

# 基于机器视觉的硬币分拣系统设计

张重阳,王君,王震,祝连庆

北京信息科技大学

**摘要:** 设计了一套基于机器视觉的硬币自动分拣系统。采用视觉算法对图像进行预处理、特征约束和模板匹配,实现硬币的识别和定位。在此基础上,通过坐标转换,使用机械臂对识别的硬币进行抓取,完成自动分拣。实验证明,该系统具有较高的准确率和较低的漏检率,可以满足自动分拣需求。

**关键词:** 机器视觉;硬币分拣;模板匹配;机械臂

**中图分类号:** TG487;TH162;TP23

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.024

## Design of Coin Sorting System Based on Machine Vision

Zhang Chongyang, Wang Jun, Wang Zhen, Zhu Lianqing

**Abstract:** An automatic coin sorting system based on machine vision is designed in the paper. Vision algorithms are applied in this system to pre-treat images, restrain characteristics and match modules, and the coins are identified and positioned. By the coordinate transformation, the robot arm is able to collect and sort out the coin automatically. It is demonstrated in the experiment that the system meets the requirement with acceptable accuracy and miss-detection probability.

**Keywords:** machine vision; coin sorting; template matching; robotic arm

## 1 引言

在银行、商场等地方,由于大量货币的流通,通常会导致数量庞大的硬币堆积。为了节省大量的人工分拣硬币时间,人们不断尝试利用机器来代替人类手工分拣<sup>[1]</sup>。常用的机械分拣机器<sup>[2]</sup>,会占用较大体积,成本较高,在安装调试时比较复杂,而且,传统的机械分拣对于尺寸相当的硬币常常无法区分<sup>[3]</sup>。因此,本文提出了一种基于视觉的硬币分拣系统,通过视觉识别可以提高分拣结果的准确性,配合简单的机械控制,即可完成硬币的自动化分拣,并且通过视觉检测算法易于实现针对新型硬币的功能扩展。

## 2 总体方案设计

如图 1 所示,基于视觉的硬币分拣系统主要由视觉检测机构和硬币抓取机构组成,此外,为了实现

协调统一,还包括两机构之间的坐标转换功能。其中,视觉检测机构主要由图像采集传感器、镜头、光源等组成,通过相应的检测算法,实现对硬币面值的检测和识别,并确定硬币的坐标位置。其中,检测算法是核心功能,为了实现对硬币的准确识别,特别是对假币的判断,在形状、尺寸、颜色等方面判断的基础上,增加了硬币表面图案的识别和匹配功能,提高系统的可靠性。硬币抓取机构由机械臂、抓手、运动控制器等组成,在视觉检测的基础上,从指定位置抓取硬币,并移至目标位置。坐标转换功能实现从相机图像坐标系到机械臂运动坐标系之间的转换,使整个系统坐标统一,从而达到精准抓取的目的。

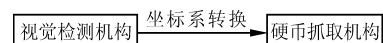


图 1 硬币分拣系统功能框图

## 3 功能模块设计

### 3.1 视觉检测模块

视觉检测模块主要包括图像预处理、特征约束

**基金项目:** 教育部“长江学者与创新团队发展计划”(IRT\_16R07);北京信息科技大学 2018 年人才培养质量提高项目(5111823205)

**收稿日期:** 2018 年 12 月

[10]陈岚峰,杨静瑜,崔崧,等.基于 MATLAB 的最小二乘曲线拟合仿真研究[J].沈阳师范大学学报(自然科学版),2014,32(1):75-79.

第一作者:张旭,硕士研究生,长春理工大学光电工程学院,130022 长春市

First Author: Zhang Xu, Postgraduate, College of Photoelectric Engineering, Changchun University of Science and Technolo-

gy, Changchun 130000, China

通信作者:侯茂盛,讲师,长春理工大学光电工程学院,130022 长春市

Corresponding Author: Hou Maosheng, Lecturer, College of Photoelectric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130000, China

以及模板匹配三个子模块,实现从拍摄图像中定位、精确识别硬币的功能。

### (1) 图像预处理

为了有效提取图像中的硬币部分,减小阴影的干扰,选择背景为黑色。首先对图像进行灰度化处理,以便用于之后的圆形检测。由于使用磨砂材质的黑色背景板,受到光照影响后会产生椒盐噪声。因此对灰度化的图像进行中值滤波,去掉图像中的椒盐噪声。

### (2) 特征约束

目前我国主要流通的是第五套人民币,其中包含一元、五角、一角三种面值,主要特征如表 1 所示。从表 1 可以看出,通过颜色可以很好地区分出五角硬币,进而通过直径可以进一步区分出一角和一元硬币。

表 1 第五套人民币中硬币的特征

面额	直径(mm)	厚度(mm)	质量(g)	颜色
一角	19.5	1.67	3.5	白色
五角	20	1.65	3.8	黄色
一元	25	1.85	6.1	白色

#### ① 颜色约束

采用 YCrCb 格式对原图像进行颜色划分,区分出黄色和白色区域。

#### ② 几何特征约束

为了保证一角和一元硬币不被错误分辨,应把相机放置在合适的高度  $h$  上。由于成像会受到相机安装、镜头畸变等方面的影响,经过处理后的直径会产生 1~2 个像素的误差,因此要保证能够通过直径区分一角和一元硬币,至少使二者直径在像面上相差 5 个像素。

根据式(1)来计算透镜中心距离硬币的距离,并且保证一元和一角硬币的成像直径相差 5 个像素以上,有

$$h = \frac{\Delta x d}{f} \quad (1)$$

式中, $d$  为硬币的直径; $f$  为相机的焦距; $\Delta x$  为硬币在图像中的直径。

对候选区域进行圆形度和霍夫圆检测,并根据直径对区域进行划分,获得一元和一角的图像坐标。

### (3) 模板匹配

当硬币中混有其他尺寸相近的物体时,只通过上述方法识别会出现误判情况。为了提高分拣系统的可靠性,剔除相似性较高的无效目标,在特征约束的基础上,通过硬币表面的图案对目标进行的判别有效。因此,通过对初步提取的目标区域进行模板

匹配,进一步确定硬币的真实性。

由于硬币在空间的放置会出现旋转等角度变化,所以采用对旋转、平移、缩放具有不变特性的矩描绘子进行模板匹配。

设  $f(x, y)$  是二维函数,其  $(p+q)$  阶矩表示为

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (2)$$

式中, $p, q = 0, 1, 2, \dots$ 。

对于图像,其中心矩表示为

$$\mu_{pq} = \sum \sum (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (3)$$

式中, $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ 。

定义归一化中心矩为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma} \quad (4)$$

式中, $\gamma = \frac{p+q}{2}$ 。

由此可获得 7 个不变矩<sup>[4]</sup>

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (5)$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (6)$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (8)$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (9)$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (10)$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12}) - 3(\eta_{21} + \eta_{03})] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{21} + \eta_{03})] \quad (11)$$

通过计算、比较模板和待检测区域的 7 个不变矩,可以实现对硬币的准确判断。

## 3.2 空间坐标转换

系统主要涉及图像坐标系  $OUV$ , 相机坐标系  $O_1XYZ$  和机械臂坐标系  $O_2X'Y'Z'$  三个坐标系。由于硬币相对于相机和机械臂坐标系中垂直方向距离( $Z$  坐标)固定,因此二者的坐标系可以简化为  $O_1XY$  和  $O_2X'Y'$ 。通过相机内参数以及机械臂的旋转量和平移量,建立起图像坐标系与机械臂坐标系之间的联系。

已知相机的焦距为  $f$ , 横向有效焦距为  $f_x$ , 纵向有效焦距  $f_y$ , 成像分辨率为  $2c_x \times 2c_y$ , 同时已知相机的垂直高度为  $h$ , 由像素坐标与世界坐标的关系可知

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = h \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

从而由像素坐标  $(x, y)$  获得了世界坐标  $(X, Y)$ 。

而机械臂坐标系与相机坐标系之间具有旋转、平移关系,可以表示为

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中,矩阵中  $R$  和  $T$  分别代表相机坐标系与机械臂坐标系之间的旋转和平移关系。通过选取 2 个公共点,可以确定  $R$  和  $T$ 。

联合式(12)、式(13)就可以实现图像坐标系到机械臂坐标系的转换。

### 3.3 抓取机构

硬币抓取机构采用四自由度机械臂(见图 2),为了便于计算,将机械臂抽象为一个旋转机构和一个连杆机构(见图 3), $\theta_1, \theta_2$  和  $\theta_3$  分别表示机械臂在不同自由度方向上的旋转角度,决定了机械臂可以达到的空间位置。



图 2 机械臂

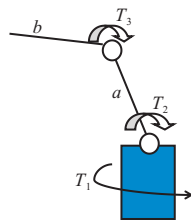


图 3 机械臂抽象模型

通过机械臂坐标系中的坐标( $X', Y'$ )可知  $\theta_1$  的角度为

$$\theta_1 = \arctan \frac{Y'}{X'} \quad (14)$$

同时可知硬币中心距离机械臂的距离为

$$d = \sqrt{X'^2 + Y'^2} \quad (15)$$

已知机械臂各臂长度为  $a, b$ 。可通过三角关系求解  $\theta_2$  和  $\theta_3$ ,有

$$\theta_2 = \arccos \frac{d^2 + a^2 - b^2}{2ad} \quad (16)$$

$$\theta_3 = \arcsin \frac{d^2 + a^2 - b^2}{2ad} + \arcsin \frac{d^2 + a^2 - b^2}{2bd} \quad (17)$$

结合式(12)、式(13),可以实现从像面坐标到机械臂多级旋转角度  $\theta_1, \theta_2$  和  $\theta_3$  的转换。

## 4 试验与结果

基于上述原理和算法,设计了硬币分拣系统(见图 4),并通过对硬币的识别和分拣实验来检验系统的可靠性。

### (1) 特征约束

根据视觉检测模块的设计,对采集到的硬币图片进行颜色和直径划分,并获得相应的硬币位置,识别结果如图 5 所示。

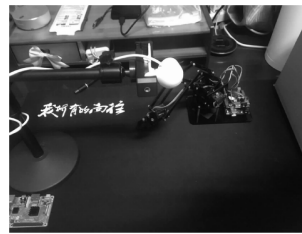


图 4 硬币分拣系统



图 5 硬币识别结果

### (2) 模板匹配

如图 6 所示,将三种面值的硬币正反面分别做成匹配模板,并计算相应不变矩数据(见表 2)。



图 6 三种面值硬币检测模板

表 2 硬币模板不变矩数据表

模板	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$	$\varphi_5$	$\varphi_6$	$\varphi_7$
五角正面	2.4247	0.0002	0.0174	0.0202	-0.0003	-0.0003	0.0003
五角反面	3.1401	0.0036	0.0026	0.0182	0	0.0008	0
一元正面	1.4719	0.0020	0.0011	0.0239	0	0	-0.0003
一元反面	1.5379	0.0080	0.0162	0.0291	-0.0004	-0.0025	-0.0009
一角正面	1.6873	0.0752	0.0222	0.0075	0.0002	-0.0019	-0.0002
一角反面	2.8944	0.0260	0.1908	0.4309	0.0521	-0.0076	0.0056

从表 2 数据可以看出,7 个不变矩中, $\varphi_5 \sim \varphi_7$  的值非常小,对于判断区域相似性作用较低,而且通过各领域研究和实践发现,其前 4 维的描述效果更突出<sup>[5]</sup>,因此,在匹配时仅选用  $\varphi_1 \sim \varphi_4$  组成特征向量进行比较, $\varphi_5 \sim \varphi_7$  作为单值范围限制来使用。可以有效降低系统资源需求,提升计算效率。

### (3) 试验结果

将三种硬币各 30 枚混合,并在空间随机分布,采用系统进行分拣。为了检验系统对硬币识别的准确率,同时放入不同面值的仿币各 5 枚。共完成 20 次分拣试验,并统计系统的准确率和漏检率,结果如表 3 所示。

表 3 硬币分拣统计结果

五角		一元		一角	
准确率	漏检率	准确率	漏检率	准确率	漏检率
100%	0%	100%	0.3%	100%	0.1%

从试验数据来看,该系统在试验条件下可以达到 100% 的准确率,漏检率在 0.3% 以下,可以满足硬币分拣的需求。出现漏检的主要原因在于模板匹配过程中的图像噪声或者计算误差,导致待检测硬币图像与模板的匹配度超过阈值而被误认为是假币。

## 5 结语

本文采用机器视觉的方法对硬币进行定位和真

# 片状精密柔性铰链的转动刚度测量

贾明昌<sup>1</sup>,陈青山<sup>1</sup>,高宏<sup>1</sup>,魏元<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京信息科技大学;<sup>2</sup>北京航天自动控制研究所

**摘要:** 为了解决薄片类复杂结构柔性铰链转动刚度精密测量问题,研究了一种基于力传感器和自准直仪的测量方法。采用 ANSYS 有限元软件对六种不同厚度的柔性铰链进行数值分析,并搭建试验系统进行实际测量。结果表明,计算结果与测量结果基本吻合,多次重复测量的最大标准差为 1.6480(N·m/rad)。该方法一致性好、测量效率高,为薄片精密机械零件转动刚度测量与验收提供了一种有效方法。

**关键词:** 柔性铰链;刚度测量;有限元分析

**中图分类号:** TG806;TH741

**文献标志码:** A

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.025

## Rotational Stiffness Measuring of Flake-like Precision Flexible Hinge

Jia Mingchang, Chen Qingshan, Gao Hong, Wei Yuan

**Abstract:** In order to solve the problem of precise measurement of rotational stiffness of flexible hinges with complex sheet structures, a measurement method is studied based on force sensor and autocollimator. By using ANSYS finite element software, six flexure hinges with different thickness are numerically analyzed, and an experimental system is built for actual measurement. The measurement results show that the calculation results are basically consistency with the measurement results. The maximum standard deviation of repeated measurements is 1.6480(N·m/rad), and this method has good consistency and high measurement efficiency. An effective method for the measurement and acceptance of rotational stiffness of thin-section precision mechanical parts is provided.

**Keywords:** flexible hinge; stiffness measurement; finite element analysis

## 1 引言

柔性铰链是一种利用材料的弹性变形来实现运动或能量传递的新型机构<sup>[1]</sup>。与刚性机构相比,具

有无摩擦、无间隙、高精度、体积小等优点,广泛应用于精密机械和精密测量等领域<sup>[2]</sup>。对于薄片类复杂形状的柔性铰链,因零件尺寸较小,允许发生的转角范围小,且结构和变形机理复杂,其转动刚度的精密测量非常困难。

柔性铰链的刚度是其重要的性能指标,许多学

基金项目: 十三五国防预研项目(41414050205)  
收稿日期: 2018年12月

伪判断,并使用机械臂对硬币进行分拣。视觉的硬币分拣系统可以最大限度节省人力,降低成本,易于通过算法进行功能扩展,以适应新的硬币检测需求。试验证明,该系统可以达到很高的准确度和较低的漏检率。但是由于机械臂在分拣过程中占用过多时间,相较于机械分拣机构速度和效率还有所不足,有待进一步改进。

## 参考文献

- [1] 丁凤娟,洪腾蛟,陈康迪,等. 第五套人民币硬币分拣机结构设计及制造[J]. 安徽科技学院学报,2016,30(5): 71-74.
- [2] 韩书葵,赵子开,郑东豪,等. 紧凑型硬币分拣整理机[J]. 包装工程,2018,39(21): 178-182.
- [3] 杜哲民,孙郑杰,张佳林,等. 滚筒复合式硬币分拣机[J]. 科技经济市场,2018(5): 9-10.

- [4] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. Information Theory Ire Transactions on, 1962, 8(2): 179-187.

- [5] 史红梅,柴华,王尧,等. 基于目标识别与跟踪的嵌入式铁路异物侵限检测算法研究[J]. 铁道学报,2015,37(7): 58-65.

第一作者:张重阳,硕士研究生,北京信息科技大学仪器科学与光电工程学院,100192北京市

First Author: Zhang Chongyang, Postgraduate, School of Instrument Science and Opto Electronics Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China

通信作者:王君,副教授,北京信息科技大学仪器科学与光电工程学院,100192北京市

Corresponding Author: Wang Jun, Associate Professor, School of Instrument Science and Opto Electronics Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China