

Research of Coin Classification Algorithm Based on Image Processing

Manli Wang^{1,2}, Rongzu He¹, Cuixia Ma³, Hong'an Wang³

¹School of Electrical and Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

²Beijing Key Laboratory of Intelligent Processing for Building Big Data, Beijing

³Institute of Software Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: 1246196506@qq.com

Received: Sep. 28th, 2018; accepted: Oct. 13th, 2018; published: Oct. 20th, 2018

Abstract

Currently, aiming at the problem that the cost of the coin identification system in the coin trading of the automatic selling machine is too high, this paper designs an algorithm with low cost and high recognition rate. The algorithm mainly takes several common methods of image processing to complete the detection and identification of coins. The core method is to save the information of the circular coin into a two-dimensional array by means of polar coordinates, and then perform feature extraction and feature comparison, and finally perform recognition and determination. The algorithm can effectively avoid the influence of various factors such as the color, size, pattern and illumination of the coin. After a large number of experiments, the correct rate of the algorithm is stable and recognition speed is high, so it has certain application value.

Keywords

Image Processing, Coin Recognition, Polar Coordinates, Matrix

基于图像处理的硬币分类 算法研究

王满丽^{1,2}, 何荣祖¹, 马翠霞³, 王宏安³

¹北京建筑大学电气与信息工程学院, 北京

²建筑大数据智能处理方法研究北京市重点实验室, 北京

³中国科学院软件研究所, 北京

Email: 1246196506@qq.com

收稿日期: 2018年9月28日; 录用日期: 2018年10月13日; 发布日期: 2018年10月20日

摘要

针对目前自动售卖机器的硬币交易中硬币识别系统成本过高的问题, 本文提出了一种成本低且识别率高的硬币分类算法。该算法主要运用图像处理的几种常用方法来完成硬币的检测和识别。核心方法是利用极坐标的方式把圆形硬币的信息转化为二维数组的方式保存, 再进行特征提取与特征比对, 最终进行识别判定。该算法有效避免了硬币颜色、大小、图案和光照不同等各种因素的影响, 经过大量实验验证, 该算法的识别速率快且识别结果正确率稳定, 因此有一定的实用研究价值。

关键词

图像处理, 硬币识别, 极坐标, 矩阵

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国经济社会的飞速发展, 无人售货这一新颖的购物方式越来越普及。硬币是一种使用范围最广, 使用寿命最长的货币。硬币在无人售货的交易中充当着重要角色, 然而与之伴随出现的是大量硬币的分拣问题, 特别是公交公司、银行、超市和一些无人零售的企业。因此如何快速识别硬币面额来完成各种硬币的分类分拣, 成为有效开展无人售货这一购物方式的关键。

目前硬币识别的方法主要有颜色识别法[1], 图像识别法[2], 电涡流传感器识别法等, 这类识别法所受环境因素影响较大, 很难保证稳定的准确率。也有一些利用 EDA 技术、传感器、智能控制技术等进行硬币识别, 这类识别准确率改善明显, 但是这些实验仪器较贵, 成本过高。

综上, 可以设计一种高效识别且成本较低的硬币识别系统, 就此本文提出了一种基于图像处理方法对硬币进行定位及识别的算法。核心算法是利用极坐标方法把圆形硬币信息转换存储到二维矩阵中, 再进行特征提取, 特征比对, 最终完成识别。此算法可以解决所有圆形物品的识别问题, 因此不受硬币形状的约束, 能有效避免硬币图案、颜色和一定光照的影响, 确保了硬币识别的可靠性。经过大量实验验证, 此算法识别速率快, 准确率高, 受环境因素影响较小, 而且识别成本低, 有一定的实用研究价值。

2. 硬币识别流程设计

2.1. 硬币特征分析

目前在市场上流通常用的硬币有六种, 1角、5角、1元各两种版本。它们的共同特征为: 均是圆形, 有一定的厚度和质量, 有颜色, 是钢芯镀镍材质, 且随着面额的增大半径依次增大。硬币的一面有一个大的数, 另一面是图案面及生产年份等。

2.2. 硬币识别流程

首先是采集图片, 用摄像头在硬币的正上方拍摄, 保证硬币圆形信息完整。硬币放置位置随意, 不需要刻意调整角度。通过摄像头采集到的原始图像应该先进行图像预处理: 彩色图像灰度处理, 边缘提

取——确定图像位置；边界定位——确定图像大小。再归一化采样、特征提取、极坐标转换、矩阵模板二值化处理、存储特征模板、进行特征比对、与设定阈值比较、最终完成识别[3]。具体流程图如图 1 所示。

3. 硬币图像预处理

3.1. 彩色图像灰度处理

在做任何图像处理的实验之前，都需要对图像进行预处理。图像预处理能有效去除一些干扰信息，便于准确定位硬币位置，使得最终的识别结果更可靠。

摄像头实际拍摄到的图片是 RGB 彩色图像，RGB 彩色图像所占内存较大，而且还会因为光照大小和拍摄角度等原因造成较大干扰，这将导致 RGB 图像所包含的无用信息较多，因而无法直接进行识别。相比较 RGB 图像而言，灰度图像占有的内存小，且提供的信息单一有效。

综上，图像预处理第一步就是将采集到的彩色图像进行灰度处理。图像灰度处理常见方法：最大值法、平均值法和加权系数法。本文用 `rgb2gray()` 语句可以进行 RGB 图像转化为灰度图像，没有设定阈值，对比度效果不错，读者可根据实际情况设定阈值来提高对比度。灰度处理图像如图 2 所示。

3.2. 图像滤波

摄像头拍摄的原始图像通常都会引入噪声，严重影响图像质量。中值滤波方法可以有效的消除噪声，并且完好的保存边缘像素，中值滤波处理可以使图像变得更平滑。

中值滤波是取当前像素点及其周围的几个点共奇数个点(可以选取一个待滤波像素点及其周围的 8 个点，共 9 个点)按像素值大小顺序排序后再去中间值来代替当前点的像素值。如图 3 所示中，待滤波点 A 的像素值为 135，对其周围的八个点一起按小到大的顺序排列后，像素值由小到大的顺序是：34、35、89、123、124、135、147、245、245。取中间值代替 A 点原有的像素值。则中值滤波后 A 点像素值由 135 变成 124。中值滤波后各点像素值变化如图 4 所示。

4. 边缘检测和图像定位

4.1. 边缘检测

图像处理中边缘检测常用的算子有六种：Sobel、Roberts、Prewitt、log、Canny 和 zeroscross 算子[4]。本文采用 Sobel 算子进行边缘检测，Sobel 算子主要是对于像素的位置的影响做了加权，可以降低边缘的模糊程度，因此边缘检测效果更好。该算子包含两组 3×3 的矩阵，一组是横向矩阵，一组是纵向矩阵，它们分别与图像做平面卷积，即可分别得到横向亮度差分近似值和纵向的亮度差分近似值。

如果 A 为原始图像， G_x 和 G_y 分别代表经横向和纵向的边缘检测的图像，其公式如(1)、(2)所示。最终图像显示结果如公式(3)所示。

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (1)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (2)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3)$$

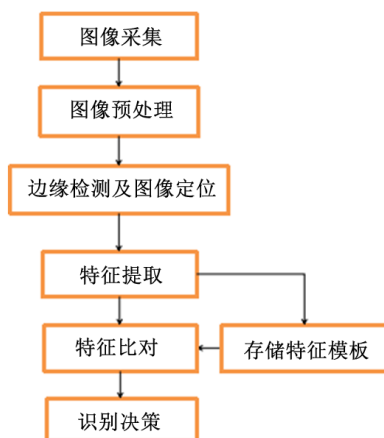


Figure 1. Coin identification flow chart
图 1. 硬币识别流程图



Figure 2. Grayscale processed image
图 2. 灰度处理图像

123	34	89
35	135	245
245	147	124

Figure 3. Image pixel to be filtered
图 3. 待滤波图像像素

34	35	89
123	124	135
147	245	245

Figure 4. Median filtered result image
图 4. 中值滤波后结果图像

图像的每一个像素的横向及纵向梯度近似值可用梯度计算的公式(4)，计算出图像梯度大小。

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right) \tag{4}$$

如果公式(4)计算结果为 0，则代表图像该处拥有纵向边缘，左方相比较右方而言较暗。边缘检测结果如图 5 所示。

4.2. 边界定位

确定了图像边缘后，找到上下左右边缘的极点作水平线和垂直线截图出来进行图形的边界定位[5]。则矩形图像正中心为圆心位置。取矩形的长 a 与宽 b 的值的平均值的一半大小作为半径 r 的大小。

$$r = (a + b) / 2 \quad (5)$$

确定边界后再根据圆形度公式来判定这是不是圆形。设定阈值为 0.94，允许一定的误差。大于阈值就认定为圆，继续进行硬币识别步骤。否则认为不是圆，提示这不是硬币。圆形度公式(6)：

$$e = 4\pi S / C^2 \quad (6)$$

计算公式(6)描述的是面积乘上 4π 除以周长的平方。用来判断图形是否相似于圆形。当 e 为 1 时，图形即为圆形； e 越小，图形越不规则，与圆形的差距越大。

周长 C 求法：

$$C = 2\pi r \quad (7)$$

面积 S 求法：

$$S = \pi r^2 \quad (8)$$

边界定位结果如图 6 所示。

5. 硬币识别

5.1. 特征提取方法

由于圆形的特殊性，我们无法根据图形来判断圆形硬币的角度是否存在偏移。因此需要根据硬币图案的内容位置的相对变化来衡量硬币的角度偏移，也就是在图像预处理步骤中需要多加一个图像角度矫正的步骤。这种方法的确可行，但是图像预处理过程时间增加，识别快速性降低。本文提出一种方法：将圆形图像信息转化成方形矩阵保存，即将圆形看成极坐标图形，确定圆心后给定角度和半径大小就可以对圆形里的点进行唯一表示。

具体操作步骤如下：首先，设定半径的阈值，范围是 $a-r$ ，其中 a 的范围是

$$r/6 < a < r/4 \quad (9)$$

因为半径过小时采样点过于密集，容易发生重叠，半径过大则采样部分占整个硬币的比例过小，最后识别结果难免不准确。本文 a 取值为 $r/5$ 。采样图像如图 7 所示。

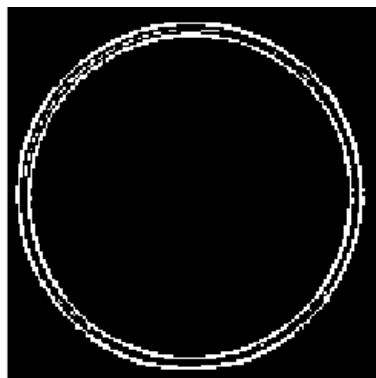


Figure 5. Edge extraction result
图 5. 边缘提取结果



Figure 6. Boundary positioning result
图 6. 边界定位结果



Figure 7. Coin sample point image
图 7. 硬币采样点图像

接下来，在一个硬币上画十个半径为 r_i 的同心圆和 360 个半径，其中

$$r_i = a + d(i-1) \quad (10)$$

$$d = (r - a)/10 \quad (11)$$

每隔 1 度画一条半径，平分整个圆形就画了 360 个半径。它们的交点共有 3600 个点，组成一个 10×3600 的矩阵。设定角度个数为矩阵的行数，半径个数为矩阵的列数，角度为 0 度且半径最小的点为初始点，将 3600 个点排列成矩阵，再读取每一个交点的像素值进行保存。此时得到的矩阵如图 8 所示。

其中图 8 的像素值在 0~255 不等。

5.2. 存储特征模板

灰度图像有 0~255 级一共 256 个灰度等级，使得图像可以看见明暗变化，在特征提取中，主要目的是将目标与背景明显地区分出来，若将灰度图像转换成二值图像，像素值只有 0, 1，图像黑白分明，结果显示更清晰，更直观。灰度图像转化成二值图像的方法有很多，本文定义一种方法：取一个像素点 A (像素值为 135，如图 9 所示)看它是否比左边相邻的三个点的像素值之和的平均值大，如果是则将 A 点的像素值设成 1，否则将 A 点的像素值设成 0。其公式表示如下：

$$A = \begin{cases} 1, A > (A_{1-} + A_{0-} + A_{2-})/3 \\ 0, A \leq (A_{1-} + A_{0-} + A_{2-})/3 \end{cases} \quad (12)$$

对 A (像素值为 135)进行所提的方法计算得:

$$135 > (123 + 35 + 245) / 3 = 134.44 \quad (13)$$

由(13)计算结果可知 A 点像素应设成 1。结果如图 10 所示。

依据这种方法将所有像素点进行二值处理将得到只含有像素值为 0 和 1 的二值特征模板。二值特征模板如图 11 所示。

5.3. 数据库建立

根据本文前面所述步骤,把目前流通的常用版本的硬币的正、反两面拍照后均做成二值矩阵特征模板保存到文件夹作为数据库。此处不用刻意调整角度。

5.4. 特征比对

硬币识别过程:有了数据库,将待识别的硬币的特征模板与数据库中的特征模板进行比对,这里要考虑到角度偏移问题。



Figure 8. Information transformation matrix template
图 8. 信息转化矩阵模板

123	34	89
35	135	245
245	147	124

Figure 9. Before binary image pixels
图 9. 待二值化图像像素

123	34	89
35	1	245
245	147	124

Figure 10. A point binarization result
图 10. A 点二值化结果

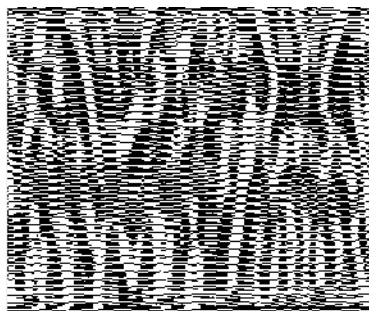


Figure 11. Binary feature template
图 11. 二值特征模板

本文提出的解决方法为循环相减法,具体方法为:将待识别硬币的特征模板矩阵 M 与数据库中的特征模板矩阵 N 进行图像相减,记录与每个特征模板像素相减的差值取模再求和的值 X [6],公式如下:

$$X = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{3600} |M(i, j) - N(i, j)| \quad (14)$$

将 X 与设定的阈值 Y 进行比较,若 $X \leq Y$,则识别结果为特征模板的那种硬币;若 $X > Y$,则将 M 的列数向左偏移一列组成新的矩阵(即第 i 列为第 $i-1$ 列,第 1 列则为第 360 列),得到新的矩阵模板 $M1$ 再与数据库中的特征模板矩阵 N 进行公式(14)计算得到 $X1$ 。 $X1$ 与 Y 再进行比较。这样最多循环 360 次,若没有找到比设定阈值小的差值,判定结果为不是该种硬币。换一个数据库中的特征模板继续如此做即可 [7]。

该算法排除了圆形大小不一和角度偏差的问题。建立的特征模板也完美的避开了一定的光照影响。因为在同一光照下,像素点之间的关系是固定的。

6. 识别结果及结果分析

6.1. 识别结果

本文随机选取几种硬币进行实验,实验结果如图 12(a)、(b)、(c)、(d)所示。

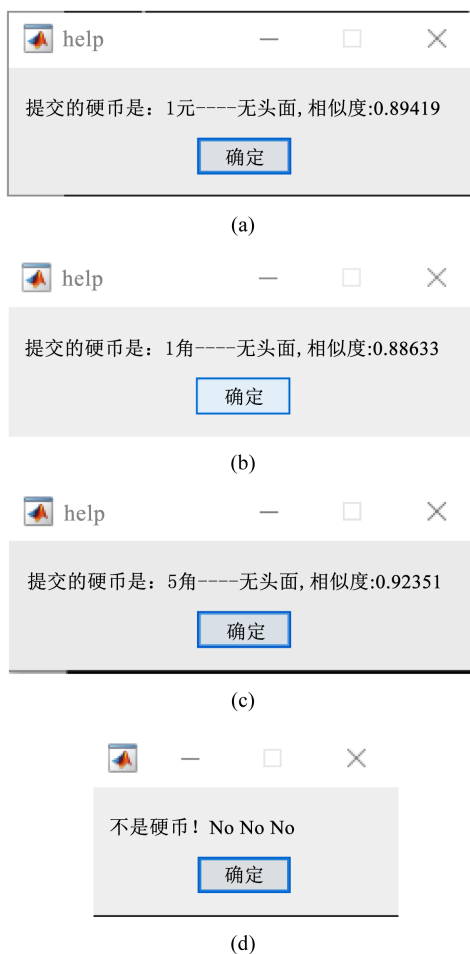


Figure 12. Coin recognition result, (a) One yuan recognition result, (b) One jiao recognition result, (c) Wu jiao recognition result, (d) Non-coin recognition result

图 12. 硬币识别结果, (a) 一元识别结果, (b) 一角识别结果, (c) 五角识别结果, (d) 非硬币识别结果

6.2. 结果分析

经过大量实验验证, 本文提出的基于图像处理的硬币识别分类算法的理想预期功能均已实现, 最终的硬币识别相似度在 0.9 左右浮动。为什么不是 1? 可能原因如下: 硬币表面不够清洁, 污渍会影响识别结果; 摄像头没有在图像的正上方导致圆形硬币信息缺失; 光照过大或过小等等。

7. 结论

本文提出的算法对光照要求适当减少, 该算法摆脱了硬币形状的约束, 利用图像处理的知识完成了硬币识别, 阐述了极坐标信息转化成矩阵信息的应用。该算法核心方法是巧妙地将圆形信息转换存储到二维矩阵中, 该方法可以解决一类圆形物品的识别问题, 具有长远的应用性。实验证实该算法识别速率快, 识别结果稳定, 在当今无人售卖的购物方式兴起的大背景下, 此算法有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 关山. 智能小区安防监控系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- [2] 龚声蓉, 刘纯平, 王强. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 余飞, 刘思宏. 基于特征值的模式匹配算法[J]. 宜宾学院学报, 2014(12).
- [4] 詹杰斯. 物料状态图像检测法可靠性的 DEM 研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- [5] 徐骏骅. 基于边缘检测与模式识别的车脸识别算法[J]. 控制工程, 2018, 25(2): 357-361.
- [6] 丁筱玲, 赵强, 李贻斌, 马昕. 基于模板匹配的改进型目标识别算法[J]. 山东大学学报(工学版), 2018, 48(2): 1-7.
- [7] 衣世东. 基于深度学习的图像识别算法研究[J]. 网络安全技术与应用, 2018(1): 39-41.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-6753, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jisp@hanspub.org