

基于自适应二叉树算法的图像划痕检测研究

周琳¹ 杨娜²

¹河南牧业经济学院现代教育与实验中心, 河南 郑州 450045

²河南牧业经济学院计算机应用系, 河南 郑州 450045

摘要 为了提高图像划痕检测的质量,提出了自适应二叉树算法。采用图像投影确定划痕区域,掩膜操作对图像锐化;图像划痕邻域灰度通过聚类法划分,将结果作为二叉树节点的输入,图像像素值依次分解为8级二叉树,二叉树指针遍历像素的特征点,自适应阈值将相邻区域划痕合并;给出了算法流程。实验仿真得出自适应二叉树算法能准确地检测划痕位置以及走向,定性检测指标较好。

关键词 图像处理; 二叉树; 划痕; 遍历; 聚类; 灰度

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP52.051002

Image Scratch Detection Research Based on Adaptive Binary Tree

Zhou Lin¹ Yang Na²

¹Modern Education and Experiment Center, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou, Henan 450045, China

²Department of Computer, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou Henan 450045, China

Abstract In order to improve the quality of image scratch detection, adaptive binary tree algorithm is proposed. Scratch area is determined by projection of image, image sharpening is operated on mask. Gray of image scratch in neighborhood is divided using cluster method, the result is used as input node of binary tree, image pixel value is divided into eight stages of binary tree, characteristics of binary tree traverse of the feature pixel, adaptive threshold merge the region of the scratch in neighborhood. Algorithmic process is described. Experimental simulation shows the proposed algorithm can accurately detect the location and direction of the scratch, and is good for qualitative detection index.

Key words image processing; binary tree; scratch; traversal; cluster; gray

OCIS codes 110.4155; 110.3080; 120.1880

1 引言

划痕检测是图像处理中经常遇到的问题,划痕的宽度相比整个画面很小,但是时常贯穿整个画面,引发视频的不连续,影响视频图像的播放质量^[1]。划痕部分灰度值变化并不明显,整幅图像灰度比较平均,划痕面积也比较小,灰度也只比周围图像稍低,很难分辨,如镜片生产过程中微小划痕,这些疵病多数面积很小并且十分相似,即使有经验的检测员也会对同一种疵病检测出不同的结果,造成标准不统一,严重困扰镜片的质量检测^[2],因此对划痕的检测具有挑战性。

划痕检测时域模型有阈值分割、连通域算法、形态学处理等^[3],要求背景与所要检测划痕的亮度差别较明显,严重制约了算法的通用性;脊波变换适用于直线的检测^[4],但是在物体高度变化率大的区域,检测的误差大;基于小波变换的划痕检测则由于算法复杂^[5],计算量较大而很难满足实时性处理要求;空域模型有Kokaram算法,检测过程中使用中值滤波和霍夫变换,利用贝叶斯算法得到划痕轮廓^[6],但该算法易受噪声干扰,计算时间长;Bruni算法通过投影获得图像的亮度截面曲线,通过划痕的宽度特性和亮度特性,得到垂直于划痕的水平方向位置,用Kalman滤波跟踪消除误检^[7],但划痕的具体区域信息未知。Kao等^[8]利用空间特性检测图像划痕,垂直检测效果好,但会存在错误检测的问题。

收稿日期: 2014-11-25; 收到修改稿日期: 2014-12-17; 网络出版日期: 2015-04-28

基金项目: 河南省社科联项目(SKL-2011-1927)

作者简介: 周琳(1977—),女,硕士,实验师,主要从事教育技术方面的研究。E-mail: zhoulin977@foxmail.com

2 自适应二叉树算法描述

2.1 基于投影的图像划痕区域确定

在进行划痕检测时,首先需选取图像的划痕区域,再对选定的区域进行算法处理。设 $I(x,y)$ 为带有划痕的灰度图像^[9],其中 $x=0,1,\dots,M-1$; $y=0,1,\dots,N-1$ 。 $M \times N$ 为图像的尺寸, h 为划痕高度,在竖直方向上的灰度投影为

$$P_{hI(x)} = \frac{1}{h} \int_0^h I(x,y) dy, \quad (1)$$

划痕中心位置通过函数极值得到

$$P'_{hI(x)} = 0, \quad (2)$$

式中 $P'_{hI(x)}$ 为 $P_{hI(x)}$ 的一阶导数,反映 $P_{hI(x)}$ 的变化率。由于图像灰度在划痕区域发生了两次方向相反的强变差突变,因此

$$|P''_{hI(x)}| > T_h, \quad (3)$$

式中 $P''_{hI(x)}$ 为 $P_{hI(x)}$ 的二阶导数, T_h 为一个自适应阈值。

考虑图像中划痕区域和背景具有不同的统计特性,为保留一定的划痕边缘信息,需采用掩膜操作进行锐化,这样能够得到较好的划痕细节。对图像掩膜操作锐化公式为

$$P_{IA(x)} = \begin{cases} P_{hI(x)} - \frac{1}{y+s+1} \sum_{k=0}^{y+s} P_{hI(k)}, & 0 \leq y < s \\ P_{hI(x)} - \frac{1}{2s+1} \sum_{k=y-s}^{y+s} P_{hI(k)}, & s \leq y < (N-1-s) \\ P_{hI(x)} - \frac{1}{y-1-s} \sum_{k=y-s}^{y-1} P_{hI(k)}, & (N-1-s) \leq y \leq (N-1) \end{cases}, \quad (4)$$

式中 $k \in x$, s 为自适应参数, $2s+1$ 为划痕宽度,宽度范围为 [3,10], s 一般在 [1,4] 范围内, $P_{IA(x)}$ 为 P_{hI} 序列中任意元素 $P_{hI(x)}$ 与左右各 s 个元素均值的差。

2.2 基于聚类的图像划痕邻域灰度划分

通过投影和掩膜操作对图像划痕区域提取后,完成了对图像划痕的粗检测,在此基础上采用聚类算法对图像划痕进一步细检测,恰当的聚类中心决定了细检测质量。设划痕像素 $D = (x,y) \in [0,M-1] \times [0,N-1]$,以该像素为中心获取其邻域范围内的像素值^[10],通过 complete linkage 聚类方法得到的聚类结果最为理想^[11],记其邻域聚类为 $\delta(D)$,类内方差和最小值为

$$J_k(D) = \sum_1^k \sum_{\substack{(i,j) \in \delta(D) \\ f(i,j) \in \Gamma_k}} [f(i,j) - m_k]^2, \quad (5)$$

式中 $f(i,j)$ 为像素 (i,j) 的灰度值, Γ_k 为第 k 个聚类, m_k 为聚类 Γ_k 的中心,若以 g 表示聚类 Γ_k 中的元素数目,则该聚类中心 m_k 为

$$m_k = \frac{1}{g} \sum_{\substack{f(i,j) \in \Gamma_k \\ (i,j) \in \delta(D)}} f(i,j), \quad (6)$$

当划痕像素的灰度值 $f(i,j)$ 所在的聚类 Γ' 满足

$$\Gamma' = \operatorname{argmin}_{\Gamma_k} |f(x,y) - m_k|, \quad (7)$$

将结果作为二叉树节点的输入,通过二叉树指针遍历像素的特征点。

2.3 划痕像素二叉树遍历

树是一种数据结构,数据元素之间存在明显的层次关系,可在内部对泛化误差进行无偏估计,同时树是 n 个结点的有限集^[12]。在任意一棵非空树中: 1) 有且仅有一个特定的称为根的结点; 2) $n > 1$ 时,其余结点可分为 m ($m > 0$) 个互不相交的有限集,其中每一个集合本身又是一棵树,并且称为根的子树。二叉树是一种树型结构,它的特点是每个结点至多只有两棵子树,并且二叉树的子树有左右之分,其次序不能任意颠倒。

遍历是对二叉树的一种最基本的运算,所谓遍历二叉树,就是按一定的规则和顺序走遍二叉树的所有结点。二叉树划痕遍历使每一个划痕像素结点都被访问一次而且只被访问一次^[13-14]。具有 n 个叶结点的树有 $n-1$ 个内部结点和 1 个根结点,共 $2n$ 个结点;每个结点有 L 和 R 两个指针域;叶结点通过指回自身的 R 指针来识别;沿着任一叶结点的 L 指针域可到达根结点; L 指针在长度为 $n+1$ 的循环内获得,对于 256 级灰度图像来说,二叉树将像素值根据其上一层根的中值,小于中值的像素量化为 0,大于中值的像素量化为 1,依此类推,将图像像素值依次分解为 8 级二叉树。

图 1 中 8 层的根结点包含像素值为 0~255,7 层的 2 个节点包含像素值为 0~127,128~255,6 层的 4 个节点包含像素值为 0~63,64~127,128~191,192~255,5 层的 8 个节点包含像素值为 0~31,32~63,64~95,96~127,128~159,160~191,192~223,224~255,直到最后一层的 256 个节点包含像素值为 0,1,⋯,255。通过消去策略使二叉树的所有右子节点均可以由其父节点减去左节点的值得到,仅在二叉树上保留根结点和所有左子节点,形成压缩二叉树,减少像素的数据量。

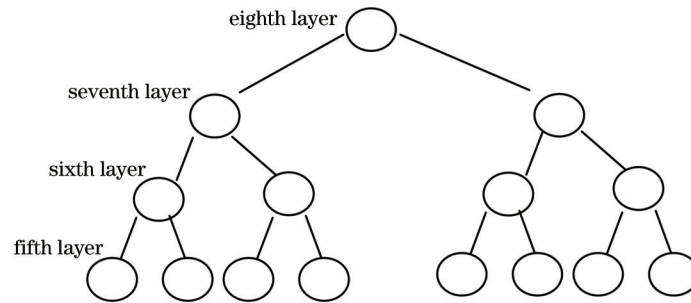


图 1 图像像素二叉树结构

Fig.1 Binary tree structure of image pixels

划痕遍历过程为:

- 1) 统计出每个像素的概率;
- 2) 从左到右把上述概率按从小到大的顺序排列;
- 3) 每一次选出最小的两个值,作为二叉树的两个叶子节点,将和值作为它们的根节点,这两个叶子节点不再参与比较,新的根节点参与比较;
- 4) 重复 3),直到最后得到和值为 1 的根节点。

2.4 自适应二叉树图像划痕合并

在对划痕图像进行检测时,考虑二叉树的叶子节点过多可能导致划痕检测的结果中出现许多细小的噪声区域,造成图像划痕判断结果中产生误判区域^[15],根据欧氏距离将它们归并到相邻区域,对噪声抑制能力强,并能更好地保留再现像的划痕细节特征^[16]。当区域的面积小于阈值 ξ

$$\xi = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{N_{\text{dsize}}}, \quad (8)$$

式中 s_{\max} 表示图像中面积最大的子区域, s_{\min} 表示图像中面积最小的子区域, N_{dsize} 表示图像中的子区域数目。则最相似的两个邻接区域合并判断为

$$\begin{cases} D_{ij}^c = \frac{|s_i| \times |s_j|}{|s_i| + |s_j|} \|\mu_i - \mu_j\| \\ D_{ij}^c = \frac{\sum_{(i,j \in E_{ij})} \|\lambda_i - \lambda_j\|}{|E_{ij}|} \end{cases}, \quad (9)$$

式中 $|s_i|$, $|s_j|$ 为 i 区域和 j 区域中所包含的像素个数, μ_i 和 μ_j 为两个区域的灰度均值, E_{ij} 为两个边缘上的像素值, λ_i 和 λ_j 为边缘两侧 i 点和 j 点的像素值, D_{ij}^c 为像素差值, D_{ij}^e 为边缘距离差值。

2.5 算法过程

- 1) 输入图像,投影算法确定划痕区域;
- 2) 图像划痕邻域灰度通过聚类法划分;

- 3) 按照划痕遍历过程对划痕像素二叉树遍历;
- 4) 自适应二叉树对图像划痕合并,如果小于阈值 ξ ,则合并,转至步骤5);若大于阈值 ξ 则转到步骤3);
- 5) 输出图像。

3 实验仿真

3.1 视觉结果

程序由 Matlab 软件实现,实验选取 Lena 图像、Barbara 图像、花朵图像,其上面有复杂的划痕,其划痕封闭,对不同的算法进行对比仿真,其结果如图2~4所示。

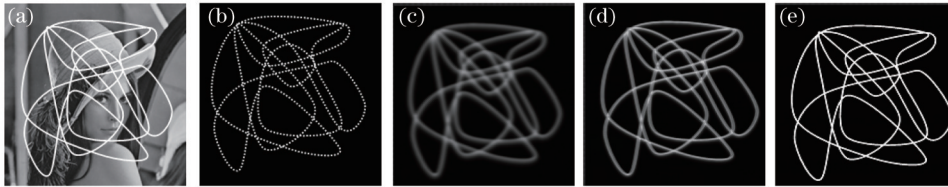


图2 暗划痕检测。(a) Lena 划痕;(b)小波检测;(c) Kokaram 检测;(d) Timothy 检测;(e) 自适应二叉树检测

Fig.2 Dark scratch detection. (a) Lena scratch; (b) wavelet detection; (c) Kokaram detection; (d) Timothy detection; (e) adaptive binary tree detection

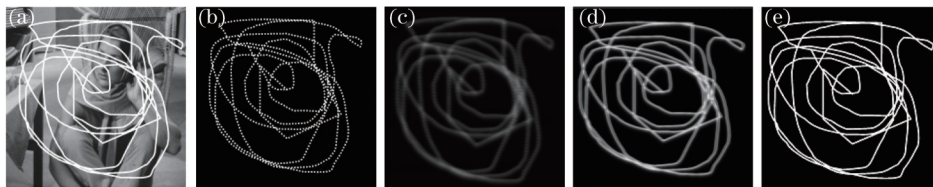


图3 复杂划痕检测。(a) Barbara 划痕;(b)小波检测;(c) Kokaram 检测;(d) Timothy 检测;(e) 自适应二叉树检测

Fig.3 Complex scratch detection. (a) Barbara scratch; (b) wavelet detection; (c) Kokaram detection; (d) Timothy detection; (e) adaptive binary three detection

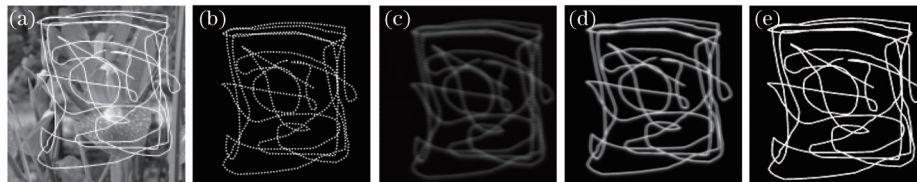


图4 复杂划痕检测。(a) 花朵划痕;(b)小波检测;(c) Kokaram 检测;(d) Timothy 检测;(e) 自适应二叉树检测

Fig.4 Complex scratch detection. (a) Flowers scratch; (b) wavelet detection; (c) Kokaram detection; (d) Timothy detection; (e) adaptive binary tree detection

比较不同算法包括小波、Kokaram、Timothy 和自适应二叉树算法,可以看出本文算法能准确地检测出划痕位置以及划痕的走向,划痕长度与真实划痕长度相同,图2(e)连续检测出了与Lena帽子几乎相同灰度值区域的划痕,图3(e)中对封闭的划痕曲线检测出了划痕交点,图4(e)对划痕曲线检测出了划痕走向。这是因为本文算法在二叉树中每一次选出最小的两个像素灰度值,作为二叉树的两个叶子节点,将和值作为它们的根节点,这两个叶子节点不再参与比较,新的根节点参与比较;小波检测划痕有轻微的向左偏或向右偏,中间出现了断续效果;Kokaram 检测出的划痕长度则明显小于真实划痕长度,出现断痕且模糊;Timothy 对划痕检测虽然没有断痕,但是依然清晰度不够。

3.2 定性检测

有效的划痕检测算法能够使划痕的漏检率和误检率达到最小,同时消耗的时间也比较少。假设用 P_{miss} 表示漏检率, R_{false} 表示误检率, N_{miss} 表示未检测到的数目, N_{allure} 表示总像素数目, N_{false} 表示错误的检测数目, N 表示检测到的数目,则

$$P_{miss} = \frac{N_{miss}}{N_{allure}}, \quad (10)$$

$$R_{\text{false}} = \frac{N_{\text{false}}}{N}. \quad (11)$$

为了更好的衡量本文算法对图像划痕检测的性能,针对 Barbara 图像上面的复杂划痕,表 1 给出漏检率、误检率、处理时间 3 个定性检测指标。

表 1 定性检测指标

Table 1 Qualitative detection index

Algorithm	Index		
	Missing rate /%	Error rate /%	Time /s
Wavelet	3.0925	4.4524	2.9501
Kokaram	2.4921	4.1833	2.8291
Timothy	2.0343	3.9443	2.4772
Adaptive binary tree	0.0951	1.0211	1.1975

从表 1 的漏检率、误检率、处理时间 3 个定性检测指标可以看出,自适应二叉树算法的漏检率和误检率最小,处理时间最少,可以满足检测的需求,这是因为自适应二叉树对图像划痕合并,避免了许多细小的非划痕区域。

4 结 论

提出了一种基于自适应二叉树的图像划痕检测算法,根据图像投影确定划痕区域,将对划痕的检测问题转化为自适应二叉树数据处理寻优问题,并且通过相同区域划痕的合并减少误判区域,相比于其他算法对图像复杂划痕的检测,本文算法能准确地检测划痕位置以及走向,漏检率和误检率最小,处理时间最少,为图像划痕检测提供了一种有效的参考方法。

参 考 文 献

- Meng Qingli. Vertical Scratches Removal Algorithm Old Film Image Based on Anisotropic Diffusion[D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.
孟庆利. 基于各向异性扩散的旧电影图像垂直划痕修复算法[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- Yao Hongbing, Zheng Xueliang, Ma Guidian, *et al.*. Research on lens-defects type recognition based on image processing[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(11): 111003.
姚红兵, 郑学良, 马桂殿, 等. 基于图像处理的镜片疵病类型识别研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(11): 111003.
- Hu Wenjin, Li Zhanming, Liu Zhongmin. Scratch detection algorithm based on wavelet analysis for thangka image[J]. *Optical Technique*, 2012, 38(6): 751-755.
胡文瑾, 李战明, 刘仲民. 一种基于小波分析的唐卡图像划痕检测[J]. *光学技术*, 2012, 38(6): 751-755.
- Zheng Yi, Chen Wenjing, Zhong Min, *et al.*. Study of profilometry measurement precision improvement based on Morlet wavelet transform[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, 51(11): 111203.
郑毅, 陈文静, 钟敏, 等. 提高基于 Morlet 小波“脊”处理方法的相位解调精度研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2014, 51(11): 111203.
- Ning Yonghui, Guo Yongfei, Ma Tianbo, *et al.*. Architecture design of 5/3 lifting wavelet in FPGA with dynamic RAMS and its applications[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(6): 927-932.
宁永慧, 郭永飞, 马天波, 等. 5/3 提升小波的 FPGA 动态 RAM 结构设计及其应用[J]. *液晶与显示*, 2013, 28(6): 927-932.
- Kokaram A C. Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artifact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video[M]. Berlin: Springer, 1998.
- Bruni Vitulano D. A generalized model for scratch detection[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(1): 44-50.
- Kao Y T, Shih T K, Zhong H Y, *et al.*. Scratch line removal on aged films[C]. *IEEE 9th International Symposium on Multimedia*, 2007: 147-152.
- Zhang Liping, Zhang Hongying, Wu Bin. Vertical line scratches detection on aged movie film based on variety of edge detection technologies[J]. *Video Engineering*, 2010, 34(1): 85-87.
张利平, 张红英, 吴斌. 基于多种边缘检测的视频划痕检测技术[J]. *电视技术*, 2010, 34(1): 85-87.

- 10 Liu Yongxia, Zhang Zhaohui, Zhang Yanmin. Image denoising based on K-Means clustering and binary tree decision[J]. *Computer Engineering & Science*, 2013, 35(5): 118-123.
刘永霞, 张朝晖, 张艳敏. 基于K-均值聚类及二叉树决策的图像去噪[J]. *计算机工程与科学*, 2013, 35(5): 118-123.
- 11 Guo Peiyuan, Lin Yan, Fu Yan, *et al.*. Research on freshness level of meat based on near-infrared spectroscopic technique[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(3): 033002.
郭培源, 林岩, 付妍, 等. 基于近红外光谱技术的猪肉新鲜度等级研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(3): 033002.
- 12 Cai Jiixin, Feng Guocan, Tang Xin, *et al.*. Human action recognition based on local image contour and random forest[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(10): 1015006.
蔡加欣, 冯国灿, 汤鑫, 等. 基于局部轮廓和随机森林的人体行为识别[J]. *光学学报*, 2014, 34(10): 1015006.
- 13 Fu Jianqing, Wu Chunming, Wu Jiyi, *et al.*. Reverse hash chain traversal based on binary tree[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2012, 49(2): 294-303.
傅建庆, 吴春明, 吴吉义, 等. 基于二叉树的反向Hash链遍历[J]. *计算机研究与发展*, 2012, 49(2): 294-303.
- 14 Wang Fangxiu, Zhou Kang. Applying binary sort tree to establish the binary tree[J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2013, 32(3): 53-57.
王防修, 周康. 基于二叉排序树的二叉树建立[J]. *武汉工业学院学报*, 2013, 32(3): 53-57.
- 15 Wang Jiechen, Pu Yingxia, Cui Can, *et al.*. A parallel algorithm for generating Voronoi diagrams based on point-set adaptive grouping[J]. *Journal of Graphics*, 2012, 33(6): 7-13.
王结臣, 蒲英霞, 崔璨, 等. 一种基于点集自适应分组构建Voronoi图的并行算法[J]. *图学学报*, 2012, 33(6): 7-13.
- 16 Wu Yiquan, Ye Zhilong, Wan Hong. Speckle noise suppression of reconstructed image based on dual-tree complex wavelet and anisotropic diffusion[J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(4): 0409002.
吴一全, 叶志龙, 万红. 双树复小波和各向异性扩散再现像散斑噪声抑制[J]. *中国激光*, 2013, 40(4): 0409002.

栏目编辑: 苏岑