

基于机器视觉的瓷砖裂纹检测

张军, 张海云, 赵玉刚, 司马中文
(山东理工大学, 淄博 255000)

摘要: **目的** 线上包装时准确地对带有花纹且背景灰度和裂纹灰度相近的瓷砖表面缺陷进行检测。**方法** 设计合理的检测机构, 选择合适的软硬件, 设计各模块的组成; 针对裂纹的轮廓难以通过各种算子提取的问题, 在自适应形态学预处理后, 通过小波变换与形态学融合的差影法提取裂纹边缘、花纹及部分背景信息, 筛除掉难以处理的花纹与背景区域。**结果** 成功得到了缺陷轮廓及对应参数, 经对比漏检率为 0.02, 过检率为 0.05。**结论** 该系统准确率较高, 能够满足要求。

关键词: 瓷砖; 机器视觉; 包装线; 检测; 轮廓提取

中图分类号: TB486; TQ174.76; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0146-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.026

Crack Detection of Ceramic Tiles Based on Machine Vision

ZHANG Jun, ZHANG Hai-yun, ZHAO Yu-gang, SIMA Zhong-wen
(Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

ABSTRACT: The work aims to detect the surface defects of ceramic tiles with patterns and similar background gray and crack gray during online packaging. A reasonable detection mechanism was designed, suitable software and hardware were selected and compositions of each module were designed. With respect to the problem that it was hard to extract the crack contour through various kinds of operators, after the preprocessing of adaptive morphology, the crack edges, patterns and some background information were extracted in the difference image method through the fusion of wavelet transform and morphology, and then the patterns and background areas hard to process were eliminated. The defect profile and corresponding parameters were successfully obtained. Through comparison, the misdetection rate was 0.02 and the detection rate was 0.05. The system has a higher accuracy and can meet needs.

KEY WORDS: ceramic tile; machine vision; packaging line; detection; contour extraction;

裂纹是瓷砖表面常见的缺陷^[1-2], 在使用中影响着建筑的外观, 且极易进入污物, 是包装线检测中的重点。瓷砖生产中常依靠人工检测表面裂纹, 国标规定, 在 300 lux 光下, 距瓷砖 1 m, 凭眼睛观察瓷砖是否有缺陷^[3], 这种方法主观性强, 使得产品的质量不稳定; 眼睛易疲劳, 漏检率或错检率较高^[4]。现今, 机器视觉技术正逐渐运用到自动化检测中^[5-8], 提高了生产效率。瓷砖检测中的机器视觉技术指通过工业相机 (CCD, CMOS) 采集瓷砖表面的图像, 将图像信号送到处理装置, 由处理模块对图像进行边缘检

测, 计算缺陷的大小, 与标准对比, 判断产品是否合格。

对砖面检测的研究中, 平整度方面, 尤波^[9]提出了基于 PLC 的瓷砖平整度研究。色差检测方面, 李温温^[10]提出基于彩色线阵 CCD, 小波分析技术的色差检测系统。缺陷检测方面, 李庆利^[11]提出一种基于灰色关联分析的提取算法; 余永维^[12]提出基于自适应形态学的缺陷轮廓提取研究。前人多基于纯色或简单砖面的相关算法研究, 忽视了瓷砖表面花纹与背景的影响, 对越来越复杂的瓷砖表面检测无法适用。基于此, 代替人眼检测方法, 提出基于机器视觉的瓷砖

收稿日期: 2017-12-08

基金项目: 山东省重点研发计划项目 (2016GGX103001)

作者简介: 张军 (1990—), 男, 山东理工大学硕士硕士生, 主攻图像处理、智能检测装备技术。

通信作者: 张海云 (1972—), 女, 博士, 山东理工大学副教授, 主要研究方向为图像处理、数控技术、智能检测装备技术。

裂纹检测。

1 系统方案设计

1.1 系统结构组成

该系统分为照明装置、图像采集装置、图像处理装置及相应的运动控制装置等，系统原理见图 1。照明装置提供稳定的光源，采集装置拍摄待测瓷砖图像；运动控制装置通过运动装置改变采集装置的位置，保证采集信息的准确性，通过通信模块与处理装置联系；处理装置接受并处理采集的图像，通过对处理后的信息对比判断，得到结果。

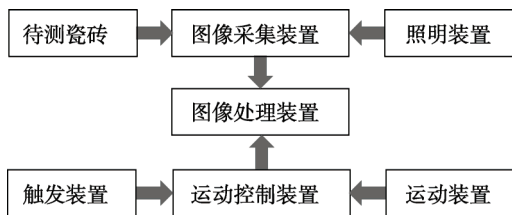


图 1 系统原理
Fig.1 System principle

检测系统结构见图 2。照明装置为光源，采集装置为工业 CCD 相机和镜头，图像处理装置为上位机，运动控制装置为下位机，触发装置为传感器。待测瓷砖经对中后对齐于传送带的中线，经传送带运送，传感器位于传送带下方，相机位于传送带正上方，由 x, y, z 方向上的 3 个电机控制其三方向的位置，光源倾斜置于瓷砖两边， x, y, z 方向电机通过丝杠与相机连接，上下位机之间通信。

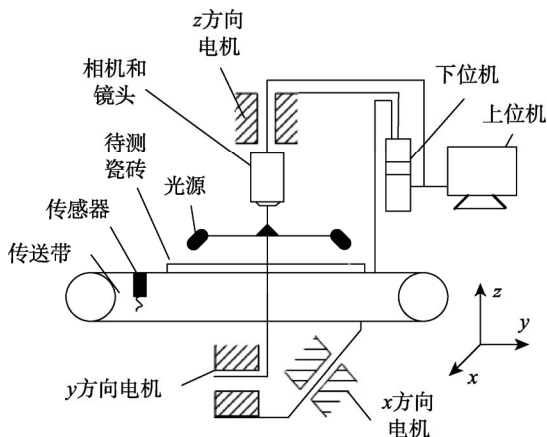


图 2 系统结构
Fig.2 System structure

1.2 系统的原理组成

1.2.1 图像采集硬件

选择维视图像公司的 MV-VD120SC 工业相机。该相机能够采集彩色或 256 级灰度图像，具有 C/CS 接口，最高分辨率能达到 1280×960 ，最大帧率为 30 帧/s，传输距离 10 m。

与变焦镜头相比，定焦镜头成像质量更高，通光量大，拍摄速度更快，选择 M0814-MP 型焦距为 8 mm 自动控制光圈和聚焦的定焦头。

光源能提供稳定的检测环境，LED 光源发光效率高、使用寿命长、光色纯正。选择型号为 AFT-WL21244-22 额定电压 24 V，功率 7.1 W 的 LED 条形光源。

1.2.2 信号传感器

传感器对传送带上的瓷砖触发拍照，是信号的采集端，在频繁的检测中要求其稳定、灵敏，选择检测距离为 30 ~ 500 mm，型号为 LR-W500C 的光电式传感器。响应时间最小为 200 μ s，最大为 500 ms，且抗震耐冲击，环境光照要求在 1×10^4 lux 之下。

1.2.3 上、下位机

作为系统中的下位机，其主要通过传感器触发相机拍照；控制相机上的丝杠正反转，从而调整拍摄位置及拍摄距离；接收上位机处理的结果，控制输出机构对有缺陷的瓷砖分拣。故使用经典的 51 架构，高性能 CMOS8 位控制器，8 K 存储 Flash 的 STC 89C52RC 单片机。

作为图像处理载体的上位机，主要起对采集的图像计算像素值的作用，具有较快的计算速度，根据恶劣的工作环境，选择抗干扰、防尘且多扩展的 M3500Q 型工控 PC 机，同时具有相应的处理器、显示屏、鼠标、电源线等配件。

2 图像采集

瓷砖裂纹是指砖面产生的不规则形状的釉裂，通常发生在淋釉工艺，由于砖坯与釉面的膨胀系数不同产生的，是最常见的缺陷。光源侧面照射，瓷砖反射后的光经相机接收，获得采集后的图像见图 3a。复杂砖面通常由裂纹缺陷、干扰检测的花纹及背景 3 部分组成。在 Matlab 设计的 GUI 界面函数中读入采集图像，代码为：

```
[filename,pathname]=uigetfile(FilterSpec,'选择图像');  
str=[pathname filename]; //提取图像的路径及名称  
P=imread(str); //读取图像  
axes(handles.axes1); //选择显示的图像框  
imshow(P); //显示图像
```

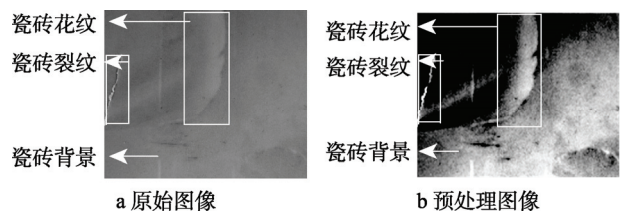


图 3 采集与预处理
Fig.3 Acquisition and preprocessing

3 裂纹检测模块

3.1 形态学处理

形态学是一种使用结构元素处理图像的方法,通过对膨胀、腐蚀、开闭等形态学算法的组合,达到对图像的滤波、增强等^[13-14]。

3.2 图像预处理

采集的图像由于裂纹缺陷与花纹的灰度值接近,无法直接提取裂纹边缘,需要对其提高对比度,轮廓预提取及分离部分背景。设计如图4的自适应形态学串并联图像增强方法,分为3步,并联腐蚀、串联运算与并联开运算。

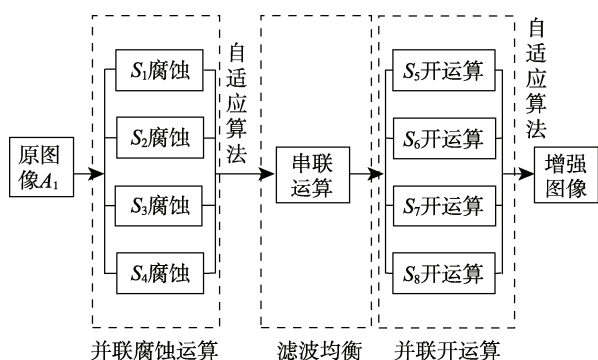


图4 串并联组合

Fig.4 Series and parallel combination

设瓷砖采集图像为 A_1 , 并联算法类似于“并联电路”, 建立 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向, 长度为 5 的线型结构元素 S_1, S_2, S_3, S_4 , 度量和提取对应的形状见图 5。分别用 4 种不同的结构元素对原图像腐蚀, 4 次腐蚀运算见式 (1)。

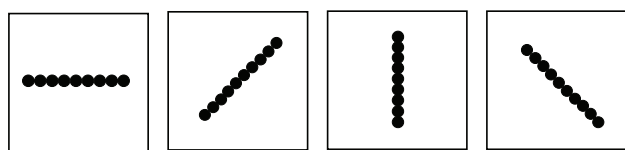


图5 结构元素示意

Fig.5 Schematic diagram of structure elements

$$\begin{cases} A_{11}=A_1 \ominus S_1 \\ A_{12}=A_1 \ominus S_2 \\ A_{13}=A_1 \ominus S_3 \\ A_{14}=A_1 \ominus S_4 \end{cases} \quad (1)$$

符合缺陷的结构元素能保留越多的裂纹信息, 故其分配的权重越大, 计算权重见式 (2)。

$$\omega_i = \frac{A_i - A_1}{\sum_{i=1}^4 (A_i - A_1)} \quad (2)$$

4 种腐蚀结果对应 4 个权重值, 各自的权重与腐蚀乘积后求和, 得到并联腐蚀的合并值。对合并的值串联运算, 对其进行中值滤波和直方图均衡见式 (3)。

$$A_2 = T(\text{median}(\omega_i(A_i \ominus S_i))) \quad (3)$$

同理, 建立第 2 次并联开运算的 4 个结构元素 S_5, S_6, S_7, S_8 , 对串联后的图像 4 次并联开运算见式 (4), 对 4 次结果自适应运算, 得到预处理图像 A_3 。

$$A_3 = \sum_{i=5}^8 \left(\frac{A_{2i} - A_2}{\sum_{i=5}^8 (A_{2i} - A_2)} (A_2 \circ S_i) \right) \quad (4)$$

式中: $\circ$ 为数字图像处理形态学算法中两图像的开运算。由预处理图像图 3b 得知, 裂纹与砖面的对比度提高, 有利于轮廓的提取, 一种结构元素串、并联部分代码为:

```
erode1=imerode(P,stre); //腐蚀
f1=sum(sum(abs(double(erode1)-double(P)))); //保留信息提取
w=sum([f1 f2 f3 f4]);
b=f1/w*double(erode1)+f2/w*double(erode2)+f3/w*double(erode3)+f4/w*double(erode4); //自适应合并
c=medfilt2(b); //串联运算
```

4 轮廓提取

4.1 小波变换

小波变换克服了傅里叶变换中仅能分解出各频率, 而无法从时域上对各频率区分的缺点, 通过小波基, 将时域上各位置的信号分解为不同的高低频率, 对小波域上高低频信号处理重构, 从而提取出轮廓^[15-16]。

4.2 形态学与小波变换融合提取轮廓

对预处理后的图像进行二层小波分解, 得到低频近似分量 W 及高频水平分量 W^H 、高频垂直分量 W^V 、高频对角分量 W^D 。低频分量包含裂纹、花纹、背景的内部信息, 高频分量包括缺陷的外部轮廓^[17]。形态学与小波变换的融合, 是使用形态学公式去处理小波变换的分量。形态学公式见式 (5), 低频分量为 W ; $(W \circ S) \cdot S$ 为对低频图像的形态学开闭运算, 以提取低频图像的背景; 通过差影法, 低频图像去除多余的背景, 就提出了缺陷 W_1 。

$$W_1 = W - ((W \circ S) \cdot S) \quad (5)$$

将改进的 6 阶巴特沃斯高通同态滤波器式 (6—7) 用于高频分量轮廓细节保留, 低频信息的去除。式中: α, β 为分配高通与同态信号的比例; M, N 为图像尺寸; $D(u, v)$ 为到图像中点的距离; D_0 为高通滤波截止频率; r_H 为高频增强倍数; r_L 为上移距离; $(r_H - r_L)$ 为总增强倍数, 通过构成的滤波器传递函数 H 与高频图像的傅里叶变换做卷积, 小于截止频率的低频部分, 传递函数趋于 0, 卷积后将高频分量中的低频成分滤去。

$$H = \alpha \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{D_0}{D(u,v)} \right)^6} \right) + \beta (r_H - r_L) \left(r_L + \frac{r_H}{1 + \left(\frac{cD_0}{D(u,v)} \right)^6} \right) \quad (6)$$

$$D(u,v) = \sqrt{\left(u - \frac{M}{2}\right)^2 + \left(v - \frac{N}{2}\right)^2} \quad (7)$$

将分别处理的小波域低频、高频图像重构。与傅里叶变换类似,小波变换是把一幅图像分解为各类小波 W, W^H, W^V, W^D 与加权尺度系数 C, C^H, C^V, C^D , 而重构是小波变换的逆过程,通过尺度系数计算的权重对处理后的各高低频分量加权求和,求和后的图像构成近似了图像 $f(x,y)$ 见式(8), m,n 表示小波变换的级数。重构前去除了砖面的花纹与背景信息,故重构后得到提取的裂纹,流程见图 6。

$$f(x,y) = \sum_m \sum_n C_{m,n} W_{m,n} + \sum_{i=H,V,D} \sum_m \sum_n C_{m,n}^i W_{m,n}^i \quad (8)$$

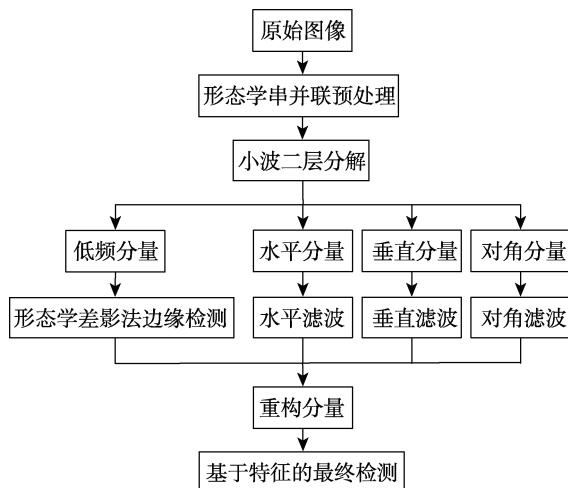


图 6 轮廓提取流程

Fig.6 Contour extraction process

进一步对残余的花纹与背景分离,将轮廓面积、外接矩形长轴与短轴之比作为限定因素。面积值用于滤去小的点状区域,轴之比用于滤去大的花纹与背景,此种方法能有效分离裂纹轮廓、花纹与背景,最终检测出裂纹,关键代码为:

```
[ca2,ch2,cv2,cd2]=dwt2(c,'db1'); //小波变换
ca2=ca2-imclose(imopen(ca2,se),se); //形态学与小波变换融合
ch2=fft2(ch2); //频率域变换
ch2=(ch2.*H); //高频滤波处理
ch2=ifft2(ch2);
P=idwt2(ca2,ch2,cv2,cd2,'db1',s); //图像重构
```

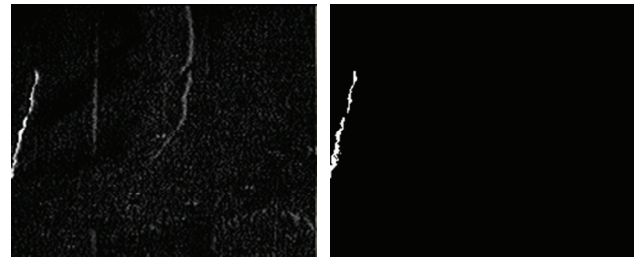
5 结果测试

检测的结果见图 7,提取轮廓(图 7a)后含有残余的花纹信息;对其特征处理后,最终成功提取裂纹(图 7b)。

测得裂纹面积、长度与宽度的像素个数,通过与

单位像素面积的乘积,得到系统测得的裂纹面积为 40.98 mm^2 , 裂纹长度为 28.57 mm , 最大宽度为 2.927 mm , 最小宽度 0 。

用该方法检测更细小的裂纹,见图 8。图 8a 为待测的原始图像,光线较暗或砖面反光时,人眼难以察觉此缺陷。图 8b 为预处理后的图像,与原始图像相比,裂纹更加明显,图 8c, d 为轮廓提取,去除花纹及背景后的最终图像,由结果得知,细小的裂纹被成功检测出来。测得的裂纹参数:裂纹面积为 61.21 mm^2 、裂纹长度为 53.35 mm , 最大宽度为 1.267 mm 。

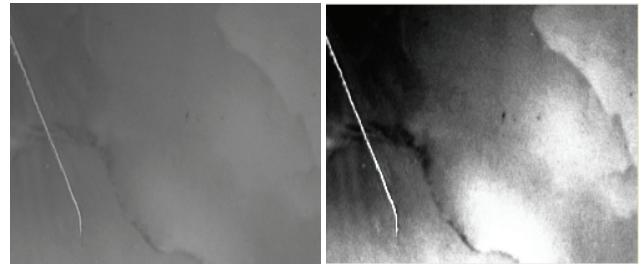


a 轮廓提取

b 检测结果

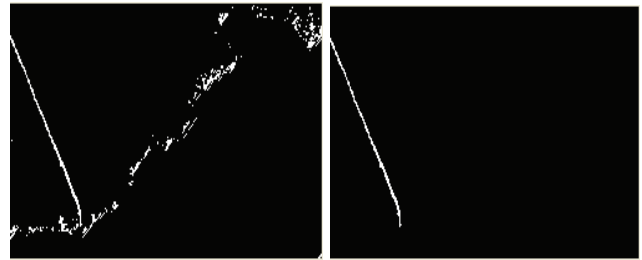
图 7 裂纹 1 检测流程

Fig.7 Crack 1 detection process



a 原始图像

b 预处理图像



c 轮廓提取

d 检测结果

图 8 裂纹 2 检测流程

Fig.8 Crack 2 detection process

准确性测试,手动检测 5 条裂纹,选取手测面积与机测面积的偏差与相对误差为评判值,用外接矩形面积代表裂纹实际大小与系统测得的面积比较,偏差与检测面积的比值作为相对误差,相对误差分别为 $+0.12, +0.16, +0.14, +0.19, +0.17$ 。漏检率测试,选取同一型号的带有 20 条裂纹的 100 幅采集图像检测,漏检率为 0.02 ,过检率为 0.05 。

6 结语

基于边界或区域的算法如 Canny 算子提取、双峰

法分割、小波模极大值分割等无法检测复杂砖面的裂纹,提出了新的瓷砖表面裂纹检测。针对带有花纹且裂纹灰度与背景灰度值相近的较难检测的瓷砖有一定的效果。设计了检测方案,硬件组成,研究了裂纹检测的处理方法和步骤。实验证明,与人眼检测相比,该方案得到更精确的裂纹轮廓,有效地检测出缺陷与花纹背景灰度值相近的复杂瓷砖的表面裂纹及参数。对该方案的研究仍将继续,结合包装线的分拣装置,能够实现产品的自动分类;扩充算法,能够扩大范围检测瓷砖的平整度、色差等参数。

参考文献:

- [1] YANG Cheng-li, LIU Pei-yong, YIN Guo-fu, et al. Crack Detection in Magnetic Tile Images Using Nonsampled Shearlet Transform and Envelope Gray Level Gradient[J]. Optics and Laser Technology, 2017, 90: 7—17.
- [2] LI Xue-qin, JIANG Hong-hai, YIN Guo-fu. Detection of Surface Crack Defects on Ferrite Magnetic Tile[J]. NDT and E International, 2014, 62(2): 6—13.
- [3] 晁云, 曹利钢. 基于机器视觉的陶瓷砖表面缺陷快速检测方法的研究[J]. 制造业自动化, 2013(17): 18—20.
CHAO Yun, CAO Li-gang. Fast Detection Research of Surface Defect of Ceramic Tiles Based on Machine Vision[J]. Manufacturing Automation, 2013(17): 18—20.
- [4] 赖文敬, 肖景红, 顾轩, 等. 高精度检测瓷砖表面平整度[J]. 中国陶瓷, 2014(10): 52—56.
LAI Wen-jing, XIAO Jing-hong, GU Xuan, et al. Plainness Detection of the Tile Surface Based on Phase Measurement Profile System[J]. China Ceramics, 2014(10): 52—56.
- [5] VEDANG C, BRIAN S. A Comparative Study of Machine Vision Based Methods for Fault Detection in an Automated Assembly Machine[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 1: 416—428.
- [6] MO Xin-ping, PAN Zhi-guo. Study and Application of Machine Vision Technique for Quality Detection of Agricultural Products[J]. Advanced Materials Research, 2015, 3683(1061): 999—1002.
- [7] YU Fu-sheng, YIN Sheng-jiang, LI Teng-fei, et al. Study on the Detection and Selection of Bearing Diameter Based on Machine Vision System[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3056(533): 298—302.
- [8] 陈露, 程红, 秦帅, 等. 基于机器视觉的红酒灌装品质检测[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 146—150.
CHEN Lu, CHENG Hong, QIN Shuai, et al. Filling Quality Detection of Wine Base on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 146—150.
- [9] 尤波, 王伟, 许家忠, 等. 基于 PLC 的瓷砖平整度在线检测系统研究[J]. 自动化技术与应用, 2012, 31(3): 64—68.
YOU Bo, WANG Wei, XU Jia-zhong, et al. Research on the Online Measuring System of Ceramic Tile Flatness Based on PLC[J]. Techniques of Automation and Applications, 2012, 31(3): 64—68.
- [10] 李温温, 王宝光, 张岩. 瓷砖色差在线分类系统的研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(3): 13—15.
LI Wen-wen, WANG Bao-guang, ZHANG Yan. Study on Online Classifying System for Color Difference of Ceramic Tiles[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2010, 29(3): 13—15.
- [11] 李庆利, 王永强, 张帆. 陶瓷砖表面缺陷视觉检测算法研究[J]. 中国陶瓷, 2015(3): 44—47.
LI Qing-li, WANG Yong-qiang, ZHANG Fan. The Study on Visual Inspection Algorithm of Ceramic Tiles for Defects Detection[J]. China Ceramics, 2015(3): 44—47.
- [12] 余永维, 殷国富, 蒋红海, 等. 磁瓦表面图像的自适应形态学滤波缺陷提取方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(3): 351—356.
YU Yong-wei, YIN Guo-fu, JIANG Hong-hai, et al. Defect Extraction Method of Arc Magnet Surface Images Based on Adaptive Morphological Filtering[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(3): 351—356.
- [13] 朱晓临, 陈嫚, 李雪艳, 等. 结合形态学变形虫和复合颜色空间的彩色图像边缘检测模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(7): 1060—1066.
ZHU Xiao-lin, CHEN Man, LI Xue-yan, et al. A Color Image Edge Detection Model with Morphological Amoebas and Two Kinds of Color Spaces[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(7): 1060—1066.
- [14] 杨勇, 阙越, 黄淑英, 等. 多视觉特征和引导滤波的鲁棒多聚焦图像融合[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(7): 1324—1333.
YANG Yong, QUE Yue, HUANG Shu-ying, et al. Robust Multifocus Image Fusion via Multiple Visual Features and Guided Filtering[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(7): 1324—1333.
- [15] 倪志伟, 王超, 胡汤磊, 等. 面向数据流的多粒度时变分形维数计算[J]. 软件学报, 2015, 26(10): 2614—2630.
NI Zhi-wei, WANG Chao, HU Tang-lei, et al. Multi-Granularity and Time-Varying Fractal Dimension on Data Stream[J]. Journal of Software, 2015, 26(10): 2614—2630.
- [16] 张东, 唐向宏, 张少鹏, 等. 小波变换与纹理合成相结合的图像修复[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(7): 882—894.
ZHANG Dong, TANG Xiang-hong, ZHANG Shao-peng, et al. Image in Painting Based on Combination of Wavelet Transform and Texture Synthesis[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(7): 882—894.
- [17] 刘羽, 汪增福. 结合小波变换和自适应分块的多聚焦图像快速融合[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(11): 1435—1444.
LIU Yu, WANG Zeng-fu. Multi-focus Image Fusion Based on Wavelet Transform and Adaptive Block[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(11): 1435—1444.