

文章编号: 1001-7291 (2009) 04-0081-04

文献标识码: B

沥青路面裂缝图像识别技术研究进展

张 宏¹, 英 红²

(1. 西藏自治区交通厅重点公路建设项目管理中心, 西藏 拉萨 850001; 2 同济大学
道路与交通工程教育部重点实验室, 上海市 201804)

摘要: 对当前国内沥青路面裂缝图像识别的硬件平台、图像处理、裂缝分类技术的发展动态进行了评述, 分析了存在的问题, 探讨了沥青路面裂缝图像识别技术的未来发展方向。

关键词: 公路工程; 沥青路面; 裂缝识别; 图像处理

自 20 世纪末, 随着现代光学技术和计算机产业的飞速发展, 出现了基于激光测距和数字图像处理的多功能检测车, 具有测试精度高, 人为因素少, 不影响交通的优点, 在路面检测中得到了越来越多的应用。

沥青路面裂缝图像识别是路面无损检测技术的一个重要环节, 20 世纪 80 年代, 美国, 日本等发达国家纷纷开展了以路面自动检测设备和路面管理系统为主要内容的研究与开发工作, 并于 20 世纪 90 年代陆续发表了研究成果, 在这一阶段, 研究成果最多, 发展最快, 对沥青路面裂缝类病害实现了图像采集自动化, 由于受到当时技术水平的限制, 图像处理速度慢, 人工干预多, 精度差, 识别的正确率低。20 世纪 90 年代后期, 国际上能检索到路面损坏自动检测与模式识别方面的研究论文比较少, 据推测, 这一时期, 一方面早期的产品在技术上已经成熟, 并进入商业化阶段, 新技术的发展出于商业利益而保密, 另一方面在技术上遇到了瓶颈难以克服。近年来, 随着数字摄像技术、计算机技术、全球卫星定位系统、激光测距技术以及传感器技术的不断进步, 基于图像处理的沥青路面裂缝识别技术终于跨越障碍, 在精度、正确率方面得到了极大的改善, 出现了新一代成熟的检测技术, 如美国阿肯色大学研制的数字化路面数据采集车, 加拿大的 G I E Technology 公司研制的路面自动检测系统, 瑞典的 PAVUE 系统。我国有南京理工

大学唐振民等研制的 JG-1 型路面检测车, 武汉大学的武大卓越 ZOYON-TRM 智能道路检测车。

1 沥青路面裂缝检测系统的硬件平台

基于图像识别技术的沥青路面检测系统硬件平台一般包括图像采集系统, 定位系统, 测速系统, 存储系统, 照明系统以及计算机系统。其中, 图像采集系统是关键的, 它决定了图像分析的精度和准确率。

工业相机从传感器类型上分为 CMOS 摄像机和 CCD 摄像机, 两者工作原理不同, CCD 的优势在于成像质量好, 但制造工艺复杂, 只有少数大厂掌握, 所以制造成本居高不下, 特别是大型的 CCD 价格非常昂贵; CMOS 影像传感器的缺点是噪声较高, 优点是电源消耗量低, 成本低, 高端的 CMOS 传感器可以做得非常大并且具有和 CCD 媲美的感光度, 另外, CMOS 传感器的速度非常快, 比 CCD 传感器要快 10 ~ 100 倍, 非常适合特殊应用, 是未来摄像机传感器的发展方向。现代的路面检测车一般采集路面图像在 10 幅/秒 ~ 60 幅/秒, 大多采用 CCD 传感器, 这也是各类检测车成本居高不下的一个原因。

路面检测车采用面阵 CCD 和线阵 CCD 两种图像采集方式, 线阵 CCD 传感器是未来的发展方向, 原因在于其水平方向上可以较容易达到比面阵 CCD 更高的分辨率, 能够进入 1 mm 以下的分析精度, 这对细小裂缝的识别是非常有利的, 另外, 线阵 CCD 相

* 收稿日期: 2009-03-27

比面阵 CCD对运动图像有更好的清晰度, 瑞典的 DHDV系统采用线扫描技术, 扫描精度达到 8192像素/行, 对于宽幅 4 m的路面来说, 一个像素接近代表 0.5 mm的路面目标, 极大地提高了检测系统的效率和精度。使用线阵 CCD的关键问题在于车速与扫描速度的匹配问题。

国内外的检测车多采用 GPS定位, 通过精确的定位, 便于日后对病害位置进行查找, 方便养护工作。测速是为了控制图像采集频率, 过快的采集频率导致大量的数据冗余, 过慢的速度采集频率会导致漏检, 速度传感器是控制图像采集的关键, 可利用 GPS和距离传感器进行目标定位, 将 GPS的大范围定位和距离传感器的小范围定位结合起来, 有效地改善定位的精度。

由于路面图像海量的数据及复杂的图像处理算法, 迄今为之, 各种检测平台都未能真正做到实时处理。每秒几十 MB的数据需要存储, 需要存储速度高和存储空间大的存储设备。

采集的路面图像的灰度值受光照的影像严重, 光照的角度变化、光照强度的不均匀、摄像设备及安装支架的阴影都会影像图像的灰度值, 进而影像路面图像数据处理及识别的精度, 早期的路面检测车只能夜间出动, 辅以照明设备。当前的检测车都配备了精心设计的辅助光源, 克服太阳光、云、树木等产生的噪声。

2 图像识别算法

采用视觉图像检测, 运用图像识别等技术处理路面裂缝图像已经成为当前研究的热点, 它主要包括图像预处理、图像分割、目标特征提取和裂缝类别分类、裂缝参数测量等环节, 其中图像分割和目标识别分类研究的最多, 取得了一些可喜的进展, 但寻找一种简单、高效的图像分割算法, 正确率高的裂缝分类方法仍是当前急需解决的任务。

2.1 图像预处理

路面裂缝图像中存在油污、杂物、在拍摄过程中光学系统失真、相对运动、气流造成的图像模糊、在图像传输过程中的噪声污染等, 图像预处理的任务是将图像的噪声去除, 增强目标在图像中的能量, 即凸显裂缝在图像中的主要特征, 使得裂缝能在分割中准确的提取出来, 但并不是所有的噪声都能去除干净。在沥青路面裂缝图像预处理方面, Siriphan Jitprasith-sir^[4]利用中值滤波的方法, 增强图像, 中值滤波是一种非线性滤波, 能去除一定的噪声, 且图像的边缘不

会变坏; 王太平^[2]等针对在路面检测中传统的中值滤波方法对含有多根、较窄、多方向裂缝在处理过程中裂缝边缘细节保留不完整的缺点, 提出了一种准米字型窗口中值滤波算法, 该算法在抑制噪声的同时有效的保留了图像边缘细节信息; Koutsopoulos^[5]等利用差影法, 将裂缝图像与一副没有裂缝的图像相减, 从而增强图像中的裂缝; 刘玉臣^[4]等提出一种基于模糊理论的路面裂缝图像增强的方法, 克服一定的非均匀背景光照对图像的影响; 伯绍波^[5]等针对模糊图像增强算法存在的运算速度慢以及丢失部分图像信息等问题, 提出了一种封闭性和移植性好的广义模糊增强算子, 该算子结合梯度算子将图像增强处理集中在敏感区域, 并构造了四种结构元素求出敏感区域内数学形态梯度提取图像边缘, 实现一种图像增强与边缘提取算法; 孙波成^[6]提出了一种以 5×5 的窗口为基准, 在这个窗口中定义了 9种不同的掩模模板, 对图像进行平滑和增强。

图像增强分为空域和频域两类, 所谓空域就是在图像空间域内, 频域为图像能量的频率域。噪声和裂缝同属于频域中的高频部分, 单独利用频域增强, 难度很大, 因此, 大部分的裂缝图像增强算法属于空域增强, 或空域结合频域信息进行滤波。

2.2 图像分割

图像分割是整个图像处理工程成败的关键, 能不能识别, 识别率多少往往取决于分割效果的好坏, 图像分割算法在路面裂缝图像处理中应用很多, 分为阈值分割, 区域分割以及边缘检测三大类, 经典的如 Otsu^[7]阈值分割, 最小误差法, 并行区域种子点法, Sobel^[8]边缘检测, Laplace^[9]边缘检测, 差分法等, 研究者在这些经典的分割方法的基础上, 针对路面裂缝图像的特征结合模糊数学, 小波分解等数学工具构造出了各具特色的分割算法。H D Cheng^[7]等提出了一种路面破损模糊分割方法。其主要思想是: 路面破损图像中破损区域的像素灰度值比非破损区域中的小, 且具有连续性。在该算法中首先提出了经差分处理后路面图像像素灰度值的隶属度函数, 并利用遗传算法确定该隶属度函数的参数, 接着对路面破损图像进行模糊化处理; 最后根据破损区域像素连续性的特点, 将破损区域像素连接起来得到路面破损图像的分割结果。该方法试验结果较好, 但处理时间也较长。李晋惠^[8]根据裂缝边缘在各个角度上可能存在梯度, 提出了 8个方向的模板对图像进行 Sobel^[8]边缘检测, 结合加权的邻域平均噪声滤除算法和 Ost^[9]分割算法对裂

缝进行分割, 裂缝的边缘保护的较好, 边缘断续的情况较少; 闫茂德^[9]基于数学形态学的原理, 提出了一种路面裂缝图像检测与分析的新方法。该方法通过4种结构元素的中值滤波算法增强路面灰度图像, 并利用形态学梯度算子、闭合算子进行边缘检测和裂缝孔隙弥合, 能够有效地检测出裂缝边缘, 并保持边缘的平滑性。张娟^[10]认为传统方法中仅仅利用灰度变化的幅度作为局部边缘提取的主要度量是存在问题的, 提出采用相位编组法进行裂缝提取。有利于检测出有弱对比度的裂缝及细小裂缝。唐磊^[11]将二维平面图像映射到三维空间曲面, 使得在二维平面中难以描述的裂缝信息在三维曲面中能通过一条狭长的“山谷”来准确地描述。通过分析三维曲面中“山谷”的曲率特征, 采用基于微分几何的空间检测算子准确提取曲面中的“山谷”, 并映射到二维图像平面中作为裂缝点。

评价分割算法的好坏, 必须从两个方面考虑, 首先是分割质量, 细小裂缝的缺失, 裂缝边缘的断续都将造成后续参数测量的误差, 并影响分类结果; 其次, 算法的速度, 有些算法分割的质量很好, 但运算速度令人难以忍受, 路面裂缝图像需处理的数据成千上万, 高效、准确的分割算法至关重要。

2.3 特征提取及分类器

道路管养部门需要统计裂缝的长、宽, 面积以及裂缝的类型, 以此为依据提出养护方案, 因此路面裂缝图像处理系统的根本目的就是计算每条裂缝的长、宽、面积以及辨识裂缝的类型。这些参数需要通过对裂缝图像进行特征提取, 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、几何形状特征等。常用的路面破损分类器有贝叶斯分类器、线性分类器、非线性分类器。由于路面破损的种类繁多加上破损程度很难用统一的解析式来描述, 基于人工神经网络非线性分类算法研究成为路面破损自动识别研究的热点。Kasek^[12]等对路面破损识别传统分类器与人工神经网络分类器进行了比较研究, 指出了应用神经网络分类器识别路面破损更具有优越性。初秀民^[13]将路面图像等分为 64×64 像素的子块图像, 并用灰度方差值描述子块图像特征。设计了基于BP神经网络的子块图像模式分类器, 利用子块图像模式分类结果所组成的矩阵作为路面破损图

像分割结果。并将路面破损图像子块分布特征作为路面破损图像的整体特征, 在此基础上设计了基于全局优化算法的路面破损前馈神经网络分类器。肖旺新^[14]等提出了一种基于破损密度因子的路面破损评价和分类方法。丁爱玲^[15]提出了基于支持路面裂缝分类方法。对于训练样本数很少的5种裂缝, 建立了相应的支撑矢量机分类器算法, 并分别构造了对应的分类器, 根据最优分类面原则来获取最佳参数, 确定出裂缝类型, 从而实现对面路面裂缝的正确分类。

3 存在的问题和未来发展方向

基于图像技术的沥青路面裂缝识别技术这几年有着很快的发展, 这得益于数字成像技术在分辨率及采集速度上的质的提高, 国内在硬件及其软件研制方面逐步缩小了与发达国家的差距, 取得了可喜的成绩, 但是目前的沥青路面裂缝识别技术还存在很多不足:

(1) 目前代表了新一代路面裂缝识别系统的像素分辨率已经进入了毫米级, 但这并不是说能够较完美的识别出毫米以下的细小裂缝, 很多细小裂缝只有一个像素宽, 断断续续, 与噪声混杂在一起, 很难在图像处理阶段识别出来。

(2) 裂缝图像处理技术大多是基于灰度, 灰度受光线强弱, 角度, 阴影等影响严重, 虽然很多系统采用了独特设计的光照系统, 旨在光照均匀, 但不可避免的是图像边界区域总是要受外部光线的影响。

(3) 大多系统采用了GPS定位和测速传感器, 用以同步图像采集系统, 旨在使图像采集工作不重不漏, 但目前来看很难做到这一点, 尤其是采用多摄像头的系统。

(4) 图像处理算法复杂, 不能实现实时处理, 在算法的精度上, 采用各种滤波算法或形态学操作进行去噪, 不可避免的使裂缝图像失真, 甚至造成裂缝图像缺失; 在二值化过程中存在着精度和速度的矛盾; 图像识别阶段, 国内外大多采用了神经网络, 该网络存在着局部极值, 过度收敛, 泛化能力差的先天不足, 且对训练样本依赖严重。

(5) 在软硬件平台研究及路面图像样本采集中, 国内重复研究严重, 不能有效的整合资源, 形成合力。

随着新的测量理论, 新的机器视觉理论的出现, 分辨率更高、采集速度更快、图像质量更好、成本更低的数字图像采集设备的普及, 新的计算机理论及应用技术和硬件速度的提高, 沥青路面裂缝图像识别系统将具有如下的特点:

(1) 实时采集, 实时处理, 并行计算。

(2) CMOS摄像机取代 CCD 成为新一代数码摄像的主力, 采样频率大大提高, 图像采集系统成本大大降低。

(3) 高行分辨率、高输出带宽的线扫描摄像机与检测车高度同步, 能够识别细小微裂缝。

(4) 高速的平滑消噪增强算法, 自适应的集合空域频域的分割算法; 鲁棒性好的特征提取以全局寻优的神经网络模型的应用。

(5) 将采集、识别、定位、查询、分析、传输、管理、决策支持整合为一体的路面裂缝图像识别智能管理系统, 成为路面无损检测系统中的一个重要子系统。

4 结 语

路面裂缝识别系统是路面管理系统的一个重要部分, 从现有的路面裂缝调查方法看, 在很大的程度上都依赖于人工, 虽然近几年陆续引进了一些国外先进的路面检测车系统, 但由于这样那样的原因, 应用的效果并不理想, 我国也陆续开发了检测车系统, 正飞速接近国际先进水平。

路面裂缝图像识别技术对高新技术的进步依赖很强, 随着新的测量理论, 新的硬件产品出现, 裂缝识别技术都要进行一次飞跃, 因此, 需要紧紧跟踪国际研究动态, 本文对沥青路面裂缝图像识别系统的软硬件平台今年来的研究动态做了综述, 并提出了目前系统的不足之处以及对该领域未来发展趋势做了推测。

参 考 文 献

[1] Sirphan JiPrasithsiri. Development of a new digital pavement image processing algorithm for unified crack index computation. A dissertation Submitted to the Faculty of the University of Utah. 1997.

- [2] 王太平, 贺昱曜, 李刚. 准米字窗口中值滤波在路面检测中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (2): 150—152.
- [3] Koutsopoulos H N, Downey A B. Principle-based classification of pavement cracking images. J. J. Transp. Engng., 1993, 19 (3): 136—143.
- [4] 刘玉臣, 王国强, 林建荣. 基于模糊理论的路面裂缝图像增强方法 [J]. 养护机械与施工技术, 2006, 2: 35—37.
- [5] 伯绍波, 闫茂德, 孙艳, 贺昱曜. 沥青路面裂缝图像增强与边缘提取算法研究 [J]. 电子技术应用, 2007, 12: 64—67.
- [6] 孙波成, 邱延峻. 路面裂缝图像处理算法研究 [J]. 道路交通科技 2008, 25, 2: 64—68.
- [7] H D Cheng M Miyojiri. Automatic Pavement Distress Detection System. Journal of Information Sciences, 108 (1998) 219—204.
- [8] 李晋惠. 公路路面裂缝类病害图像处理算法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 35: 212—232.
- [9] 闫茂德, 伯绍波, 贺昱曜. 一种基于形态学的路面裂缝图像检测与分析方法 [J]. 工程图学学报, 2008, 2: 142—147.
- [10] 张娟, 沙爱民, 孙朝云, 高怀钢. 基于相位编组法的路面裂缝自动识别 [J]. 中国公路学报, 2008, 21 (2): 39—42.
- [11] 唐磊, 赵吉霞, 王鸿南, 邵文泽. 基于图像三维地形模型的路面裂缝自动检测 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (5): 20—38.
- [12] Kaskom S. R. A comparative study of traditional and neural classifiers for pavement crack detection. J. ASCE, 1994, 120 (4): 552—569.
- [13] 初秀民, 王荣本. 基于神经网络的沥青路面破损图像识别研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2004, 28 (3): 373—375.
- [14] 肖旺新, 张雪, 黄卫. 基于破损密度因子的路面破损识别新方法 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2004, 2 (2): 81—89.
- [15] 丁爱玲, 焦李成. 基于支撑向量机的路面破损识别 [J]. 长安大学学报 (自然科学版) 2007, 27 (2): 34—37.