

基于机器视觉的包装物料自动筛选系统

李洪波¹, 李亚萍²

(1.新疆石河子职业技术学院, 新疆 石河子 832000; 2.石河子大学, 新疆 石河子 832000)

摘要: **目的** 为解决传统人工分拣作业效率低、速度慢、质量难以保证的问题。**方法** 设计一种基于机器视觉的包装物料自动筛选控制系统, 适用于多种输送线物料分拣的方案。结合多种图像处理算法, 以提高物料筛选精度。改进中值滤波可实现图像预处理; 形态学滤波可实现包装物料边缘检测; 基于边缘匹配可完成物料识别。最后进行试验研究。**结果** 试验结果表明, 对于圆形、方形、三角形物料, 所述包装物料筛选系统的分拣精度在 99.5% 以上, 最大抓取速率能够达到 150 次/min。**结论** 所述图像处理算法能够有效地提取物料边缘并实现物料识别, 具有比较高的检测精度和稳定性, 可以满足包装需求。

关键词: 物料筛选; 机器视觉; 图像处理; 形态学滤波; 边缘匹配

中图分类号: TB486; TP27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)11-0214-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.11.031

Automatic Screening System of Packaging Materials Based on Machine Vision

LI Hong-bo¹, LI Ya-ping²

(1.Xinjiang Shihezi Vocational and Technical College, Shihezi 832000, China;
2.Shihezi University Xinjiang, Shihezi 832000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems such as low efficiency, slow speed and poor quality of traditional manual sorting. An automatic screening control system of packaging materials based on machine vision was designed, which was suitable for sorting materials of various conveying lines. Multiple image processing algorithms were combined to improve the precision of material screening. The improved median filter could realize image preprocessing. Morphological filtering could realize edge detection of packaging materials. Material identification could be completed based on edge matching. Finally, experimental research was carried out. The test results showed that, for circular, square and triangular materials, the sorting accuracy of the packaging material screening system was more than 99.5%, and the maximum grasping rate could reach 150 times /min. The proposed image processing algorithm can effectively extract the material edge and realize material identification, and has relatively high detection accuracy and stability, which can meet the packaging requirements.

KEY WORDS: material screening; machine vision; image processing; morphological filtering; edge matching

随着经济发展以及生产水平的不断提高, 包装物料日益趋向于“短小轻薄”, 因此在实际生产过程中, 物料分拣就会变得比较困难, 分拣作业已成为一项十分重要的工艺环节^[1-3]。当前, 大多数包装类企业仍然依靠人工分拣, 但是随着分拣量增加、包装速度和

包装质量的提高, 仅仅依靠人工分拣已无法满足大规模包装要求。为解决此问题, 一些企业开始引入机器人代替人工完成分拣作业^[4-5]。

基于机器人的分拣系统普遍采用离线编程或示教模式, 提前设定机器人动作以及物料摆放位置。受

环境影响,机器人运动轨迹会出现偏差同时物料位置也会发生变动,很容易导致抓取错误^[6]。为避免这种情况发生,可考虑采用机器视觉技术。机器视觉是一种非接触式的测量方法,通过工业相机来模拟人类视觉实现对物料位置的判断^[7-11]。然后,利用图像处理算法获取图像信息,进而完成定位和抓取。综上所述,机器人视觉技术和机器人技术相结合,不仅能够提高分拣作业的可靠性和柔性而且可以按需更换作业对象和分拣工序^[12-13]。国内外学者对视觉检测平台的研究比较多,例如:施银中等^[14]借助 PC 机和 USB 摄像头,采用 IMAQ Vision 模块设计了一种视觉检测系统,可用于 LED 球灯泡检测。熊晓松等^[15]基于 LabVIEW 视觉模块设计了一种视觉检测平台。王诗宇等^[16]结合并联机器人和工业相机设计了一种工业机器人视觉分拣系统。

文中在现有研究的基础上,基于机器视觉设计一种包装物料自动筛选系统。智能相机获取物料图像,经算法处理后完成边缘检测和特征提取,进而控制机器人完成筛选工作,最后通过试验验证所述方法的可行性和有效性。

1 系统结构

包装物料自动筛选系统结构见图 1,主要包括 PC 主机、智能相机、电磁继电器、机械手控制柜和分拣机械手等。其中智能相机与智能相机 IO 板相连并安装在相机支架上;PC 主机预设图像采集、图像处理和图像检测功能函数;智能相机和 PC 主机之间通过以太网实现图像传递以及控制指令传输;智能相机则通过 I/O 口实现电磁继电器控制并将控制信号传送至机械手控制柜;机械手根据控制结果执行相应分拣程序。系统结构见图 1。

1) 智能相机内置主频 1.6 GHz 的 Intel Atom 处理器,系统内存为 512 MB,闪存为 2 GB,图像分辨率可以达到 1600×1200。

2) 相机电源选用专用电源,即电源功率为 12 W,电压为直流 24 V,±10%。

3) 相机固定支架需根据智能相机类型和体积自行设计。

4) 光源选用 LED 光源。

5) 相机 I/O 板主要包括 4 个数字输入,4 个数字输出,1 个触发输入,1 个 LED 输出,1 个 RS232 接口,1 个电源输出接口。

6) 电磁继电器可实现智能相机 I/O 板和机器人控制柜之间的联系。

7) 上位机即 PC 机,用于预设图像处理、图像检测、图像分析等功能函数,而且可以实时显示智能相机的检测界面。

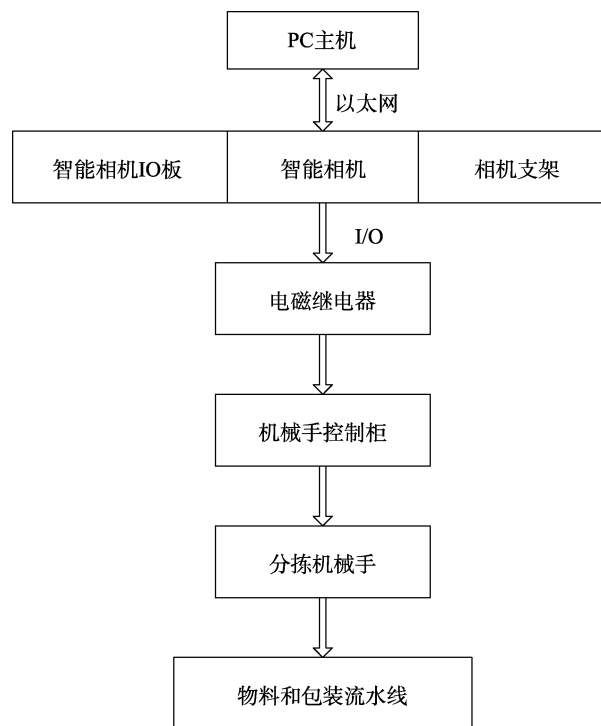


图 1 系统结构

Fig.1 System structure

8) 工业机器人,文中选用六自由度关节臂机器人,同时搭配专用示教器、控制柜、气爪、气泵等构件。

9) 传送带,利用步进电机驱动,可实现不同类型工件的传输。

10) 光电传感器,一般安装在工序位,判断物料是否到达指定位置。

文中以图像相关处理算法为主要研究对象,着重讨论图像滤波、边缘检测、模板匹配等图像处理方法。

2 图像处理算法

2.1 改进中值滤波

在图像处理过程中,中值滤波经常用于保护图像边缘信息,是一种比较经典的平滑噪声方法。所谓中值滤波是指将序列中某点的数值替换为该点邻域中所有点数值的中值。具体地讲,对于一组数值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 如果按照数值大小进行排序,则有: $x_{i,1} \leq x_{i,2} \leq \dots \leq x_{i,n}$ 。那么中值 y 可表示形式见式(1)。

$$y = \text{Mid}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} x_{i,(n+1)/2} & n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2} [x_{i,n/2} + x_{i,(n+2)/2}] & n \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (1)$$

基于中值滤波,可将包装物料图像某点的数值用其一个邻域内部所有点的中值代替,这样就可以确保周边像素值更加接近真实值,如此便可消除独立噪声

点。具体操作上,从图像的采样窗口提取奇数个数据进行排序,利用中值代替要处理的数据。如果噪声强度较小,则中值滤波的降噪效果比较理想;当噪声强度增加时,中值滤波的降噪能力明显下降。为此,文中提出了一种改进中值滤波,以实现包装物料的图像预处理,可以描述为:

以图像中某个像素点 (i,j) 为例,在获取其邻域中值之前,可对其邻域像素求平均值 l_{ave} 。如果 $x(i,j) > l_{ave}$,则有:

$$y(i,j) = \text{Mid}[y(i-k, j-s), \dots, y(i-1, j-1), x(i,j), \dots, x(i+k, j+s)] \quad (2)$$

式中: k, s 为采样窗口图像的大小,此时可令 $x(i,j)=y(i,j)$ 。

如果 $x(i,j) < l_{ave}$,此时可令 $x(i,j)=y(i,j)$ 。即使噪声强度增加,改进中值滤波算法依然能够得到比较准确的中值,滤波效果比较理想。

2.2 形态学滤波

包装物料图像预处理之后,需要进行边缘提取,文中选用数学形态学实现包装物料边缘提取。总体来讲,数学形态学包括2种基本运算,即膨胀和腐蚀。其他运算都可以通过这2种运算组合产生。对于图像 $f(x,y)$,定义一个结构元素 $B(k,l)$,那么基于数学形态学的膨胀运算和腐蚀运算可以表示为:

$$f \oplus B(x,y) = \max_{(k,l) \in B} \{f(x-k, y-l) + B(k,l)\} \quad (3)$$

$$f \ominus B(x,y) = \min_{(k,l) \in B} \{f(x+k, y+l) - B(k,l)\} \quad (4)$$

另外,在数学形态学中,比较重要的2种组合运算就是开运算和闭运算。其中开运算可认为是先腐蚀后膨胀,可用 $f \circ B$ 表示,即:

$$f \circ B = (f \ominus B) \oplus B \quad (5)$$

通常情况下,开运算能够消除毛刺和散点,可实现图像的平滑处理。

闭运算可认为是先膨胀后腐蚀,是开运算的对偶运算,可用 $f \cdot B$ 表示,即:

$$f \cdot B = (f \oplus B) \ominus B \quad (6)$$

一般情况下,闭运算能够填充图像内部细小孔洞,实现邻近目标的连接。

2.3 边缘检测

根据数学形态学理论,只要选择合适的结构元素,配合形态学运算就可以获取到清晰的图像边缘。在某种意义上,图像边缘检测的关键在于运算组合形式以及结构元素选取。膨胀运算能够删除比结构元素小的暗细节;腐蚀运算能够删除比结构元素小的亮细节;闭运算同膨胀运算功能相似,可确保图像整体灰度和大的暗区域所受影响最小;开运算同腐蚀运算功能相似,可确保图像整体灰度和大的亮区域所受影响

最小。

考虑到4种运算的特点,文中设计了一种图像边缘检测方法。第1步,通过闭-开运算滤除图像噪声;第2步,通过闭运算实现图像平滑处理;第3步,进行膨胀运算。膨胀前后图像之差就是图像边缘 I_{edge} ,可以描述为:

$$I_{edge} = (A \cdot B) \oplus B - A \cdot B \quad (7)$$

式中: $A = (f \cdot B) \circ B$ 。

综上所述,如果噪声强度不断增强,可利用如下步骤实现包装物料图像边缘检测。

1) 获取包装物料图像。

2) 以 3×3 的窗口模板为工具,在包装物料图像内循环获取与窗口模板相对应的各点像素值。

3) 计算窗口平均值,并比较 $x(i,j)$ 与平均值。如果 $x(i,j)$ 大于平均值,排序求中值,采用中值替换噪声图像中的数据;否则,原数据不变。这样得到了滤波后的图像。

4) 将滤波后的图像利用式(7)提到的边缘检测算子,输出边缘结果。为便于计算分析,文中选用比较标准的圆形、方形、三角形物料作为检测对象。检测结果见图2。

3 基于边缘特征的模板匹配算法

在获取包装物料边缘后,需通过模板匹配实现包装物料识别。文中采用基于边缘的模板匹配方法,与特征匹配相比,边缘匹配不仅计算量小、不易受干扰,即使部分遮挡也能够得到很好的匹配结果。匹配算法如下所述。

定义模板图像宽为 W ,高为 H ;匹配模板的模型主要包括2个参数,即:点集 $P_{i,j}^T = (X_{i,j}^T, Y_{i,j}^T)$ 以及 X 和 Y 方向上的梯度 $G_{i,j}^T = (Gx_{i,j}^T, Gy_{i,j}^T)$,其中 x, y 为像素点坐标,且满足 $0 \leq x \leq W, 0 \leq y \leq H$ 。可对模板图像内部所有梯度向量的点集归一化后计算总合。

包装物料图像中每个点以模板图像相同尺寸进行搜索。以像素点 (u,v) 为中心的搜索区域中的每一个像素点在 X 和 Y 方向上的梯度为 $G_{u+i,v+j}^S = (Gx_{u+i,v+j}^S, Gy_{u+i,v+j}^S)$ 。像素点 (u,v) 处的相似度计算见式(8)。

$$S_{u,v} = \frac{1}{W \times H} \cdot \sum_{j=1}^H \sum_{i=1}^W \frac{(Gx_{i,j}^T \cdot Gx_{u+i,v+j}^S) + (Gy_{i,j}^T \cdot Gy_{u+i,v+j}^S)}{\sqrt{(Gx_{i,j}^T)^2 + (Gy_{i,j}^T)^2} \cdot \sqrt{(Gx_{u+i,v+j}^S)^2 + (Gy_{u+i,v+j}^S)^2}} \quad (8)$$

模板图像与目标搜索区域完全匹配则返回1,完全不同则返回0。

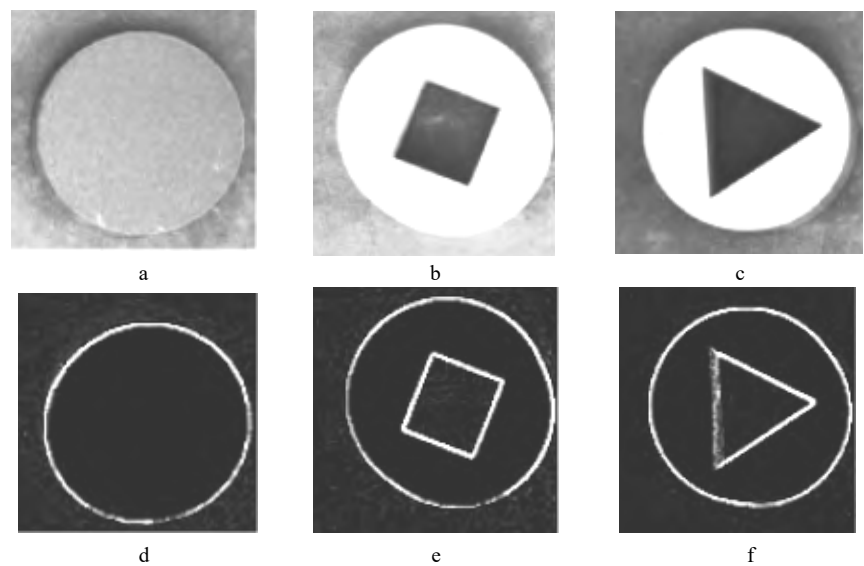


图 2 边缘检测结果
Fig.2 Edge detection result

4 试验研究

为验证所述方法的可行性和有效性,文中进行了相关试验研究。试验平台基于某型号码垛机器人为研究对象,并将其应用到包装物料分拣平台。

试验过程中,设定不同传送带速度,以圆形物料、方形物料、三角形物料为研究对象,测试其抓取准确度。圆形物料、方形物料、三角形物料数量均设定为 500,试验结果见表 1。试验过程可以发现:最大抓取速率能够达到 150 次/min,测试时间持续 4 h,误抓率和漏抓率均小于 0.2%。

表 1 试验结果
Tab.1 Test results

传送带速度/(mm·s ⁻¹)	形状	漏抓数量	误抓数量
100	圆形	0	0
	方形	0	0
	三角形	0	0
150	圆形	0	0
	方形	1	0
	三角形	1	1
200	圆形	1	1
	方形	1	1
	三角形	1	1

当传送带速度为 100 mm/s 时,圆形、方形、三角形物料均没有出现漏抓或误抓现象;当传送带速度为 150 mm/s 时,圆形物料并没有出现漏抓和误抓现象,方形和三角形物料会出现个别漏抓或误抓情况,

主要原因在于抓取优先级设定为圆形高于方形,三角形最低,当物料集中出现时,有可能导致漏抓或误抓;当传送到速度达到 200 mm/s 时,3 种形状物料都出现了漏抓和误抓现象,主要原因在于算法处理速度不能很好地匹配物料出现的频率。总体来说,分拣精度还是比较高的,能满足相关产业要求。

试验结果表明,无论包装物料形状如何,所述物料自动筛选系统均可实现分拣的准确性和稳定性。另外,所述筛选系统适用于绝大多数食品生产、包装场合,而且分拣物料的尺寸跨度比较大,可从几十毫米到几百毫米,适用范围较广。

5 结语

以包装物料自动筛选作为研究对象,基于机器视觉设计了一种包装物料自动筛选系统。着重讨论了图像处理算法,利用改进中值滤波实现了包装物料图像预处理;通过数学形态学滤波实现了包装物料边缘检测;在获取边缘的前提下,通过边缘匹配算法实现了物料识别。结合多种图像处理算法,在一定程度上多种物料的分拣精度和分拣稳定性。通过试验验证了文中所述方法的可行性和有效性。结果表明,所述物料自动筛选系统的准确性和稳定性均较高,能够满足包装生产要求。

参考文献:

[1] 徐伟,杜建,马永,等. 基于视觉的物料自动分拣控制系统设计[J]. 盐科学与化工, 2018, 47(5): 42—44.
XU Wei, DU Jian, MA Yong, et al. Design of Control System of Automatic Sorting of Material Based on Vi-

- sion[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2018, 47(5): 42—44.
- [2] 刘超, 陈捷, 洪荣晶, 等. 基于 NI 机器视觉的产品识别与分拣系统[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(11): 74—77.
LIU Chao, CHEN Jie, HONG Rong-jing, et al. Product Identification and Sorting System Based on NI Machine Vision[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018(11): 74—77.
- [3] 倪鹤鹏, 刘亚男, 张承瑞, 等. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣系统算法[J]. 机器人, 2016, 38(1): 49—55.
NI He-peng, LIU Ya-nan, ZHANG Cheng-rui, et al. Sorting System Algorithms Based on Machine Vision for Delta Robot[J]. Robot, 2016, 38(1): 49—55.
- [4] 刘高生, 马小三, 王培珍. 基于改进的中值滤波和数学形态学的图像边缘检测[J]. 计算机与现代化, 2011(8): 57—63.
LIU Gao-sheng, MA Xiao-san, WANG Pei-zhen. A New Edge Detection Algorithm Based on Improved Median Filter and Mathematical Morphology[J]. Computer and Modernization, 2011(8): 57—63.
- [5] 付瑞玲, 禹春来, 范甜甜. 基于并联机器人的包装分拣系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 204—208.
FU Rui-ling, YU Chun-lai, FAN Tian-tian. Design of Packaging and Sorting System Based on Parallel Robot[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 204—208.
- [6] 付伟. PLC 在材料自动分拣系统中的应用[J]. 制造业自动化, 2012, 34(6): 136—138.
FU Wei. Application of PLC in Automatic Sorting System[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(6): 136—138.
- [7] CHU M, CHEN G, HUANG F J, et al. Active Disturbance Rejection Control for Trajectory Tracking of Manipulator Joint with Flexibility and Friction[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 325/326: 1229—1232.
- [8] YU D. Parallel Robots Pose Accuracy Compensation Using Back Propagation Network[J]. International Journal of Physical Science, 2011, 6(21): 5005—5011.
- [9] 金美华. 基于 PLC 的滑块自动分拣系统[J]. 制造业自动化, 2011, 33(11): 138—140.
JIN Mei-hua. The Design of Based on PLC Logistics Sorting System[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(11): 138—140.
- [10] 郎需林, 靳东, 张承瑞, 等. 基于实时以太网的 DELTA 并联机械手控制系统设计[J]. 机器人, 2013, 35(5): 576—581.
LANG Xu-lin, JIN Dong, ZHANG Cheng-rui, et al. Control System Design of DELTA Parallel Manipulator Based on Real-time Ethernet[J]. Robot, 2013, 35(5): 576—581.
- [11] 王保升, 汪木兰. 基于货单的多品种产品自动分拣系统[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 109—112.
WANG Bao-sheng, WANG Mu-lan. Automatic Sorting System for Multi-variety Product Based on Manifest[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 109—112.
- [12] 张文昌. Delta 高速并联机器人视觉控制技术 & 视觉标定技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2012: 25—45.
ZHANG Wen-chang. Control Technique and Kinematic Calibration of Delta Robot Based on Computer Vision[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012: 25—45.
- [13] 邓明星, 刘冠峰, 张国英. 基于 Delta 并联机器人的传送带动态跟踪[J]. 机械工程与自动化, 2015(1): 153—154.
DENG Ming-xing, LIU Guan-feng, ZHANG Guo-ying. Dynamic Conveyor Tracking for Delta Robot[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2015(1): 153—154.
- [14] 施银中, 陆明刚, 曲燕, 等. 基于 LabVIEW 的视觉检测控制系统研究[J]. 现代制造工程, 2014(9): 109—112.
SHI Yin-zhong, LU Ming-gang, QU Yan, et al. The Research of Vision Inspection Control System Based on LabVIEW[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2014(9): 109—112.
- [15] 熊晓松, 周凯. 基于机器视觉的工件识别系统[J]. 机床与液压, 2016, 44(4): 106—108.
XIONG Xiao-song, ZHOU Kai. Recognizing System of Workpieces Based on Machine Vision[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44(4): 106—108.
- [16] 王诗宇, 林浒, 孙一兰, 等. 基于机器视觉的机器人分拣系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(3): 125—129.
WANG Shi-yu, LIN Hu, SUN Yi-lan, et al. The Research of Industrial Robots Sorting Technology Based on Robot Vision[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2017(3): 125—129.