [16] 王晨. 广西高速公路水泥混凝土路面加铺设计研究[D]. 重庆: 重庆交通大学土木建筑工程学院, 2007.
WANG Cheng. Research on overlay design of cement concrete pavement in Guangxi [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University. School of Civil Engineering, 2007.
 - [17] 广西高速公路集团有限责任公司. 广西高速公路集团有限公司企业债券发行公告[EB/OL]. [1998-12-12]. <http://www1.jrj.com.cn/NewsRead/Detail.asp?NewsID=494488>.
Guangxi Expressway Group Co., Ltd. Corporate Bond Issue Announcement of Guangxi Expressway Group Co., Ltd. [EB/OL]. [1998-12-12]. <http://www1.jrj.com.cn/NewsRead/Detail.asp?NewsID=494488>.