

纸币清分系统中的纸币污损检测

金野¹ 宋玲¹ 刘松波¹ 唐降龙¹

摘要 针对纸币上常见的笔划及撕裂, 提出了一种基于均匀性特征的污损检测方法. 首先利用均匀性特征判定待检纸币上可能存在污损的区域, 然后进行图像配准, 确定这些区域在参考图像上的对应位置, 并逐像素进行比较, 最终判定待检图像的污损状况.

关键词 纸币清分, 污损检测, 均匀性特征

中图分类号 TP391.11

A Defect Detection Algorithm for Paper Currency Sorting System

JIN Ye¹ SONG Ling¹ LIU Song-Bo¹ TANG Xiang-Long¹

Abstract This paper advances a homogeneity based algorithm for the detection of scratches and cracks appearing on paper currency. The homogeneity feature of the sensed paper currency image is first constructed to locate the possibly polluted pixels. The image registration algorithm is subsequently used to overlay the sensed and reference paper currency images. At last, each possibly polluted pixel on the sensed image is compared with its corresponding pixel on the reference image to estimate the contamination level.

Key words Paper currency sorting, defect detection, homogeneity

1 引言

纸币清分是指对纸币的面值、真伪、新旧及破损程度进行分类的过程. 上世纪 90 年代, Takeda^[1] 等人开始将神经网络应用于纸币识别, 目前我国的许多科研机构也已开始了这一领域的研究^[2]. 迅速准确地识别出纸币上的各种污损, 是当前纸币清分系统的主要困难. 针对以上困难, 本文提出了基于均匀性特征的污损检测方法.

2 污损待检区域的确定

均匀性特征统计了图像在一定范围内的二阶矩特性并同时考虑了图像的梯度特征, 是图像处理中的一种有效特征^[3], 对于某图像, 设坐标 (x, y) 处的灰度值为 $I_{x,y}$, 将以 (x, y) 为中心的矩形区域记为 $\Omega(x, y)$, 在 $\Omega(x, y)$ 内计算 (x, y) 处的图像标准差值 $v_{x,y}$ 为

$$v_{x,y} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (I_{i,j} - \mu_{i,j})^2} \quad (1)$$

其中 N 为 $\Omega(x, y)$ 中像素的个数. $\mu_{i,j}$ 为 (i, j) 处的滑动平均值

$$\mu_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{(p,q) \in \Omega(i,j)} I_{p,q} \quad (2)$$

收稿日期 2006-2-21 收修改稿日期 2006-5-4
Received February 21, 2006; in revised form May 4, 2006
1. 哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001
1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001
DOI: 10.1360/aas-007-0971

采用 Sobel 算子提取 (x, y) 处的水平及垂直梯度, 分别记为 G_h, G_v , 则 (x, y) 处的梯度值为

$$e_{x,y} = \sqrt{G_h^2 + G_v^2} \quad (3)$$

采用式 (1) 和 (3), (x, y) 处的均匀性特征可表示为

$$h_{x,y} = 1 - \frac{v_{x,y}}{v_{\max}} \cdot \frac{e_{x,y}}{e_{\max}} \quad (4)$$

其中, $v_{\max} = \max\{v_{x,y}\}$, $e_{\max} = \max\{e_{x,y}\}$.

待检纸币在正常的折旧过程中颜色逐渐模糊, 导致纸币图像的均匀性逐渐增强. 只有在纸币受到撕裂、笔划等严重污损的情况下, 纸币图像的局部区域才会发生均匀性减弱的情况. 当图像上某像素的均匀性特征小于某一固定阈值时, 我们判定该像素属于污损待检区域, 在后续的步骤中, 仅需要针对该区域进行判定. 这样不仅避免了纸币正常折旧带来的干扰, 而且有效地减小了运算量. 对于图像 I 的均匀性特征 h , 将其二值化后称为 I 的均匀性特征矩阵, 记作 $H = N(I)$, 具体为

$$H_{x,y} = \begin{cases} 0, & h_{x,y} > \alpha \\ 1, & h_{x,y} \leq \alpha \end{cases} \quad (5)$$

其中, $h_{x,y}$ 为 (x, y) 处的色彩均匀性特征, α 为灵敏度阈值, 用于调整预分类的灵敏度并改变后续处理的运算量, 试验证明 α 取值在 235 附近时效果较为理想. $H_{x,y} = 1$ 时, 认为像素 $I_{x,y}$ 的周围可能存在污损, 如图 1 所示, 均匀性特征有效地屏蔽了纸币上的细小折痕及轻微污渍, 并清楚地反映出两处污损痕迹.

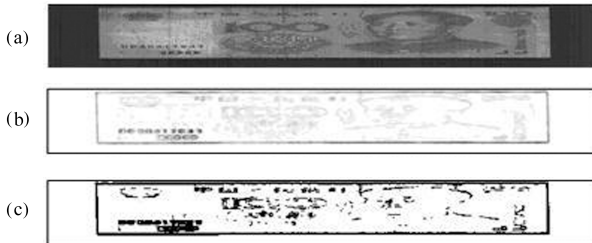


图 1 图像的均匀性特征

((a) 待检图像; (b) 均匀性特征; (c) 均匀性特征矩阵)

Fig.1 Homogeneity ((a) Sensed image; (b) Homogeneity feature; (c) Homogeneity matrix)

3 纸币图像配准

有关图像配准的一般性方法可参见文献 [4]. 在纸币清分系统中, 我们采用线阵传感器, 由高速扫描装置对图像传感器进行 A/D 转换后获取图像. 传感器紧贴纸币, 可以忽略视角、视距的影响. 将参考图像记为 T , 待检图像记为 I , 设参考图像上的像素 T_{x_1, y_1} 与待检图像上的像素 I_{x_2, y_2} 相对应. 则两像素坐标的关系可简化为

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中 $(t_x, t_y)^T$ 为从 T 到 I 的偏移向量, s_x, s_y 分别为水平及垂直方向上的伸缩系数. 在 T 上选取以 (x, y) 为中心的矩形

区域 Ω 作为参考区域, 在 I 上选取以 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 为中心的矩形区域作为待匹配区域, 定义两区域间的匹配距离为

$$d_{\Delta x, \Delta y} = \frac{\sum_{(i,j) \in \Omega} N(T)_{i,j} \times |T_{i,j} - I_{i+\Delta x, j+\Delta y}|}{\sum_{(i,j) \in \Omega} N(T)_{i,j}} \quad (7)$$

其中, $N(T)$ 为图像 T 的均匀性特征矩阵. 设 $\Delta x = X, \Delta y = Y$ 时, $d_{\Delta x, \Delta y}$ 获取最小值, 我们称 $[X, Y]$ 为 (x, y) 处的校正向量. 如图 2 所示, 我们将参考图像 T 划分为若干相互重叠的子区间来计算待检图像上各像素的偏移向量及伸缩系数. 以纸币的几何中心为中心, 将图像上的纸币部分划分为 16×4 个矩形区域, 每 4 个相邻区域组成一个子区间, 设各个子区间的几何中心为 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$, 通过式 (7) 得到 (x_i, y_i) 在 I 上的对应点 $(x_i + X_i, y_i + Y_i)$, 有

$$\begin{pmatrix} x_i + X_i \\ y_i + Y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

对 X_i, Y_i 进行插值即可计算出各像素的偏移向量及伸缩系数.

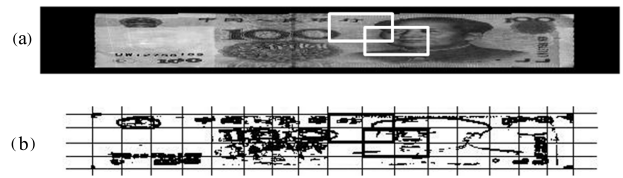


图 2 配准子区间的划分 ((a) 标准图像; (b) 子区间划分示意)

Fig.2 Subzones for image registration

((a) Reference image; (b) Subzones)

4 纸币污损检测

通过对比像素间的色差, 就可以判定待检图像是否存在污损. 设参考图像上的像素 T_{x_1, y_1} 与待检图像上的像素 I_{x_2, y_2} 相对应, 考虑 I_{x_2, y_2} 与 $T_{x_1 + \Delta x, y_1 + \Delta y}$ 的色差

$$\begin{aligned} DIF(I_{x_2, y_2}, T_{x_1 + \Delta x, y_1 + \Delta y}) \\ = N(I)_{x_2, y_2} \times |I_{x_2, y_2} - T_{x_1 + \Delta x, y_1 + \Delta y}| \end{aligned} \quad (9)$$

其中 $N(I)$ 为待检图像 I 的均匀性特征矩阵. 将 $\Delta x, \Delta y$ 限制在一定范围内, 统计色差的最小值作为图像 I 上 (x_2, y_2) 处的灰度偏移值

$$D_{x_2, y_2} = \min_{\Delta x, \Delta y} \{DIF(I_{x_2, y_2}, T_{x_1 + \Delta x, y_1 + \Delta y})\} \quad (10)$$

我们将 D 称为待检图像 I 相对标准图像 T 的灰度偏移图像. 如图 3(a) 所示的待检纸币, 提取其均匀性矩阵分别如图 3(b) 所示, 我们采用图 2(a) 作为参考图像, 图像配准后, 将 $\Delta x, \Delta y$ 限制在 $-5 < \Delta x, \Delta y < 5$ 的范围内, 根据式 (10) 得到的灰度偏移图像如图 3(c) 所示. 我们将待检纸币上各像素的灰度偏移值划分为大、较大、较小及无偏移 4 类, 然后在各像素的 3×3 邻域内判定污损状况, 具体方法如下:

步骤 1. 将待检的灰度偏移图像 D 按下式进行归一化

$$D'_{x,y} = \begin{cases} 1, & D_{x,y} > \beta_2 \\ 0.5, & \beta_1 < D_{x,y} \leq \beta_2 \\ 0.1, & \beta_0 < D_{x,y} \leq \beta_1 \\ 0, & D_{x,y} \leq \beta_0 \end{cases} \quad (11)$$

步骤 2. 当 $D'_{x,y} = 0$, 则判定 (x, y) 处不存在污损, 否则进入下一步.

步骤 3. 将像素 $I_{x,y}$ 的 3×3 邻域记为 $\delta(x, y)$, 统计 $\delta(x, y)$ 内的灰度偏移值

$$\Phi_{x,y} = \sum_{i,j \in \delta(x,y)} D'_{i,j} \quad (12)$$

当 $\Phi_{x,y} > 1$ 时, 判定 (x, y) 处存在污损, 当 $\Phi_{x,y} \leq 1$ 时, 判定 (x, y) 处不存在污损.

在式 (11) 中, $\beta_i (i = 0, 1, 2)$ 为划分阈值, 在实际的纸币清分系统中选取 $\beta_0 = 3, \beta_1 = 10, \beta_2 = 15$. 根据以上方法对图 3 (a) 的检测结果如图 3 (d) 所示.

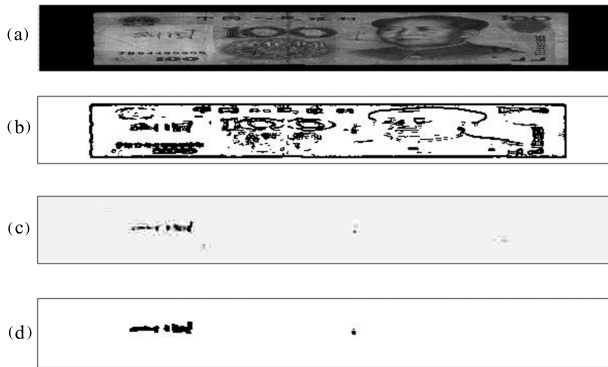


图 3 配污损检测 ((a) 待检图像; (b) 均匀性特征矩阵; (c) 灰度偏移图像; (d) 污损检测结果)

Fig. 3 Defect detection ((a) Sensed image; (b) Homogeneity matrix; (c) Intensity shift; (d) Detection result)

我们针对 99 版人民币进行了实际测试, 将测试样本集记为 T , 按照标准将 T 手工分类为 $R_i (i = 0, 1)$ 两类, 其中 $i = 0$ 表示不满足分类标准, $i = 1$ 表示满足分类标准. 采用纸币清分系统对 T 进行测试, 为提高可靠性引入了一个拒识类, 将 T 分类为 $T_i (i = 0, 1, 2)$, 其中 $i = 0$ 表示不满足分类标准, $i = 1$ 表示满足分类标准, $i = 2$ 表示分类失败. 为了检测系统的稳定性, 对 T_i 进行再次分类, 分别记为 T_{ij} , 用 $|\cdot|$ 表示各集合的样本数量, 将系统的准确率、误识率、稳定性分别记为 g_r, g_e, g_s , 具体定义如下

$$\begin{cases} g_r = \frac{|T_1 \cap R_1| + |T_0 \cap R_0|}{|T|} \\ g_e = \frac{|T_1 \cap R_0| + |T_0 \cap R_1|}{|T|} \\ g_s = \frac{|T_{11}| + |T_{00}|}{|T_1| + |T_0|} \end{cases} \quad (13)$$

对 99 版人民币的 5 个币种, 每币种选取了 10 万张纸币进行测试, 测试结果如表 1 所示, 污损检测准确率超过 95%, 误识率低于 0.4%, 稳定性达到了 93% 以上, 满足实际需求.

表 1 实际测试数据 (%)

| Table 1 | Statistical result of the detection experiment | | | | |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|
| | 五元 | 十元 | 二十元 | 五十元 | 一百元 |
| g_r (%) | 96.06 | 95.72 | 96.70 | 97.49 | 97.65 |
| g_e (%) | 0.24 | 0.36 | 0.13 | 0.11 | 0.12 |
| g_s (%) | 94.50 | 93.30 | 95.30 | 95.20 | 96.57 |

References

- 1 Takeda F, Omatu S. High speed paper currency recognition by neural networks. *IEEE Transactions on Neural Network*, 1995, **6**(1): 73~77
- 2 Liu Jia-Feng, Tang Xiang-Long, Liu Song-Bo. An algorithm of real-time paper currency recognition. *Journal of Computer Research and Development*, 2003, **40**(1): 1057~1061 (刘家锋, 唐降龙, 刘松波. 一种实时纸币识别方法的研究. *计算机研究与发展*, 2003, **40**(1): 1057~1061)
- 3 Cheng H D, Sun Y. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, **9**(12): 2071~2082
- 4 Zitova B, Flusser J. Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(11): 977~1000

金 野 哈尔滨工业大学博士研究生. 主要研究方向为模式识别与图像处理. 本文通信作者. E-mail: jinye@hit.edu.cn (JIN Ye Ph. D. candidate at Harbin Institute of Technology. Her research interest covers pattern recognition and image processing. Corresponding author of this paper.)

宋 玲 哈尔滨工业大学助教. 主要研究方向为图像处理. E-mail: songling2003@hit.edu.cn (SONG Ling Assistant at Harbin Institute of Technology. Her main research interest is image processing.)

刘松波 哈尔滨工业大学讲师. 主要研究方向为模式识别, 智能控制. E-mail: songboliu@hit.edu.cn (LIU Song-Bo Lecturer at Harbin Institute of Technology. His research interest covers pattern recognition and autocontrol.)

唐降龙 哈尔滨工业大学教授. 主要研究方向为模式识别, 人工智能. E-mail: xltang@hit.edu.cn (TANG Xiang-Long Professor at Harbin Institute of Technology. His research interest covers pattern recognition and artificial intelligence.)