

基于光变油墨透射图像的人民币鉴伪技术^①

李 健, 娄 震

(南京理工大学 计算机科学与技术系, 南京 210094)

摘 要: 传统的利用色敏传感器和油墨的变色机理设计的算法和系统, 在实用方面面临着硬件设计复杂和点钞机的内部空间限制等问题. 针对这种情况, 提出了一种在普通单摄像头条件下利用变色油墨的彩色图像的颜色信息来实现鉴伪功能的方法. 在同一色温的条件下, 对于利用 CMOS 图像传感器 MT9T001 采集到的变色油墨区域图像, 通过得到变色油墨数字本身的颜色和背景颜色的色差, 作为特征的主成分, 结合其他二维颜色特征, 利用最近邻分类器, 可以达到鉴别真假币的目的. 实验结果表明, 该算法具有抓假率高和误报率低的特点, 与现有一些算法相比, 不仅简化了硬件设计和空间需求, 而且在满足低误报率的情况下具有很好的抓假性能, 并且已经成功应用于某嵌入式系统中.

关键词: 人民币; 变色油墨; 鉴伪; 色温; 色差; 最近邻

RMB Authentication Technology Based on Color Ink Image

LI Jian, LOU Zhen

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The traditional algorithm and system designed by using the color sensitive sensors and the mechanism of changing color of the color ink is facing the complicated hardware design and constrains about the space inside the banknote counting machine in the practical aspects. In view of this, an algorithm of using the color information of the color ink image based on a single ordinary camera to effectively achieve authentication is proposed. Under the condition of the same color temperature, the color aberration between the color of the color ink themselves and the background color is treated as the principal component of features, and the other color features are combined, it can achieve whether the currency is true or false by the nearest neighbor classifier in the color ink image which is acquired by the CMOS image sensor—MT9T001. Experimental results show that the false accept rate(FAR) is high and the false alert rate is low. Compared with the existing algorithms, it did not only simplify the hardware design and space requirements, it also has a good performance of grasping the false. Now it has been applied to an embedded system.

Key words: RMB; color ink; authentication; color temperature ; color aberration; the nearest neighbor

纸币是国家发行的货币符号, 是目前货币的主要流通形式, 在国民经济活动中起着至关重要的作用. 而假币的存在和蔓延严重干扰了正常的经济秩序. 由于造假手段的发展, 假币种类也不断增多, 识别难度也越来越大. 我国已经发行的第五套人民币, 加深了对传统的一些防伪技术的研究和应用, 例如固定水印、雕刻人像、安全线、凹版印刷等^[10]防伪技术. 此

外, 还应用了多项具有国际先进水准的防伪技术, 其中就包括光变油墨印刷^[6]. 由于光变油墨防伪技术造假难度大, 所以安全性很高, 该技术已被成功应用于多个国家的纸币的防伪.

随着数字图像技术的发展, 利用图像来鉴伪越来越受到重视. 当前也有很多有关变色油墨图像鉴伪的研究. 其中, 王明顺^[1]等人利用了变色油墨变色的机理.

^① 基金项目:国家自然科学基金(61233011)

收稿时间:2014-10-30;收到修改稿时间:2014-12-17

因为在同一光源不同的照射角度下,光变油墨数字的颜色存在明显的变化,通过分类算法将变色油墨数字本身和油墨所在区域的背景分开,分别得到 R、G、B 三维均值,然后再通过训练样本集和感知器算法得到判别函数,实现鉴伪的功能.王琦^[2]等人则利用色敏传感器获得真、假变色油墨的透视图像,根据得到的 RGB 分量的大小关系建立判别规则来判别真伪.

本文提出了一种单光源单摄像头下变色油墨图像的鉴伪方法.先选取一部分真币作为样本,获取到变色油墨区域的图像.把该变色油墨区域图像中变色油墨数字所在的区域称为前景,其像素点为前景色点,其颜色对应为前景色,除去油墨数字之外其余部分称为背景,其像素点为背景色点,其颜色对应为背景色.由于干扰等各种原因,获取到的油墨图像中总会有一些像素点(尤其是前景色点和背景色点接壤的那些边缘像素点)颜色比较模糊,甚至当纸币走钞太倾斜时会导致获取到其他干扰像素或不完整的油墨区域图像,称这些模糊或者干扰像素点为过渡像素点.除去这部分像素点后,通过对该变色油墨图像区域变色油墨前景色点和背景色点进行一个统计,然后根据一定的策略对变色油墨区域图像进行二值化.在同一色温下,分别对真币和假钞的变色油墨和背景像素之间的色差作为颜色特征,结合其他二维图像特征,通过训练再利用最近邻算法得到判别规则,从而完成鉴伪.

1 利用光变油墨图像进行鉴伪的流程

光变油墨是现流通的大额人民币的很重要的一个鉴伪点,该防伪技术是难以被仿制.以一百元人民币

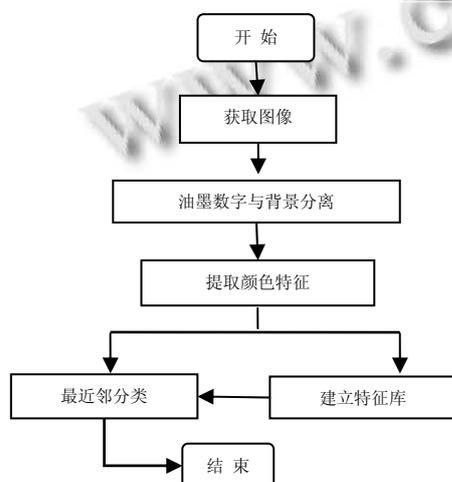


图 1 鉴伪流程图

变色油墨图像为基础,探讨一下光变油墨防伪技术.整个鉴伪的过程如图 1 的流程图所示.

1.1 图像的获取

在一百元和五十元人民币正面的左下角都会有一个面额数字,比如下图 2 所示为一张第五版(05 版)百元纸币,左下角红色框位置即为变色油墨所在的位置(第四版人民币的变色油墨位置相对偏右一点).虽然纸币进入点钞机有四种不同的进钞状态,但是可以根据冠字号码与变色油墨的相对位置信息得到大致的变色油墨区域的图像^[7],再结合纸币版本(第四版或第五版)的差别就可以很准确的定位出变色油墨数字所在的区域了,从而就获得了变色油墨图像区域的图像.



图 2 一百元人民币的变色油墨位置

本文利用南京理工 SPEED 科技有限公司的型点钞机采集变色油墨区域的透视图像来完成实验算法,该款机型的摄像头使用的是 CMOS 图像传感器 MT9T001.如下图所示是在该图像传感器下采集到的真、假变色油墨区域的透射图.

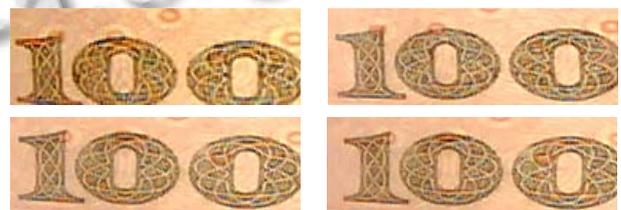


图 3 真币变色油墨区域透射图像



图 4 假币变色油墨区域透射图像

图 3 和图 4 分别给出了四张真、假变色油墨区域

图像. 从中可以看到, 真币的变色油墨数字“100”的透射图像整体呈现红底“灰蓝色”, 而假的变色油墨的透射图像整体呈现的却是红底绿色. 由于一百元人民币整体票面偏红色, 所以变色油墨区域图像背景偏红色. 而真币的变色油墨垂直方向看呈绿色, 倾斜一定角度呈蓝色, 而假的变色油墨由于做不到变色这一点, 不管什么角度观看都呈现绿色, 这就是为什么采集的真、假变色油墨的前景色分别呈现不同颜色的原因.

1.2 变色油墨数字与背景的分离

首先我们通过对采集的大量变色油墨区域图像进行统计, 得到过渡像素点占整个区域像素一定的比例(约为 20%左右), 该比率用 Km 来表示. 为了能够清楚的反映前景色(变色油墨数字的颜色)和背景之间颜色的差异, 先假设前景色点和背景色点各自占总像素的比率是 Kf 和 Kb , 从而有 $Km + Kf + Kb = 1$.

假设变色油墨区域图像是 $pImg$, 宽是 W , 高是 H , 然后在绿通道 G 下得到图像的直方图, 假设直方图是 $Histogram[256]$, 设二值化后的图像是 $Buf0$ 、 $Buf1$, 假设 g_{max} 是前景色点(变色油墨数字, 颜色较暗)所对应的最大灰度级, g_{min} 是背景色点所对应的最小灰度级, 当我们给出 Kf 和 Kb 的经验值以后, 分别根据如下的公式 $\sum_{i=0}^{g_{min}} Histogram[i] \leq W * H * Kf$ 和 $\sum_{i=g_{max}}^{255} Histogram[i] \leq W * H * Kb$ 编写程序即可得到 g_{max} 和 g_{min} , 然后根据如下公式(1)对 $pImg$ 进行二值化,

$$Buf0[i] = \begin{cases} 1, & G[i] < g_{min} \\ 0, & \text{其他;} \end{cases} \quad (1)$$

结果保存到 $Buf0$ 中, 然后再根据如下公式(2)对 $pImg$ 进行二值化, 结果保存到 $Buf1$ 中.

$$Buf1[i] = \begin{cases} 1, & G[i] > g_{max} \\ 0, & \text{其他;} \end{cases} \quad (2)$$

以上二值化的过程又称之为比例二值化, 即二值化阈值的选取是由先前给定的比例决定的. 这里要说明的是, 虽然前景色点和背景色点的颜色的灰度级并没有明显的界限, 甚至相互交叉, 但是因为我们给定的比例 Kf 和 Kb 的和小于 1, 也就意味着中间一些交叉点或干扰点都作为过度像素点而被忽略, 不作处理. 这样, 我们通过两次比例二值化, 根据二值化的结果, 就可以在原图上分离得到需要处理的前景图像和背景图像, 以进行下一步的处理.

1.3 变色油墨数字与背景的分离

G.D.Finlayson^[4]等人提出了一种能够很好的去除图像中阴影的方法. 在现实生活中, 当我们拍照的时候, 受到日光的直接照射的事物也会受到阳光的反射、散射等等多重光线的照射, 在图片上会是很亮的一块区域, 称为非阴影区域, 而被遮挡住阳光的事物由于没有受到阳光的直接照射会形成阴影, 在图像上这块区域就会很阴暗, 称这块区域为阴影区域. 这样非阴影区域和阴影区域的色温就不同. 假设现有坐标系 XY , 其中 $x = \log(R / G)$, $y = \log(B / G)$. 在该坐标系下, 我们根据阴影区域和非阴影区域的颜色差异(色差)来得到并消除图像中的阴影^[4].

本文也将利用这一思想来对变色油墨的真假进行判断. 从图 3 和图 4 中可以看到, 由于透射和反射等原因, 加上票面主色偏红色, 使得整个变色油墨区域图像偏红色. 而且由于前景和背景的透射情况是不同的, 这样前景和背景可以看成是受到不同的光照. 对于前面得到的前景和背景的二值化图像, 知道 $Buf0[i] = 1$ 表示在原图上 $pImg[i]$ 为前景点(即变色油墨数字本身的点), $Buf1[i] = 1$ 表示在原图上 $pImg[i]$ 为背景图像点. 我们分别得到前景点和背景点的 RGB 三个颜色分量的平均值, 分别作为对其所在部分的像素值的总体估计.

按照前面的思想, 对于本文的变色油墨区域图像和坐标系 XY , 我们令 $x = \log(R / B)$, $y = \log(G / B)$. 对于同一幅图像, 分别算出前景和背景像素的平均值 $\overline{R_f}$ 、 $\overline{G_f}$ 、 $\overline{B_f}$ 以及 $\overline{R_b}$ 、 $\overline{G_b}$ 、 $\overline{B_b}$, 投影到坐标系 XY 上, 得到对应的坐标 $A(x_1, y_1)$ 和 $B(x_2, y_2)$, 那么不同的变色油墨图像形成的线段 AB 将都是平行的.

如下图 4 所示, 每一条不带空心圆点的实线段代表的是从真币变色油墨所获取的点 A、B 对应的线段, 而由空心圆点来表示的 A、B 连接起来的线段则是由假币变色油墨得到的. 而真币线段的方向实际上就代表了色温的方向. 由于现实的情况对假设不是严格成立的, 所以这些真币形成的线段也不是严格平行的. 但是, 我们可以对色温的方向进行一个很好的估计, 使得真币样本的线段两端离色温线的距离矢量差的方差最小.

如图 4 所示, 图中的虚线的方向就代表用我们最小二乘法估计的色温线的方向.

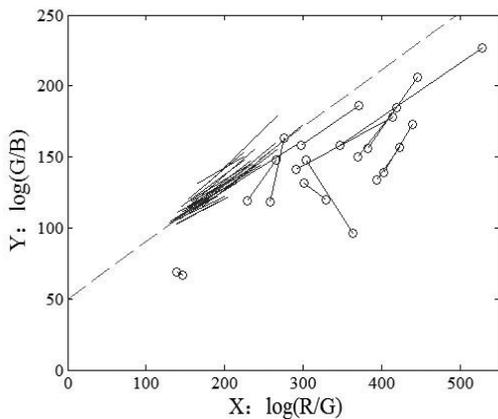


图 4 真、假变色油墨形成的色温线 AB

1.4 根据特征得到判假规则

为了提高实验对假币的抓假率和降低对真币的误报, 我们选择一个三维的特征来作为判假依据. 首先根据上一节的算法得到 d_{color} , 该距离作为要提取的特征的主成分. 其次, 我们发现真币变色油墨数字本身整体有些偏蓝色, 而假币的“变色”油墨数字呈现绿色, 因此, 我们将变色油墨数字本身的 B 和 G 分量 $\overline{B_f}$ 、 $\overline{G_f}$ 分别作为特征的另外两维, 这样我们就得到了以色差为主成分的三维特征 $(d_{color}, \overline{B_f}, \overline{G_f})$, 假设三维特征各自的权值分别为 k_{color} 、 k_b 、 k_g .

那么对于同样的机器, 其在正常工作情况下, 我们可以假设得到的图像是在色温相对一致的情况下得到的, 即色温线的方向是比较固定的. 那么我们算出 A、B 两点到色温线的距离矢量差, 得到的就是前景

和背景在相同色温下的色差的大小. 假设色温线的斜率是 k_{color} , 线段 AB 的斜率是 k_{AB} , 其所在直线方程是

$$y = k_{AB} \cdot x + b \quad (b = y_1 - k_{AB} \cdot x_1), \text{ 那么色差就是:}$$

$$d_{color} = \frac{|y_2 - (k_{color} \cdot x_2 + b)|}{\sqrt{(1 + k_{color} \cdot k_{color})}} = \frac{|(y_2 - y_1) - k_{color} \cdot (x_2 - x_1)|}{\sqrt{(1 + k_{color} \cdot k_{color})}} \quad (3)$$

接下来对提取的特征应用最近邻算法以判别变色油墨图像的真伪. 选取一部分真币和假币样本, 提取所有这些样本的三维矢量特征, 生成一个包含真和假变色油墨特征的矢量库. 通过改变这三维特征所对应的权值, 算出样本与库中各矢量的带权值的欧氏距离 d , 根据最近邻算法判断真假, 其中 d 计算如下:

$$d = \sqrt{k_{color}^2 * (d_{color} - d_i)^2 + k_b^2 * (\overline{B_f} - \overline{B_i})^2 + k_g^2 * (\overline{G_f} - \overline{G_i})^2} \quad (4)$$

其中 $(d_{color}, \overline{B_f}, \overline{G_f})$ 即表示从当前图像提取特征形成的三维特征, $(d_i, \overline{B_i}, \overline{G_i})$ 表示特征库中所含的每一个特征矢量.

2 实验结果

随机选择该机型的某台机器, 我们采集真币变色油墨图像和变色油墨为假的假币该区域图像, 从中选取一部分作为训练样本集. 先选定特征各分量的权值后, 接下来, 利用最近邻算法对真币样本和假币样本分别进行训练, 确定权值后, 对试验样本进行测试, 最终试验结果如下表(1)所示(只列出最优的三组实验结果):

表 1 不同权值向量下的实验结果

权值向量	真币训练样本(张)	假币训练样本(张)	真币(张)	假币(张)	抓假(张)	误报(张)	抓假率(%)	误报率(%)
(0.8,0.1,0.1)	70	10	1300	45	30	1	0.667	0.00076
	321	25	3000	125	92	1	0.736	0.00033
(0.7,0.15,0.15)	70	10	1300	45	34	0	0.756	0.0
	321	25	3000	125	102	1	0.822	0.00033
(0.6,0.2,0.2)	70	10	1300	45	31	2	0.688	0.00154
	321	25	3000	125	90	1	0.720	0.00033

表 2 文献[2]中的实验结果

版别	真假	样本(张)	走钞次数/张	抓假率	误报率	拒识率
2005	真	10	10		0.01	0.01
	假	6	10	0.983		0.017
1999	真	6	10		0.033	0.033
	假	6	10	0.967		0.033

对一个点钞系统来说,至少要保证误报率在千分级别及以下,才能算是一个合格的点钞系统.从表1可以看到,在保证误报率在千分级别及以下的情况下,在权值为(0.7,0.15,0.15)的分布下,本文算法达到了最好的实验效果,利用变色油墨鉴伪这一模块可以获得的抓假率能达到82.2%,其误报率和抓假率都比较理想,完全可以应用到实际的系统中.而文献2中方法给出的结果虽然抓假率很高,但是其平均退钞率却高达1%至2%之间,而且其误报率也高,超过1%,这些都说明该系统稳定性差,算法不满足实际需求,对在实际使用中的系统而言也是万不能接受的.而且其实验数据较少,不能充分的证明其结果的可信度.文献1虽然抓假率高,但是它需要同时获得纸币在正面和侧面分别照射后的图像,得到相应的R、G、B值,再加以判断,因此需要设计两个方向的光源,这无形中增加了硬件设计的复杂度和对点钞机内部狭小的空间的过度占用.因此在单摄像头单光源的情况下,综合考虑,本文中的算法有一定的优势.

3 结语

本文通过对文献3和4中提出的颜色算法加以研究和改造,并结合本研究的实验背景,实现了一种在单摄像头单光源下利用人民币变色油墨透射图像进行鉴伪的方法,通过对同一色温下色差的差异来区分真假币,取得了良好的实验效果.与1和2相比,在保证抓假率的前提下,简化了对图像传感器和多光源的需求.该方法有助于提高点钞机的鉴伪能力,已经成功应用于南京理工SPEED科技有限公司的CMOS点钞机中.当然,该算法也有不足之处,实际的走钞环境

和采集环境复杂多变,并不是都符合假设的条件,而且纸币的纸币自身的新旧等差别也会对实验结果产生一定的影响,这是有待进一步考虑的.

参考文献

- 1 王明顺,王俊生.基于DSP的纸币光变油墨自动识别的研究.中国图象图形学报,2009,14(5):950-956.
- 2 王琦.人民币伪钞识别模块的研究与开发[学位论文].重庆:重庆大学,2011.
- 3 Finlayson GD, Hordley SD, Lu C, Drew MS. On the Removal of the Shadows from Image. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(1): 59-68.
- 4 Forsyth DA, Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach. 北京:电子工业出版社,2012.
- 5 刘琳.点钞机鉴别技术探讨.电子产品可靠性与环境试验, 2012,30(5):115-117.
- 6 徐遵燕.光学变色防伪油墨的设计原理.印刷器材,2011, (3):40-42.
- 7 刘炜.人民币冠号码识别与图像鉴伪技术研究及应用[学位论文].南京:南京理工大学,2011.
- 8 钱荣.一种外币检测鉴伪系统的研究与实现[学位论文].南京:南京理工大学,2012.
- 9 谢剑斌,秦陈刚,陈章永,程永茂,刘通.基于透射图像纹理的纸币快速鉴伪方法.仪器仪表学报,2010,31(8):1776-1781.
- 10 杨平.几种纸币鉴伪方法的研究.研究与探讨,2009,(3):84-85.
- 11 索双富,孙晋厚,肖丽英.点钞机鉴伪技术发展趋势.机器设计与制造,2007,(12):199-201.
- 12 王旭,马建峰.数字图像分析与模式识别.北京:科学出版社, 2011.