

## 基于颜色退化序列的图像纸币质量评价方法<sup>①</sup>

程丹松<sup>②\*</sup> 金 野<sup>\*</sup> 刘家锋<sup>\*</sup> 唐降龙<sup>\*</sup> 邢树斌<sup>\*\*</sup> 吴 薇<sup>\*\*\*</sup>

(<sup>\*</sup> 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

(<sup>\*\*</sup> 淮海工学院计算机工程学院 连云港 222005)

(<sup>\*\*\*</sup> 廊坊职业技术学院计算机科学与工程系 廊坊 065001)

**摘 要** 研究了纸币退化问题,提出了一种基于颜色退化序列的图像纸币质量评价方法。该方法根据颜色扩散模型建立反映纸币退化程度的图像模式序列,通过该图像模式序列来寻找被检测纸币图像在相应图像序列中的最佳位置,进而对图像质量(新旧、残缺)进行评价。实验结果表明,该方法根据对纸币的退化程度的分析,不但可以对纸币的质量进行评价,还可以提高对低质量纸币的处理能力,大大降低拒识率。而且该方法不但适合纸币图像,还适合其它与之类似的印刷品的质量评价。

**关键词** 颜色退化序列, 纸币评价, 颜色扩散模型(CDM)

## 0 引 言

自 20 世纪 90 年代开始,银行和金融机构对纸币自动处理装置的需求不断增长。基于图像的纸币处理方法,如纸币识别<sup>[1,2]</sup>、纸币缺陷检测<sup>[3-5]</sup>和纸币验证<sup>[6,7]</sup>,都得到了飞速的发展。但是以上方法对纸币在整个流通过程中的退化问题没有进行分析,而整个流通过程中的退化现象对于后续的纸币识别、缺陷检测和鉴伪都会产生影响,所以本文对纸币退化问题进行了分析,根据纸币状态是随着退化程度的不同而逐渐变化这一现象,将其中全局性的且与纸币自身特点及流通时间相关的变化称作全局磨损,如纸币变软、图像模糊、灰暗等现象,将作用于局部的且与纸币特点及流通时间无关的改变看作退化过程中的干扰,称为局部缺损,如孔洞、撕裂和笔划等,并据此提出了基于颜色扩散模型(color diffusion model, CDM)和颜色退化序列(color degradation sequence, CDS)的图像纸币质量评价方法。该方法把纸币退化视为一个全局磨损和局部缺损共同作用的结果,根据该结果可建立图像颜色退化模式序列。在进行纸币检测时,通过预先建立的图像颜色退化

模式序列来寻找被检测纸币图像在相应图像序列中的最佳位置,进而对图像进行质量评价。

本文对基于颜色退化序列(CDS)的纸币质量评价方法进行了详细论述,并给出了其实验结果和结论。

## 1 纸币退化颜色扩散模型

本节提出了基于 CIE XYZ 色彩空间的颜色扩散模型,利用该颜色扩散模型对流通纸币的退化情况进行分析。

因为纸币上的某一点(及其邻域)的颜色由流通环境中的灰尘颜色、扩散环境因素及该点的物理性质三方面决定,所以本文假设灰尘颜色服从正态分布  $W \sim N(\mu_w, \sigma_w^2)$ , 用  $G$  表示局部缺损造成的干扰,  $\mu_w$  表示灰尘颜色期望。对于纸币上某一点  $p$ , 设其原始颜色为  $T_p$ , 退化后的颜色为  $I_p(t)$ , 其中  $t$  为流通时间。由于纸币上各像素点的物理特性不同(有油墨覆盖或无油墨覆盖)导致灰尘微粒扩散性质不同,所以必须区别对待,因此本文将纸币图像上的各像素看作由两部分构成:油墨覆盖部分和空白部分,表达式为

① 国家自然科学基金(51077020),国家博士后科学基金(20100480998),哈尔滨科技人才创新基金(2009RFQXS032,2009RFQXG208),黑龙江省博士后基金(LBH-Z10178),广东省教育部产学研结合项目(2011B090400339),黑龙江省青年科学基金(QC2009C06)和哈尔滨工业大学科研创新基金(HIT.NSRIF.2009159, HIT.NSRIF.2010042)资助项目。

② 男,1972 年生,博士,副教授;研究方向:模式识别,图像处理;联系人,E-mail:cdsinhit@hit.edu.cn  
(收稿日期:2012-05-07)

$$I = \theta I_{\text{blank}} + (1 - \theta) I_{\text{ink}} \quad (1)$$

其中  $I_{\text{ink}}$  表示油墨颜色,  $I_{\text{blank}}$  表示空白底色,  $\theta \in [0, 1]$  表示空白比。

纸币退化的颜色扩散过程如图 1 所示。在整个退化过程中,随着流通时间的增加,  $p$  点处原有颜色逐渐剥落,不断吸附外界灰尘,颜色逐渐改变,在

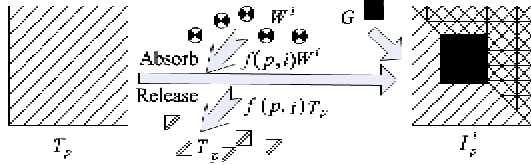


图1 纸币退化的颜色扩散过程

这期间,可能会遭受突然的缺损干扰,使部分区域的颜色发生突然变化,进而导致整体颜色发生突变。因此本文将从  $T_p(t)$  到  $I_p(t)$  的退化过程分为两部分:全局磨损和局部缺损,其中全局磨损  $\hat{I}_p(t)$  被定义为原始颜色  $T_p$  与灰尘颜色期望  $\mu_w$  的混合,  $\rho_p(t) \in [0, 1]$  为  $p$  点的灰尘扩散函数:

$$\hat{I}_p(t) = (1 - \rho_p(t)) T_p + \rho_p(t) \mu_w \quad (2)$$

另外由于为了纸币的颜色不能直接反映绵软和褶皱信息,所以本文使用颜色偏移(颜色差)来对图像进行分析。把从  $T_p$  到  $\hat{I}_p(t)$  的颜色偏移称为磨损色差  $A_p(t)$ , 记作

$$A_p(t) = \hat{I}_p(t) - T_p \quad (3)$$

把在局部缺损的作用下,  $\hat{I}_p(t)$  遭受不可预计的改变称为缺损色差  $D_p(t)$ , 记作

$$I_p(t) = \hat{I}_p(t) + D_p(t) \quad (4)$$

最终,像素点  $p$  的颜色扩散过程,即纸币退化的颜色扩散模型(CDM),可以写成

$$I_p(t) = A_p(t) + T_p + D_p(t) \quad (5)$$

结合前面的分析,并通过在哈尔滨彼得特公司 CF300 系列纸币清分机上对人民币的测试,可以绘制出纸币磨损过程的颜色变化示意图(图2),并得

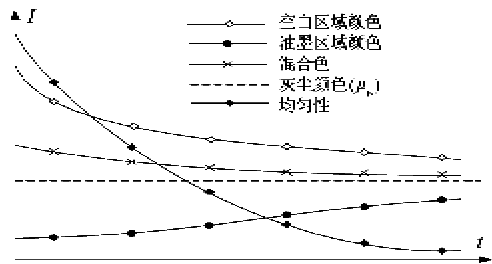


图2 纸币磨损过程中的颜色变化

出以下结论:在纸币退化初期,由于油墨颜色  $I_{\text{ink}}$  深于灰尘颜色,油墨覆盖区域保持稳定,而空白区域会迅速变灰。随着磨损的加重,纸币纸张纤维逐渐断裂,油墨逐渐剥落,纸币颜色逐渐趋近于  $\mu_w$ , 纸币的均匀性特征逐渐增强。

## 2 基于颜色退化序列的纸币评价方法

在纸币图像识别时,将待检测纸币与参考纸币进行比较,计算两者间的匹配距离是纸币图像检测的传统方法<sup>[2]</sup>。但根据本文前面建立的颜色扩散模型(CDM)可知,对于每类纸币,仅选择唯一的崭新图像作为参考图像,参考图像与待检纸币的匹配距离会随着待检纸币退化程度的不同而改变,这必然会影响到纸币特征的检测,进而影响识别的准确性。为了克服这一问题,本文将纸币图像看作一个随着流通时间(磨损程度)改变而改变的图像序列,根据纸币退化模型,对单一的参考图像进行模拟退化,构建一个参考图像序列。从而将纸币检测分解成两个步骤:首先在参考图像序列中挑选待检图像的最佳对应帧,然后将待检图像与参考图像序列的最佳对应帧进行比较,并计算匹配距离,从而大大减小匹配误差,提高检测精度。

### 2.1 纸币参考图像的退化序列

在建立纸币参考图像序列时,将纸币的全局磨损率(general attrition rate, GAR)记为  $\rho$ , 纸币图像  $I$  上任何一点  $p$  的颜色都可以看作是  $\rho$  的函数,记做  $I(p, \rho)$ , 通过对训练样本的统计,可以对  $I(p, \rho)$  进行估计,进而构成退化序列  $T = \{T(\rho)\}$ , 其中  $\rho = 0\%, 1\%, \dots, 99\%$ 。在进行识别时,用一个优化对应帧  $T(\rho_{\text{opt}}) \in T$  表示  $I$  的退化程度,通过比较  $I$  和  $T(\rho_{\text{opt}})$  来确定纸币的质量特征(如残缺、防伪和新旧)。

本文采用上标  $i$  表示纸币的类别,记某类参考图像  $T^i$  上空白区域  $H_{k,l}^i$  在磨损程度为  $\rho_{k,l}^i$  时的颜色均值(颜色相对于灰尘颜色的方差)为  $t_{k,l}^i(\rho_{k,l}^i)$ ,  $\rho^i = [\rho_{k,l}^i]_{K \times L}$  为图像  $T^i$  的磨损系数矩阵,称  $t^i = [t_{k,l}^i(\cdot)]_{K \times L}$  为图像  $T^i$  的磨损函数矩阵。为了得到  $t^i$ , 本文将训练样本根据磨损程度分为崭新、ATM 适用、可流通、不可流通、严重磨损 5 个等级。将 5 类纸币磨损程度依次定义为  $\rho = 0, 10, 30, 50, 80$ 。并采用  $g = 0, 1, 2, 3, 4$  标志纸币从新到旧 5 个等级,在各个级别中挑选币面平整,没有明显扭曲变形的纸币作为样本,采用文献[8]提出的配准方法对样

本进行配准,得到 5 级样本间各像素的对应关系,然后在每等级挑选  $D$  个样本进行训练,将第  $g$  级第  $d$  个样本记为  $T_d^g$ ,记  $T_d^g$  上  $p$  处的颜色值为  $T_d^g(p)$ 。以样本  $T_0^0$  为基准,设  $T_0^0$  上  $p$  点与  $T_d^g$  上的点  $p_d^g$  相对应,统计各等级的标准图像为

$$T(p, \rho_g) = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D T_d^g(p_d^g) \quad (6)$$

其中规定  $\rho_0 = 0, \rho_0 = 10, \rho_0 = 30, \rho_0 = 50, \rho_0 = 80$  分别对应从新到旧 5 等纸币的 GAR 期望。根据标准图像  $T(p, \rho_g)$ ,  $g = 0, 1, 2, 3, 4$ , 对  $\rho_g$  进行插值,得到相应的颜色值,然后进行抛物线插值得到磨损程度与颜色的函数关系,根据 GAR 的不同取值,将参考图像  $T$  扩展为 100 帧的退化图像序列。

## 2.2 灰尘颜色均值

在纸币退化模型中灰尘颜色均值  $\mu_w$  是一重要常量,可以通过上节选中的训练样本(不同新旧成色的同一面值纸币)上无油墨区域(空白区域),如人民币水印区,分别统计各等级的空白区域颜色均值  $\mu_w$ ,记为  $T_{\text{blank}}(\rho)$ ,对于灰尘颜色均值  $\mu_w$  有

$$\mu_w = \lim_{\rho \rightarrow 1} T_{\text{blank}}(\rho) \quad (7)$$

## 2.3 基于颜色退化序列纸币评价方法

根据颜色扩散模型,  $t_{k,l}^i(\cdot)$  为单调函数,采用梯度下降法,容易得到上式的最小值,作为待检纸币与第  $i$  类纸币间的匹配距离,记为  $E^i$ 。在进行检测

时,记待检测图象  $I$  上与  $H_{k,l}^i$  相对应的区域为  $\hat{H}_{k,l}^i$ ,记  $\hat{H}_{k,l}^i$  的颜色均值为  $x_{k,l}$ ,称  $\mathbf{x} = [x_{k,l}(\cdot)]_{K \times L}$  为图像  $I$  的特征矩阵。本文定义  $[x_{k,l}(\cdot)]_{K \times L}$  与  $\mathbf{t}^i = [t_{k,l}^i(\cdot)]_{K \times L}$  之间的匹配距离为

$$E(\mathbf{x}, \boldsymbol{\rho}^i, \mathbf{t}^i) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (x_{k,l} - t_{k,l}^i(\rho_{k,l}^i))^2 + \alpha \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=1}^{L-1} ((\rho_{k+1,l}^i - \rho_{k,l}^i)^2 + (\rho_{k,l+1}^i - \rho_{k,l}^i)^2) \quad (8)$$

式(8)中的第 1 项为色差项,表示待检纸币与模拟退化后的标准纸币的颜色差异。第 2 项为退化平滑项,反映了相邻区域退化程度的一致性; $\alpha$  为加权系数,反映二项的折中。

## 3 实验结果

为了测试基于颜色退化序列评价方法的性能,本文分别从识别、新旧和残缺三个方面对纸币进行分析。

首先分析一下识别效果。表 1 分别显示了本文方法和文献[1]方法所得到的实测样本的识别率、误识率和拒识率。通过对实验数据的对比分析,可以看出本文方法较文献[1]方法取得了更高的识别率和更低的拒识率与误识率。

表 1 测试数据的(%)

| 方法            | 五元    | 十元    | 二十元   | 五十元   | 一百元   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 文献[1]方法识别率(%) | 96.20 | 97.10 | 97.08 | 96.60 | 97.50 |
| 本文方法识别率(%)    | 97.50 | 98.00 | 98.50 | 98.50 | 99.78 |
| 文献[1]方法误识率(%) | 0.24  | 0.20  | 0.36  | 0.32  | 0.27  |
| 本文方法误识率(%)    | 0.15  | 0.14  | 0.21  | 0.22  | 0.06  |
| 文献[1]方法拒识率(%) | 3.56  | 2.70  | 2.56  | 3.08  | 2.23  |
| 本文方法拒识率(%)    | 2.35  | 1.86  | 1.18  | 1.17  | 0.16  |

接下来,利用纸币退化序列中全局磨损来判定纸币的新旧程度。实验对比结果如表 2 所示。通过两者的对比可以看出,本方法能够比较准确地反映纸币的真实退化规律,进而完成纸币新旧成色的分类,而且通过对比还可以看出本文方法对以前检测效果不佳的美元及印尼盾<sup>[4]</sup>都有明显的提高,尤其是印尼盾。

在残缺检测方面,本文使用局部缺损来判定纸币残缺程度。图 3 显示了污损检测的过程和结果。

表 3 和表 4 分别列出了本文方法和文献[4]方法在污损检测过程中对于不同污损的误检率和漏检率,通过对比分析可以看出,对于较浅污损,本文使用的纸币退化序列方法比我们之前在文献[4]使用的 BDE 方法更有效,对于较深污损的检测,两者效果相当。

总的来说,基于纸币退化序列的方法,在匹配时逐点考虑了纸币的退化程度,匹配效果好,使后续的特征检测准确率更高,分类效果更好。

表 2 全局磨损评估准确率(%)

|                   |        | USA<br>100 | Euro<br>50 | China<br>100 | India<br>500 | Indonesia<br>100000 | Nigeria<br>1000 |
|-------------------|--------|------------|------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------|
| 本文<br>方法          | 崭新     | 94.1       | 97.3       | 97.7         | 96.7         | 92.1                | 97.7            |
|                   | ATM 适用 | 95.5       | 98.7       | 98.9         | 98.1         | 92.3                | 98.3            |
|                   | 可流通    | 94.1       | 98.0       | 98.8         | 98.4         | 91.7                | 98.9            |
|                   | 不可流通   | 93.9       | 98.1       | 98.4         | 97.9         | 95.0                | 97.7            |
|                   | 严重污损   | 93.8       | 97.8       | 96.9         | 97.7         | 98.0                | 97.0            |
| 文献<br>[4] 的<br>方法 | 崭新     | 92.1       | 97.4       | 97.3         | 96.1         | 88.9                | 97.3            |
|                   | ATM 适用 | 94.5       | 98.5       | 98.7         | 97.9         | 90.3                | 98.0            |
|                   | 可流通    | 93.6       | 97.8       | 98.2         | 97.6         | 89.2                | 97.6            |
|                   | 不可流通   | 91.8       | 97.2       | 98.4         | 97.4         | 94.4                | 97.6            |
|                   | 严重污损   | 92.5       | 97.9       | 97.8         | 97.9         | 97.6                | 97.1            |

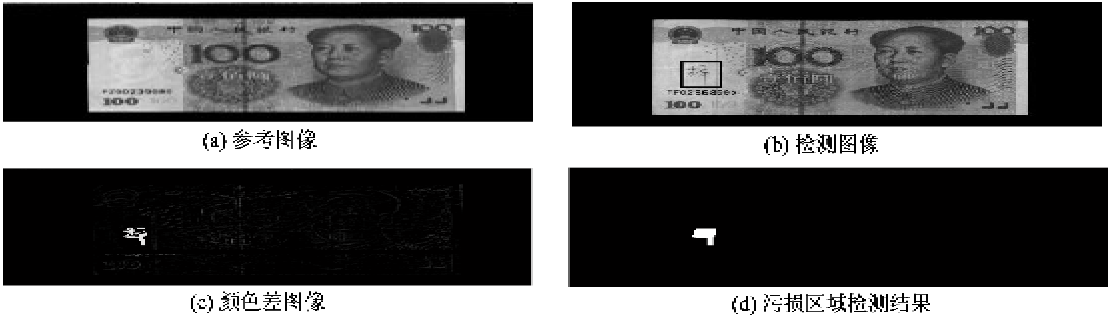


图 3 纸币图像污损检测

表 3 局部缺损误检率(%)

|         | USA 100 | Euro 50 | China 100 | India 500 | Indonesia 100000 | Nigeria 1000 |
|---------|---------|---------|-----------|-----------|------------------|--------------|
| 本文方法    | 7.0     | 4.4     | 4.7       | 4.2       | 3.3              | 4.4          |
| 文献[4]方法 | 7.1     | 4.3     | 4.6       | 4.2       | 3.9              | 4.5          |

表 4 局部缺损漏检率(%)

|                   |    | USA 100 | Euro 50 | China 100 | India 500 | Indonesia100000 | Nigeria1000 |
|-------------------|----|---------|---------|-----------|-----------|-----------------|-------------|
| 本文<br>方法          | 撕裂 | 23.2    | 17.4    | 18.0      | 18.3      | 18.7            | 17.2        |
|                   | 污渍 | 4.6     | 2.1     | 2.2       | 2.6       | 7.0             | 2.7         |
|                   | 涂写 | 11.4    | 7.0     | 6.4       | 7.6       | 5.4             | 7.2         |
|                   | 孔洞 | 0.8     | 0.3     | 0.2       | 0.3       | 0.2             | 0.4         |
| 文献<br>[4] 的<br>方法 | 撕裂 | 23.1    | 17.6    | 18.5      | 18.1      | 18.9            | 18.3        |
|                   | 污渍 | 4.7     | 2.7     | 2.6       | 2.9       | 7.3             | 2.7         |
|                   | 涂写 | 11.8    | 7.8     | 6.9       | 7.6       | 5.4             | 7.2         |
|                   | 孔洞 | 0.8     | 0.3     | 0.2       | 0.4       | 0.2             | 0.4         |

4 结 论

本文针对纸币退化问题,建立了反映纸币退化状态的模拟退化序列,并根据颜色扩展模型和颜色退化模型对纸币图像进行质量评价。实验证明该方法可以有效地反映纸币的磨损程度,改善了特征检

测效果,提高了后续特征检测准确率。而且该方法不仅适合纸币图像,还适合其它与之类似的印刷品的质量检测。

参考文献

[1] Choi E, Lee J, Yoon J. Feature extraction for bank note classification using wavelet transform. In: IEEE Interna-

- tional Conference of Pattern Recognition, HongKong, China, 2006. 934-937
- [2] Sharma A, Paliwal K K. Improved nearest centroid classifier with shrunken distance measure for null LDA method on cancer classification problem. *Electronic Letters*, 2010, 46(18):1251-1252
- [3] 钱斐斐. 纸币残损状态识别技术研究[硕士学位论文]. 上海:上海交通大学电气工程学院,2011. 31-41
- [4] Jin Y, Song L, Tang X L, et al. A hierarchical approach for banknote image processing using homogeneity and FFD model. *IEEE Signal Processing Letters*, 2008,15: 425-428
- [5] 金野, 程丹松, 唐降龙等. 基于色彩均匀性特征的纸币污损检测算法. 哈尔滨工业大学学报, 2008,40(6): 948-951
- [6] 韩江, 吴建霖, 李良初等. 智能红外测厚技术在纸币检伪中的应用. 机械工程与自动化, 2010, (1):32-37
- [7] 何佳兵, 李习伦, 刘松波等. 纸币清分机系统的研究与开发. 机电工程技术, 2007,36(8): 29-32
- [8] 鲁珊雷, 英杰, 孔韦韦等. 基于直觉模糊距离的图像配准算法. 控制与决策, 2011,26(11):1670-1674

## An image-based banknote evaluation method based on color degradation sequence

Cheng Dansong\*, Jin Ye\*, Liu Jiafeng\*, Tang Jianglong\*, Xing Shubin\*\*, Wu Wei\*\*\*

(\* School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(\*\* Department of Computer Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005)

(\*\*\* Department of Computer Science and Engineering, Langfang Polytechnic Institute, Langfang 065001)

### Abstract

The problem of banknote degradation was studied, and an image-based banknote evaluation method based on color degradation sequence was proposed. The method builds an image pattern sequence according to the color diffusion model to measure the degree of color degradation, detects the best position of the banknote image in the image sequence using the image pattern sequence, and then evaluates the image quality (old, or new, or incomplete). The experimental results show that the algorithm constructed based on analysis of the degradation extent of banknotes, can not only evaluate the quality of banknotes, but also improve the capacity of handling low-quality notes, greatly reducing the rejection rate. The method is not only suitable for the quality evaluation for paper money images, but also for other similar printed stuff.

**Key words:** color degradation sequence, banknote evaluation, color diffusion model (CDM)