

基于图像匹配的古陶瓷身份自动认证方法

唐云祁¹ 丁建伟² 陈蕊丽¹ 田华伟³ 郭威¹

(1. 中国人民公安大学刑事科学技术学院, 北京, 100038; 2. 中国人民公安大学信息技术与网络安全学院, 北京, 100038; 3. 中国人民公安大学侦查与反恐学院, 北京, 100038)

摘要: 针对古陶瓷鉴定证书安全性低和公信度有限的问题, 利用古陶瓷表面细节信息的独特性, 基于图像识别技术, 研究安全性高的古陶瓷身份自动认证方法。登记注册时将古陶瓷表面若干点位的细节信息以图像的形式录入系统; 认证时, 系统在线采集古陶瓷细节信息, 与对应点位注册图像作匹配, 并依据所有点位细节信息图像间的匹配结果来对古陶瓷进行认证。为验证方法性能, 本文构建了一个古陶瓷细节信息数据库。实验结果表明, 本文提出的方法能够实现古陶瓷身份的高精度认证。

关键词: 图像匹配; 古陶瓷鉴定; 加速稳健特征; 二值判别模式

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Ancient Ceramics Verification Based on Image Matching

Tang Yunqi¹, Ding Jianwei², Chen Ruili¹, Tian Huawei³, Guo Wei¹

(1. School of Forensic Science, People's Public Security University of China, Beijing, 100038, China; 2. School of Information Technology and Network Security, People's Public Security University of China, Beijing, 100038, China; 3. Criminal Investigation and Counter-Terrorism, People's Public Security University of China, Beijing, 100038, China)

Abstract: Ceramics appraisal is a hot topic in field of cultural relic collection. Traditionally, there are mainly two types of ceramics appraisal methods, which are experience-based and technology-based methods. In practice, both methods will cause high cost and time-consuming. A novel vision-based method, which is mainly inspired by the idea of biometrics recognition techniques, is proposed to achieve efficiently verification of the identity of a ceramics. In this method, the microscopic information of a ceramics captured by a digital microscope camera is used as the characteristics for verification. In technical detail, speeded up robust features(SURF) is first employed to align the probe image to the gallery images. Local binary patterns(LBP) features are then extracted from the two aligned images. Finally, Chi-square distance is calculated to measure the similarity between probe and gallery. Experiments on the dataset constructed by this paper demonstrate the state-of-the-art performance of proposed method.

Key words: image matching; ancient ceramics verification; speeded up robust features; local binary pattern

引 言

古陶瓷是古代人类活动遗留下来的产物,是研究人类历史活动的实物资料,具有重要的收藏价值和考古价值。目前,由于多种原因,古陶瓷市场赝品充斥、真伪难辨。如何快速、无损以及低成本地认证古陶瓷真伪是古陶瓷鉴定领域亟需解决的难题。基于图像匹配的古陶瓷身份自动认证方法能够为快速、无损以及低成本的古陶瓷身份认证提供一种实现途径。然而当前古陶瓷鉴定的相关研究工作较多,以图像匹配为理论的古陶瓷鉴定技术的研究工作相对较少。代表性工作主要有:文献[1]提出的基于主成分聚类分析的古陶瓷分类方法和基于特征提取的陶瓷断代方法^[2];文献[3]提出采用人工神经网络的方法来实现古陶瓷分类;文献[4]提出的基于 SOM 神经网络的古代青瓷聚类分析;文献[5]提出的基于模糊聚类分析的古陶瓷分类方法。这些工作主要尝试应用模式识别的方法来解决古陶瓷断代和分类问题,并未涉及古陶瓷的认证问题。

本文针对古陶瓷鉴定证书安全性低和公信度较为有限的问题,借鉴生物特征识别技术的基本思想,尝试基于图像匹配技术研究高安全古陶瓷自动认证方法。具体来说,就是以图像匹配技术为理论基础,以古陶瓷自身的独特信息为特征,利用计算机实现对古陶瓷身份的自动认证。本文首次将图像匹配理论应用于古陶瓷身份认证。在分析古陶瓷身份认证难点所在的基础上,提出了古陶瓷身份认证理论框架。针对古陶瓷细节信息图的特性,设计基于加速稳健特征(Speeded up robust features, SURF)和二值判别模式(Local binary pattern, LBP)的古陶瓷认证方法。

1 问题分析

1.1 可行性分析

生物特征识别是一种计算机利用人的生理特征或行为特征来对人身份进行识别或者认证的技术,被广泛应用于公共安全防范领域。生物特征识别技术的基本原理就是人各不相同,即每个个体都具有独特的生理或者行为特征。对于古陶瓷而言,由于受原料、工艺和保存环境等因素的影响,每一件古陶瓷都具有唯一的、不可复制的细节特征,如气泡、斑点等。因此,借助生物特征识别技术,可为每一件古陶瓷生成一个唯一身份编码。

基于图像匹配技术的古陶瓷身份自动认证方法的基本思想就是让计算机利用古陶瓷本身的细节信息来自动认证其身份。根据生物特征识别理论^[6],任何具备普遍性、唯一性、持久性和易采集性的生理特征或行为特征(如指纹、虹膜和笔迹等)都可以用于个体身份的识别和认证。对于古陶瓷来说,其表面细节信息特征具备上述 4 大特征。首先,古陶瓷表面细节信息唯一性极强。受材料、工艺、烧制环境和保存环境等因素的影响,古陶瓷表面细节信息的组成高度随机且唯一。图 1 给出了以放大倍数为 100 的电子显微拍摄的两幅古陶瓷表面图像。从图中可知,陶瓷表面细节信息的随机性主要体现如下两个方面:(1)图案细节变化的随机性。古陶瓷表面的绘彩图案是人工绘制的,就算是同一人绘制的同一图案都会存在一定的细节差异,而且差异的随机性也比较强;(2)气泡、斑点等形态及分布的随机性。气泡、斑点的形成与陶瓷烧制环境及保存环境密切相关,而无论是烧制环境还是保存环境都难以精确复制。其次,古陶瓷表面细节信息特征普遍存在,且持久、易采集。由此可见,古陶瓷表面细节信息特征就像人体的虹膜或者指纹一样,具有普遍、唯一、持久和易采集等特性,可用于识别或者认证古陶瓷身份。

1.2 问题特殊性分析

一般地,生物特征识别技术的实现流程主要包括图像获取、预处理、特征提取和身份识别步骤。如

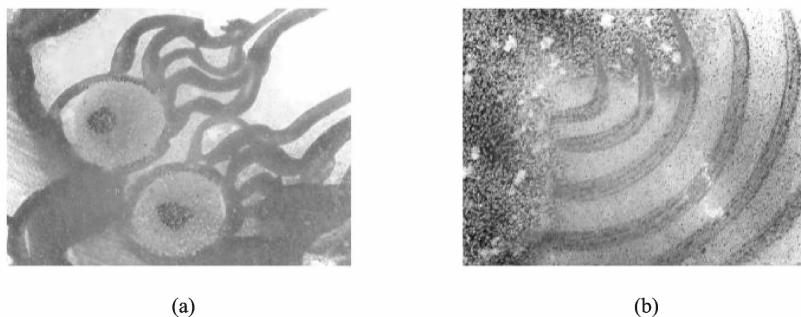


图1 古陶瓷表面细节信息特征示意图

Fig. 1 Surface of ancient ceramics

图2所示,“图像获取”主要负责选择或者设计合适的图像传感设备来获取理想的图像数据;“预处理”步骤的任务主要是利用数字图像处理的相关方法,对原始图像数据做初步处理,去除噪声等无用信息,保留有用信息并做归一化;“特征提取”步骤主要完成古陶瓷特征表达模型设计和特征提取任务;“身份识别”则完成特征比对任务,并通过比对结果识别个体身份。

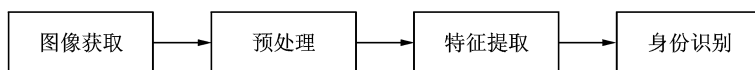


图2 生物特征识别技术流程图

Fig. 2 Flowchart of biometrics recognition

本文提出的古陶瓷身份自动认证方法以图像匹配技术为理论基础。因此本方法的实现也遵循上述工作流程。方法流程虽然相同,但是在具体实现上,古陶瓷身份自动认证方法与虹膜识别、指纹识别等传统生物特征识别方法相比较存在着较大差异。(1)在图像获取方面。古陶瓷表面细节信息较为微观,使用普通摄像头难以获取,必须使用电子显微镜来获取。(2)在预处理方面。预处理的一个重要任务就是要对所获取到的古陶瓷表面细节信息图像做对齐归一化处理。传统生物特征识别方法一般使用统一的形状轮廓信息来进行分割、对齐和归一化,例如虹膜识别利用的是虹膜区域的环形外观,人脸识别利用的则是脸部五官的统一轮廓。然而古陶瓷表面纹理外观多种多样、千变万化,没有统一轮廓信息。因此古陶瓷身份识别的预处理方法不能参照传统生物特征识别的预处理方法来实现。如何有效地做好古陶瓷细节信息图像的预处理工作是本文方法的重点,也是难点所在。

2 古陶瓷自动认证方法

2.1 方法框架

如图3所示,本文设计的基于图像匹配技术的古陶瓷身份自动认证方法,主要包括注册和认证阶段。注册阶段主要完成为古陶瓷生成电子身份证的任务,而认证阶段则依据古陶瓷的电子身份证和其本身特征验证古陶瓷的真伪性。注册阶段主要包含选择特征点位、采集点位图像和图像质量评价3个步骤。图像采集点位指的是古陶瓷细节信息采集区域。本方法将依据所选定的图像采集点位上的古陶瓷细节信息,作为生成古陶瓷电子身份证的依据。因此图像采集点位的选取与本方法的认证精度直接相关。为充分保证古陶瓷细节信息的唯一性,图像采集点位的选择应遵循“特征明显、纹理丰富”的原则。“特征明显”指的是采集点位区域内的气泡和斑点等细节信息较多。“纹理丰富”指的是采集点位区

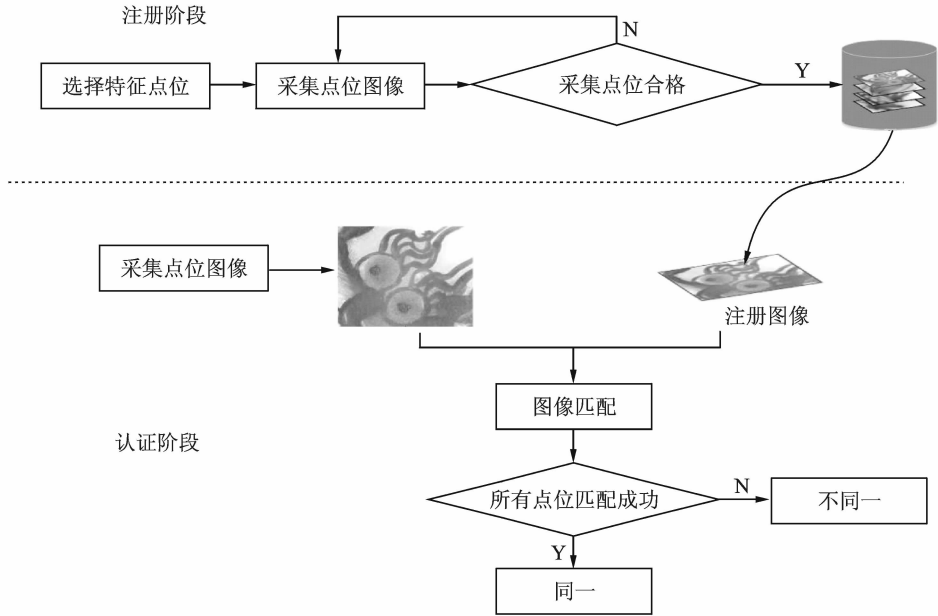


图3 古陶瓷身份自动认证方法

Fig. 3 Method of ancient ceramics verification

域内绘图等纹理信息丰富。每选定一个点位都需严格验证其是否合格,具体的验证方法为:让不同操作人员,在不同时间点从所选定点位处采集细节信息图,然后使用认证阶段所述图像匹配方法检验它们互相间是否匹配。若匹配,则说明所选定的图像采集点位合格;否则不合格。

每一件古陶瓷上图像采集点位的数量应根据其安全级别而定,安全级别越高,所需图像采集点位越多。一般来说,图像采集点位的数量不应少于5。在认证阶段,使用注册阶段所用同品牌、同型号的电子显微镜逐一采集所选定图像采集点位上的古陶瓷细节信息图。采集得到一幅古陶瓷细节信息图后,使用图像匹配算法计算采集得到的细节信息测试图与对应点位注册图像间的匹配分数。若所得匹配分数足够高,则判定待认证图像跟注册图像间是匹配的;否则,不匹配。最后,依据所有注册点位细节信息特征的匹配情况,来决定待认证古陶与其申明的身份一致。

2.2 匹配算法

图4所示为本文提出的古陶瓷细节信息图匹配算法流程图,主要包括查找匹配点集、对齐裁剪、提取LBP特征^[7]和特征匹配比对步骤。

2.2.1 计算匹配点集

对于待比对的测试图像和注册图像,本方法首先采用SURF^[8]自动计算它们间的匹配点集。SURF^[9]是Herbert Bay在2006年欧洲计算机视觉会议上提出的尺度、旋转不变图像检测子和描述子,被广泛应用于目标识别和三维重建,其基本思想来自尺度不变特征变换^[10,11](Scale invariant feature transform, SIFT)描述子。利用加速稳健特征可实现两幅图像间匹配点集的快速计算与提取,图5给出了本文利用加速稳健特征计算两幅图像间匹配点集的结果。

2.2.2 归一化

将不同角度拍摄的特征图像对齐归一化到同一角度和尺寸是预处理的主要目的。经过计算匹配点集1,得到两幅图像间的匹配点集后,便可利用两图像间匹配分数最高的3对匹配点,计算仿射变换矩

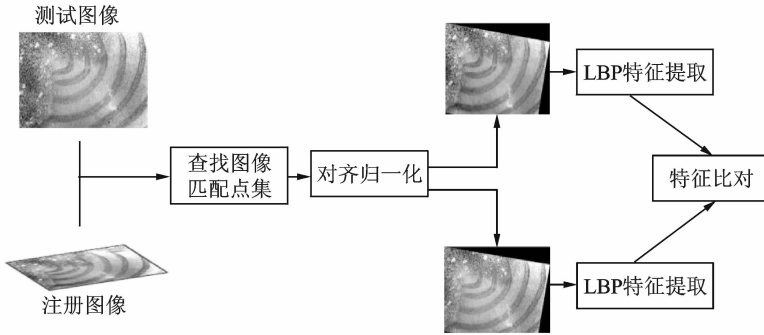


图4 古陶瓷特征图像匹配算法流程图

Fig. 4 Flowchart of ancient ceramics feature matching algorithm

阵,实现两幅图像的对齐、归一化。

经过仿射变换后的图像,在形状上一般不规则,需进一步对其裁剪归一化。归一化的目标是保留待匹配两幅图像的重叠区域,并将不重叠部分区域的像素值置0。为了能够在规则的矩形内存储和显示不规则图像,本方法采用“保留重叠区域,删去不重叠部分”(即将不重叠部分的像素值置0)的策略实现对齐后的图像进行统一表达和存储。图6(a,b)给出了归一化后的两幅古陶瓷细节信息图。

2.2.3 LBP 特征提取

古陶瓷表面细节信息的独特性在图像上体现为纹理图像的唯一性。因此可以使用纹理描述子来表达古陶瓷表面花纹、气泡等细节信息。局部二值模式(Local binary pattern, LBP)是 T. Ojala^[12-13]于1994年提出的图像局部纹理特征描述子,在纹理分类上表现突出,已经成功应用在指纹识别、字符识别、人脸识别和车牌识别等领域^[14]。

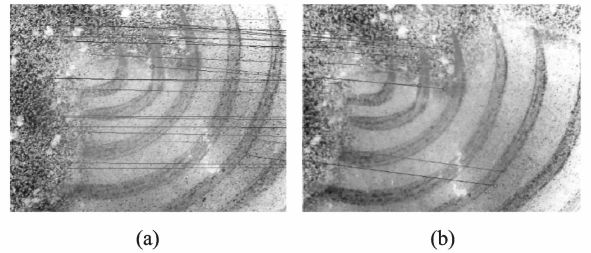


图5 基于 SURF 的图像匹配

Fig. 5 Matching result of two ceramic images based on SURF algorithm

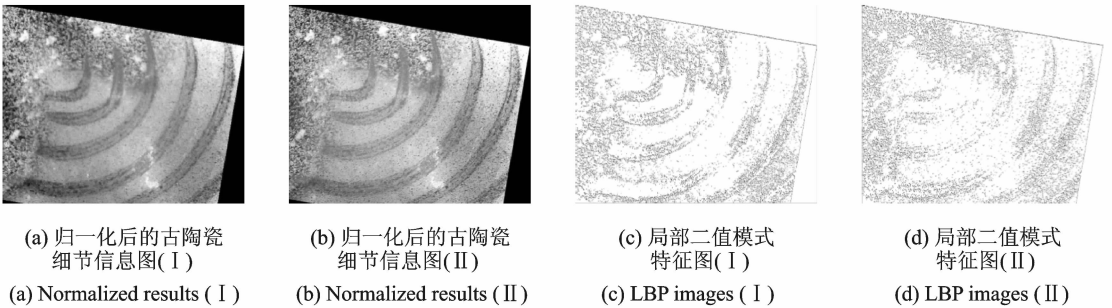


图6 归一化结果及对应 LBP 特征图像

Fig. 6 Normalized results and LBP images

图7描述的是局部二值模式的基本思想。对于九宫格中的9个像素点,以中心像素的灰度值为阈值,与周围8邻域的像素值作比较,如果周围某一邻域的像素值小于中心像素的灰度值,该像素位置就被标记为0,否则标记为1。这样就得到8个二进制数值,将这8个二进制数值按“以左上角位置为起

始,顺时针依次排列”的方法组合,得到一个8位的二进制组合,例如图中的01110011。每个像素有8个相邻的像素点,即有 2^8 种可能性组合,这些组合的二进制码就被叫做局部二值模式。上述LBP思想提出后,研究人员不断对其提出了各种改进和优化,先后提出了圆形LBP算子、旋转不变LBP算子以及等价LBP算子等。图6(c),(d)给出了古陶瓷细节信息图的局部二值模式特征图。

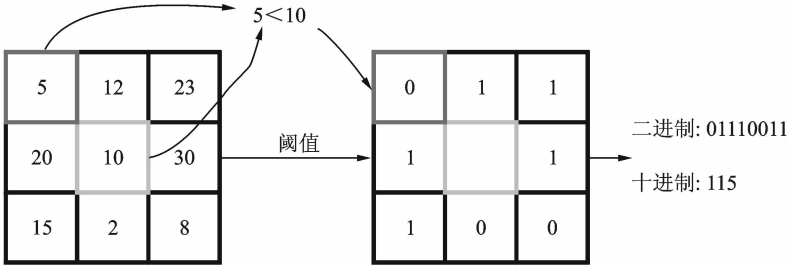


图7 LBP描述子基本思想
Fig. 7 Main idea of LBP descriptor

2.2.4 特征匹配

为了将上述LBP特征应用于古陶瓷身份认证,本文设计LBP特征应用方法如图8所示。首先,将LBP特征图像8(a)和(b)等分为 $N \times N$ 个图像子区域,然后提取每一个子区域 a_{ij} 或者 b_{ij} 的直方图特征 $H_{a_{ij}}$ 和 $H_{b_{ij}}$,并计算对应子图LBP直方图特征间的卡方距离为

$$D_{ij} = \sum (H_{a_{ij}} - H_{b_{ij}})^2 / (H_{a_{ij}} + H_{b_{ij}}) \tag{1}$$

式中: $H_{a_{ij}}$ 表示图8(a)中第 (i,j) 块子图像的直方图特征; $H_{b_{ij}}$ 表示图8(b)中第 (i,j) 块子图像的直方图特征。得到所有子图间的卡方距离后,便可以计算直方图特征图8(a)和(b)间的距离,有

$$D = \min_{1 \leq i \leq 4, 1 \leq j \leq 4} D_{ij} \tag{2}$$

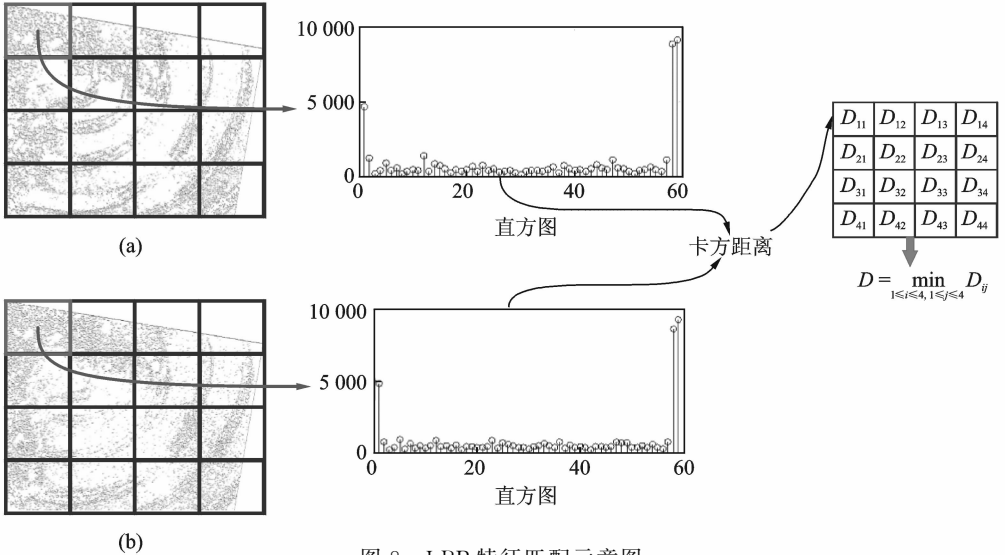


图8 LBP特征匹配示意图
Fig. 8 Matching of LBP feature

3 实验与结果分析

3.1 实验数据

本文提出采用计算机视觉的方法来实现古陶瓷身份的自动认证,并基于SURF特征和LBP特征设

计了古陶瓷身份认证方法算法。为分析算法的性能,本文构建了一个古陶瓷表面细节信息数据库,为实验提供数据支撑。数据库共有图像 46 幅(23 对),每一对图像都是采自古陶瓷表面上的同一点位,因此该数据库共有正样本 23 个,负样本 $2 \times C_{23}^1 \times C_{22}^1 = 1\ 012$ 个。每一幅样本图像的分辨率为 $3\ 200 \times 2\ 400$ 像素,以 JPEG 文件格式存储。图 9 给出了本数据库的部分样本。

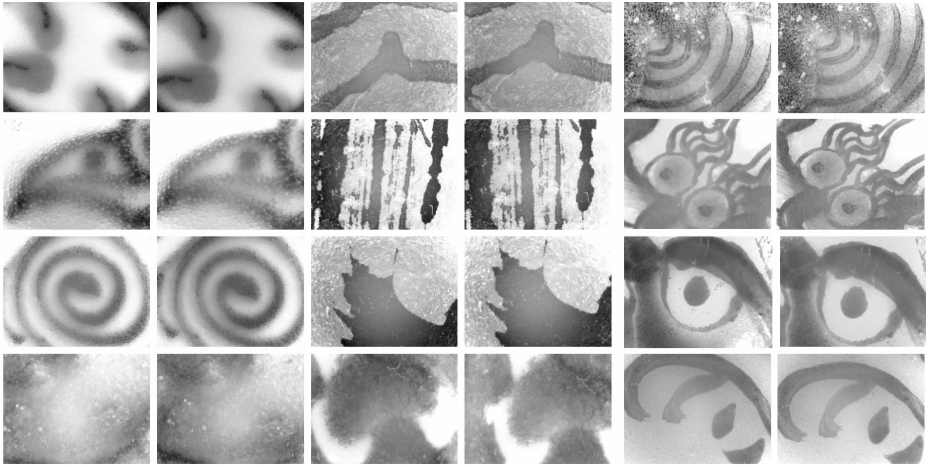


图 9 古陶瓷细节信息样本数据库示意图

Fig. 9 Ancient ceramic image samples

3.2 实验配置

由于古陶瓷资源较为稀有,样本相对较少,为充分利用样本数据,本文以 Matlab 为平台,采用全比对的方式组织实验。在实验所用代码和参数上,设置如下:(1)SURF 算法相关参数。SURF 是计算机视觉领域的经典算法,相关开源代码版本较多。本文采用 Christopher Evans 的 OpenSURF 来实现古陶瓷细节信息图像间的匹配对齐。在参数上,将 tresh (Hessian 反应阈值)设置为 0.000 1, upright 设置为 1,其他使用默认值。(2)LBP 特征相关参数。本文采用等价 LBP 算子或者旋转不变 LBP 算子,实现 LBP 特征的提取。在参数上,半径 R 设置为 1 或者 2,采样点 P 设置为 8 或者 16。

3.3 结果分析

本文以 Matlab 为平台组织本文实验,实验机器的配置为:i7-4500U CPU @1.8 GHz 2.4 GHz,内存 8 GB。算法平均处理时间为 1.2 s/帧。本文采用受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve, ROC)和等错误率(Equal error rate, ERR)来衡量古陶瓷自动认证方法的性能。

图 10 给出了本文方法在所构建古陶瓷细节信息数据库上的性能比较情况。其中, $\text{LBP}_{u2,8,1}$ 表示以 $P=8, R=1$ 为参数的等价 LBP 算子的测试结果, $\text{LBP}_{u2,16,2}$ 表示以 $P=16, R=2$ 为参数的等价 LBP 算子的测试结果; $\text{LBP}_{riu2,8,1}$ 表示以 $P=8, R=1$ 为参数的等价旋转不变 LBP 算子的测试结果; $\text{LBP}_{riu2,16,2}$ 表示以 $P=16, R=2$ 为参数的等价旋转不变 LBP 算子的测试结果。可以看出,从总体上来说,本文提出的基于图像匹配技术的古陶瓷认证方法,在测试数据库上取得了较好的效果。尤其

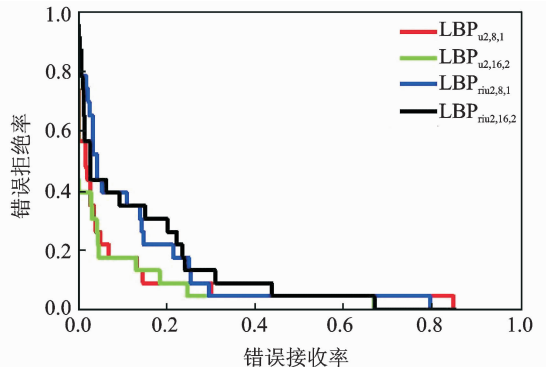


图 10 ROC 曲线

Fig. 10 ROC curve

以 $LBP_{u2,8,1}$ 或 $LBP_{u2,16,2}$ 为参数时方法性能达到最佳,此时方法的等错误率 $EER \approx 0.13$ 。表 1 详细给出了本方法的等错误率在各种参数下的比较情况,其数据走势与图 10 中的 ROC 曲线基本一致。

从上述实验结果看,本方法虽然取得了较好的效果,但是仍有改进空间。下面从 3 个方面进行分析:(1)从错误拒绝方面分析。图 11 给出了 3 对错误接收样本间的匹配情况。从图中可以看出,采用 SURF 图像匹配算法在计算上述 3 对样本间的匹配点集时出现了偏差。而算法的后续步骤,如图像对齐归一化、特征提取与比对等都是

表 1 等错误率比较情况

Tab. 1 Comparison of EER

参数	等错误率 EER
$LBP_{u2,8,1}$	0.130 4
$LBP_{u2,16,2}$	0.132 4
$LBP_{riu2,8,1}$	0.217 4
$LBP_{riu2,16,2}$	0.223 3

以匹配点集为基础的。匹配点集的偏差必然会导致后续特征比对结果的偏差,即错误拒绝。因此提高本方法比对精度的一个基础途径就是设计精度更高的古陶瓷图像匹配算法。(2)从错误接收方面分析。本文将待比对图像划分为 16 个等大小的子区域,然后以子区域间的比对分数(卡方距离)的最小值为整幅图像的比对分数。当来自不同样本的图像间存在较为相似的子区域时,就容易出现错误接收的情况。图 12 是一对负样本,但是方框内子区域的比对分数为 0.56,这将导致它们被错误接收。这说明了本方法所采用的 LBP 应用模式存在改进空间。(3)从数据库规模方面分析。由于当前可用数据库的规模较小,机器学习领域的经典理论暂时还不能用于古陶瓷身份的自动认证。应用机器学习理论可以训练高精分类器,进而改进认证精度。

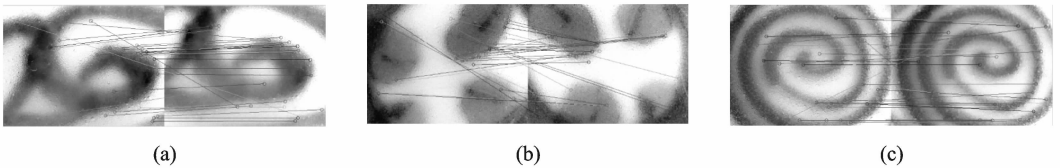


图 11 错误拒绝样本

Fig. 11 False reject samples

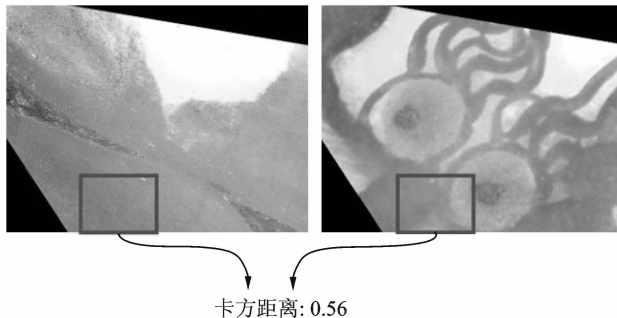


图 12 错误接收样本

Fig. 12 False accept samples

4 结束语

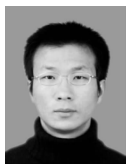
基于图像匹配的古陶瓷身份认证技术能够快速、精准、无损以及低成本地实现古陶瓷真假鉴定,具有重要应用价值。本文基于图像匹配的基本思想,提出了一套基于图像匹配的古陶瓷身份自动认证方法,其基本思想是:利用古陶瓷表面细节信息的独特性,采用计算机视觉的基本方法,为古陶瓷生成安全性极高的电子身份证。实验表明,本文提出的方法能够较精确地实现古陶瓷身份的自动认证。总的来说,本文对古陶瓷自动认证技术做了一个初步探讨,实验结果证明了应用计算机视觉和模式识别的方法

实现古陶瓷身份认证的可行性。同时,本文工作还有很大的改进空间,下一步将从如下3个方面开展工作:(1)设计高精度的图像匹配算法;(2)研究新的特征提取和比对算法;(3)构建大库,应用机器学习理论来实现高精分类。

参考文献:

- [1] 操群,周永正,余绍为.一种基于主成分聚类分析的古陶瓷分类方法[J].中国陶瓷,2011,47(7):48-51.
Cao Qun, Zhou Yongzheng, Yu Shaowei. Research on ancient ceramics classification based on principal component clustering analysis[J]. China Ceramics, 2011,47(7):48-51.
- [2] 熊露,吴隼,张茂林,等.基于特征提取的古陶瓷鉴定研究[J].中国陶瓷,2013,49(7):49-56.
Xiong Lu, Wu Juan, Zhang Maolin, et al. Identification of ancient ceramics based on features extraction[J]. China Ceramics, 2013,49(7):49-56.
- [3] 郭景康,陈念怡.古陶瓷分类研究中的模式识别——人工神经网络方法[J].硅酸盐学报,1997,25(5):614-617.
Guo Jingkang, Chen Nianyi. Ancient ceramics classification using artificial neural network[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1997, 25(5): 614-617.
- [4] 周少华,付略,梁宝莲.基于SOM神经网络的古代青瓷聚类分析[J].中国科学: E辑,2008,38(7):1089-1096.
Zhou Shaohua, Fu Lue, Liang BaoLiu. Ancient celadon clustering analysis based on SOM artificial neural network[J]. Science in China(Series E: Technological Sciences), 2008,38(7):1089-1096.
- [5] 陈金强,关永,冯金花.模糊聚类分析在古陶瓷研究中的应用[J].计算机工程与设计,2008,28(23):5778-5780.
Chen Jinqiang, Guan Yong, Feng Jinhua. Fuzzy-clustering for application in research of ancient ceramics[J]. Computer Engineering and Design, 2008,28(23):5778-5780.
- [6] Jain A K, Ross A, Prabhakar S. An introduction to biometric recognition[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004,14(1):4-20.
- [7] 黄兵,郭继昌.基于Gabor小波与LBP直方图序列的人脸年龄估计[J].数据采集与处理,2012,27(3):340-345.
Huang Bing, Guo Jichang. Age estimation of facial images based on Gabor wavelet and histogram sequence of LBP[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2012,27(3):340-345.
- [8] Bay H, ESS A, Tuytelaars T, et al. Speeded-up robust features(SURF) [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008,110(3):346-359.
- [9] Bay H, Tuytelaars T, Van Gool L. Surf: Speeded up robust features[C]//Computer Vision-ECCV, 2006. Graz: Springer Berlin Heidelberg, 2006:404-417.
- [10] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]//The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra: IEEE Computer Society Press, 1999,2:1150-1157.
- [11] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [12] Ojala T, Pietikainen M, Harwood D A. Comparative study of texture measures with classification based on featured distributions[J]. Pattern Recognition, 1996,29(1):51-59.
- [13] Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002,24(7):971-987.
- [14] Ahonen T, Hadid A, Pietikainen M. Face recognition with local binary patterns[C]//Computer Vision-ECCV 2004. Prague, Czech Republic: Springer Berlin Heidelberg, 2004:469-481.

作者简介:



唐云祁(1983-),男,讲师,研究方向:生物特征识别、模式识别, E-mail: tangyunqi@ppsuc.edu.cn.



丁建伟(1984-),男,讲师,研究方向:计算机视觉、模式识别, E-mail: dingjianwei@ppsuc.edu.cn.



陈蕊丽(1968-),女,副教授,研究方向:痕迹检验, E-mail: chenruili@ppsuc.edu.cn.



田华伟(1984-),男,博士,讲师,研究方向:数字水印、模式识别, E-mail: tianhua-wei@ppsuc.edu.cn.



郭威(1971-),男,教授,研究方向:痕迹检验, E-mail: guoweil@ppsuc.edu.cn.

