

多方位结构元素路面裂缝图像边缘检测算法

李刚¹, 贺昱曜²

LI Gang¹, HE Yu-yao²

1. 长安大学 电子与控制工程学院, 西安 710061

2. 西北工业大学 航海学院, 西安 710062

1. School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China

2. School of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710062, China

E-mail: lglg930@163.com

LI Gang, HE Yu-yao. Edge detection for road crack image with multidirection morphological structuring elements. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(1): 224-226.

Abstract: Based on the mathematical morphology, multidirection morphological structuring elements algorithm is proposed aiming to the different distributing characteristics between the noise and the disease pixel of the road image. The algorithm uses the method of the maximal distances between classes to ascertain the varied gradient pixel. Then it does erosion operation by using binary morphology to obtain the edge and remove the noise. Compared with the traditional edge detection algorithm, the proposed algorithm has restrained noise jamming effectively while detecting the road crack accurately and its effect is fine.

Key words: edge detection; mathematical morphology; structure elements; maximal distances between classes

摘要: 在数学形态学基础上, 针对路面图像中噪声和裂缝类病害不同的像素分布特点, 提出了多方位结构元素形态学边缘检测算法。该算法利用类间最大距离法确定路面裂缝图像中发生梯度变化的点, 后对其采用多方位结构元素腐蚀操作, 提取出路面裂缝边缘像素点并滤除噪声。实验结果表明: 较传统的边缘检测算法, 该算法在准确地检测路面裂缝边缘的同时有效地抑制了噪声干扰, 检测效果良好, 运算速度快。

关键词: 边缘检测; 数学形态学; 结构元素; 类间最大距离

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.01.067 文章编号: 1002-8331(2010)01-0224-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391.41

在路面裂缝检测与识别系统中, 图像边缘检测算法的优劣直接决定了裂缝识别的准确性等问题。文献[1-2]采用传统的微分算子法 (Roberts, Sobel, Laplacian, Canny 准则算法等) 求解二维实函数梯度, 然后选取合适的阈值提取图像边缘。在图像没有受到噪声干扰的情况下, 这些算子的边缘检测结果都比较理想。但实际拍摄到的路面裂缝图像往往都不同程度地受到不均匀光照、阴影以及路面纹理等噪声的影响, 在这种情况下, 上述传统的边缘检测算子都存在“提升噪声”的缺点, 如果进行减噪, 往往连路面裂缝信息也被一同去除。文献[3]通过构造 8 个方向的 Sobel 模板对图像进行边缘检测。该算法对方向不敏感, 能较好地检测出各个方向上裂缝的边缘。但是提取出的裂缝边缘存在着定位精度低、边缘不连续、对噪声敏感以及边缘是多像素宽等问题。文献[4-5]采用传统数学形态学方法对含有噪声的图像不经预处理, 在有效进行边缘检测的同时滤除了噪声。但传统形态学算法只选择单一的结构元素进行腐蚀操作, 这就不能有效地对各个方向上的裂缝边缘进行提取, 只能使与该结构元素同方向的边缘得到有效的保留, 而与其方向不同的边缘就被腐蚀掉了。

针对上述边缘检测算法存在的不足, 深入分析了路面图像中裂缝类病害像素的区域特征, 将采集到的路面裂缝图像利用类间最大距离法确定其发生梯度变化的像素点, 后对这些像素点采用多方位结构元素进行腐蚀操作, 提取路面裂缝边缘同时滤除噪声。实验表明: 较传统的边缘检测算法, 该算法具有更好的检测效果, 而且运算速度快。

1 路面裂缝图像特征分析

路面裂缝识别系统的处理对象和工作环境都比较复杂, 在获取路面图像信息的同时也必然会引入大量的噪声。这些噪声通常来源于两个方面: 一是路面本身的纹理特点, 如路面材料颗粒大小及路面粗糙程度等; 二是外界环境的干扰, 如不均匀的光照、道路两旁的阴影、路面上的污染物等。这些噪声会增加裂缝识别的难度。其中外界环境中光影的干扰可以通过优良的图像采集技术来消除, 而图像处理阶段主要针对的是路面本身纹理及路面污染物所带来的噪声。

路面裂缝类病害主要包括横向裂缝、纵向裂缝及不规则网状裂缝, 根据其图像像素点梯度变化将其分为三类: 第一类为

基金项目: 教育部特殊地区公路工程重点实验室资助项目 (No. KLP200501)。

作者简介: 李刚 (1975-), 男, 博士生, 讲师, 主要研究方向为图像处理、模式识别; 贺昱曜, 博士, 教授, 博士生导师。

收稿日期: 2008-07-21 修回日期: 2008-10-16

完好路面成像素点, 像素间没有明显梯度变化; 第二类为成像过程中产生的脉冲噪声; 第三类为各形态裂缝边缘像素点。其中裂缝边缘像素点的灰度值特点与成像过程中产生的脉冲噪声点相似, 像素间都有较大的灰度值突变, 必须借助相邻像素点的特征值来区分。脉冲噪声点的分布是孤立的, 其灰度值突变但与相邻像素点没有相关性; 而裂缝像素点的分布特点是灰度值突变且与相邻像素点有较强相关性^[6]。

2 多方位结构元素形态学算法

形态学图像处理的基本思想是利用一个称为结构元素的“探针”收集待检测图像的信息, 结构元素可直接携带知识(形态、大小、甚至加入灰度和色度信息)来探测待检测图像的结构特点。形态学算子实质上表达了物体或形状的集合与结构元素之间的相互作用, 结构元素的形态就决定了这种运算所提取的图像中的形态信息。所以数学形态学可以对含有噪声的图像不经过预处理而直接进行边缘检测^[7]。

2.1 结构元素的选取

结构元素方向和尺度的选择都会影响裂缝边缘信息的提取, 考虑到路面裂缝边缘像素点的方向和形态多变的特点, 应采用与裂缝目标具有最大近似而与噪声点最大可能“相违背”的不同方向的结构元素对原图像进行形态学交替滤波处理。由于裂缝类病害的类型包括横向裂缝、纵向裂缝和不规则裂缝, 裂缝边缘可能在各个方向存在梯度变化, 在此基础上构造了如图1所示的4种3×3结构元素。这4个方向的结构元素分别代表了0°、45°、90°和135°方向, 可以较好地提取路面裂缝方向特点, 并能够在提取裂缝边缘像素点的同时滤除噪声^[8]。

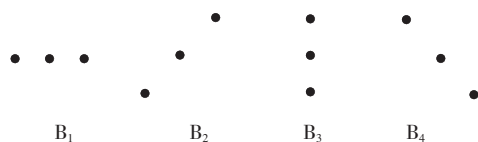


图1 多方位结构元素

用矩阵分别表示为:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中, 带下标的“.”表示结构元素的中心位置。

2.2 算法思路

根据路面裂缝图像的像素点区域特征, 其中仅有部分像素点存在梯度突变, 即成像过程中产生的脉冲噪声和裂缝边缘像素点, 而图像中的完好路面像素点不存在梯度突变。因此首先利用相邻像素差分运算标记出图像中存在梯度变化的像素点, 然后对这些像素点进行多结构元素腐蚀操作, 以判断是脉冲噪声还是路面裂缝边缘像素。如果是脉冲噪声则滤除, 若是路面裂缝像素点则保留, 这样在消除脉冲噪声的同时提取出了路面图像中的裂缝边缘。由于没有对整幅图像中的每个像素点都进行多结构元素形态学操作, 从而提高了整体的边缘检测速度。

在选择梯度突变像素点时采用类间最大距离法。类间最大距离法的设计思想是: 在某个适当的阈值下, 图像分割后的前景目标与背景目标两类之间的差异最大为最佳分割。在这里目标与背景的差异用两个类别中心与阈值之间的距离差来计算。该方法的具体策略如下:

(1) 给定一个初始阈值 $Th=Th_0$, 将图像分为 C_1 和 C_2 两类;

(2) 按照式(1)计算两类的灰度均值 μ_1 和 μ_2 ;

$$\mu_i = \frac{1}{N_{C_i}} \sum_{(x,y) \in C_i} f(x,y) \quad (i=1,2) \quad (1)$$

其中 N_{C_i} 为第 i 类的像素个数。

(3) 计算相对距离度量值 S ;

$$S = \frac{(\mu_2 - Th) \cdot (Th - \mu_1)}{(\mu_2 - \mu_1)^2} \quad (2)$$

(4) 选择最佳的阈值 $Th=Th^*$, 使得图像按该阈值分为 C_1 和 C_2 两类后, 满足

$$Sl_{m=Th^*} = \max\{S\} \quad (3)$$

其中 Th^* 为阈值。

2.3 算法具体步骤

步骤1 对采集到的256级路面灰度图像在 x 轴和 y 轴进行相邻像素差分运算, 标记出梯度突变像素点。

$$f'_x(x,y) = f(x,y) - f(x-1,y) \quad (4)$$

$$f'_y(x,y) = f(x,y) - f(x,y-1) \quad (5)$$

采用类间最大距离法确定 $f'_x(x,y)$ 和 $f'_y(x,y)$ 是否为梯度突变像素点。在水平方向, 如果 $f'_x(x,y) \leq Th^*$, 则该像素点不是灰度突变点, 则不作改变。如果 $f'_x(x,y) \geq Th^*$, 则该像素点为一个灰度突变点, 给该像素点 $f(x,y)$ 加标记, 转步骤2。

步骤2 对原路面图像中已标记为梯度突变的像素点进行多方位结构元素形态学的腐蚀操作, 以确定该像素点是脉冲噪声点还是路面裂缝边缘, 如果是噪声点就滤除, 如是裂缝边缘则保留。

在平行于 x 轴方向, 令 A 为以 $f(x,y)$ 为中心的 3×3 区域, 与前面定义的4种结构元素 B_i 分别进行多结构元素腐蚀操作后求并集。如果

$$A \ominus B_1 \cup A \ominus B_2 \cup A \ominus B_3 \cup A \ominus B_4 \cup \neq \emptyset \quad (6)$$

表示可以将 B_i 中的至少一个结构元素填充到待检测的路面图像中, 则该结构元素对应的路面图像 3×3 区域中像素点的中心为路面裂缝边缘像素点, 令 $f_x(x,y)=255$, 返回步骤1判断下一个像素点。如果

$$A \ominus B_1 \cup A \ominus B_2 \cup A \ominus B_3 \cup A \ominus B_4 \cup = \emptyset \quad (7)$$

表示 B_i 中4个方向的结构元素均不能填充到待检测图像中, 则该结构元素对应的路面图像 3×3 区域中像素点的中心为脉冲噪声点, 令 $f_x(x,y)=0$, 返回步骤1判断下一个像素点。最后可得到水平方向二值化边缘检测结果, 取值如下:

$$f'_x(x,y) = \begin{cases} 255, & f_x(x,y) \text{ 为裂缝边缘像素} \\ 0, & f_x(x,y) \text{ 为噪声像素点} \end{cases} \quad (8)$$

相同方法可求得平行于 y 轴方向边缘检测图像如下:

$$f'_y(x,y) = \begin{cases} 255, & f_y(x,y) \text{ 为裂缝边缘像素} \\ 0, & f_y(x,y) \text{ 为噪声像素点} \end{cases} \quad (9)$$

步骤3 综合水平方向和平行于 y 轴方向二值化边缘检测结果, 利用棋盘距离求得最终边缘图像。

$$I(x,y) = \max(f'_x(x,y), f'_y(x,y)) \quad (10)$$

3 实验结果与比较

为了对路面裂缝图像边缘检测算法的结果进行评价, 需要事先获得一个关于该图像的准确的分割结果作为参考。参考图像的获得也是图像分割评价的一个难题。分割算法本身是一个不适宜问题, 参考图像只能作为一个相对的标准。参考图像的

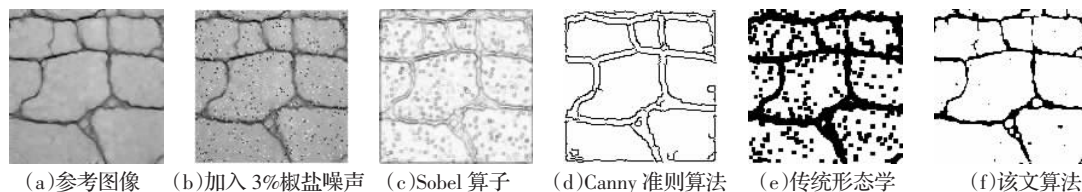


图2 该文算法与经典边缘检测算法的比较

获得目前主要还是依靠人工分割来实现,但其主观性强,且工作量较大。该文使用的参考图像也是由人工分割得到的图像。

对一幅 128×128 含噪声的路面裂缝图像进行人工分割处理得到参考图像,再分别利用 Sobel 算子、Canny 算子、传统形态学算法及提出算法对路面裂缝参考图像进行边缘检测。如图 2 所示。

选择峰值信噪比 (PSNR) 作为定量评价标准,在去除单点噪声和裂缝边缘保护两方面性能上对该文算法与经典的边缘检测算子及传统形态学算法进行比较。PSNR 定义如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{M \cdot N \cdot E^2}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (y(i,j) - f(i,j))^2} \quad (11)$$

其中, $f(i,j)$ 和 $y(i,j)$ 分别为参考图像和处理后图像中像素的灰度值, E 为 $f(i,j)$ 的最大值, M 和 N 分别为图像的长宽像素。

表1 性能参数比较

边缘检测方法	Sobel	Canny	传统形态学算子	该文算法
PSNR	2.270 8	6.508 7	2.304 8	8.145 5

实验结果表明用 Sobel 算子可以较好地检测出边缘的走向,但引入噪声过多、检测结果中出现虚假边缘,以及检测出的边缘易出现多像素宽度。利用 Canny 算子进行边缘检测易将一些高频边缘平滑掉,造成边缘丢失。用传统形态学算法往往只能检测出某一方向上裂缝边缘像素点,且使得裂缝边缘像素加宽。无论是从视觉效果,还是从客观评价来看,利用该文算法处理的裂缝边缘完整,也没有引入过多的噪声。

4 结论

在传统数学形态学算法的基础上,针对路面图像中脉冲噪

声和裂缝边缘局部形态的不同,在路面裂缝图像的局部采用多方位结构元素形态学腐蚀操作,滤除掉脉冲噪声像素点。利用类间最大距离法确定图像中梯度突变像素点以提高算法整体效率,与传统的对图像全部像素点进行数学形态学的操作相比,该文算法只对梯度发生变化的像素点进行多结构元素形态学腐蚀操作,从而省去了大量冗余运算。与传统的边缘检测算子的边缘检测结果相比,该文算法不仅具有很好的提取边缘的能力,而且具有较强的抗噪能力。

参考文献:

- [1] Kelvin. Designs and implementation of automated systems for pavement surface distress survey[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2000(3):24-32.
- [2] 王植, 贺赛先. 一种基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(8):954-962.
- [3] 施树明, 初秀民, 王荣本. 沥青路面破损图像测量方法研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(7):12-16.
- [4] Guo Xiao-xin, Xu Zhi-wen, Pang Yun-jie. An adaptive soft morphological gradient filter for edge detection [C]//IEEE Proceedings of the 3rd International Conference on Image and Graphics, 2004.
- [5] Mukhopadhyay S, Chanda B. Multiscale morphological segmentation of gray-scale images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(5):533-549.
- [6] 高建贞. 路面裂缝的自动检测与识别[J]. 计算机工程, 2003, 29(2):149-150.
- [7] 迟健男. 基于多结构元顺序形态变换的灰度图像边缘检测[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(1):41-46.
- [8] Park H, Chin R T. Decomposition of arbitrarily shaped morphological structuring elements[J]. IEEE Trans PAMI, 1995, 17(1):2-15.
- [9] Forest Meteorology, 2000, 105:55-68.
- [10] Zribi M, Taconet O, Ciarletti V, et al. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions: ERS2/SAR evaluation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24:1335-1352.
- [11] Carpenter G A, Grossberg S, Markuzon N, et al. Fuzzy ARTMAP: An adaptive resonance architecture for incremental learning of analog maps[C]//Proceeding of the International Joint Conference on Neural Networks, Baltimore, MD, 1992, 3(5):309-314.
- [12] 潘建平, 叶焕焯. 基于遥感分类的植被覆盖度提取[J]. 测绘信息与工程, 2007, 32(6):17-19.

(上接 182 页)

- [2] Li Xiao-wen, Strahler A H. Geometric-optical bidirectional reflectance modeling of the discrete crown vegetation canopy: Effect of crown shape and mutual shadowing[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2):276-291.
- [3] Leprieux C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data[J]. Remote Sensing Review, 1994(10):265-284.
- [4] Qi J, Mersett R C, Moran M S, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area[J]. Agricultural and

(上接 223 页)

- [5] Grefenstette J. Genetic algorithms for the traveling salesman problem[C]//Proc of 1st Int Conf on Genetic Algorithms and Their Applications, Lawrence Erlbaum Associates, 1985:44-49.
- [6] 李军. 车辆调度问题的分派启发式算法[J]. 系统工程理论与实践,

- [7] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [8] 焦李成, 杜海峰, 刘芳, 等. 免疫优化-计算, 学习与识别[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] Oliver L M. A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem[C]//Proc of 2nd Int Conf on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum Associates, 1987:224-230.