

# 基于机器视觉的制袋机圆角袋单切系统设计

咸浩<sup>1</sup>, 王景良<sup>2</sup>, 邵小江<sup>3</sup>, 朱龙彪<sup>1</sup>, 陈丰明<sup>3</sup>

(1.南通大学 机械工程学院, 江苏 南通 2226019; 2.江苏海事职业技术学院, 南京 211199;

3.无锡鼎茂机械制造有限公司, 江苏 无锡 214107)

**摘要:** **目的** 针对制袋机在生产圆角袋时, 常采用的双切方法存在的效率低、废料多、机械磨损快等问题, 基于机器视觉设计圆角袋单切系统。**方法** 搭建视觉硬件平台, 基于 OpenCV 视觉库, 在 Visual Studio 开发环境中编写视觉软件。相机采用飞拍模式, 通过第 1 牵引伺服编码器分频输出信号给 PLC, PLC 利用高速计数器通过 I/O 口对相机进行硬触发。用标定板对相机进行标定, 得出像素当量值, 经过滤波、二值化、边缘检测等处理后对圆角轮廓进行特征提取, 制作模板。通过遍历图像, 在模板圆角中心线上添加特征点, 完成模板匹配时可直接得出当前图像圆角中心坐标, 将圆角中心坐标与基准线坐标的差值作为纠偏值发给 PLC, PLC 控制移刀伺服实现单刀精准切除。**结果** 该方法可实现在拉料过程中, 对圆角中心进行快速、准确定位, 在当前制袋周期对当前袋子进行移刀裁切, 实际裁切误差在±0.1 mm 以内, 满足目前最小圆角半径 0.125 圆角袋的制作要求。**结论** 采用飞拍模式的视觉系统图像处理速度快, 可匹配高速制袋要求, 有效解决传统生产圆角袋时出现的问题, 满足工业生产的需求, 实际应用价值较大。

**关键词:** 圆角袋; 机器视觉; 飞拍; 特征提取; 裁切

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)01-0178-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.025

## Design of Single-cut System for Fillet Bag of Bag Making Machine Based on Machine Vision

XIAN Hao<sup>1</sup>, WANG Jing-liang<sup>2</sup>, SHAO Xiao-jiang<sup>3</sup>, ZHU Long-biao<sup>1</sup>, CHEN Feng-ming<sup>3</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China; 2.Jiangsu Maritime Institute, Nanjing 211199, China; 3.Wuxi KING-MO Machinery Manufacturing Co., Ltd., Wuxi 214107, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design a single-cut system based on machine vision for rounded bags to solve the problems of low efficiency, large amount of waste and fast mechanical wear of the double-cut method often used in production of rounded bags by bag making machines. A visual hardware platform was built. Based on the OpenCV visual library, visual software was written in the visual studio development environment. The camera was set in the flying shooting mode, and the output signal was divided to the PLC through the first traction servo encoder. The PLC conducted hard trigger on the camera through the I/O port by virtue of a high-speed counter. A calibration board was used to calibrate the camera to get the pixel equivalent value. After filtering, binarization, edge detection and other processing, the feature of the rounded corner was extracted to make the template. By traversing the image, key points were added on the center line of the template corners, the template center coordinates can be directly obtained when the template matching was completed. The difference between the center coordinates of the corners and the baseline coordinates was sent to the PLC

收稿日期: 2020-05-06

基金项目: 科技型中小企业技术创新基金 (G20193002)

作者简介: 咸浩 (1994—), 男, 南通大学硕士生, 主攻机电控制和机器视觉。

通信作者: 朱龙彪 (1964—), 男, 南通大学教授, 主要研究方向为机电控制和故障诊断等。

which controlled the tool-shifting servo to realize single-cutter precise cutting. This method can realize fast and accurate positioning of fillet center in pulling the material, and the current bag-making cycle was used to move the knife to cut the current bag. The actual cutting error was within  $\pm 0.1$  mm, which met the current production requirement on minimum fillet radius 0.125 round corner bag. The vision system adopting the flying mode has high image processing speed, can match the high-speed bag-making requirements, effectively solve the problems that occur in the traditional production of round-cornered bags, meet the needs of industrial production, and have great practical application value.

**KEY WORDS:** rounded corner bag; machine vision; flying shooting; feature extraction; cropping

制袋机作为软包装机械设备的一种常见机器,可以制作各种形式包装袋,其主要利用塑料的热塑原理,经牵引与送料、烫压热封、切割等加工工艺,将印刷好的薄膜制成包装袋,广泛应用于食品包装、轻化工等各个生产领域<sup>[1]</sup>。制袋机制袋过程中各环节以及参数的协调水平直接影响制袋的质量。制袋机经过多年发展,在送料恒张力控制、烫刀恒温控制、膜料游料控制等工艺方面已经有了长足进步。影响制袋质量的工艺问题大部分取决于机械结构和控制系统,但在定位裁切、瑕疵检测等方面无法简单地通过优化机械结构和控制系统来解决。

随着计算机应用与图像技术的发展,机器视觉技术由于可以快速获取大量信息,而且易于自动处理也逐渐地应用到包装生产工艺中<sup>[2]</sup>。李姿景<sup>[3]</sup>采用基于最大熵阈值,设计一种图像分割方法,利用自适应高斯引导图像滤波算法,设计一种图像去噪算法,将机器视觉应用于药品包装生产线药品的自动检测。方隽等<sup>[4]</sup>利用机器视觉技术对生产线上的烟条外包装进行缺陷检测,有效检测出了包装上出现的拉线错牙,无拉线等瑕疵。目前,国内机器视觉在制袋机领域的应用较少。制袋机在生产圆角袋时,因存在膜料印刷误差以及色标传感器寻标误差,导致切刀无法准确切在圆角中心,所生产的圆角袋圆角处会出现明显的毛刺。目前,制袋机通常采用双切模式,裁切时切刀连续动作 2 次,避免产生毛刺。此法会切下一段 2 mm 左右的废料,不但浪费材料,还会加剧切刀以及移刀机构的磨损,甚至废料可能会掺杂到成品袋里,出现产品质量问题。机器视觉系统因其效率高、抗干扰能力强、定位精度高等特点,可以用在圆角袋定位裁切上。胡宏宇等<sup>[5]</sup>搭建视觉平台,通过软触发,采用停料定拍模式,实现了圆角袋圆角中心的精确定位。

在此基础上,以三边封自立拉链制袋机为研究对象,基于机器视觉设计了一种新的圆角单切控制系统。相机安装在刀架之上,通过第一牵引伺服编码器分频输出信号给 PLC,PLC 通过 I/O 口对相机进行硬触发,相较于软触发在时间精度上有很大提高<sup>[6]</sup>。相机采用飞拍模式,在拉料过程中完成图像拍摄、处理,可以做到在当前制袋周期对当前袋子进行精准裁切。

## 1 总体方案设计

### 1.1 圆角袋生产工艺过程分析

如图 1 所示,膜料经牵引胶辊牵引进行送料,当色标传感器寻到标后,膜料停止,此时完成热封烫压、冲孔以及裁切动作。在生产圆角袋时,切刀连续动作 2 次即可完成圆角袋制作。大多数制袋机都是采用此方案进行圆角袋生产,此法虽然可以有效避免圆角处毛刺的出现,但会切下一段长约 2 mm 的废料,由此带来的材料浪费、机械结构磨损、效率低问题无法得到解决,另外,当膜料张力不稳定或者印刷误差较大时,仍会出现毛刺现象。

### 1.2 拍摄方案设计

如图 2 所示,相机通过相机支架安装在刀架之上,可使相机在  $x, y, z$  等 3 个方向进行移动调节,刀架可随切刀移动。相机拍摄位置在第 1 牵引胶辊与切刀之间。为满足高速制袋要求,相机采用飞拍模式。第 1 牵引伺服根据所设触发位置通过编码器分频输出触发信号给 PLC,PLC 通过高速计数器计数,到达触发位置时相机所连接的 I/O 口给出触发信号进行硬触发。相机安装见图 3。

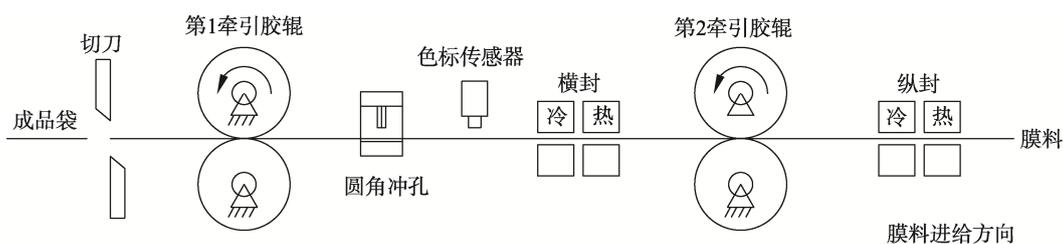


图 1 制袋机结构简图

Fig.1 Structure diagram of bag making machine

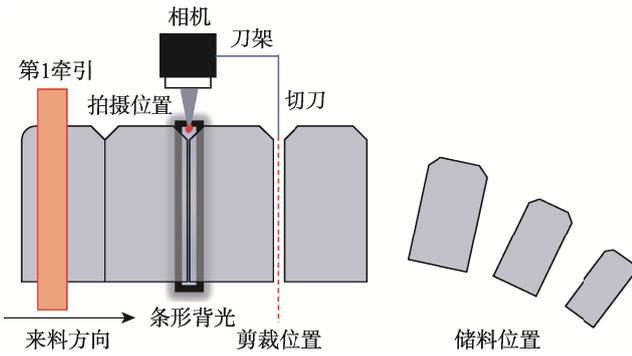


图2 相机安装位置

Fig.2 Schematic diagram of camera installation location



图3 相机安装

Fig.3 Camera installation

### 1.3 视觉系统架构

基于机器视觉的制袋机圆角单切系统架构见图4，主要分为硬件和软件2个部分。三边封自立拉链制袋机采用松下FP-XH C60T PLC为主控单元，在此基础上搭建视觉硬件平台，增加由工控机、1.3MP像素 GigE 接口黑白工业面阵相机、2/3"低畸变手动调

焦镜头、订制 640 mm×20 mm×24 mm 条形背光源、双通道数字光源控制器、显示器等设备。由于第1牵引伺服编码器发送差分信号，而松下FP-XH C60T PLC只能接收集电极信号，因此添加差分转集电极信号转换器。在 Visual Studio 2015 开发环境下基于 OpenCV 计算机视觉库，使用 C++ 语言编写视觉处理软件，在 Windows 7 系统上运行。相机触发后，将图片通过以太网发送给视觉软件，视觉软件对图片进行处理，经滤波、二值化处理、边缘处理、特征提取、模板匹配等相关操作后获得圆角中心坐标。工控机利用 RS485 串口通讯将数据发给 PLC，PLC 经转化后控制移刀伺服进行移刀裁切。视觉硬件平台见图5。

## 2 软件设计

### 2.1 相机标定

相机在工作之前，首先要调节光源、曝光时间、增益值镜头光圈以及焦距，使相机拍出清晰稳定的画面。在机器视觉中，相机标定是一个基础但很关键的问题，利用相机标定技术得到的相机系统内外参数的精度对整个系统的成败有很大的影响<sup>[7-11]</sup>。相机标定就是找到空间物体表面某点在世界坐标系中的位置与其在图像坐标系中对应点之间的相互关系<sup>[12]</sup>。该系统主要是获得圆角中心  $x$  轴坐标后进一步得出纠偏值，所以只需要完成图片像素值与实际尺寸的关系即建立像素当量就可完成相机的标定工作。选用图6所示的标定板，相机分别拍取矩形、圆、三角形等3种图案，计算出图案像素点和实际尺寸的函数关系，得到的像素当量见表1。

由表1可看出，不同图形得出的像素当量接近，相机标定较为精确。在实际应用过程中，因为视觉定位精度远远大于移刀丝杆的精度，故像素当量只需取0.0289即可准确完成移刀裁切。

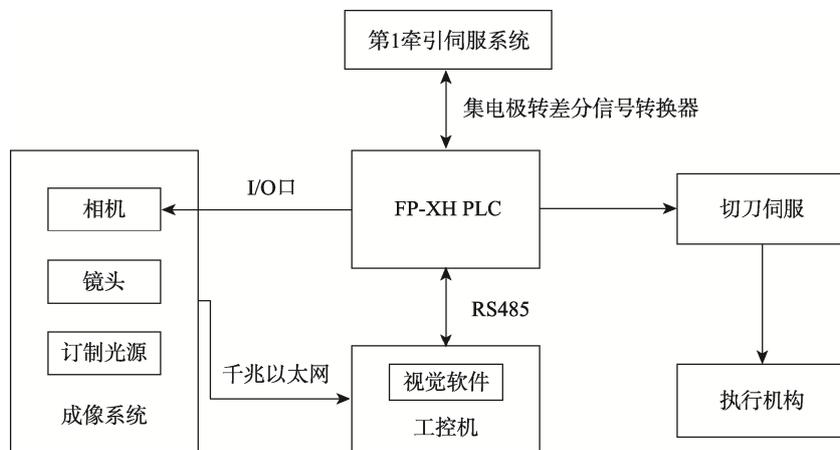


图4 视觉系统架构

Fig.4 Vision system architecture



图 5 视觉硬件平台  
Fig.5 Vision hardware platform



图 6 标定板  
Fig.6 Calibration board

**表 1 像素当量**  
**Tab.1 Pixel equivalent**

图形	像素当量/(mm·像素 <sup>-1</sup> )
矩形	0.028 892
圆	0.028 889
直角三角形	0.028 894

## 2.2 图像预处理

视觉系统通过图像处理来获得所需的数据。因为外界环境的干扰，相机拍摄到的照片一般会出现噪点、失真等问题。在图像处理之前，通常采用滤波降噪和二值化等操作进行图像预处理<sup>[13-15]</sup>。常用的滤波算法有均值滤波、高斯滤波、中值滤波以及双边滤波等。对原始图像分别进行相应滤波处理，原始图与各滤波结果图分别见图 7—8。对圆角原始图像的 4

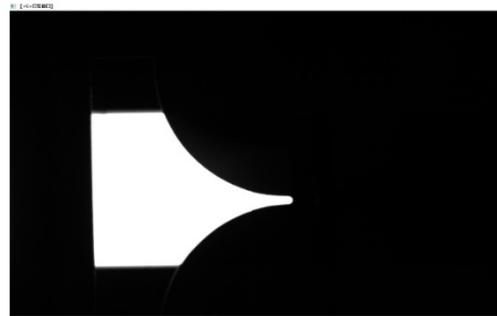
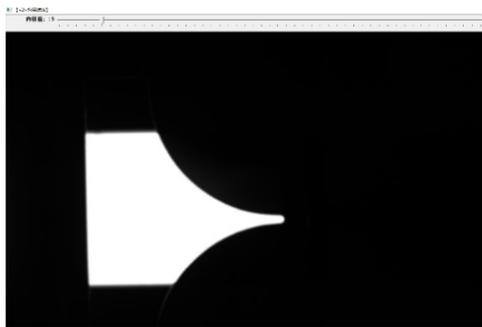


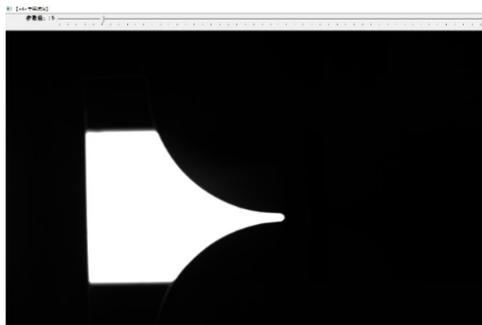
图 7 圆角原始图  
Fig.7 Original picture with rounded corners



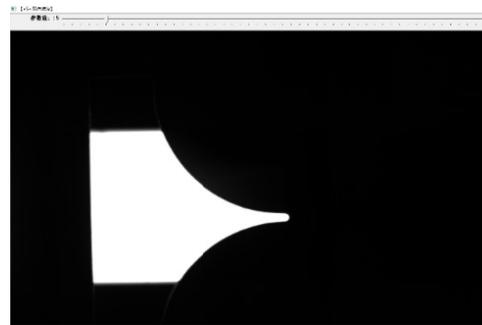
a 均值滤波



b 高斯滤波



c 中值滤波



d 双边滤波

图 8 滤波效果  
Fig.8 Filtering effect

种滤波结果进行观察分析, 4种滤波算法都弱化了噪声信息, 但是均值滤波和高斯滤波模糊了边缘轮廓, 削弱了图像有效特征。中值滤波和双边滤波在降噪的同时, 保护了边缘信息。结合表2各滤波算法运算时间, 最终选择中值滤波算法。

表2 4种滤波算法运算时间  
Tab.2 Comparison of computing time of four filtering algorithms

实验次数	滤波算法	运算时间/ms
1	均值滤波	5.1
2	高斯滤波	6.8
3	中值滤波	0.8
4	双边滤波	2.9

图像在进行滤波降噪后, 需进行二值化处理。图像二值化的基本思想是设定阈值将图像分割为2个部分, 原始像素灰度值大于阈值的部分变换为255, 小于阈值的部分变换为0, 整个图像呈现出只有纯黑和纯白的视觉效果<sup>[16]</sup>。常用的二值化方法有固定阈值法以及大津法, 由于所采集图像采用背光源打光, 背景较均匀, 亮度差异小, 故采用固定阈值法进行二值化处理。

$$G(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{如果 } G(x, y) \geq T \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $(x, y)$  为输入图像像素点的坐标;  $G(x, y)$  为点  $(x, y)$  的灰度值。根据图9可知, 图像灰度值差异比较明显, 故阈值  $T$  选择中间数值128。二值化的效果见图10。

### 2.3 特征提取

特征提取是从数字图像中提取有用的数据信息的过程, 这些数据信息可以用孤立的点、连续的曲线或者连续的区域等来表示。图像特征一般可分为颜色特征、纹理特征、形状特征、空间关系特征等4类,

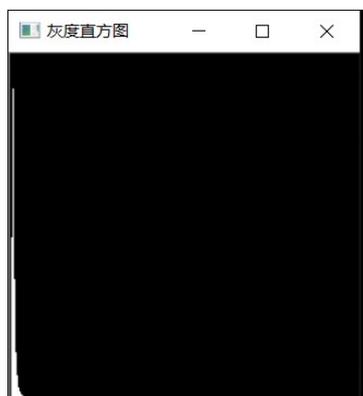


图9 灰度直方图  
Fig.9 Grayscale histogram

结合该系统分析, 将圆角的轮廓形状作为特征信息, 提取效果最理想。在进行特征提取之前, 需要设置感兴趣区域 (ROI), 见图11。选择好感兴趣区域后, 调用Canny算子进行边缘轮廓提取, 保存特征区域, 生成模板, 见图12。

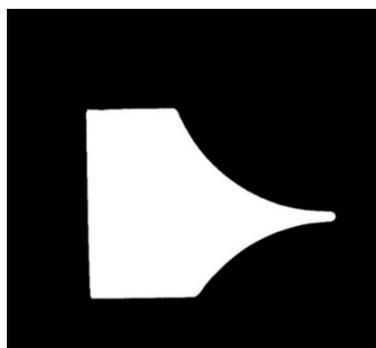


图10 二值化结果  
Fig.10 Binary result

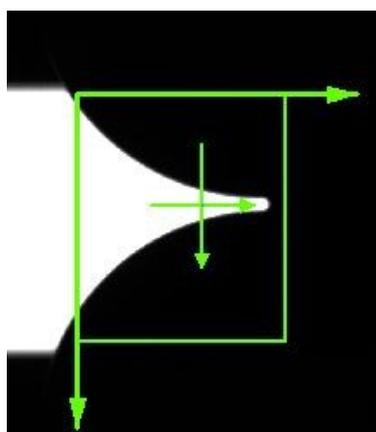


图11 ROI区域  
Fig.11 ROI area



图12 特征提取  
Fig.12 Feature extraction

### 2.4 添加特征点

模板匹配的根本目的是快速识别图像, 并找出圆角中心坐标。在匹配完成时, 由于无法直接得出圆角中心坐标, 需进一步遍历图像直至找出圆角中心坐标, 这样会浪费大量时间, 影响系统的运行效率。为提高软件运行效率, 直接在模板制作过程中, 添加圆

角中心点,在模板匹配的基础上利用 Homogray 映射,当模板匹配完成时即可得到当前图像的圆角中心坐标,此法可使视觉系统效率得到显著提高,综合图像处理时间在 10 ms 以内。特征点添加过程如下所述。

1) 在完成边缘检测的基础上调用 Shi-Tomasi 算法对图像进行角点检测,记录得到的角点坐标  $O(x,y)$ ,检测出的角点可在小圆弧任意处。

2) 图像坐标系以右上角为原点,向下、向左分别为  $x$  轴、 $y$  轴。以图像原点为起点,沿  $y$  轴方向逐列遍历图像,记录第 1 个灰度值大于 128 的点的坐标  $S(a,b)$ 。因为小圆弧半径为 0.25 mm,根据像素当量,若  $a$  与  $x$  差值小于 9 即可确定  $S$  点即为圆角中心位置边缘点。

3) 以  $S(a,b)$  为原点,分别向上、向下由图像右侧向左侧进行遍历,当像素点灰度值大于 128 时,此像素点为轮廓边缘;若像素点灰度值小于 128,则此点不是轮廓边缘。以此纵向检测上、下轮廓各 64 行边缘坐标。

4) 计算 64 组上、下侧轮廓点  $x$  轴坐标的算术平均值,即为圆角的对称轴,任取靠近  $S$  处  $y$  轴坐标即可完成特征点添加。

$$K = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} (U_i + D_i) \quad (2)$$

式中:  $K$  为圆角中心点  $x$  坐标;  $U_i$  为上侧轮廓点  $x$  坐标;  $D_i$  为下侧轮廓点  $x$  坐标。

### 3 定位裁切

获得圆角中心坐标后,根据参考基准点计算出切刀纠偏值,伺服控制器控制移刀伺服进行移刀定位裁切。裁切过程:相机安装在刀架之上,可随刀移动。进行相机标定、像素当量后,相机即可工作。先关闭切刀自动纠偏功能,见图 13,粗略调整触发位置  $C$ ,使相机能够拍到圆角画面。以相机视野中心线为基准线,微调触发位置  $C$ ,使圆角中心和视野中心重合。调整切刀位置,使切刀能够准确切到袋子圆角中心。此时圆角中心和视野中心重合,切刀可以准确切到圆角中心,基准点即为视野中心  $A$ ,完成基准点的寻找。在此基础上,打开切刀自动纠偏功能。在之后相机拍到的照片中,若圆角中心和视野中心  $A$  重合则代表切刀正好切在圆角中心,误差为 0,切刀不需要调整;若圆角中心与视野中心产生间距  $D$ ,则证明需要将刀在相同方向移动相应距离  $D$  后才能准确切到圆角中心,此时视觉软件将纠偏数据 ( $B$  与  $A$  在  $x$  轴方向坐标差) 发送给 PLC,PLC 经像素当量转换后根据实际移刀距离控制切刀伺服移刀进行准确裁切。在移刀裁切完成后,相机也会随刀移动相同距离,此时圆角中心  $B$  和视野中心  $A$  会再次重合,形成新的基准点,系统稳定持续运行。

正常情况下,纠偏值小于切刀限位值,为避免外界因素干扰下,出现所获纠偏值大于实际纠偏值,从而出现切刀到达限位的情况。当纠偏值大于切刀限位时,可认定出现干扰错误,视觉系统直接发送错误信息代码(该系统选择发送 4040),此时切刀不会进行裁切动作,提醒工作人员进行检查。系统工作流程见图 14。系统实时运行见图 15。

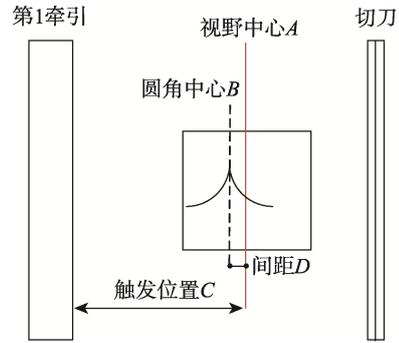


图 13 移刀裁切过程  
Fig.13 Process of cutting

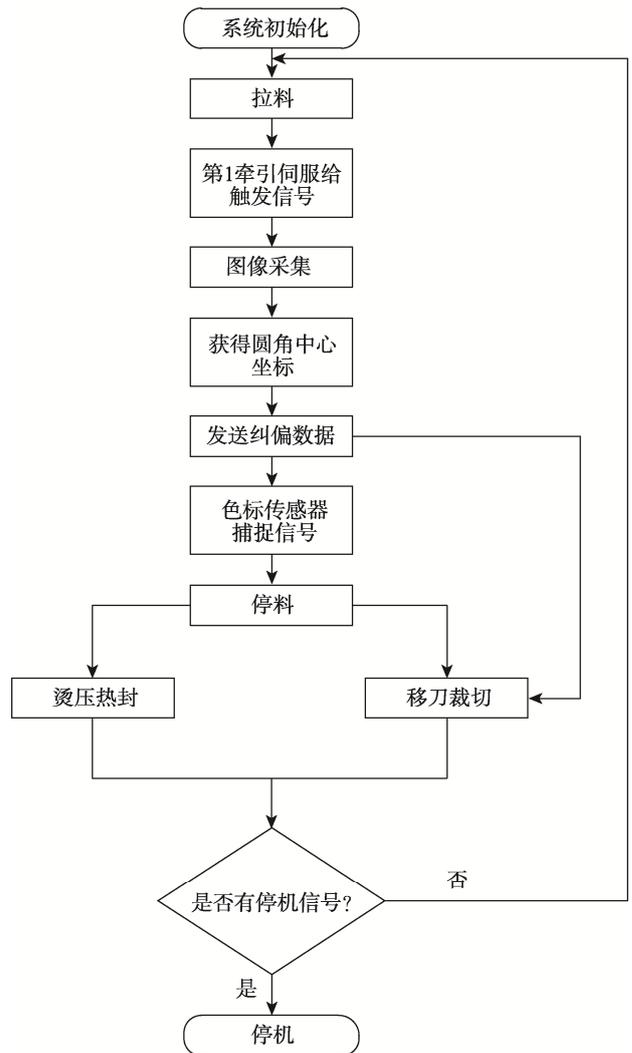


图 14 系统工作流程  
Fig.14 Flow chart of system

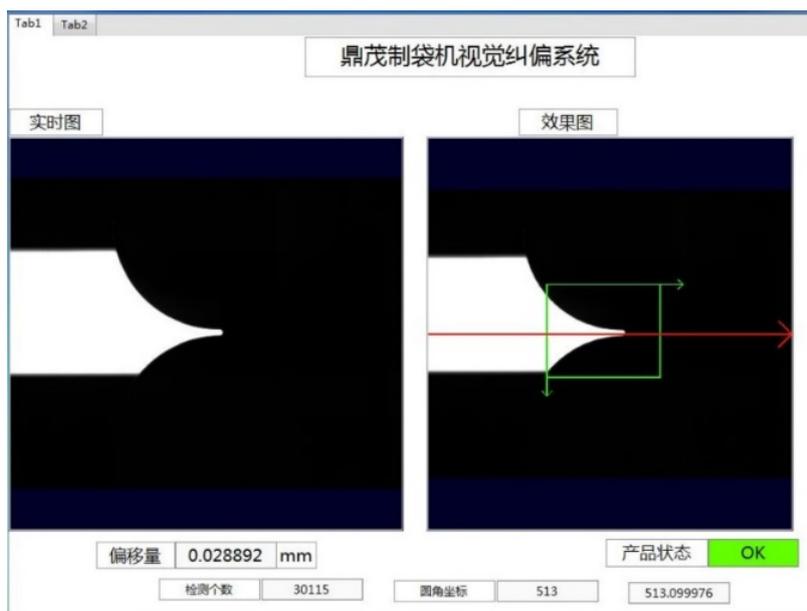


图 15 系统实时运行

Fig.15 Real-time running diagram of system

如图 15 所示,该系统可实现亚像素级定位,定位误差小,为方便系统运行,在系统实际运行过程中圆角定位坐标取整数部分,实际定位精度即像素当量值为 0.0289 mm。在移刀裁切过程中,滚珠丝杠选用 C5 精度等级,移刀伺服精度为 0.01 mm,裁切误差较小。在系统运行过程中,机械和膜料会产生振动,通过设计相机支架以及添加疏导器来减小相机和膜料的抖动,系统实际运行表明在 150 (个/min) 制袋速度下,因膜料抖动产生的最大误差为 2~3 个像素点,即最大值为 0.09 mm,圆角袋实际裁切误差在  $\pm 0.1$  mm 之内。

## 4 结语

针对圆角袋生产,基于机器视觉设计了一种单切控制系统。采用飞拍的相机拍摄方案,实现在拉料过程中对当前袋子进行裁切补偿,没有累计误差。阐述了硬件平台搭建过程以及图像处理算法。在模板匹配时,通过在模板上添加圆角中心特征点,完成模板匹配即可得出圆角中心坐标,提高定位效率。相机随刀移动,在找到参考基准点后,无需系统记录切刀绝对坐标位置,即可完成下一周期制袋过程。经过实际上机测试,该系统图像处理速度快,定位精度高,可匹配高速制袋要求,考虑机械结构误差以及膜料抖动影响,实际裁切误差在  $\pm 0.1$  mm 之内,满足目前所生产圆角袋最小圆角半径为 0.125 mm 的制袋要求,有效地解决了圆角袋存在的毛刺、双切工艺存在的材料损耗、机械磨损、环境污染等问题,满足工业生产的需求,有较大实际应用价值。

## 参考文献:

- [1] 韩凌, 陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 135—139.  
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 135—139.
- [2] 刘金桥, 吴金强. 机器视觉系统发展及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2010(1): 215—216.  
LIU Jin-qiao, WU Jin-qiang. Development of Machine Vision System and Its Application[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2010(1): 215—216.
- [3] 李姿景. 基于机器视觉的药品包装生产线自动检测系统[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 165—169.  
LI Zi-jing. Automatic Detection System for Drug Packaging Line Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 165—169.
- [4] 方隽, 张乐年, 郑启旺. 机器视觉在烟条外包装检测系统中的应用[J]. 机械制造与自动化, 2009(5): 145—147.  
FANG Juan, ZHANG Le-nian, ZHENG Qi-wang. Application of Machine Vision in the Detection System of Cigarette Out Packing[J]. Machine Building & Automation, 2009(5): 145—147.
- [5] 胡宏宇, 王景良, 朱龙彪, 等. 基于机器视觉的制袋机裁切定位系统设计[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 200—206.  
HU Hong-yu, WANG Jing-liang, ZHU Long-biao, et al. Design of Location System for Cutting of Bag Making Machine Based on Machine Vision[J]. Pack-

- aging Engineering, 2019, 40(3): 200—206.
- [6] 王超, 刘美灵, 刘振宇, 等. 触发方式对低速相机采集图像时间准确度的影响[J]. 北京理工大学学报, 2019, 39(6): 632—637.  
WANG Chao, LIU Mei-ling, LIU Zhen-yu, et al. Influence of Trigger Mode on Acquisition Time of Low-speed-camera Image Sequence[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2019, 39(6): 632—637.
- [7] 段峰, 王耀南, 雷晓峰, 等. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 自动化博览, 2004, 19(3): 59—61.  
DUAN Feng, WANG Yao-nan, LEI Xiao-feng, et al. Overview of Machine Vision Technology and Its Applications[J]. Automation Panorama, 2004, 19(3): 59—61.
- [8] ZHANG Z Y. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330—1334.
- [9] ZHANG Z. Camera Calibration with One-dimensional Objects[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(7): 892—899.
- [10] FAN Fang, WANG Zhen-wei, LIU Shuang-yin. 3D Reconstruction of Weak Texture Surface Based on Binocular Vision[C]// Proceedings of the 2016 3rd International Conference on Mechatronics and Information Technology, Shenzhen: Atlantis Press, 2016: 125—128.
- [11] 路红亮. 机器视觉中相机标定方法的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2013: 1—5.  
LU Hong-liang. Camera Calibration Method for Machine Vision[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2013: 1—5.
- [12] 杨雪荣, 张湘伟, 成思源, 等. 视觉测量中的相机标定方法进展研究[J]. 机械设计与制造, 2009(3): 263—265.  
YANG Xue-rong, ZHANG Xiang-wei, CHENG Si-yuan, et al. Progress on Camera Calibration Methods in Visual Measurement[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(3): 263—265.
- [13] 潘武. 基于机器视觉的工件的识别和定位[D]. 北京: 北京化工大学, 2012: 21—23.  
PAN Wu. The Research about the Recognition and Location of Workpiece Based on Machine Vision[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2012: 21—23.
- [14] 阮春雷. 基于机器视觉的电能表检测系统研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013: 12—18.  
RUAN Chun-lei. Research of The Energy Meter Detection System Based on Machine Vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013: 12—18.
- [15] CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen. Research on CMOS Image Preprocess Methods for Auto-Focusing System[C]// IEEE Symposium on Virtual Environments, Human-computer Interfaces and Measurement Systems, 2007: 125—130.
- [16] MISHRA A, ALAHARI K, JAWAHAR C V. An MRF Model for Binarization of Natural Scene Text[C]// International Conference on Document Analysis and Recognition, IEEE Computer Society, 2011: 11—16.