

一种基于小波分解的纸币污损检测算法

盖 杉, 刘 鹏, 刘家锋, 唐降龙

(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 150001 哈尔滨, gaishan@hit.edu.cn)

摘 要: 为提高清分系统中纸币污损检测的准确率, 减少撕裂和笔迹等污损对检测的影响, 提出了一种基于小波分解的污损检测算法. 采用仿射变换和小波变换进行纸币图像配准, 运用 Kirsch 算子提取图像边缘信息, 通过计算边缘强度差提取出纸币图像的污损特征, 将纸币图像划分为若干个固定大小子区域, 通过对每个区域的污损特征统计来判断该区域是否存在污损. 实验结果表明污损特征对于图像灰度值相对变化具有较强的抗干扰能力, 同时具有高识别率与高稳定性.

关键词: 纸币清分; 污损检测; 小波变换; 图像配准; 边缘检测

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)03-0054-04

A new algorithm for paper currency defect detection based on wavelet decomposition

GAI Shan, LIU Peng, LIU Jia-feng, TANG Xiang-long

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China, gaishan@hit.edu.cn)

Abstract: To improve the accuracy of defect detection in bank note sorting and decrease the effects of cracks and scratches of bank note on detecting, a new algorithm based on wavelet decomposition is proposed, in which affine transform and wavelet transform are applied to bank note image registration and the edge information is extracted by Kirsch operator, while the defect feature is extracted from edge intensity differential. The bank note image is divided into several fixed size subzones, in each of which the defect feature is calculated to judge the degree of contamination. The experimental results reveal that the proposed feature extraction method is robust to the gray intensity change in each subzone, and obtains high recognition rate and high stability. This method has already been used in practical bank note sorting system.

Key words: bank note sorting; defect detection; wavelet transform; image registration; edge detection

纸币清分包括纸币的面值面向识别、真伪判别、破损和新旧程度的鉴别等几个模块. 当今国内外大多数纸币清分产品都是采用自带光源的线阵式传感器, 通过高速扫描装置经 A/D 转换后获取纸币图像, 然后应用数字图像处理和模式识别的相关技术来认定纸币的面值面向、新旧和污损情况. Takeda, Frosini 等^[1-2] 首先对纸币清分系统进行研究, 并且开始把神经网络的方法应用到纸币识别当中. 文献[3]提出的一种快速有效的纸

币面值面向识别方法, 其识别率在一般情况下都能接近 100%, 同时对于纸币上出现大面积的污损、笔迹的检测结果也是比较理想的. 基于图像的缺损检测技术主要有: 1) 提取图像各种纹理特征的缺损检测^[4]; 2) 直接采用图像匹配技术的结构缺损检测^[5]. 与这 2 种传统的图像缺损检测方法相比, 纸币在流通过程中, 不可避免地会受到磨损、撕裂、污染等因素的影响, 虽然纸币有着固定的印刷图案, 但是在结构和大小上也会存在着细微的差别.

纸币图像和经过小波分解后的近似图像分量边缘之间具有相似性, 因此本文提出了一种基于小波分解的纸币污损检测算法. 纸币图像上的撕

收稿日期: 2009-11-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60702032); 黑龙江省自然科学基金资助项目(QC2009C06).

作者简介: 盖 杉(1980—), 男, 博士研究生;
唐降龙(1960—), 男, 教授, 博士生导师.

裂、笔迹等污损都具有显著的边缘特征,基于上述原因采用 Kirsch 算子提取纸币图像的边缘特征,对图像进行配准之后通过计算待检图像和标准图像之间的边缘强度差来判断待检纸币图像的污损程度。

1 纸币图像配准

图像配准就是对取自传感器的 2 幅或者多幅纸币图像进行叠加、匹配的过程。常见的图像配准方法有:基于矩的配准方法^[6]、基于控制点的配准方法^[7]、基于边缘的配准方法、基于质心点和加权质心点的平面轮廓配准方法^[8]和基于小波变换的配准方法^[9]。鉴于纸币清分系统对速度和实时性的要求,结合纸币图像自身的特点,本文采用崭新无折痕的纸币作为参考图像。对参考图像进行倾斜校正后,认为从参考图像到待检测图像之间仅存在伸缩和平移变换。采用仿射变换模型建立参考图像的像素 $f(x,y)$ 和待检测图像的像素 $I(x',y')$ 之间的对应关系为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_x & 0 \\ 0 & \alpha_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}. \quad (1)$$

式中: α_x, α_y 分别为水平和垂直缩放参数; $\Delta x, \Delta y$ 分别为平移参数。根据文献[10]得到原图像的平移量是图像经过小波分解后近似分量平移量的 2 倍,即原始图像平移量为 $(\Delta x, \Delta y)$,小波分解后平移量为 $(\Delta x', \Delta y')$,两者的关系为 $\Delta x = 2\Delta x', \Delta y = 2\Delta y'$ 。原始图像和经过小波分解后近似分量的伸缩系数是相等的。

参考纸币图像和待检测纸币图像经过一层小波变换后的近似分量分别为 $cA(m,n), cA(u,v)$ 。首先分别求取 2 幅图像的质心点和加权质心点,因为仿射变换对这 2 个特殊点具有不变性。令 $(x_\alpha, y_\alpha), (x_\beta, y_\beta)$ 分别为待检测纸币图像的质心点和加权质心点的坐标, $(x'_\alpha, y'_\alpha), (x'_\beta, y'_\beta)$ 分别为参考图像的质心点和加权质心点坐标。

$$\begin{pmatrix} x'_\alpha \\ y'_\alpha \\ x'_\beta \\ y'_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\alpha & 0 & 1 & 0 \\ 0 & y_\alpha & 0 & 1 \\ x_\beta & 0 & 1 & 0 \\ 0 & y_\beta & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}. \quad (2)$$

通过式(2)可以求出图像配准参数 $\alpha_x, \alpha_y, \Delta x, \Delta y$ 。根据原图像与其小波变换后近似图像坐标之间的关系即原始图像的平移参数(水平和垂直)是近似图像的 2 倍,缩放参数和近似图像的缩放参数相同,将参数值代入式(1)即可以实现原始图像的配准。

2 纸币图像污损特征提取

纸币图像上的折痕和污损都会存在比较明显的边缘,本文用 Kirsch 算子的 8 个 3×3 模板提取纸币图像在不同方向上的梯度特征值。原始纸币图像 $f(x,y)$ 经过第 $M_i (i = 0, 1, \dots, 7)$ 个模板处理后得到第 i 方向上的边缘强度为

$$w_i(x,y) = \frac{1}{15} |M_i f(x,y)|, (i = 0, 1, \dots, 7). \quad (3)$$

本文取 8 个方向边缘强度的最大值作为像素点 (x,y) 处的边缘强度为

$$w(x,y) = \max_{i=0,\dots,7} \{w_i(x,y)\}. \quad (4)$$

式(4)能够很好地反映纸币图像存在边缘的可能性。为了更加地符合人的主观感受本文采用 S 形函数的简化形式把各像素点的边缘强度值映射到 0~1 为

$$E[w(x,y)] = \begin{cases} 0, & w(x,y) \leq \lambda_1; \\ \frac{w(x,y) - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}, & \lambda_1 < w(x,y) \leq \lambda_2; \\ 1, & \lambda_2 < w(x,y). \end{cases} \quad (5)$$

式中 λ_1, λ_2 分别为阈值。从式(5)可以看出边缘强度值对于撕裂、折痕与笔划等显著边缘更加敏感,而且对于像素灰度值的变化具有较强的抗干扰性,所以可以根据参考图像和待检测图像的边缘强度值来判断纸币图像的污损情况。本文假设参考图像 $f(x,y)$ 的边缘强度值为 $E[w_f(x,y)]$,待检测图像 $I(x,y)$ 的边缘强度值为 $E[w_I(x,y)]$,经配准后参考图像 $f(x,y)$ 与待检图像 $I(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 相对应。则 2 幅图像在 (x,y) 处的边缘强度差定义为 $S_{ff}(x,y) = E[w_I(x + \Delta x, y + \Delta y)] - E[w_f(x,y)]$ 。

(6)

纸币图像在流通过程中不可避免地受到各种各样的正常磨损,包括灰尘的侵蚀、纸币油墨逐渐脱落等,这将导致边缘强度逐渐减弱。只有在纸币受到笔划、折痕、撕裂等严重污损情况下,边缘强度才会大幅度地增强,所以本文认为当 $S_{ff}(x,y) \leq 0$ 时,待检测图像 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ 处是不存在污损。令 $D^+(x,y) = \{S_{ff}(x,y) | S_{ff}(x,y) > 0\}$ 作为污损特征。把纸币图像划分为若干个矩形区域,设 δ 为其中的 1 个区域,本文通过统计区域内的污损特征均值来判断是否存在污损为

$$\Phi_\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in \delta} [D^+(x,y)]^2}. \quad (7)$$

式中: Φ_δ 为区域特征均值; N 为区域中含有的像

素个数. 当区域污损特征均值超过某一阈值 η 就认为该区域发生了污损.

3 纸币图像污损检测

纸币图像污损检测的过程可以分为图像配准、污损特征提取、边缘强度差的计算与污损特征统计等步骤. 本文通过把纸币图像划分为若干个矩形区域, 通过计算每个矩形区域的污损特征均值来判定该区域是否有污损发生. 本文算法的具体步骤为:

1) 对参考图像 $f(x, y)$ 和待检测图像 $I(x, y)$ 分别应用小波分解求出两者的近似图像分量 $cA_f(m, n)$ 和 $cA_I(p, q)$.

2) 应用 Kirsch 算子分别提取近似图像的边缘信息, 并且分别求出 2 幅图像的质心点和加权质心点坐标. 应用质心点和加权质心点对于仿射变换具有不变性的特点, 将 2 组坐标代入式(1)和式(2)中, 求出配准参数 $\alpha_x, \alpha_y, \Delta x, \Delta y$ 的值.

3) 通过式(1)得到待检测图像和参考图像各像素的对应关系为

$$I(x + x', y + y') = f(x, y).$$

4) 根据式(5) 计算出待检测图像的边缘强度值 $E[w_i(x, y)]$, 然后根据式(6) 可以得到污损特征 $S_{ij}(x, y)$ 进而得到 $D^+(x, y)$.

5) 将待检测图像分成若干固定大小的矩形区域 δ_i , 根据式(7) 计算每个矩形区域的污损特征均值 Φ_{δ_i} . 如果 Φ_{δ_i} 大于设定的阈值 η , 将该区域标记为污损区域, 然后统计出被标记的污损区域面积.

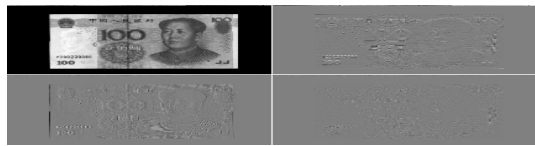
4 实验结果

本文用自行设计的验钞仪采集了 2005 年版 100 元人民币作为实验样本, 其中选取 100 张新币作为参考图像, 随机选取 1 400 张纸币图像作为测试. 由于不同的小波基函数决定了小波变换的效果和效率, 结合纸币图像自身特点和系统实时性的约束, 本文选取核函数比较简单的 Haar 小波. 图 1 为纸币图像的一层 Haar 小波分解. 图 2(a) 为参考图像, 其中在式(5)中计算图像边缘强度时, 2 个阈值分别取 $\lambda_1 = 15, \lambda_2 = 30$, 将计算得到的图像边缘强度从 0 ~ 1 映射到 0 ~ 255, 如图 2(b) 所示. 待检测图像如图 2(c) 所示, 从图 2(c) 中可以看到在纸币图像左侧与毛主席人头右侧均存在笔迹污损. 待检测图像的边缘强度如图 2(d) 所示. 采用式(6) 得到纸币图像的边缘强度差图像, 如图 2(e) 所示. 把纸币图像划分为固定大小的若干个矩形

区域, 本文把纸币图像划分成 60 个大小相同的矩形区域. 然后通过计算污损特征均值进而统计处污损区域面积, 如图 2(f) 所示. 在污损检测过程中, 纸币图像左下方和右侧印有纸币的号码, 由于不同的纸币具有不同的号码, 这将会引起较大的边缘强度差, 可能会被错误地判断为污损区域, 所以本文在检测的过程中对这 2 个区域将不作判断.



(a) 原始纸币图像



(b) Haar 小波一层分解后图像

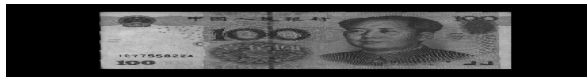
图 1 纸币图像小波分解



(a) 参考图像



(b) 参考图像边缘强度图像



(c) 待检测图像



(d) 待检测图像边缘强度图像



(e) 边缘强度差图像



(f) 污损检测结果

图 2 纸币图像污损检测

对于阈值 η 取不同数值的情况下, 表 1 列出了在实验中识别正确的样本个数、错误的样本个数、正确率以及召回率. 通过实验数据可以分析得到, 增加阈值 η 对于那些具有明显污损特征的检测效果影响不大, 但是对于那些不明显污损特征的检测具有较好的选择性. 当 $\eta = 0.3$ 时, 实验结果能够很好地平衡识别率与误识率之间的矛盾, 当 $\eta \geq 0.4$ 时, 算法能够很好地检测出各种明显污损但是却屏蔽了各种轻微污损. 从表 1 中数据分析得出, 如果降低 η , 可以提升检测的准确度,

但同时增加了误识率. 鉴于在实际应用中,主要针对 80% 以上新的纸币进行污损检测,而且检测的对象绝大部分是具有明显污损的纸币,因此本文算法可以满足实际的需求.

表 1 识别结果

阈值 η	样本数/ 个	正确个数/ 个	错误个数/ 个	正确率/ %	召回率/ %
0.1	1 500	680	820	45.3	97.8
0.2	1 300	758	542	58.3	83.6
0.3	1 000	820	180	82.0	73.5
0.4	800	790	10	98.7	58.6
0.5	700	695	5	99.2	52.7
0.6	600	596	4	99.3	51.9

5 结 论

1)深入研究了纸币图像污损检测原理,提出了一种基于小波分解的纸币污损检测算法. 该算法运用 Kirsch 算子提取纸币图像边缘信息,计算边缘强度差得到纸币图像污损特征,通过统计每个区域的污损特征来判断纸币图像是否存在污损.

2)采用仿射变换和小波分解对纸币图像进行配准,有效地缩短了图像配准需要的时间,满足了纸币清分系统的实时性要求.

3)本文提出的算法能够有效地将纸币污损从复杂的纸币图像背景中检测出来,而且对于低质量纸币 also 具有很好的选择性,取得了较高的识别率.

参考文献:

[1] TAKEDA F, OMATU S. High speed paper currency recognition by neural network [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1995, 6(1):73 – 77.

[2] FROSINI A, GORI M, PRIAMI P. A neural network based model for paper currency recognition and verification [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1996, 7(6):1482 – 1490.

[3] 刘家锋,唐降龙,刘松波. 一种实时纸币识别方法的研究[J]. 计算机研究与发展,2003,40(7):1057 – 1061.

[4] LATIF-AMET A, ERTUZUN A, ERCIL A. An efficient method for texture defect detection: Sub-band domain co-occurrence matrices[J]. Image and Vision Computing, 2000, 18(5): 543 – 553.

[5] ONISHI H, TATSUMI S. A pattern defeat inspection method by parallel grayscale image comparison without precise image alignment[C]//Proceedings of the 2002 IEEE Annual Conference of the Industrial Electronics Society, Seville. Spain: IEEE, 2002: 2208 – 2213.

[6] ZITOV B, FLUSSER J. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(11): 977 – 1000.

[7] 王忆锋,张海联,李灿文,等. 多传感器数据融合中的配准技术[J]. 红外与激光工程,1998,27(1):38 – 41.

[8] MITICHE A, AGGARWAL J K. Contour registration by shape specific points for shape matching[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1983, 22(3): 396 – 408.

[9] STONE H S, MOIGNE L, McGUIRE M. The translation sensitivity of wavlete-based registration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(10):1074 – 1081.

[10] 刘斌,彭嘉雄. 图像配准的小波分解方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(9):1070 – 1073.

(编辑 张 红)