

DOI:10.16136/j.joel.2022.06.0048

一种改进的尺度不变特征识别算法用于建盏釉面的相似性判定

杨信锟^{1*}, 郭 波¹, 李福星², 许淑娴¹, 薛志磊¹

(1. 武夷学院 农机智能控制与制造技术重点实验室, 福建 武夷山 354300; 2. 华梵大学 机电工程学院, 台湾 台北 22301)

摘要:为解决建盏真伪区分问题,通过改进的尺度不变特征识别算法,建立实验原型系统,用于识别不同类型釉面的建盏。研究的识别模型在云端上提供服务,以便对建盏釉面的相似性进行判断。该系统采用 Streamlit 平台构建实验性人机交互界面。针对识别模型,研究开发了基于边界跟随法的图像预处理策略,旨在滤除背景和无关材料特征干扰,提高自然条件下拍摄的图像识别能力,以减少对建盏釉面的误判可能性。利用改进的基于支持向量机(support vector machines, SVM)的尺度不变特征变换(scale-invariant feature transform, SIFT)特征匹配分类策略,设计了多项性能实验,以获得足够的数据集分辨率、SVM 最优超参数和初始化所需的最小数据集参数模型。经实验证实,系统可清楚地区分相同类型釉面图案(兔毛釉、滴油釉)的相似性。它使用给定的有限数据集提供高达 92.60% 的识别准确率,并将单次识别速度提高 0.84 s。

关键词:建盏釉面; 尺度不变特征变换; 特征提取; 支持向量机; 模式识别

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2022)06-0614-06

An improved scale-invariant feature recognition algorithm for similarity judgment of the glaze of Jianzhan

YANG Xinkun^{1*}, GUO Bo¹, LI Fuxing², XU Shuxian¹, XUE Zhilei¹

(1. The Key Laboratory of Agriculture and Machinery Intelligent Control and Manufacturing Technology, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300, China; 2. Mechatronic Engineering Institute, Huaan University, Taipei, Taiwan 22301, China)

Abstract: In order to solve the problem of distinguishing the authenticity of Jianzhan, an experimental prototype system is established through an improved scale-invariant feature recognition algorithm to identify different types of the glaze of Jianzhan. The researched recognition model provides services on the cloud in order to judge the similarity of the glaze of Jianzhan. The system uses the Streamlit platform to build an experimental human-computer interaction interface. For the recognition model, an image preprocessing strategy is researched and developed based on the boundary following method, which aims to filter out the interference of background and irrelevant material characteristics, improve the recognition ability of images taken under natural conditions, and reduce the possibility of misjudgment of the glaze of Jianzhan. Using an improved support vector machine (SVM)-based scale invariant feature transform (SIFT) feature matching classification strategy, a number of performance experiments are designed to obtain sufficient data set resolution, SVM optimal hyperparameters and initialization required minimum data set parameter model. Experiments have confirmed that the system can clearly distinguish the simi-

* E-mail: 71230538@qq.com

收稿日期: 2022-02-22 修订日期: 2022-02-25

基金项目: 国家自然科学基金(61903288)、福建省自然科学基金项目(2021J011132)、福建省科技厅引导性科研项目(2021H0061)、南平市资源化学产业研究项目(N2020Z003)、福建省教育厅科技项目(JAT 190767、JAT 190776、JAT 170586)和武夷学院服务产业研究专项(2021XJFWCY02)资助项目

larities of the same types of glaze patterns (rabbit hair glaze, oil drip glaze). It uses a given limited data set to provide a recognition accuracy rate of up to 92.60% and increases the single recognition speed by 0.84 s.

Key words: the glaze of Jianzhan; scale invariant feature transform (SIFT); feature extraction; support vector machine (SVM); pattern recognition

1 引言

随着国民生活水平逐步改善,人们对中国茶文化的追求更加多元化,尤其是陶瓷茶器。中国自北宋时期便盛行福建建窑所生产的黑釉瓷器,建窑黑釉瓷器被称为建盏^[1]。建盏最具特色的是其釉色,其釉色大致可分为:纯黑色釉、兔毫斑纹釉、油滴釉、曜变釉和杂色釉等品种。近年来,民间对建盏的制作工艺、审美、收藏热情逐步高涨,建盏烧制技艺传承人烧制的建盏有较高的经济价值。但是建盏行业缺乏绝对标准,催生了高价值收藏品的仿制动机,仿制品大多为兔毫斑纹釉、油滴釉等^[2]。肉眼很难区分真品和仿制品的釉色特征,鉴定工作需要高级专业人士的长时间专注努力积累经验才能完成。而且,建盏行业并没有一种能够高速准确鉴定真伪的智能工具,市场中存在巨大空白。

机器视觉是近年来最活跃的图像处理分支领域,用于代替人工视觉以提升生产的灵活性和自动化程度。基于特征的算法是此领域重要的发展方向,其中尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)算法通过提取图像关键点特征,避免了特征匹配受到尺度、方向、位置、亮度等图像环境影响^[3],因此广泛用于生物特征识别^[4]、农牧业^[5,6]等多个领域^[7,8]。

借助传统的 SIFT 特征提取,建立内部测试实验原型系统,评估了难以被区别的兔毫斑纹釉和油滴釉面的两种建盏的可行性,但判定准确率不尽如人意。经研究和测试发现,通过对算法与策略的改进,可以显著提升了识别效果^[9-11]。研究概述了以下贡献:

1) 提出云计算平台的建盏识别模型,应用 Streamlit 平台建立实验原型人机系统,便于移动设备远程访问模型及实验评估,经过数个版本的改进,证实了原型系统的可行性。

2) 提出基于轮廓识别的建盏图像预处理策略,过滤 SIFT 提取的图像背景干扰特征,提高了自然条件下摄制建盏图像识别的可靠性。

3) 提出一种改进的 SIFT 特征匹配算法,用于显式(更加明显)区分同类(兔毫斑纹釉、油滴釉面)黑釉花纹的相似程度。

4) 基于特征匹配实验数据库统计分析,开发了一种统计算法,提取可靠性估计阈值,用于自适应判定结果可靠性,算法在实验原型的应用,提供了高于传统 SIFT 特征识别 12% 的准确程度。

以下几节介绍了研究进展:第二节介绍了实验原型系统;第三节介绍了改进的算法;第四节讨论了识别性能及实验结果;最后第五节给出了研究结论和讨论。

2 方法

2.1 实验原型系统

在实验室中,研究人员建立了一个云计算平台的建盏识别模型,如图 1 所示。

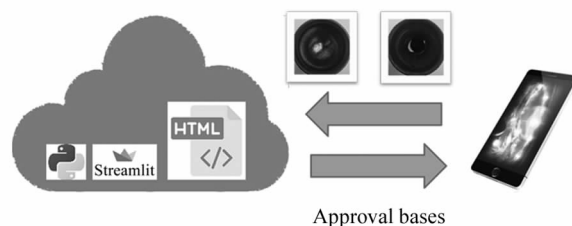


图 1 云计算平台的建盏釉面相似度判断识别模型

Fig. 1 Approval model for similarity judgment of the glaze of Jianzhan on the cloud server

模型接受用户上传的两张建盏图像,评估计算图像釉面花纹的相似程度,向用户反馈判定结果和依据。考虑实验系统应用场景的公共服务属性,模型基于 Python3.6 IDE 开发,借助 Streamlit 的机器学习工具,高效完成了实验原型系统人机界面,如图 2 所示。

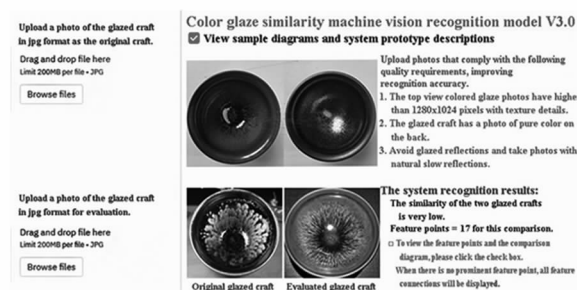


图 2 建盏釉面相似度判断人机交互界面

Fig. 2 Human-machine interaction webpage for similarity judgment of the glaze of Jianzhan

实验原型测试了两种云计算平台环境^[12],系统的私有云架构中,服务器提供了 Intel Core i7-4790 3.60 GHz 的处理器、16 GB 的 RAM、1 Mbit/s 带宽以及 Windows10(64 位)操作系统。公共云平台服务器采用 Intel Xeon Gold 6278C 2.60 GHz 的处理器、4 GB 的 RAM、5 Mbit/s 带宽以及 Ubuntu 18.04 服务器 64 bit 操作系统。在处理 3 456×4 608 分辨率的建盏图像测试结果显示,前者计算耗时 10 s,后者为 22 s,硬件条件均可满足系统需要。

2.2 改进的 SIFT 算法

SIFT 算法在每个被检测图像的尺度空间的每个分割层中检测特征极值,用于建盏模板图像与被评估相似度的建盏图像之间的特征匹配。建立的图像尺度空间是高斯函数 $G(x, y, s)$ 卷积而成,其中 (x, y) 表示空间坐标, s 表示缩放坐标,算法提取空间相邻层的高斯函数差分(difference of Gaussian, DOG),对 DOG 函数的导数取零,得到相应的极值位置,作为连续空间中处理点的偏移坐标,由式(1)获得初始极值:

$$D_{extremal} = D(x_i, y_i, \sigma_i) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial D(x, y, \sigma)}{\partial (x, y, \sigma)} \right)_{x=x_i, y=y_i, \sigma=\sigma_i} \begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{\sigma} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

初步极值点排除 $|D_{extremal}| < 0.3$ 的弱极值点。

算法获得初步极值点后,滤波极值划分为 4×4 个采样区域,并分别计算每个区域的方向直方图。得到具有 128 维特征向量的直方图,它描述了处理后图像的明显梯度变化位置。

算法计算建盏模板图像与被评估相似度的建盏图像的 128 维特征向量的特征点,计算两组特征点向量的欧氏距离,通过匹配向量最小距离值与匹配上的特征点数量作判定处理。

2.2.1 基于边界跟随法的建盏图像预处理策略

建盏识别模型面对的第一项挑战来自于对在自然环境下拍摄的建盏图像适应性,用户利用手机拍摄建盏照片质量有限,往往附带着复杂的图像背景, SIFT 算法无差别地提取建盏釉面花纹特征与背景特征,背景特征的数量和相似度极大影响了特征匹配结果。同时,相同地域烧制建盏胎器的材料成分近似,使得不同的建盏图像存在高度相似色泽纹理的胎面, SIFT 算法受其影响,容易将釉面纹理不同的建盏判定为相似,因此图像预处理策略主要为过滤此类干扰。

研究采用了基于边界跟随法的过滤策略,策略流程算法如图 3 所示。边界跟随法基于外边界和孔边界分别与像素的连接分量和孔有一一对应的关系,从而确定建盏二值图像边界。通过补全凸包求解边界不变矩 M ,进而获得建盏中心坐标 (x_o, y_o) 与边界尺寸 (D_x, D_y) ,保留固定阈值的边界比例,完成图像裁剪及边界外的纯色处理。该策略有效过滤了图像可能产生干扰特征区域,同时仅保留有效特征区域像素信息,提高后续算法特征点提取的速度。

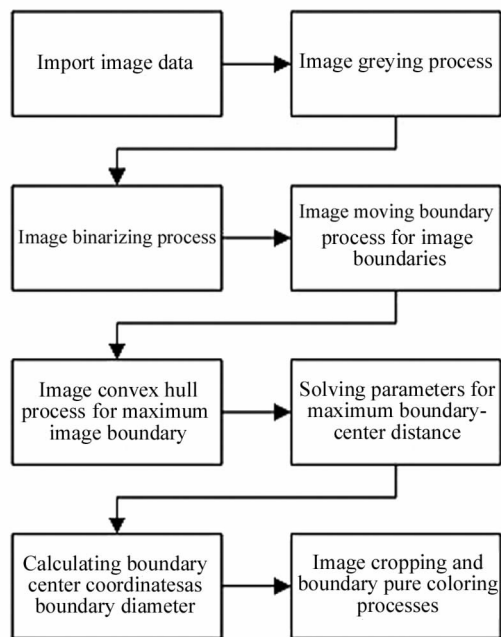


图 3 建盏图像预处理策略流程

Fig. 3 Strategy for Jianzhan image preprocessing processes

2.2.2 基于支持向量机(support vector machine, SVM)的 SIFT 特征匹配结果分类策略

实验原型系统提取用户上传的建盏模板图像和判定建盏图像,评估两图的相似度类别,是较为典型的图像分类识别问题。建盏识别模型专注于釉面花纹色泽等特征相似程度的区分,分类之间的差异很小,因此 SIFT 算法提取的特征向量区分度不高。对于经验丰富的开发人员,他们可以借助特征向量的匹配数量以及计算向量的最小欧式距离,区分两张图像是否为相同的建盏,但普通用户希望原型系统直接告诉他们分类的结果,所以模型需要一种策略自动区分 SIFT 特征匹配结果的类别。

SVM 以监督学习(supervised learning)实现对数据的二元及多元分类,通过求解样本的最大边距超平面(maximum-margin hyperplane)实现。多年来,快速发展并衍生出一系列改进和扩展算法,获得

多领域模式识别的应用。HE 等^[13]提出以 SVM 训练巩膜静脉特征进行身份识别。CHEN 等^[14]提出具有线性和非线性核的 SVM 用于对卷积层提取的特征进行自动棕榈树检测,获得更优精度及检测速度。SOLANKI 等^[15]提出结合 SIFT 与 SVM 通过计算机技术识别庙宇。区别于其他算法的策略,笔者提出以 SIFT 匹配特征向量的最小欧氏距离与数量作为建盏釉面花纹色泽的区分度描述,利用 SVM 找到区分建盏的特征参数超平面。显然,为拟合提供大量的样本建盏以提高训练精度费时费力,课题方向寄希望于用有限的小的监督样本,获得泛化能力强的建盏识别模型,同时获得具备实用意义的检测精度及速度。

实验原型系统的运行机制允许用户测试他们已知结果并上传数据集,实现带有标签数据集的小规模积累。但对于绝大多数现场应用环境,仅能提取受测试的图像 SIFT 特征,需要预测识别结果,而无法获得受测试图像的真实标签,因此,识别模型的鲁棒性就至关重要,建议在数据集规模有限的系统运行初期,实施向量机模型的迭代拟合策略。

策略有几个步骤构成:1) 随机提取数据集最小可拟合数据集;2) 拟合最优参数的 SVM 二元分类模型;3) 提取测试数据集,预测模型分类识别结果;4) 增加测试数据和分类结果参与新分类模型迭代;5) 增加新带标签数据集参与新分类模型迭代;6) 以新分类模型预测识别结果,并返回第 4 步。策略实施过程符合系统运行过程的数据集获取机制,在有限的小规模数据上可以取得较高识别精度的初步性能,随着迭代不断增强新分类模型的识别效果,系统的识别精度和适用性将逐步强化。

3 实验和结果

为了验证实验原型系统的性能,收集了建盏正面的釉面检测数据集,实验评估了图像分辨率参数对检测精度及速度的影响,对比了固定匹配特征阈值、固定支持向量机最优超参数、支持向量机迭代拟合策略三种识别性能,验证所提出的分类策略的有效性。

3.1 数据集准备

检测数据集由 97 组建盏正面的釉面图像构成,包含了常见的兔毫斑纹釉、油滴釉在内的多种类釉面建盏,数据集样本涉及不同光照、形状、种类、花纹、色彩的建盏。每一组图像由两张照片构成,预置了相同和不同两类标签,随机排序标签。图像是自

然条件下手机拍摄的,具有多种分辨率,最高分辨率 3024×4032 ,24 位深度彩色质量。

3.2 图像分辨率参数对检测精度及速度的影响

众所周知,图像质量特别是图像分辨率参数对 SIFT 特征向量影响很大。高分辨率图像保留的纹理细节增多,SIFT 算法将提取到更多数量的特征向量。但不良的自然环境摄制条件,也容易在图像留下大量随机噪点像素,噪点像素会与纹理特征一起被 SIFT 算法搜索提取,使 SIFT 算法更加费时,增大特征向量匹配的欧氏距离计算工作量,甚至影响匹配精度。通过实验验证了图像分辨率参数对检测精度及速度的影响,建盏纹理的相似度识别需要控制图像分辨率参数,过大或者过小的分辨率对基于 libsvm 实现的 SVM 二元分类模型的分类精度都有显著影响,图4、图5的实验结果证明了预期,900—1100 分辨率对建盏纹理的相似度识别精度有良好促进作用,同时平均检测速度与最高分辨率呈近似线性关系。

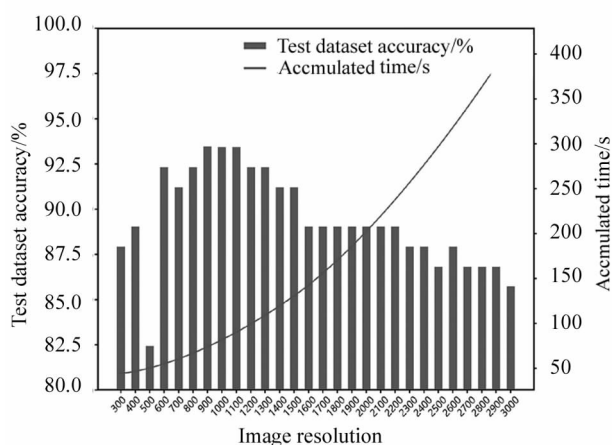


图4 图像分辨率参数对检测精度的影响

Fig. 4 The influence of image resolution parameters on detection accuracy

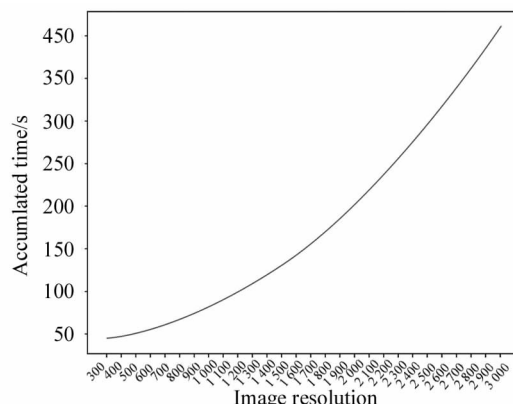


图5 图像分辨率参数对检测速度的影响

Fig. 5 The influence of image resolution parameters on detection speed

3.3 基于 libsvm 实现的 SVM 二元分类模型网格搜索最优参数的识别精度实验

SVM 二元分类模型的超参数设置是其分类准确率的关键。SVM 二元分类模型超参数惩罚因子 C 、核函数 kernel、gamma 参数对模型分类效果影响较大。为了取得最优的识别精度,通过遍历超参数组合,在 'linear', (' 'rbf', (' 'sigmoid', (' 'poly' 4 种核函数, 0.1—20 的 50 种惩罚因子 C , 0.1—20 的 20 种 gamma 寻找最优参数。数据集划分 70% 比例的训练数据集与 30% 的 Test 数据集,模型在 Test 数据集的评分达到 90%。基于最优参数的分类模型,拟合全体数据集,用于预测数据集的准确率,在 100 次复现后取得 90% 的平均识别精度,如图 6 所示。

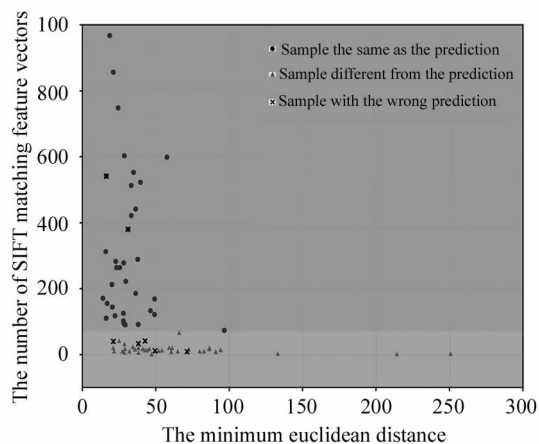


图 6 使用具有最优参数的 SVM 模型的识别结果和决策边界

Fig. 6 Recognition result and decision boundary using SVM model with optimal parameters

3.4 SVM 迭代拟合策略与全体数据集拟合模型的识别精度对比实验

实验对比了固定匹配特征阈值、固定 SVM 最优超参数、SVM 迭代拟合策略 3 种识别性能,以随机 10% 的初始训练数据为基准实施的 SVM 迭代拟合策略,在 100 次复现预测全体数据集后,平均取得 88% 的识别精度,微弱低于固定 SVM 最优超参数的全体数据集拟合测试结果。但随着初始训练数据比例的提升,当达到 40% 时,平均识别精度就已经与最优超参数的全体数据集拟合测试结果相同了,证实策略可以在有限的小规模初始数据上很好地工作。如图 7 所示。

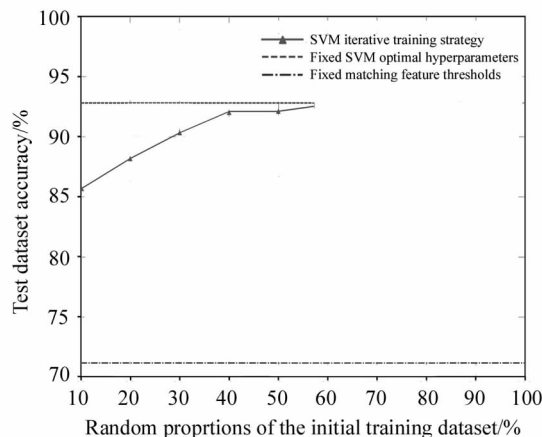


图 7 迭代训练策略实验的识别准确率比较

Fig. 7 Comparison of recognition accuracy of iterative training strategy experiments

4 结 论

本文研究使用改进的尺度不变特征识别算法的建盏釉面相似度判定识别模型已经在一个实验原型系统上进行了实验,该原型基于 Python 与 Streamlit 在云服务器上构建,并由网页交互为用户提供识别服务。系统提供了高达 92.56% 的识别精度,平均每组图像识别时间低于 0.8 s。

虽然所提出的策略整合了多个工程学科和技术接口,但研究仍需克服许多实际局限性。例如,本研究所提出的方法的并发需求处理仍然是研究团队的一个主要挑战,而为企业实现新的解决方案的便利性是一个重要的目标。此外,该研究还计划将该方案推广到其他科学和工程领域,如农业领域识别和自动控制领域。

参考文献:

- [1] LI X, LU J, YU X, et al. Imitation of ancient black-glazed Jian bowls (Yohen Tenmoku): Fabrication and characterization[J]. *Ceramics International*, 2016, 42(14): 15269-15273.
- [2] DEJOIE C, SCIAU P, LI W, et al. Learning from the past: Rare ϵ -Fe₂O₃ in the ancient black-glazed Jian (Tenmoku) wares[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 4941.
- [3] GUO B, LEE F S, LIN C I, et al. An optimization strategy for HMI panel recognition of CNC machines using a CNN deep-learning network[J]. *Concurrent Engineering*, 2021, 29(1): 35-48.
- [4] KASISELVANATHAN M, SANGEETHA V, KALAISELVI A. Palm pattern recognition using scale invariant feature transform[J]. *International Journal of Intelligence and*

- Sustainable Computing, 2020, 1(1): 44-52.
- [5] PINTHONG T, YIMYAM W, CHUMUANG N, et al. Image classification of forage plants in fabaceae family using scale invariant feature transform method[C]//2020 15th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (ISAI-NLP), November 18-20, 2020, Bangkok, Thailand. New York: IEEE, 2020: 1-6.
- [6] SALEHIN I, TALHA I M, SAIFUZZAMAN M, et al. An advanced method of treating agricultural crops using image processing algorithms and image data processing systems [C]//2020 IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA), October 30-31, 2020, Greater Noida, India. New York: IEEE, 2020: 720-724.
- [7] HANZAEI S H, AFSHAR A, BARAZANDEH F. Automatic detection and classification of the ceramic tiles' surface defects[J]. Pattern Recognition, 2017, 66: 174-189.
- [8] PEZZICA C, SCHROETER J, PRIZEMAN O, et al. Between images and built form: Automating the recognition of standardised building components using deep learning[J]. IS-PPS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019, IV-21W6: 123-132.
- [9] BIRLUTIU A, BURLACU A, KADAR M, et al. Defect detection in porcelain industry based on deep learning techniques[C]//2017 19th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), September 21-24, 2017, Timisoara, Romania. New York: IEEE, 2017: 263-270.
- [10] SUN H, LIU M, LI L, et al. A new classification method of ancient Chinese ceramics based on machine learning and component analysis[J]. Ceramics International, 2020, 46(6): 8104-8110.
- [11] YANG L, HUANG H. A Classification method of ancient ceramics based on support vector machine in ceramic cloud service platform[C]//2019 IEEE 5th International Conference on Big Data Security on Cloud (Big Data Security), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS), May 27-29, Washington, DC, USA. New York: IEEE, 2019: 108-112.
- [12] GUO B, LEE F S, LIN C I, et al. A cloud integrated strategy for reconfigurable manufacturing systems[J]. Concurrent Engineering, 2020, 28(4): 305-318.
- [13] HE S Y, FAN C P. SIFT features and SVM learning based sclera recognition method with efficient sclera segmentation for identity identification[C]//2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS), March 8-20, 2019, Hsinchu, Taiwan, China. New York: IEEE, 2019: 297-298.
- [14] CHEN Z Y, LIAO I Y. Evaluation of feature extraction methods for classification of palm trees in UAV images [C]//2019 International Conference on Computer and Drone Applications (IConDA), December 19-21, 2019, Kuching, Malaysia. New York: IEEE, 2019: 13-18.
- [15] SOLANKI M S, SHARMA K P, GOSWAMI L, et al. Automatic identification of temples in digital images through scale invariant feature transform[C]//2020 International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA), March 13-14, 2020, Gunupur, India. New York: IEEE, 2020: 1-6.

作者简介:

杨信铨 (1984—),男,硕士,讲师,主要从事智能控制方面的研究。