

文章编号: 0253-2239(2009)11-3043-07

# 基于嵌入式系统结构的印鉴鉴别系统

刘铁根 何 瑾 邓集杰 朱均超

(天津大学精仪学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

**摘要** 为了弥补市场上现有印鉴鉴别系统体积大、移动性能差、安全性较低、价格比较昂贵等缺陷,研究了基于高速数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA)的嵌入式印鉴鉴别系统。系统在印鉴识别算法上,基于平滑卷积的方法计算印鉴的中心位置和半径。采用径向投影法,对一维特征数据计算,得到待验印鉴(SS)与预留印鉴(MS)之间的偏转角度。把印鉴质量指标作为 MS 与 SS 对应边缘 Hausdorff 距离测度的控制参数,用神经网络方法综合分析、判别印鉴真伪。在硬件实现方面,片上可编程(SOPC)系统结合 DSP 作为检测系统核心。SOPC 系统包括控制器、图像预处理器等。DSP 作为系统的主处理器,用于进行图像的特征检测与识别。系统具有以太网、RS232、USB 等通用接口。实验表明,该系统可以有效识别印鉴,并具有体积小、成本低、系统功能可灵活升级等特点。

**关键词** 嵌入式系统; 印鉴鉴别; Hausdorff 距离; 数字信号处理器; 片上可编程

**中图分类号** TP391.4 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092911.3043

## A Seal Imprint identification System Based on Embedded Structure

Liu Tiegeng He Jin Deng Jijie Zhu Junchao

(Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, Ministry of Education, College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract** An embedded seal imprint identification system based on high speed digital signal processor (DSP) and field-programmable gate array (FPGA) is designed and fabricated. In recognition algorithms of the system, spatial coordinates of centers and radius of tested seals are calculated with a method based on flatness convolution. The orientation between sample seal (SS) and model seal (MS) is calculated with the radius projection method, which calculates a group of one-dimensiond feature data instead of two-dimensiond. Improved Hausdorff distance is used to measure the similarity between seals, as seal quality being the control parameters. Artificial neural network is adopted in analyzing and estimation. In respect of hardware realization, System-on-a-programmable chip (SOPC) combining DSP serves as CPU of this verification system. Image preprocessor and controller are included in the SOPC system. As the master processor, DSP is applied to accomplish image feature detection and verification. General purpose interface (GPI) such as Ethernet interface, USB and RS232 is designed in the system. Experiment shows that seals can be effectively identified and the function of the small-size and low-cost verification system can be upgraded flexibly.

**Key words** embedded system; seal imprint identification; Hausdorff distance; digital signal processor (DSP); system-on-a-programmable chip (SOPC)

## 1 引 言

印鉴作为个人、企事业单位、社会团体、政府部门具有法律意义的标志和证据被广泛使用。在我国,印鉴应用尤为普遍,特别是在银行等金融领域中所涉及的支票等金融票据凭证上,印鉴更是具有至关重要的作用。但随着社会经济的发展,银行业务

量日渐增大,传统的人工鉴别印鉴真伪的方法,已不适应银行业务的需要。因此,随着各种识别技术的日益成熟,对印鉴自动鉴别系统的开发和研究成为银行印章鉴定领域的主题。使用印鉴鉴别系统自动处理各种金融票据已经成为现实的迫切需要。

国外在研究印鉴自动识别方面起步较早,日本、

收稿日期: 2008-10-29; 收到修改稿日期: 2008-12-16

基金项目: 国家自然科学基金(60627002)资助课题。

作者简介: 刘铁根(1955—),男,教授,博士生导师,主要从事光电检测,嵌入式图像处理等方面的研究。

E-mail: tgliu@tju.edu.cn

韩国和美国等国家的学者在识别算法方面进行了较多的研究<sup>[1~4]</sup>,但是这些方法在稳定性和实用性上还有待提高,并且存在一定的误识率。在开展印鉴识别算法研究的同时,对印鉴鉴别系统的研究也发展起来。目前这些系统几乎都是基于计算机平台构建,可以充分利用计算机的系统资源,样本存储量大,软件设计成熟,但另一方面,也存在体积大,移动性能差,安全性较低,价格比较昂贵等缺陷,而且其正确识别率在 85%~90%,还有待进一步提高。

为了弥补市场上现有印鉴鉴别系统的不足,实现印鉴鉴别系统的小型化、低成本、高识别率、高安全性,本文以红色圆形印鉴为例,从系统的角度研究了金融票据圆形印鉴真伪识别方法,并研究设计了

基于嵌入式系统技术的印鉴真伪鉴别系统。

## 2 印鉴鉴别系统原理

印鉴的真伪识别是通过比较待验印鉴(SS)同预留印鉴(MS),检测两者图文特征的差异,以此判断其真伪<sup>[5]</sup>。印鉴鉴别系统的原理框图如图 1 所示。该系统首先由图像采集设备采集到待验印鉴图像并将其转化为数字图像;然后对待验数字图像进行预处理,得到便于印鉴特征提取的数字图像;接着提取印鉴图像特征点;最后将提取到的特征与特征数据库中的预先处理好的预留印鉴的特征数据进行分析和对比,得到识别结果。

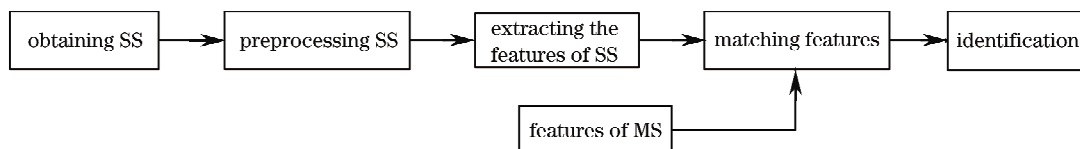


图 1 票据印鉴鉴别系统的原理框图

Fig. 1 The functional block diagram of a seal identification system

## 3 印鉴识别算法设计

印鉴识别算法在一定程度上决定了整个鉴别系统的性能,它是系统的灵魂。在检验票据真伪时,圆形公章是识别的主要对象<sup>[6]</sup>,所以本文主要研究圆形印鉴的识别算法。

### 3.1 印鉴图像的预处理

#### 3.1.1 印鉴提取

印鉴的提取过程就是把印鉴图像从背景中分离出来的过程<sup>[7, 8]</sup>。以红色印鉴为例,我们利用颜色信息按照公式  $I = R - (G + B) / 2$  将票据彩色图像转换为灰度图像  $f(x, y)$ 。再根据圆形印鉴中心的五角星所在区域红色像素分布最集中的特点,利用所有元素为 1 的  $N \times N$  平滑模板对票据灰度图像进行平滑滤波得到  $f_1(x, y)$ 。 $f_1(x, y)$  中最大值元素  $O$  所在的位置  $(x_0, y_0)$  就是印鉴五角星区域内的一个像素点。元素  $O$  的灰度值  $f(x_0, y_0)$  就是印鉴中红色

像素转换后对应的灰度值。以像素  $O$  所在邻域均值为二值化分割域值  $T$ ,得到票据二值图像  $f_2(x, y)$ ,如图 2 所示。可以看出除了少数几个干扰点外,红色的圆形和方形印鉴被完整的从背景中分割出来。

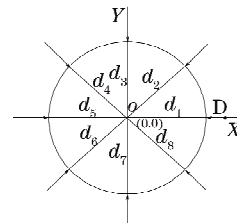


图 3 沿 8 个方向搜索印鉴边框示意

Fig. 3 searching for the imprint frame along 8 directions

为了消除印鉴内部字符对边框定位的干扰,我们以  $O$  为圆心,从印鉴边框外向圆心方向搜索。如图 3 所示。从搜索得到的印鉴外边框上的像素点  $(x_i, y_i)$  中选择和  $O$  之间距离的标准差较小的  $m$  个点,得到  $C_m$  组圆心坐标和半径,其均值就是圆形印鉴的圆心坐标



图 2 二值化处理后的票据图像

Fig. 2 Binarized note image



图 4 提取的圆形印鉴

Fig. 4 The segmented circle seal

$(x_c, y_c)$  和外边框半径  $r_1$ 。根据外边框半径  $r_1$  和圆心坐标  $(x_c, y_c)$  对票据二值图像  $f_2(x, y)$  进行区域分割, 即提取出圆形印鉴。分割结果如图 4 所示, 本文提取圆形印鉴外接矩形, 印鉴外面的背景像素都是 0。

### 3.1.2 印鉴图像配准

提取到印鉴后即可确定 SS 和 MS 之间圆心的坐标偏移。此外, 还需要确定 SS 和 MS 之间的相对偏转角度, 才能进行最后的匹配。

设 SS 图像为  $f(x, y)$ , MS 图像为  $g(x, y)$ , 求二者偏转角度的过程就是寻找一个角度  $\theta$ , 使得对  $f(x, y)$  旋转  $\theta$  后和  $g(x, y)$  最相似, 匹配程度最高, 即有下式成立:

$$S_{\max} = f_{\theta}(x, y) \otimes g(x, y), \quad (1)$$

式中  $f_{\theta}(x, y)$  为  $f(x, y)$  旋转  $\theta$  后的图像,  $\otimes$  为相似性测度运算。

如果直接对  $f(x, y)$  在二维空间进行相似性测度计算, 则每个角度都需要进行图像的旋转和匹配运算, 计算量太大。观察印鉴的特点后可知, 从圆心对所有像素沿半径方向向外边框进行投影, 其投影

值可以充分反映印鉴不同角度的像素分布特征。图 5(a) 是印鉴径向投影示意图, 图 5(b) 是径向投影归一化后的图像, 从中可以看出不同角度的投影值有不同的分布特征。对 SS 和 MS 之间不同角度下的径向投影向量的相似性进行判断, 就可以确定其偏转角度。计算对象由二维变成一维, 可以有效减小运算量。同时每个角度上多个像素的投影值累积成了一个值, 也可以有效的减少印鉴质量对计算结果的影响, 提高计算精度。

### 3.2 基于 Hausdorff 距离的印鉴图像匹配算法

考虑到印鉴中各个区域的边缘像素可以完整地代表印鉴的图文防伪特征, 文中采用区域边缘作为真伪识别特征, 即把 SS 和 MS 中对应区域边缘的相似度作为其相似性判据。在判断对应区域边缘像素的相似性过程中采用改进的 Hausdorff 距离<sup>[9]</sup> 作为其匹配测度, 并引入印鉴图像质量评价方法, 把印鉴质量指标作为 Hausdorff 距离测度的控制参数, 增加识别算法对印鉴质量的适应能力, 提高算法的鲁棒性。

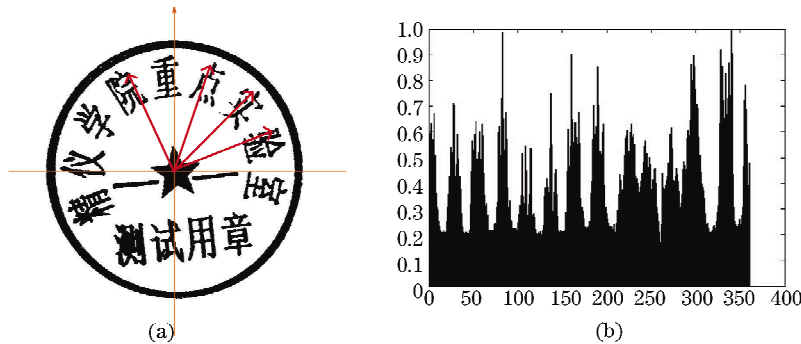


图 5 径向投影示意图

Fig. 5 Radial shadow casting

理想情况下, SS 和 SM 中的边缘是一一对应关系, 区域大小相近, 可以直接计算其 Hausdorff 距离。但实际情况下, 由于印鉴图像质量的影响, 印鉴区域存在缺失和断裂现象, 造成边缘对应关系发生变化, 呈现多对一关系、一对多等多种对应关系。

SS 和 MS 出现边缘多对一, 表明 SS 的图像质量较差, 一个区域断裂成多个区域, 在断裂处形成新的“假边缘”。设 SS 中多个点边缘  $X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in}$  对应 MS 中一个边缘  $Y$ 。为了减小误差, 此时的 Hausdorff 距离可以按照下面公式计算:

$$\begin{cases} h_{\text{PMHD}}(Y, \Phi_X) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K d_{\Phi_X}(y_i), & y \in Y \\ h_{\text{PMHD}}(\Phi_X, Y) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T d_Y(x_i), & x \in \Phi_X \\ H_{KT}(Y, \Phi_X) = \min[h_{\text{PMHD}}(Y, \Phi_X), h_{\text{PMHD}}(\Phi_X, Y)], \\ K = T = \text{sum}(Y), \end{cases} \quad (2)$$

式中  $\Phi_X = X_{i1} \cup X_{i2} \cup X_{i3} \cup \dots \cup X_{in}$ 。

一对多对应情况下表明 MS 的图像质量较差, 可以采用类似多对一的方法进行处理, 其计算公式为

$$\begin{cases} h_{\text{PMHD}}(X, \Phi_Y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K d_{\Phi_Y}(x_i), & x \in X \\ h_{\text{PMHD}}(\Phi_Y, X) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T d_X(y_i), & y \in \Phi_Y, \\ H_{\text{KT}}(X, \Phi_Y) = \min[h_{\text{PMHD}}(X, \Phi_Y), h_{\text{PMHD}}(\Phi_Y, X)], \\ K = T = \text{sum}(X), \end{cases} \quad (3)$$

式中  $\Phi_Y = Y_{j1} \cup Y_{j2} \cup Y_{j3} \cup \dots \cup Y_{jm}$ 。

由于盖印条件影响, SS 和 MS 之间的 Hausdorff 距离相似性测度会存在一定的误差, 仅依靠该特征值进行真伪判断不利于提高识别精度。在 Hausdorff 距离测度基础上, 还需同时考察其他一些相关的相似性特征, 如 SS 和 MS 中边缘的对应关系度量、对应边缘间 Hausdorff 距离分布特征、SS 和 MS 之间的径向投影差方等。它们之间存在一定相关性, 对其综合判别有利于提高识别效率。因此, 本文把表征印鉴特点的一组特征值作为输入矢量, 构建基于人工神经网络的印鉴真伪分类器, 对分类器训练后进行印鉴的真伪判别。(5)式表明神经网络的输出与印鉴识别结果的关系。O 为神经网络输出结果。

$$\text{SS} = \begin{cases} \text{真}, & O > 0.8 \\ \text{假}, & 0.5 \leq O \leq 0.8 \\ \text{不确定}, & O < 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

### 4 印鉴鉴别系统硬件设计

嵌入式图像检测一体机由四个部分组成, 分别是光学成像采集模块、数据预处理模块、数据处理模块(DSP)、系统接口模块。其工作原理为: 票据印鉴图像经光源照射后反射进传感器, 传感器采集到的信号传输进图像预处理单元和 DSP 中进行处理和检测, 检测结果通过接口输出。图 6 所示为系统电路原理。

#### 4.1 光学成像模块

为有效减小系统体积和满足镜头采集要求, 印鉴图像由反射方式采集, 具体方式见图 7。票据正面向下平放在光学玻璃上, 在 LED 光源的照射下通

过传感器采集图像, 在光路中增加一片 45° 的反射镜来增加物距。

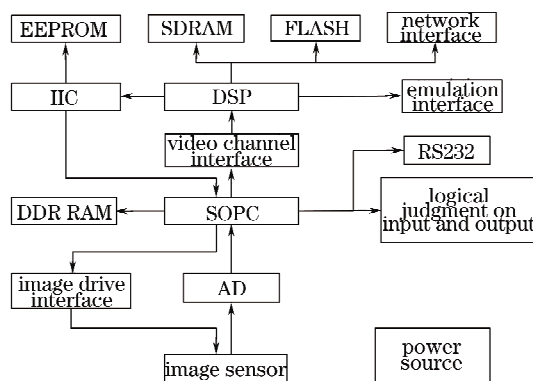


图 6 系统电路原理

Fig. 6 principle scheme of the circuitry

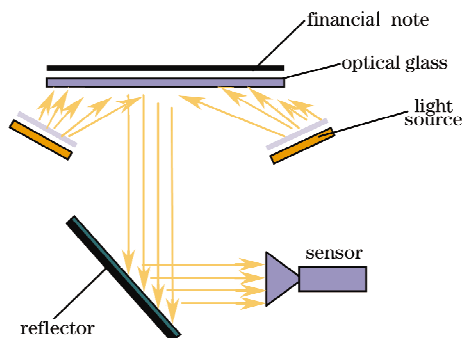


图 7 系统光路布局

Fig. 7 beam path of the system

#### 4.2 数据预处理模块

印鉴图像的预处理通常包括图像的校正、灰度及二值化、印鉴图像提取等, 为了提高数据处理速度, 使用现场可编程门阵列(FPGA)来实现印鉴预处理算法的硬件加速, 并将其置于一片 FPGA 内,

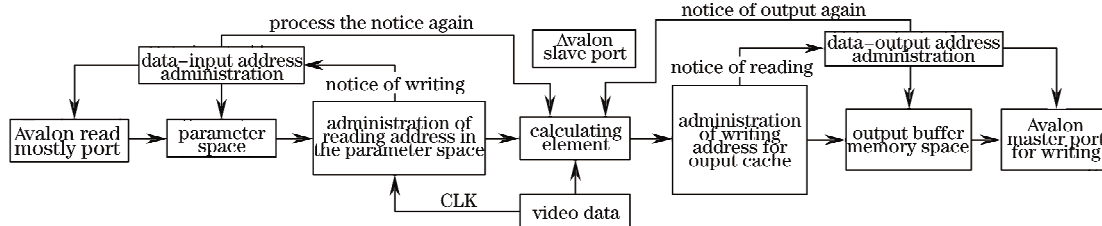


图 8 SOPC 系统数据组织及运算结构

Fig. 8 Data organization and computation structure in SOPC system

利用片上编程系统(SOPC)进行统一时序、信号、端口及存储器的统一组织和管理。图 8 所示为常用 SOPC 系统中的数据组织及运算结构<sup>[10]</sup>。

### 4.3 数据处理模块

该部分由 DSP、存储器等构成。

DSP 在整个检测系统中不仅作为数据处理器,而且也作为系统的控制器,控制着数据采集模块和接口模块的工作状态。此处有多种实现方式,除了用单处理器外,还可以采用一个处理器作为控制器和主处理器,而另一个作为协处理器;还可以采用双处理器,一个用于控制而另一个用于数据处理等方式。存储器分为随机存储器(RAM)和只读存储器(ROM),前者作为工作时的程序运行空间和存放临时数据,掉电丢失,常用的有 SDRAM、SRAM、FIFO 等,该系统使用 SDRAM;后者用于存放系统启动配置、运行程序、数据参数等需要固定保存的数据内容,掉电不丢失,系

统采用 FLASH 和 EEPROM。

### 4.4 系统接口模块

该模块是用于检测系统与外控设备或 PC 机进行数据传输的通道,通过该通道不仅能够将系统的检测结果输出,而且还能够对检测系统各部分参数进行配置。本系统使用的接口有 100M/b 的以太网口、RS232 串口、RS422 串口、SPI 串行外设接口等。

图 9(a)是装配前的高速电路板和外壳的壳体,各个电路板之间采用线缆和接插件进行连接,传感器芯片垂直于其他电路板安装,直接对准镜头。图 9(b)是安装好的系统。

图 10(a)是样机的总体结构,利用键盘进行控制和操作,在 LCD 液晶模块上显示识别结果。图 10(b)是样机的内部结构,同实验系统的结构一致。该样机体积为 30 cm×20 cm×18 cm,便于移动和放置。

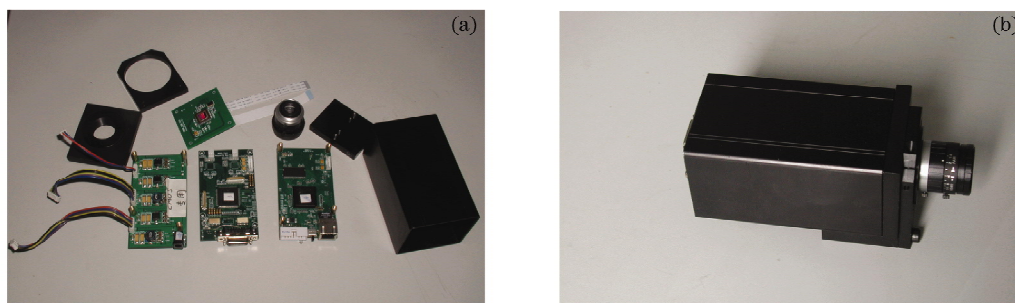


图 9 装配前后的图像采集相机 (a) 硬件电路板和外壳的壳体 (b) 装配好的图像采集、处理实验平台  
Fig. 9 the camera used for image collection. (a) The inside circuit boards and the camera housing.

(b) The assembled camera

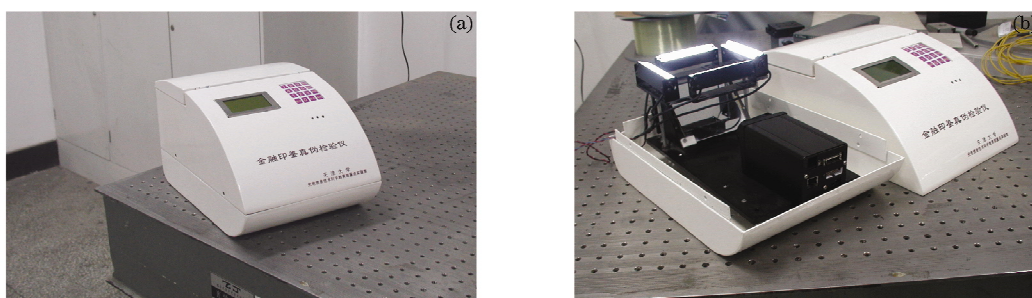


图 10 印鉴真伪检验系统样机。(a) 原理样机外观, (b) 原理样机内部结构

Fig. 10 The principle prototype used for the seal identification. (a) The appearance of the principle prototype, (b) the internal structure of the principle prototype

## 5 实 验

测试的印鉴采用激光雕刻机刻制而成,共取 5 组,每组两枚。同组两枚印鉴之间的图文字符内容相同,字符的旋转角度、笔划等处存在细微差异。如图 11 所示同组的两枚印鉴,两者绝大部分地方是完全一致的,其区别在于(b)中的“测”和“章”字分别

绕自己的中心旋转了一定角度,这个差别凭借肉眼基本上是无法分辨的。

每组印鉴中其中一枚作为“真”,另一枚作为“假”,分别标记为 A 和 B。将 A 的印鉴图像预先采集到 DSP 中,进行处理后作为预留印鉴 MS,存储到系统 FLASH 中。将每组两枚印鉴 A 和 B,分别盖

到票据上。利用本文设计的印鉴鉴别系统对每组印鉴进行测试,识别结果如表 1 所示。以第一组印鉴为例,表 2 列出了各计算环节所用时间。

实验表明,本文提出的识别算法可以在 DSP 中运行,可以有效的识别印鉴的真伪,识别率大于 95%。本文设计的系统鉴别一枚印鉴的时间大约为 1 秒钟,基本满足使用要求。实验结果同时也表明,本算法在某种情况下还存在一定的拒识。分析后发现拒识的原因在于印鉴质量有问题,其颜色太淡或

者出现粘连,这种情况是完全可以拒收的。

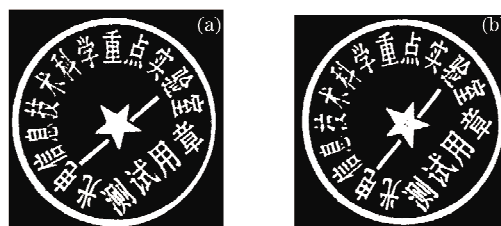


图 11 同组的两枚印鉴

Fig. 11 Two seals in one group

表 1 鉴别结果

Table 1 The verification result

Group No. of seals	Number of the correctly identified	Number of the wrongly identified	Number of the refused	The total number of seals
Group 1	22	0	2	24
Group 2	21	0	0	21
Group 3	33	0	2	35
Group 4	27	0	1	28
Group 5	31	0	1	32

表 2 第一组印鉴鉴别结果

Table 2 the identification result of seals in Group 1



MS



SS(A)



SS(B)

The right result	T	F
The real result	$1.0004 > 0.8 T$	$-0.0263 < 0.2 F$
Time used in each step /ms	SS(A)	SS(B)
Color segmentation	44.1	44.65
Calculation of the center and the radius of a seal	80.75	86.38
Radial shadow	202.45	208.65
Calculation of the angular deflection	3.1	3.35
Edge detection	61.5	61.3
Edge following	235.5	287.68
Finding matching edges	215.64	219
Calculation of HD	68.2	67.35
Verification	31	30.6
The total used time	942.24	1008.96

## 6 结 论

本文从印鉴识别算法和硬件设计两个方面给出了一种基于 DSP 和 FPGA 的印鉴自动鉴别系统的设计方案。使用 SOPC 技术进行系统设计,具有开发周期短、设计灵活、可把若干外部模块综合设计到

一片高密度 FPGA 中等优点,同时高速 DSP 做主处理器使系统整体设计更小巧、成本更低、速度更快、更便于系统升级。在现有设计的基础上,可以通过进一步改进印鉴识别算法和优化系统性能来提高识别的准确率,降低拒识率,避免误识率,使本系统能

更好地应用到实际中。

### 参 考 文 献

- 1 K Ueda, Y Nakamura. Automatic verification of seal impression pattern[C]. *Proc. 7th Inter Conf. Pattern Recognition (ICPR)*, 1984, **2**: 1019~1021
- 2 Fan T J, Tsai W H. Automatic Chinese seal identification[J]. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 1984, **25**(3): 311~330
- 3 C M Chen, W H Tsai. Automatic identification of Chinese seal imprint with arbitrary or partial shapes[J]. *Comput. Process. Chinese Oriental Languages*, 1986, **2**: 216~233
- 4 S Lee, J. H. Kim. Unconstrained seal imprint verification using attributed stroke graph matching[J]. *Pattern Recognition*, 1989, **22**(6): 653~664
- 5 Liu Tiegen. *Embedded technology for image detection* [M]. Beijing: China Machine Press, 2008, 278~307  
刘铁根. 嵌入式图像检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008, 278~307
- 6 *Law of the People's Republic of China on Negotiable Instruments* [M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2001: 42~49  
中华人民共和国票据法. 北京: 中国法制出版社, 2001: 42~49
- 7 Ai Wu, Peng Lei, Li Lingling *et al.*. Preprocessing and registration algorithm for check seal verification[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2003, **39**(3): 34~37  
艾武, 彭磊, 李玲玲等. 用于票据印鉴鉴别的图像预处理及配准算法[J]. *计算机工程与应用*, 2003, **29**(3): 34~37
- 8 Zhou Kun, Zhang Dali. Image processing technology in seal imprint verification [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2002, **38**(20): 218~220  
周琨, 张大力. 印章鉴定系统的图像处理研究[J]. *计算机工程与应用*, 2002, **38**(20): 218~220
- 9 Agarwal Pankaj K, Har-Peled, Sarel *et al.*. Hausdorff distance under translation for points and balls[J]. *Proceeding of the Annual Symposium on Computational Geometry*, 2003, 282~291
- 10 Chati, H. D. Muhlbaumer, F. *et al.*. SOPC architecture for a key point detector [C]. 2007 *International Conference on Field Programmable Logic and Applications*, FPL 2007, 2007, 710~713