

基于伪双目立体成像自动识别新技术

曹 晟 聂旭云 陈 峥

(电子科技大学 成都 610054)

摘 要 现有的人民币伪钞等打印信息的识别技术主要是对钞票上的安全线、水印、磁性油墨、荧光油墨等物理特性进行识别。随着伪造技术的发展,特别是随着 HD90、TJ55、AZ88、WL15、YX86 等仿冒手段不断提高的伪钞的出现,对人民币的鉴别技术提出了一种更高的要求。提出了一种基于人民币凹版印刷特性,利用普通平板扫描仪进行钞票的伪双目立体成像,对其浮雕纹理进行计算机自动识别,进而实现真、伪钞鉴别的新方法。通过实验验证了该方法的正确性和实用性。给出了基于此方法的伪双目立体成像扫描仪的快速验钞机原型设计。

关键词 伪双目立体成像,浮雕纹理识别,验钞机,自动识别

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

New Auto Identification Technology on Paper Currency Using Pseudo Binocular Stereo Imaging

CAO Sheng NIE Xu-yun CHEN Zheng

(University of Electric Science & Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract The current paper money identification techniques are based on safe-line, watermark, magnetic inks, fluorescence ink, etc. Along with the development of fake technology, the anti-counterfeit technology needs new ways. This paper presented a brand-new anti-counterfeit method, which is based on the intaglio character of the paper currency, using a common flatbed scanner to achieve the pseudo binocular stereo image of the paper currency, and recognizing the relief texture to identify the real or fake currency. Furthermore, we also brought out a pseudo binocular stereo scanner prototype, which is a better currency detector with high efficiency. With the benefits of this scanner, our method can be applied automatically and is much faster.

Keywords Pseudo binocular stereo imaging, Relief texture identification, Currency detector, Auto identification

1 引言

随着人民生活水平的日益提高和市场交易的频繁,以伪钞为代表的打印信息制品越来越多地出现,严重扰乱了正常的社会经济秩序。现在市面上流通的人民币有十余种防伪特征,目前的验钞技术主要是针对钞票中的磁性物质、荧光物质和光学特性进行研究和设计^[1]。随着图形图像处理技术、高精度扫描、高分辨率打印、数字化印刷等计算机相关技术的不断发展^[2],钞票伪造技术也在随之发展,特别是 2009 年 1 月出现的“HD90”系列,2011 年 8 月出现的“TJ55、AZ88、WL15、YX86”系列等伪钞,其伪造技术越来越成熟,其伪造点主要是强烈针对现有的验钞机来做的,致使相当一部分验钞机无法对其进行鉴别,给社会的金融秩序和人们的生产生活带来混乱和不安,给人民币的鉴别技术提出了更高的新要求。

世界各国的钞票为了不被仿制、假冒,常用到雕刻凹版印刷技术,人民币也不例外^[3]。除了主题内容的需要,防止伪造是雕刻凹版印刷的主要功能。采用雕刻凹版印刷技术所印制的钞票表面有强烈的“凹凸感”,便于人眼识别,且雕刻凹版印

刷技术生产工艺复杂,难以仿冒,“摸凹凸感”成为一个重要的鉴别措施。如何将“摸凹凸感”转化成机器自动识别的过程,让验钞机也能够“摸凹凸感”成了摆在研究人员面前的一大挑战。针对这一问题,提出了一种使用普通平板扫描仪进行钞票的伪双目立体成像,对其表面三维浮雕纹理进行计算机自动识别,进而实现伪钞鉴别的新方法。

本文首先介绍了雕刻凹版印刷技术的特点,说明了为什么可以针对其进行假钞的识别;分析了使用平板扫描仪进行伪三维识别的实现过程;提出了使用手动和程序自动方便进行伪三维识别的具体步骤和实验结果;更进一步,给出了基于上述思想的伪三维识别扫描仪即快速验钞机的原型设计,使得整个过程可以完全由机器自动进行;最后,为将来的工作指出了方向。

2 雕刻凹版印刷技术

雕刻凹版,本是一种版画艺术,由画家在铜版上雕刻出均匀、细致的线条,组成清晰美观的图案,再涂上油墨后印刷到纸张上。雕刻凹版印刷设备属国家专控设备,必须经过有关

到稿日期:2011-05-03 返修日期:2011-07-18 本文受中国高技术研究发展计划 863(2008AAO1Z402),成都市科技攻关计划(10GGYB548GX-023),国家科技支撑计划国际贸易区域经贸合作与流通促进平台关键支撑技术研究(2009BAH46B03)资助。

曹 晟(1981-),博士,讲师,主要研究方向为信息安全、自动识别技术等;聂旭云(1975-),博士,副教授,主要研究方向为信息安全、图像处理等;陈 峥(1981-),博士,讲师,主要研究方向为信息安全、通信编码。

部门审批才能引进,因而,采用雕刻凹版印刷的印品具有较好的防伪性。当今世界上各国的钞票、邮票、公债券、股票等有价值证券,一般都采用雕刻凹版来印刷。图1所示人民币中的毛主席头像便是使用了手工雕刻凹版印刷技术。



图1 人民币中的雕刻凹版印刷

雕刻凹版印制出来的印刷品,粗线条墨层厚实、在纸面上略略凸出。图2是普通印刷品和雕刻凹版印刷品的横切面对比图。从中可以看出,普通印刷品的墨层光滑地覆盖在纸质基底之上(亦或是浸入纸质基底之中),表面光滑,没有凹凸感;而雕刻凹版印刷品由于工艺特殊,凹版的凹陷部位能够转印更多的油墨,使得印刷品上的墨层厚薄不一,因而有着独特的凹凸手感,使之具有了防伪性能。

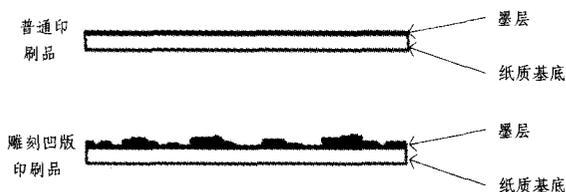


图2 雕刻凹版印刷与普通印刷的比较

目前针对雕刻凹版印刷品的真伪识别进行研究的工作不多,其主要基于透视成像技术^[4,5],使用光电子学技术来处理,未能挖掘计算机学科在本领域能起的作用。一方面,其识别效果受透视过程中的光线和角度制约,另一方面,这些识别方法都不是完全由机器自动完成,识别过程中需要人的手工干预。本文采用平板扫描仪进行伪双目立体成像以对雕刻凹版印刷品进行自动真伪识别,取得了更好的效果和价值。

3 伪双目立体成像技术

三维成像技术经过多年的发展,已被广泛地应用到工业制造、医学、材料性、军事科学等众多领域^[6,7]。常见的三维成像技术有时差测距法、三角测距法、立体视觉法、色度成像法等等。双目立体视觉法(Binocular Stereo Imaging)是其中最重要的一种方法,它基于视差原理并利用成像设备从不同的位置获取被测物体的两幅图像,通过计算图像对应点间的位置偏差,来获取物体三维几何信息^[8,9]。本文对钞票鉴别这一特定需求,通过归纳设计模式的自动识别思想^[10],基于平板扫描仪这一特殊工具,对双目立体视觉法进行了简化,提出了一种基于平板扫描仪的伪双目立体成像技术。

一台常见的平板扫描仪结构如图3所示,其中最重要的光学成像部分主要由灯管、反光镜、透镜和传感器组成。灯管(一般为冷阴极灯管)所发射的白光在纸面上产生漫反射后,先是穿过一个很窄的缝隙,形成横向光带,又经过一组反光镜,再由光学透镜聚焦并进入分光镜,经过棱镜和红绿蓝三色滤色镜得到的RGB三条彩色光带,分别照到各自的CCD上,CCD将RGB光带转变为电子信号。

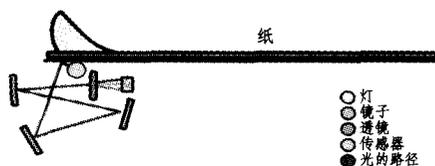


图3 平板扫描仪工作原理图

可以看出,扫描仪的光路并不是与纸面呈 90° 垂直,而是有一个小的倾角 α 。当扫描普通印刷品时,由于印刷品表面光滑平整,因此倾角 α 对于成像并无显著影响。但是如果所扫描的为雕刻凹版印刷品,由于光路倾斜的缘故,倾角 α 将会对成像产生一定的影响。其光路如图4所示。

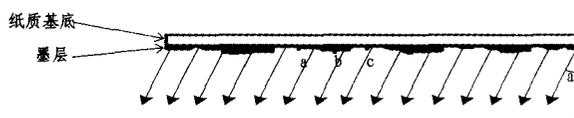


图4 扫描凹版印刷品光路图

假设印刷品上存在3个点 a, b, c ,在垂直方向观测,它们之间的距离 $\overline{ab} = \overline{bc}$ 。但是如果使用扫描仪以一个 α 的倾角对这3个点进行扫描,则由于 b 点处的墨层较厚,产生了1个相对位移。令 \overline{ac} 的中点为 b' ,在 b 点处墨层厚度 $\tau = \overline{bb'}$,则在扫描仪上产生的侧向位移为 Δ ,如图5所示。

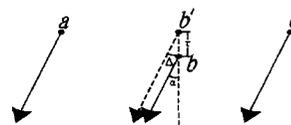


图5 局部点详细光路图

由于扫描仪光路倾角 α 的出现,使得 b 点与 b' 点在成像上产生了一个小的侧向位移 Δ 。具体地,侧向位移 Δ 、墨层厚度 τ 以及扫描仪光路倾角 α 三者之间的关系为:

$$\Delta = \tau \cdot \sin \alpha$$

为了让计算机能够感知并计算出这个小的侧向位移 Δ ,提出了使用两次扫描的方法。假设第一次扫描的方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c$,则将所扫描的雕刻凹版印刷品颠倒过来,即扫描方向变为 $c \rightarrow b \rightarrow a$ 。两次扫描的光路图如图6所示。

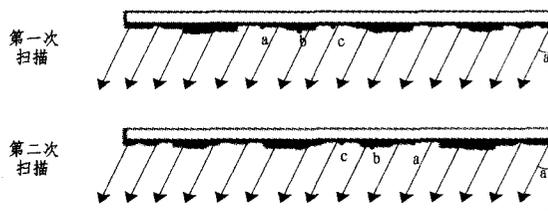


图6 两次扫描光路图

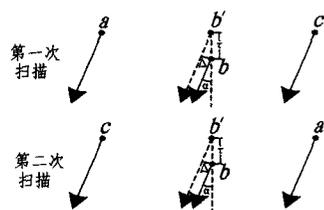


图7 两次扫描局部点详细光路图

图7展示了两次扫描局部点详细光路图:点 b 在第一次

扫描时,成像位置向点 c 的方向偏移了一个小的侧向位移 Δ ; 而点 b 在第二次扫描时,成像位置向点 a 的方向偏移了一个小的侧向位移 Δ 。如果能够确定点 a 和点 c 的位置,则两次扫描所得到的点 b 的位置将为有一个 2Δ 的偏移,可以通过测算这个 2Δ 的偏移,以及已知的扫描仪倾角 α ,由下式计算得到点 b 处墨层的厚度 τ 。

$$\tau = \Delta / \sin \alpha$$

将这种两次扫描求偏移进而计算垂直方向厚度的方法,称为伪双目立体成像法。

现在市场上的普通平板扫描仪分辨率大致为 $1200\text{dpi} \times 1200\text{dpi}$,较为高档的平板扫描仪如 EPSON V700,其分辨率可以达到 $6400\text{dpi} \times 6400\text{dpi}$ 。所谓 6400dpi ,即每英寸可以有 6400 个采样点,相邻采样点之间的间距约为 $4\mu\text{m}$,如果扫描仪光线倾角 $\alpha \approx 30^\circ$, $2\tau = 2\Delta / \sin \alpha \approx 8\mu\text{m}$,则能够识别的最小墨层厚度约为 4 微米,而凹版的凹入深度一般为 $25 \sim 35$ 微米,最深可达 40 微米甚至更深。因此,使用伪双目立体成像法足以识别雕刻凹版印刷品。

4 实验方案和结果

我们设计了一系列的实验来验证前面所提想法的正确性和有效性。

4.1 手工识别方案和结果

首先使用扫描仪对 100 元人民币的正面进行两次扫描:先从正方向进行扫描,再将人民币颠倒进行反方向扫描。由于雕刻凹版印刷在毛主席头像的右侧颈部凹版的凹入深度最深,因此将两次扫描得到的毛主席头像的右侧颈部图像局部放大,如图 8 所示。

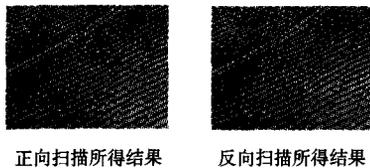


图 8 两次扫描局部放大图

用肉眼对比观察尚无法分辨两幅图片之间的区别。将这两幅图片分别打印到两幅透明胶片上,再将这两幅透明胶片叠放到一起。在叠放的时候注意将浅色的纹理重合在一起,则深色部分的纹理就无法完全重合,而是有一个小的偏差,如图 9 所示。



图 9 两次扫描局部放大叠加图

可以明显看到,深色区域有明显的加粗甚至重影出现。由此可以判定,所扫描的人民币上有明显的“凹凸感”,即该人民币为真钞。反之,如果上图没有出现明显的加粗甚至重影,则可以判定,所扫描的人民币上没有明显的“凹凸感”,即该人民币为假钞。

4.2 程序自动识别方案和结果

上述过程证明了本方案的正确性,即平板扫描仪能够对人民币的表面三维浮雕纹理进行识别。接下来给出一种程序自动化的方法,让计算机能够自动地进行识别和辨认。具体的步骤如下:

- 1) 正向扫描人民币,扫描得到图片 A。
- 2) 反向扫描人民币,将扫描得到的图片进行 180° 翻转得到图片 B;在肉眼上 A 与 B 无区别。
- 3) 分别对图像 A 和图像 B 使用 Hough 变换,检测其上的定位点坐标,分别为 $\{[a_{A1}, b_{A1}], [a_{A2}, b_{A2}], [a_{A3}, b_{A3}], \dots, [a_{Ai}, b_{Ai}]\}$ 和 $\{[a_{B1}, b_{B1}], [a_{B2}, b_{B2}], [a_{B3}, b_{B3}], \dots, [a_{Bj}, b_{Bj}]\}$ 。
- 4) 假设图像 B 相对于图像 A 在 x 轴方向上平移距离为 D_x ,在 y 轴方向上平移距离为 D_y ,并且以某一点 $[C_x, C_y]$ 为中心进行了角度为 γ 的旋转,假设图像 A 上的某一点 $[a, b]$ 在图像 B 上所对应的坐标为 $[a', b']$,那么 $[a, b]$ 和 $[a', b']$ 的关系如下式所示:

$$a' - C_x = ((a - C_x)^2 + (b - C_y)^2)^{1/2} \cdot \sin(\gamma + \arctan((b - C_y) / (a - C_x))) + D_x$$

$$b' - C_y = ((a - C_x)^2 + (b - C_y)^2)^{1/2} \cdot \cos(\gamma + \arctan((b - C_y) / (a - C_x))) + D_y$$

带入 $\{[a_{A1}, b_{A1}], [a_{A2}, b_{A2}], [a_{A3}, b_{A3}], \dots, [a_{A7}, b_{A7}]\}$ 和 $\{[a_{B1}, b_{B1}], [a_{B2}, b_{B2}], [a_{B3}, b_{B3}], \dots, [a_{B7}, b_{B7}]\}$,可将未知量 D_x 、 D_y 、 $[C_x, C_y]$ 和 γ 通过插值方法解出,并对图像 A 根据计算出的 D_x 、 D_y 、 $[C_x, C_y]$ 和 γ 进行平移和旋转,将原本图像 A 上的像素 $[a, b]$ 转换到位置 $[a', b']$,其中 $[a', b']$ 可由下式求出:

$$a' = ((a - C_x)^2 + (b - C_y)^2)^{1/2} \cdot \sin(\gamma + \arctan((b - C_y) / (a - C_x))) + D_x + C_x$$

$$b' = ((a - C_x)^2 + (b - C_y)^2)^{1/2} \cdot \cos(\gamma + \arctan((b - C_y) / (a - C_x))) + D_y + C_y$$

- 5) 新建图像 C,其坐标 $[a, b]$ 的像素灰度值为 $g_C(a, b) = |g_A(a, b) - g_B(a, b)|$,其中 $g_A(a, b)$ 和 $g_B(a, b)$ 为图像 A、B 在坐标 $[a, b]$ 的像素灰度值。

通过上述方法所得到的图像 C 即为所扫描图像的伪三维图像,它是通过编制相应的计算机程序来实现的。一张 100 元面值人民币真钞的伪三维图像如图 10 所示。



图 10 100 元人民币的伪三维图像

为了与之进行对比,我们将一张 100 元人民币进行复印,制作了一张表面光洁的假钞,然后使用前文所述方法生成了伪三维图像,如图 11 所示。



图 11 100 元人民币假钞的伪三维图像

通过上述两幅图片的对比,可知真钞的伪三维图像中有“印记”,而伪钞则没有,因此可以让程序自动对钞票上的“凹凸感”进行识别,进而检测出真、假钞。对于真伪钞的伪三维图像的区别,可以采用模板匹配的方法,通过设定真钞模板,将图像与之进行匹配,设定一个相识度的阈值,大于该阈值则为真,反之为假。这一过程已经可以完成^[11,12]。

5 伪双目立体成像扫描仪原型设计

上述实验方法能够成功地对真、假钞进行鉴别,仍然需要人工干预(人工两次扫描),不是一个完全的机械自动化过程。为了使整个过程完全机械化和自动化,设计出了一种伪双目立体成像扫描仪,即快速验钞机,其工作原理如图 12 所示。

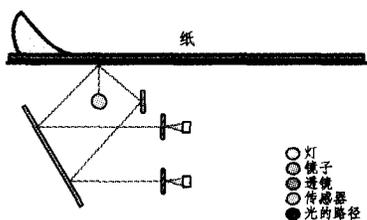


图 12 伪双目立体成像扫描仪工作原理图

该伪双目立体成像扫描仪采用了两套透镜和传感器组,而进入这两个传感器的光路分别来自纸面的左右两侧,它们之间呈一个约 90° 的夹角。其中左侧光路经过反射镜的一次反射进入传感器,而右侧光路要通过两面反射镜的两次反射才进入传感器。这样,上下两个传感器相当于人的左右眼,分别从两个方向对所扫描的印刷品进行观察,其所产生的图片分别对应于上述两次扫描方法得到的图像 A 和图像 B,对其进行简单的灰度值相减便得到所扫描的印刷品的伪三维图像。

通过这个伪双目立体成像扫描仪就可以避免上述方法中的人工干预步骤,而且所得到的图像 A 和图像 B 天然地对齐,不用再进行定位、平移、旋转等图像处理步骤,整个过程能够快速而方便地将有“凹凸感”的真钞和没有“凹凸感”的假钞区分开来。我们依照本文描述的方法,采用 C# 语言编制了相应的程序软件包,从中国农业银行重庆市分行获得 400 份真假钞,其中以 HD90、TJ55 等开始的系列假钞共 33 份,使用普通的银行验钞机,进行了数据测试和分析,结果表明伪钞鉴别的准确率达到 100%。

结束语 通过平板扫描仪进行二次扫描,对所扫描印刷品进行表面伪双目立体成像,使得可以通过机器自动化的方法对钞票表面的“凹凸感”进行鉴定,从而实现了一种真、伪钞鉴定的新方法。其主要特点有:

1. 提出并实现了通过表面三维成像进行真、伪钞鉴别的新方法,该方法具有智能性,任何已存在或新制造出的印刷品均可通过本自动识别的方式检验出来。这种自动识别技术依

赖于雕刻凹版工艺的独特性和保密性,从而保证了假钞在本鉴定方法面前无法蒙混过关。

2. 本方法所使用的平板扫描仪技术成熟,价格低廉。伪双目立体成像扫描仪也只需对现有的平板扫描仪进行一定的改进,使得本方法应用成本低廉,便于大规模普及。

同时,还有若干需要继续研究的内容,总结如下:

1. 对钞票的表面平整度要求较高,当钞票严重陈旧、破损或者变形时,对识别率有影响;

2. 不同年代、版本、面额的纸币有着不同的表面三维浮雕纹理,如何对历年来钞票的表面三维浮雕纹理进行学习和自动分类鉴别,是值得继续研究的内容。

只要纸币仍然作为经济生活的重要媒介被广泛使用,纸币伪造技术和假币鉴定技术之间的斗争就不会结束。本文提出的假币鉴定方案,第一次将摸“凹凸感”这一被广泛使用的假币鉴定技术进行了机器的自动化,使验钞机增加了一项重要的鉴定真伪的标准,为国家的经济安全又增加了一道保险锁。

参考文献

- [1] 索双富,孙晋厚,肖丽英.点钞机鉴伪技术发展趋势[J].机械设计与制造,2007,12(4):65-67
- [2] 曹晟,杨洁,王晓京.打印信息防伪认证的一种逻辑签署技术及应用[J].计算机工程,2008,34(2):89-91
- [3] 识别假币要点[R].北京:中国人民银行,2004
- [4] Yoshizawa T, Hidaka J, Seto J. Banknote verification using 3D profilometry techniques[C]// Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE)2008. Newroom: Springer, 2008: 13-17
- [5] 刘承香,阮双琛,胡学娟.基于浮雕处理的红外数字图像鉴伪技术研究[J].激光与红外,2007,6(05):23-27
- [6] Ding M, Yang L. 3D stereoscopic imaging and its application[J]. Acta Electronica Sinica, 1995, 10(12):124-128
- [7] Turner J. Introduction to stereo imaging[J]. Methods Cell Biol, 1981, 2(05):1-11
- [8] 刘然.基于计算机立体视觉的双目立体成像研究[D].重庆:重庆大学,2007
- [9] Tangelder J W H, Veltkamp R C. A Survey of Content Based 3D Shape Retrieval Methods[J]. Multimedia Tools and Applications, 2009, 31(1):145-156
- [10] 周晓宇,徐宝文,赵丽.一个设计模式自动识别技术研究框架[J].计算机科学,2009,36(5):124-128
- [11] Shawe-Taylor J, Cristianini N. Kernel methods for pattern analysis[M]. Cambridge: Cambridge Univ, 2004: 101-109
- [12] 田娟,郑郁正.模板匹配技术在图像识别中的应用[J].传感器与微系统,2008,27(1):45-49