

文章编号:1007-2780(2017)11-0914-09

基于 SIFT-SVM 的嵌入式印鉴识别系统设计

朱胜银^{1,2}, 赵红东^{1*}, 王 敬¹, 杨志明¹

(1. 河北工业大学 电子信息工程学院, 天津 300401;

2. 中国电子科技集团公司第五十三研究所, 天津 300308)

摘要: 为了克服 PC 印鉴识别系统体积大、成本高并且识别精度低、适应性差的缺点, 设计了基于 SIFT-SVM 的嵌入式印鉴识别系统。系统计算印鉴图像的 SIFT 特征并进一步构造基于 SIFT 匹配的印鉴特征向量, 将构造的印鉴特征向量输入支持向量机进行训练, 并采用遗传算法优化 SVM 的惩罚因子和核参数, 使识别性能最优。系统以 ARM11 处理器作为印鉴特征提取和识别的核心单元, 采用 ZC301 摄像头进行图像采集, 并以蜂鸣器、LED、LCD 作为报警显示设备。实验表明, 该系统对印鉴在模糊、旋转等多种情形下取得了 93.5% 的良好识别率, 且当笔划加粗仅 5% 时仍具有很好的适用性。系统具有识别精度好、适用性强、体积小、设计灵活的优点。

关 键 词: SIFT; 嵌入式; 印鉴识别; 支持向量机; 遗传算法

中图分类号: TP394.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173211.0914

Design of embedded seal imprint identification system based on SIFT-SVM

ZHU Sheng-yin^{1,2}, ZHAO Hong-dong^{1*}, WANG Jing¹, YANG Zhi-ming¹

(1. School of Electronics and Information Engineering,

Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Fifty-third Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: In order to overcome the shortcomings of large volume, high cost, low recognition accuracy and poor adaptability in PC seal identification system, an embedded seal imprint identification system based on SIFT-SVM was designed. The system first computed the SIFT characteristics of the seal image and further constructed feature vector based on SIFT matching. The seal feature vector was used to train support vector machine. The SVM's penalty factor and kernel parameter were optimized by genetic algorithm to get the best recognition performance. The system used the ARM11 processor as the core unit of the feature extraction and recognition and used the ZC301 camera to acquire image. The buzzer, LED and LCD were used as alarm display devices. The experimental results show that the system achieves a good recognition rate of 93.5% in the cases of seal blur, rotation and so on. It still has good applicability when seal's stroke is only in 5% thickening. The system has the advantages of good recognition accuracy, strong applicability, small volume and flexible design.

Key words: SIFT; embedded; seal identification; support vector machine; genetic algorithm

收稿日期: 2017-06-01; 修订日期: 2017-08-14.

* 通信联系人, E-mail: zhaohd@hebut.edu.cn

1 引言

印鉴作为办公凭证的工具,在政府条文、金融支票等领域起着重要的作用^[1]。针对传统人工折角识别费时费力的缺点,开展印鉴自动鉴别系统具有重要的现实意义。

国内外研究者在印鉴识别算法方面做了一些研究。Lee 和 Kim^[1]利用笔画特征图对印鉴进行配准识别,该方法对于笔画骨架相似而粗细不一致的印鉴存在局限性。郭田德等^[2-3]利用印鉴不同差图像的特征进行识别,该方法计算量大,且对边缘残缺的印鉴存在局限性。何瑾等^[4]根据 SIFT 特征点实现印鉴配准,提取的特征点不受光照、尺度等影响,稳定性高。

在研究印鉴鉴别方法的同时,印鉴自动鉴别系统也在不断发展,但基本都是基于 PC 平台,系统体积大、成本高^[5]。嵌入式系统作为专用系统,根据功能需求可对软硬件进行裁剪^[6],设计灵活、方便,体积小。

针对以往印鉴识别方法稳定性差、适用性不高、识别率低并且鉴别系统体积大的问题,采用基于 SIFT-SVM 的印鉴识别方法,并设计了基于嵌入式平台的印鉴鉴别系统。

2 系统算法原理

2.1 SIFT 基本原理

SIFT 尺度不变特征变换基于尺度空间理

论,SIFT 特征点对尺度、旋转、光照等变化具有良好的鲁棒性^[7]。该算法步骤为:

(a)尺度空间极值点检测。二维空间高斯函数:

$$G(x, y, \sigma) = 1 / (2\pi\sigma^2) \exp[-(x^2 + y^2) / 2\sigma^2], \quad (1)$$

其中: σ 为高斯函数尺度值, σ 值大图像概貌特征明显, σ 值小图像细节特征^[8]明显。构造基于尺度空间的高斯差分金字塔:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (2)$$

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma), \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得:

$$D(x, y, \sigma) =$$

$$[G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] * I(x, y), \quad (4)$$

在高斯差分尺度空间图像 $D(x, y, \sigma)$ 内进行局部极值点检测,将采样点与图像域 8 个近邻点和上下尺度域 18 个点进行比较,寻找极大、极小值点作为候选关键点。

(b)精确定位关键点。用三维二次函数对候选关键点进行拟合以准确定位极值点位置和尺度,并去除边缘噪声响应点和对比度低的极值点^[7]。以 y, σ 为常量,对 x 的二次拟合函数为:

$$D(x, y, \sigma) = D(x, y, \sigma) + \frac{\partial D}{\partial x}x + \frac{1}{2}x^2 \frac{\partial^2 D}{\partial x^2}, \quad (5)$$

可精确定位位置 x ,同理可准确确定 y, σ 。

(c)确定关键点主方向。用直方图统计关键点中心领域的梯度方向。

$$m(x, y) = \sqrt{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2}, \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \arctan[L(x, y+1) - L(x, y-1)] / [L(x+1, y) - L(x-1, y)]. \quad (7)$$

式(6)、(7)分别为梯度的模值和方向,以 10 度为一个区间,在采样区域内对 36 个方向区间进行直方图统计,将直方图的峰值作为该关键点的主方向以具有旋转不变性^[8]。

(d)确定关键点描述符。将关键点邻域划分为 4×4 子区域块,每个区域子块间隔为 $m\sigma$ 个像素,计算每个区域子块 8 个方向(以 45 度为一方向区间)的梯度方向累加值,构成 128 维向量作为

该关键点的描述符。

2.2 构造基于 SIFT 匹配的印鉴特征向量

将 SIFT 关键点特征向量按照最近、次近距离比策略进行匹配筛选,确定比率阈值 T ,当最近邻距离比 $\text{Ratio} = l_1 / l_2 < T$ 时,认为两关键点是匹配的, l_1, l_2 分别为特征向量的最近、次近距离。定义匹配率 $v = k / n$, k 为成功匹配的关键点对个数, n 为检测到的标准印鉴关键点个数。匹配率 v 定量地反映了待测印鉴与标准印鉴的整

体相似度。

所有成功匹配的关键点对最近距离的均值反映了相匹配的两印鉴的相似程度,是衡量印鉴相似性的重要特征^[8]。

$$d_{\text{aiv}} = (1/k) \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (x_i - y_i)^2}, \quad (8)$$

其中: k 为成功匹配的关键点对个数, $X = (x_1, x_2, \dots, x_i)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_i)$ 为成功匹配的关键点特征向量。

比率阈值 T 反映两关键点匹配的可靠性, T 越小表明该匹配点与其他关键点差异越大,说明匹配点对在印鉴 SIFT 特征的稳定性高,是区分印鉴整体差异的重要特征。

$$R_{\text{aiv}} = (1/k) \sum_{i=1}^k R_i, \quad (9)$$

其中: R_i 为第 i 个匹配点对的最近邻距离比。根据匹配的距离、匹配的可靠性对印鉴相似程度进行评分,利用评分量 e 对印鉴匹配的程度进行评价。

$$e = (d_{\text{aiv}} + R_{\text{aiv}}) / 2. \quad (10)$$

待测印鉴与标准印鉴的关键点按照设定的比率阈值 T 进行匹配,将标准印鉴的匹配关键点两两生成匹配特征线,同时在待测印鉴上将对应的匹配关键点连接生成对应匹配特征线。印鉴特征线几何一致性准则^[9]

$$\eta = (|l_{1i} - l_{0i}|) / \min(l_{1i}, l_{0i}) \leq 5\%, \quad (11)$$

其中: l_{0i} , l_{1i} 分别为标准印鉴、待测印鉴相对应的第 i 条匹配特征线的像素长度,式(11)成立则认为该条匹配特征线具有几何一致性。定义印鉴几何一致度 $\alpha = m/M$, 其中 m 为具有几何一致性的匹配特征线条数, M 为生成的总的匹配特征线条数。 α 从几何统计角度反映了印鉴的相似程度。

将匹配率、平均匹配距离、最近邻距离比、印鉴相似度评分、特征线几何一致性构成印鉴识别的特征向量。

$$P = (v, d_{\text{aiv}}, R_{\text{aiv}}, e, \alpha). \quad (12)$$

2.3 基于遗传算法优化的支持向量机

支持向量机 (Support vector machine, SVM) 基于统计学习理论,在高维空间内寻找具有最大分类间隔的超平面,能很好地解决小样本、非线性等模式分类问题^[10]。

设超平面方程 $y(x) = w \cdot x + b$, 对应的数据集为 $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, l\}$, $y_i \in \{+1, -1\}$,

其中 w 为 SVM 的权值向量, b 为偏置, x_i, y_i 分别为对应的输入值和期望输出值, l 为样本数。样本数据线性不可分时,使超平面分类间隔最大,优化问题为:

$$\begin{aligned} \min_{w, b} & \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l \xi_i \\ \text{s.t. } & y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i, i=1, \dots, l, \end{aligned} \quad (13)$$

其中: ξ 为松弛变量, C 为惩罚因子, C 控制着对误分类样本的惩罚程度^[11]。引进拉格朗日函数求解上式对偶问题的优化问题可得 SVM 决策函数:

$$f(x) = \text{sgn}[\sum_{i=1}^l \alpha_i^* y_i k(x_i \cdot x) + b^*]. \quad (14)$$

非线性映射的核函数 k 使数据在高维空间内确定最优分类面^[10]。高斯核函数因其良好的性能而经常被选作为 SVM 的核函数。因此采用高斯核支持向量机和基于 SIFT 的匹配特征向量进行印鉴识别,并采用遗传算法 (Genetic algorithm, GA) 对核函数参数 ζ 和惩罚因子 C 进行优化。高斯核函数:

$$k(x_i, x_j) = \exp(-\|x_i - x_j\|^2 / \zeta^2). \quad (15)$$

遗传算法遵循适者生存的生物进化理念,是全局寻优的快速优化算法^[12]。它能够不断地利用搜索空间的知识,自适应地寻找最优解。以高斯核参数 ζ 和惩罚因子 C 作为种群个体 $s = \{\zeta, C\}$,以印鉴分类识别率 v 为种群的适应度函数, $v = m/n$, 其中 m, n 分别为正确识别的印鉴样本数和印鉴总个数。种群个体经过选择、交叉、变异遗传操作在种群范围内寻找具有最大适应度值的优良个体;经过逐代遗传操作使种群进化到更适应环境的个体,最终得出最优的核参数 ζ 和惩罚因子 C ,确定最佳分类平面。

实验中以浮点数编码方式对种群个体进行编码,设置初始种群范围 $C \in (0.1, 100)$, $\zeta \in (0.01, 10)$,遗传终止代数 10,种群规模 10,交叉概率、变异概率分别为 0.8 和 0.15。

3 系统硬件设计

嵌入式印鉴真伪识别系统硬件主要包括印鉴图像的采集模块、数据处理模块和显示报警模块。采集模块将采集到的图像样本存储在 ARM11

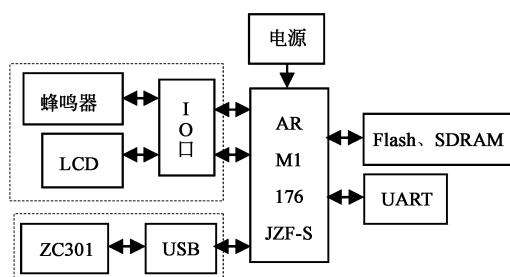


图 1 系统结构框图

Fig.1 Diagram of system structure

Nandflash 中,由处理模块完成图像预处理、SIFT 特征提取和 SVM 分类识别过程,系统整体结构框图如图 1 所示。

3.1 数据处理模块

基于体积、功耗、速度的考虑,系统采用 Samsung 的 s3c6410 处理器作为数据处理模块。该处理器采用多级流水线及哈弗结构,集成了一套完整的外围接口设备,从而有效地降低了系统功耗、减小了线路板的面积^[13];通过 GPIO 口扩展了蜂鸣器、LCD 等人机交互单元,控制着系统印鉴图像的采集模块和报警显示模块。

处理器主频 532 MHz,64 MB SDRAM,支持矢量浮点协处理器。系统以 SDRAM 作为随机存储器,为系统工作提供程序运行空间和存储临时数据^[5];采用 Flash 只读存储器存储掉电不丢失的系统参数等。存储器采用矩阵变换电路架构,具有同时访问能力。

3.2 图像采集模块

系统采用中星微 ZC301 摄像头完成印鉴的采集。ZC301 采用 CMOS 型传感器,拥有光源增益补偿、边缘增强等技术^[13],利用 V4L 模块进行动态静态视频图像采集,系统印鉴图像采集设备

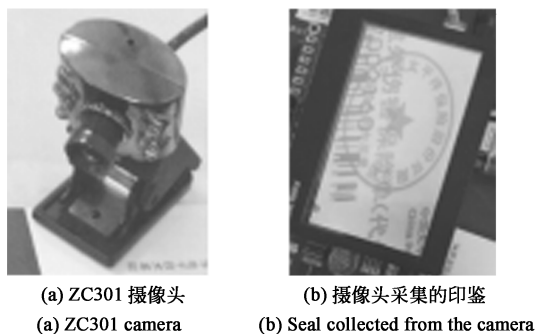


图 2 印鉴图像采集设备

Fig.2 Seal image acquisition equipment

如图 2 所示。

3.3 报警显示模块

系统以 LCD 作为显示设备。LCD 采用 TFT 型液晶屏,图像显示无闪烁,色彩饱和度好,对比度高。系统的可视化操作界面在 ARM LCD 上呈现,以蜂鸣器和 LED 作为报警模块。

系统通过 GPIO 口实现 LCD、LED 等设备的控制。LED 与处理器的 GPM 端口相连;LCD 由 GPI、GPJ 控制,背光信号接在 GPF14 上。

4 系统软件设计与实现

4.1 系统软件总体设计

系统软件在功能上包含图像采集子系统、印鉴识别算法和报警显示子系统。

实验定制 Linux 操作系统内核模块,实现系统图像采集模块中 ZC301 摄像头及显示报警模块中蜂鸣器、LCD 接口驱动的移植,同时设计 LED 驱动模块。系统应用程序实现对 ZC301、蜂鸣器等硬件设备的访问控制,及印鉴识别的功能。

实验采用 C 语言编写系统软件程序,移植交叉编译生成的 .bin 文件到 ARM1176JZF-S 内存地址 0x50008000 处。

4.2 图像采集子系统的设计与实现

系统采用 V4L2 接口完成摄像头图像的采集, Linux 系统内核添加 UVC 的支持, < * > Video For Linux < * > V4L USB devices < * > USB Video Class (UVC) < * > USB ZC301 [P] Image Processor and Control Chip support, ZC301 摄像头图像采集应用程序利用 V4L2_fd=open("/dev/video2")打开视频设备;ioctl(V4L2_fd, VIDIOC_QUERYBUF, &.buf)获取视频缓冲区映射信息;ioctl(V4L2_fd, VIDIOC_QBUF, &.buf)采集视频数据;ioctl(V4L2_fd, VIDIOC_DQBUF, &.buf)获取视频缓存帧。

4.3 印鉴识别算法的设计与实现

印鉴识别子程序以遗传优化过程为主函数,调用 SVM 分类识别和 SIFT 特征提取子函数,印鉴识别子程序流程图如图 3 所示。基于 GA 优化的 SVM 对印鉴识别的流程与步骤如下:

- (1)初始化种群个体 $s = \{\zeta, C\}$;
- (2)提取预处理后印鉴样本 SIFT 匹配特征,

并依据公式(12)构造印鉴特征向量。

(3)将印鉴样本特征向量输入 SVM,依据公式(14)对分类结果进行统计,记录当代种群最优个体 s ,并计算最优个体下适应度函数的值 $v(T)$,转至步骤(5);

(4)应用选择算子从当代种群中筛选新的优良个体 $v(T)$;接着应用交叉、变异算子产生下一代种群个体 $v(T+1)$,转至步骤(3)。

(5)如果种群的适应度函数足够大,或者 T 达到我们预设的终止代数,则转至步骤(6),否则转至步骤(4);

(6)查询当代种群的最优良个体,即为最佳的惩罚因子 C 与核函数参数 ζ 的组合,此组参数的 SVM 确定全局最优分类面,并记录最终测试样本的分类识别率。

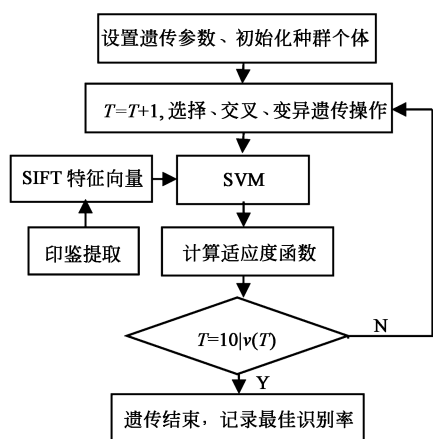


图 3 印鉴识别子程序流程图

Fig.3 Flow chart of seal identification subroutine

4.4 报警显示子系统的设计与实现

报警显示子系统应用程序利用 `m_fd = ::open("/dev/myled", O_RDWR)`, `m_fd0 = ::open("/dev/pwm", O_RDONLY)` 打开蜂鸣器和 LED 设备,进一步利用 `ioctl` 函数实现对蜂鸣器和 LED 的状态控制。

蜂鸣器驱动模块由系统定制完成,LED 驱动模块设计步骤:

(1)对设备驱动进行初始化,包括分配 `cdev`,初始化 `cdev`,注册 `cdev`,硬件初始化。`cdev_init(&cdev,&led_fops)`,`cdev_add, #define LEDCON 0x7F008820, #define LEDDAT 0x7F008824`。

(2)实现 LED 设备操作。`static struct file_operations led_fops={.read=dev_read, .write=`

`dev_write,.ioctl=dev_ioctl}`。

(3)驱动注销。`cdev_del, unregister_chrdev_region`。

5 实验结果与分析

实验中制作了 3 类印鉴样本库,A、B 库由印鉴仿真软件产生,C 库是由激光雕刻的印鉴实际盖印产生,其中 A 库 74 枚印鉴,B 库 32 枚,C 库 17 枚。3 类印鉴样本库均由待测真、假印鉴组成,分别将 A、B 库中的待测假印鉴按照笔划粗细、字宽、环绕角度、空间相对位置、汉字笔划尺寸划分为 5 组,每组的待测真印鉴为颜色不同深浅、旋转的印鉴;C 库中的待测真印鉴由标准印鉴不同盖印实际采集而来,待测假印鉴是由按照标准印鉴雕刻的伪造印鉴实际盖印产生,仅汉字的尺寸相差 0.5 mm。

实验以平均匹配距离 d_{av} 特征指标对待测印鉴在不同情形下的识别性能进行了分析,并将本文基于 SIFT 的印鉴匹配特征在不同分类器下的识别精度进行了比较。实验所用的部分印鉴样本如图 4、图 5 所示。

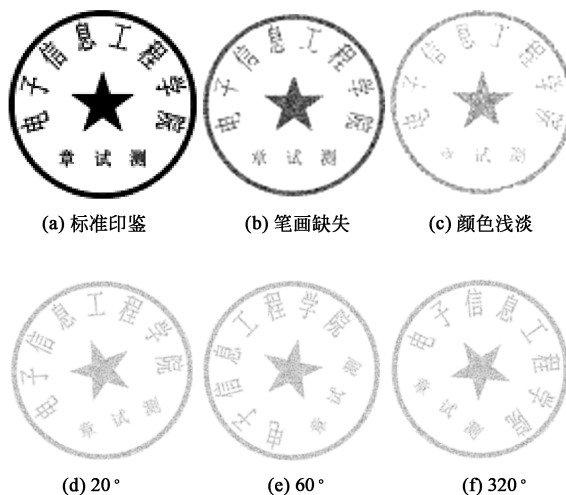


图 4 不同类型的真印鉴图像。(a),(b),(c)是在颜色不同深浅和笔画缺失情况下的印鉴;(d),(e),(f)为标准印鉴图像以 20° 角度间隔做旋转后的图像

Fig.4 Different types of true seal images. (a),(b),(c) are seals in the situation of different depths of color and missing strokes. (d),(e),(f) are the seals rotated at angular spacing of 20°

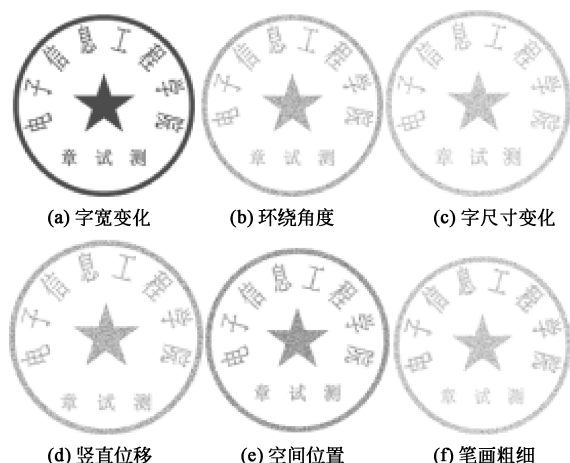


图 5 不同类型的假印鉴图像. 字符尺寸、笔画粗细、环绕角度、空间位置等发生微小变化的假印鉴

Fig.5 Different types of false seal images; false seals with the small variation of the size of the word, the thickness of the stroke, the surrounding angle and the spatial location

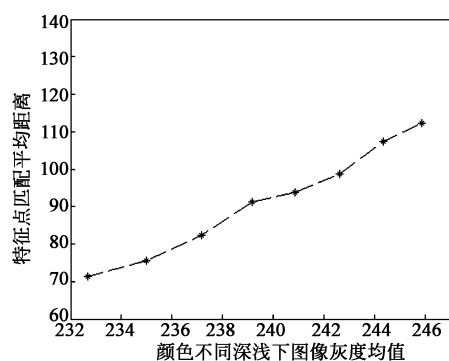


图 6 印鉴在印泥颜色不同深浅下的平均匹配距离

Fig.6 Average matching distance under different shades of color

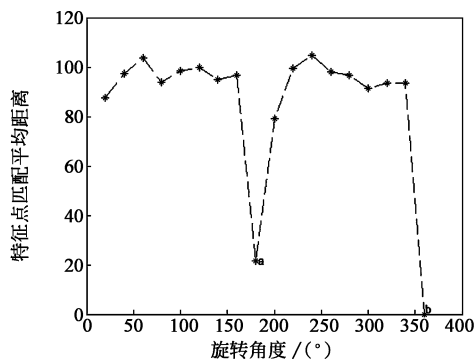


图 7 印鉴在不同旋转角度下的平均匹配距离

Fig.7 Average matching distance at different rotation angles

实验按照式(8)计算了待测印鉴在印泥颜色不同深浅、不同旋转角度(20° 间隔)下的平均匹配距离,如图 6、7 所示,并以印鉴图像灰度均值来衡量颜色不同深浅,图 6 显示颜色不同深浅的待测印鉴与标准印鉴的平均匹配距离范围大约为(70,110)。

图 7 中 a 点为印鉴在旋转 180° 下的平均匹配距离, 180° 旋转后印鉴图像插值误差小,该点的值较小,b 点为 360° 下的平均匹配距离,旋转 360° 变为原印鉴本身,该点的值为 0,其它旋转角度的平均匹配距离范围大约为(80,110)。

笔画粗细不一致是识别伪造印鉴的难点问题,实验对一待测真印鉴进行不同比率加粗,并依据式(8)计算印鉴在笔划不同加粗比率下的平均匹配距离,该待测真印鉴笔划像素宽度为 9,图 8 显示了印鉴在一定加粗比率下平均匹配距离范围大约为(108,130),下方短虚线(值为 98.6235)为该待测真印鉴在同一盖印条件下的平均匹配距离。图 8 表明基于 SIFT 的匹配特征对于印鉴笔划粗细很敏感,能有效反映印鉴感兴趣区域特征。

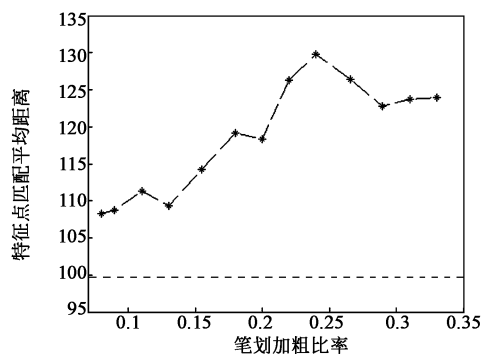


图 8 印鉴不同加粗比率下的平均匹配距离

Fig.8 Average matching distance under different thickening ratios

表 1 记录了利用 GA 优化的 SVM 对 A、B、C 库中待测样本基于 SIFT 特征匹配的 5 维特征向量的识别结果,并以查全率 Recall 和错误率 FPR 对实验结果进行了评价(T 代表识别正确的个数, F 代表识别错误的个数)。1、2、3、4、5 组中假印鉴分别为笔画粗细、字宽度、汉字环排角度、笔划尺寸、空间相对位置发生变化的印鉴,真印鉴为模糊缺失、旋转的印鉴,1 组到 5 组真印鉴模糊缺失程度依次增加。A 库中假印鉴仅有一枚被识别错误,该印鉴为汉字“测试章”尺寸发生微小变化

的印鉴;真印鉴中有 3 枚被识别错误,其中一枚为颜色太浅的印鉴,另两枚为汉字笔划缺失较多的印鉴。B 库中真印鉴仅一枚被识别错误,该枚印鉴为颜色非常浅淡的印鉴;假印鉴中有 2 枚被识别错误,这两枚为印鉴字符“123456789”尺寸发生微小变化的印鉴,SIFT 特征对于印鉴字符局部

小区域尺寸变化不敏感。表 2 记录了基于 SIFT 的匹配特征在平均匹配距离、SVM 及 GA 优化的 SVM 下的识别率,其中没有经 GA 优化的 SVM 惩罚因子和核参数凭经验取值分别为 10、0.09。表 2 表明 SVM 在 GA 的优化下能确定最佳分类平面,识别性能提高。

表 1 本文 SIFT-SVM 算法在 A、B、C 库的识别结果
Tab.1 Recognition results of SIFT-SVM algorithm in A, B and C seal library

库号	组号	T	F	Total	总数目统计		评价指标	
A	1	18	0	18	TP	28	Recall	0.90
	2	14	0	14	FP	1	FPR	0.023
	3	14	0	14	TN	42		
	4	13	1	14	FN	3		
	5	11	3	14			Rate	94.6%
B	1	6	0	6	TP	12	Recall	0.92
	2	6	0	6	FP	2	FPR	0.105
	3	6	0	6	TN	17		
	4	6	2	8	FN	1		
	5	5	1	6			Rate	90.6%
C	\	16	1	17	TP 7	FP 0	Recall	0.88
					TN 9	FN 1	FPR	0
							Rate	94.1%

表 2 基于 SIFT 的匹配特征在不同分类器的识别率

Tab.2 Recognition rate of matching features based on SIFT in different classifiers

方法	正确识别个数	总数	识别率/%
SIFT(d_{aiv})	103	123	83.7
SIFT-SVM	110	123	89.4
SIFT-GASVM	115	123	93.5

印鉴识别系统可视化操控界面如图 9,左侧窗口显示的是待测印鉴与标准印鉴的匹配结果图(待测印鉴为笔划加粗 11%的印鉴),匹配的距离比率阈值 T 可通过界面输入,界面右上角显示本系统确定的比率阈值为 0.67,当前待测印鉴基于 SIFT 的匹配特征 $d_{aiv} = 114.846$, $R_{aiv} = 0.412743$,GA 优化的 SVM 惩罚因子 $C = 42.4576$,核参数 $g = 0.69931$,界面下边显示的是印鉴预处理、特征提取及识别的时间,见表 3。当前“Re-

glabel”为 0,表明此时待测印鉴为伪造印鉴,系统警报设备开启(蜂鸣器响、LED 亮)。

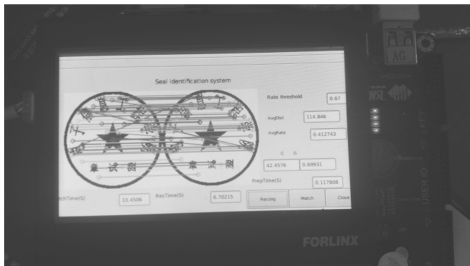


图 9 印鉴识别系统可视化操控界面
Fig.9 Visual control interface of seal identification system

表 3 印鉴识别系统各过程所用时间

Tab.3 Used time for each process of seal identification system

图像预处理	印鉴特征向量提取	GA-SVM 识别
0.1178 (s)	33.4506(s)	6.7022(s)

6 结 论

本文设计了一种基于 ARM 的嵌入式印鉴识别系统,系统以 ARM1176JZF-S 作为主处理器,利用基于 SIFT 的匹配特征和遗传算法优化的 SVM 对印鉴进行分类识别。实验结果表明,

基于 SIFT 的匹配特征能有效反映印鉴感兴趣区域细节特征,匹配阈值 $T=0.67$ 时,遗传算法优化的 SVM 使识别性能高达 93.5%。本系统能解决印鉴在模糊、旋转及笔画粗细、空间位置改变等多种实际情况下的识别问题,同时采用 SOP 技术进行开发,具有设计灵活、体积小、功耗低的优点。

参 考 文 献:

- [1] LEE S, KIM J H. Unconstrained seal imprint verification using attributed stroke graph matching [J]. *Pattern Recognition*, 1989, 22(6): 653-664.
- [2] GUO T D, XU C X, GAO Z Y. A new approach to automatic seal imprint identification [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2004, 30(1): 8-19.
- [3] 陈志云,李志敏,赵永涛,等.基于 Hough 变换的印鉴差值匹配识别[J].重庆大学学报:自然科学版,2006,29(2): 32-34.
CHEN Z Y, LI Z M, ZHAO Y T, et al. Seal imprint verification with Hough transform [J]. *Journal of Chongqing University: Natural Science Edition*, 2006, 29(2): 32-34. (in Chinese)
- [4] 何瑾,刘铁根,周怡洁,等.基于边缘差异的印鉴自动鉴别[J].仪器仪表学报,2010,31(1):85-91.
HE J, LIU T G, ZHOU Y J, et al. Automatic seal identification using edge difference [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(1): 85-91. (in Chinese)
- [5] 刘铁根,何瑾,邓集杰,等.基于嵌入式系统结构的印鉴鉴别系统[J].光学学报,2009,29(11):3043-3049.
LIU T G, HE J, DENG J J, et al. A seal imprint identification system based on embedded system structure [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(11): 3043-3049. (in Chinese)
- [6] 程鹏,王瑞光,郑喜凤,等.嵌入式公路可变情报板通讯系统设计[J].液晶与显示,2013,28(2):244-249.
CHENG P, WANG R G, ZHENG X F, et al. Design of embedded highway VMS communication system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 244-249. (in Chinese)
- [7] 郑永斌,黄新生,丰松江.SIFT 和旋转不变 LBP 相结合的图像匹配算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010, 22(2):286-292.
ZHENG Y B, HUANG X S, FENG S J. An image matching algorithm based on combination of SIFT and the rotation invariant LBP [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010, 22(2): 286-292. (in Chinese)
- [8] ZHAO Y, ZHAI Y W, DUBOIS E, et al. Image matching algorithm based on SIFT using color and exposure information [J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2016, 27(3): 691-699.
- [9] 胡建颖,赵荻,周玲,等.基于几何统计差异性的伪造印鉴识别方法[J].计算机工程与设计,2014,35(9):3029-3033.
HU J Y, ZHAO D, ZHOU L, et al. Forged seal identification method based on statistical geometric difference [J]. *Computer Engineering and Design*, 2014, 35(9): 3029-3033. (in Chinese)
- [10] LIU Y F, PID C, CHENG Q Y. Ensemble kernel method: SVM classification based on game theory [J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2016, 27(1): 251-259.
- [11] 林伟青,傅建中,许亚洲,等.基于 LS-SVM 与遗传算法的数控机床热误差辨识温度传感器优化策略[J].光学精密工程,2008,16(9):1682-1687.
LIN W Q, FU J Z, XU Y Z, et al. Optimal sensor placement for thermal error identification of NC machine tool based on LS-SVM and genetic algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 16(9): 1682-1687. (in Chinese)
- [12] ZHOU W, LI S L, MA G, et al. Parameters inversion of high central core rockfill dams based on a novel genetic algorithm [J]. *Science China Technological Sciences*, 2016, 59(5): 783-794.

- [13] 孙立宁, 钟鸣, 李满天. 基于嵌入式视觉的移动式自重构微小型机器人[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 3001-3008.
- SUN L N, ZHONG M, LI M T. Mobile miniature self-reconfigurable robot based on embedded vision [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, 17(12): 3001-3008. (in Chinese)

作者简介:朱胜银(1990—), 男, 河南信阳人, 硕士, 主要从事图像处理、模式识别方面的研究。E-mail: ZhuShengyin_zuliet@163.com

赵红东(1968—), 男, 河北沧州人, 博士生导师, 博士后, 教授, 主要从事半导体光电子器件研究。E-mail: zhaohd@hebut.edu.cn