

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.05.042

# 基于机器视觉的堆叠货箱抓取系统设计

徐志祥<sup>1</sup>,孙文博<sup>1</sup>,高东<sup>1</sup>,刘玮<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 机械工程学院,辽宁 大连 116024; 2. 久亿航宇科技(大连)有限公司,辽宁 大连 116085)

**摘要:**针对冷链运输领域自动化水平低的问题,设计一套基于机器视觉的堆叠货箱抓取系统。基于 Matlab 标定工具完成相机标定,得到坐标系转换数学模型,使用改进 Canny 边缘检测算法提取图像中堆叠货箱的位置信息,通过 PLC 控制卸货机器人按照既定程序实现对冷链集装箱中堆叠货箱的抓取作业。实验结果表明:图像处理时间小于 2 ms,抓取效率可达 5 s/件,抓取位置误差小于 5 mm,完全满足工业生产要求。

**关键词:**机器视觉;Canny 边缘检测;PLC;卸货机器人;抓取系统;堆叠货箱

**中图分类号:**TP242.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2024)05-0199-04

## Design of Grasping System of Stacked Container Based on Machine Vision

XU Zhixiang<sup>1</sup>,SUN Wenbo<sup>1</sup>,GAO Dong<sup>1</sup>,LIU Wei<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Jiuyi Hangyu (Dalian) Technology Co., Ltd., Dalian 116085, China)

**Abstract:** Aimed at the low automation level of cold chain transportation, a set of stacking container grasping system based on machine vision was designed. Matlab calibration tool was used to complete the camera calibration to obtain the mathematical model of coordinate system transformation. Improved Canny edge detection algorithm was applied to extract the position information of stacked cargo boxes in the image. By PLC, the unloading robot was controlled to grasp stacked cargo boxes in cold chain containers according to the established procedures. The experimental results show that the image processing time is less than 2 ms, the grasping efficiency is up to 5 s/piece, and the grasping position error is less than 5 mm, well meeting the requirements of industrial production.

**Keywords:** machine vision; Canny edge detection; PLC; unloading robot; grasping system; stacked container

## 0 引言

我国进口冷链产品数量很大,这些产品目前到港后由人工进行卸货,劳动强度高,工作效率低,而且冷链集装箱内温度需保持 $-20^{\circ}\text{C}$ ,工作环境恶劣,卸货人员需穿着厚重的保温服进行高强度搬运工作,这些都导致了用工难和用工贵等问题。为了提高掏箱效率、减少工人机械式重复劳动,研发一套全自动化的抓取系统去替代人工进行卸货操作具有重大意义。

目前大多数自动化程度较高的抓取系统使用机器视觉进行识别定位。屠海斌<sup>[1]</sup>设计了一套基于机器视觉的搬运抓取机器人系统,首先通过视觉图像处理识别定位目标物体,然后控制机械臂按照规划好的路径进行搬运工作。李雪梅等<sup>[2]</sup>设计了一套基于视觉引导的阀口袋识别抓取系统,通过对阀口袋的特征提取进行目标定位,PLC 控制机械臂实现了对阀口袋的抓取。王天琪<sup>[3]</sup>设计

了一种基于视觉伺服的料库抓取系统,通过分水岭算法将各个零件从料库中分割出来,然后提取图像距特征求出各个工件的位置,最终实现基于图像的视觉伺服抓取。但上述识别抓取系统存在识别时间长、抓取成功率不高等问题,不满足冷链卸货快速、可靠的要求。本文以冷链集装箱中的堆叠货箱为研究对象,针对其作业空间有限、冷链货箱数量多、难识别及难抓取等问题,提出了一种新型的抓取系统,利用机器视觉对堆叠货箱进行识别分割定位,上位机做好路径规划之后发送给 PLC,最后 PLC 控制卸货机器人实现抓取卸货操作。

## 1 系统总体搭建

### 1.1 系统硬件构建

基于机器视觉的堆叠货箱抓取系统主要由自主研发的卸货机器人、视觉系统以及 PLC 控制系统 3 部分组成。

**第一作者简介:**徐志祥(1965—),男,江西丰城人,教授,硕士,研究方向为机电自动化控制,zxxu@dlut.edu.cn。

针对冷链集装箱内堆叠货箱场景,自主研发了一套可自主移动的多模式抓取机器人。其主要由底座小车、各轴运动机构、吸盘架、伸缩托辊以及气路等组成。其中吸盘架由吸盘托架、可伸缩的上吸盘以及下吸盘组成,可针对货物位置选择水平或垂直吸取,卸货机器人组成如图1所示。

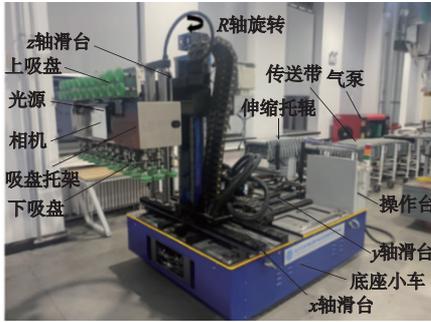


图1 卸货机器人组成

PLC控制系统由汇川AM403 PLC、IO扩展模块、各轴伺服驱动器与伺服电机、激光位移传感器以及各类外部元器件组成。

视觉系统由MV-CS060-10GM海康相机、白色LED开孔面光源以及配有Haclon的计算机组成。

## 1.2 系统工作原理

基于机器视觉的堆叠货箱抓取系统的工作原理如图2所示。在系统准备就绪后,首先在激光位移传感器的实时反馈下控制小车移动到距离货箱合适位置,确保全部货物均在相机有效视场后进行拍照;然后视觉系统进行图像处理提取每一个货箱的位置坐标,上位机在获取到货箱坐标之后进行抓取路径规划并将规划好的路径发送给PLC执行;PLC控制各轴伺服驱动器和电机运动到相应的位置进行抓取卸货操作;每一次抓完之后再进行拍照,确认没有少抓漏抓等情况,否则返回上一层重新抓取。以此循环直到一面货箱全部抓取完毕。然后再控制小车移动到拍照位置,重复同样的步骤,直到集装箱中的货物全部抓取完毕。

## 2 图像识别检测及定位

### 2.1 目标识别检测

视觉系统中相机的标定是重要环节,它决定视觉系统是否能准确定位目标物体的真实位置<sup>[4]</sup>。普通相机往往采用小孔成像模型,这涉及到4个坐标系之间的转换,分别是世界坐标系、相机坐标系、图像坐标系和像素坐标系<sup>[5]</sup>。这4个坐标系之间的转化关系如式(1)所示。

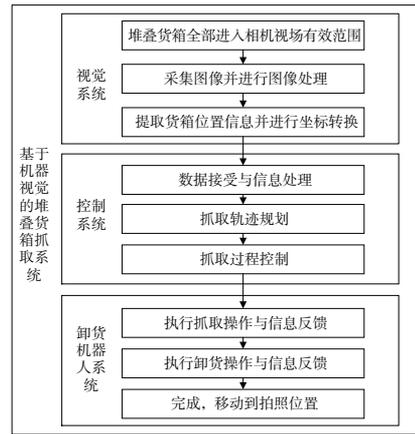


图2 抓取系统工作原理

$$Z \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dX} & -\frac{\cot\theta}{dX} & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dY\sin\theta} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $Z$ 为尺度因子; $[u,v]$ 为像素坐标系下一点的像素坐标; $[U,V,W]$ 为该点对应在世界坐标系下的物理

坐标;矩阵  $\begin{bmatrix} \frac{1}{dX} & -\frac{\cot\theta}{dX} & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dY\sin\theta} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  为相

机的内参矩阵;矩阵  $\begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  为相机的外参矩阵。

内参矩阵取决于相机的内部参数,外参矩阵取决于世界坐标系和相机坐标系之间的位置关系<sup>[6]</sup>。此外在实际使用中,得到的像素图像并不是完全按照小孔成像原理进行透射投影,物点的实际成像与理论成像之间存在一点畸变误差,因此还需要进行镜头畸变矫正<sup>[7]</sup>。相机标定的目的就是找一个合适的数学模型并求出这个模型的参数,获得相机的内参矩阵、外参矩阵以及畸变系数<sup>[8]</sup>,从而得到像素坐标与世界坐标的转换关系。通过张正友标定法进行相机标定,得到了如下的标定结果。

计算得到的内参矩阵为

$$\begin{bmatrix} 2.583 & 53 \times 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.591 & 16 \times 10^3 & 0 & 0 \\ 1.523 & 21 \times 10^3 & 1.041 & 20 \times 10^3 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

畸变系数为-0.175%。

此外还需要进行手眼标定以及像素当量标定,通过手眼标定可以求得世界坐标系与相机坐

标系的位置转换关系;通过像素当量标定可以得到尺寸因子,实现不同物距下像素尺寸到实际尺寸的转换<sup>[9]</sup>。

## 2.2 目标识别分割及其定位

针对冷链集装箱内堆叠货箱的特点,基于Haclon软件设计了一套堆叠货箱识别分割及定位的方法。图像处理流程如图3所示。

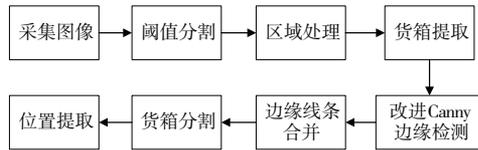


图3 图像处理流程

### 1) 图像预处理

图像预处理的主要目的是消除图像中无关的信息,突出目标信息,从而改进特征抽取、图像分割、匹配和识别的可靠性<sup>[10]</sup>。相机采集到的原始灰度图像如图4(a)所示。由于货箱与集装箱环境存在灰度差,可以通过阈值分割将堆叠货箱与集装箱背景进行分割,阈值分割后的图像如图4(b)所示。可以看出仍然有部分背景干扰存在,这就需要进行腐蚀、膨胀、开运算以及闭运算等一系列形态学操作去消除掉噪声,从而只保留货箱区域,经过形态学操作后的图像如图4(c)所示。通过区域处理即可获得货箱区域位置的图像,货箱区域图像如图4(d)所示。

### 2) 改进 Canny 边缘检测

Canny 边缘检测主要分为4步来实现,分别是高斯模糊、计算梯度、非极大值抑制以及双阈值连接<sup>[11]</sup>。由于货箱的边缘为水平或垂直线条,基于这一特征进行筛选,通过最小二乘法求得线段斜率,只保留水平和垂直方向,减少运算量,缩短了图像处理时间。基于改进后的Canny算法检测效果如图4(e)所示。

### 3) 货箱分割定位

经过改进Canny边缘检测得到的是断断续续线段,还需进行线条合并操作以分割出独立的货箱,线条合并操作结果如图4(f)所示。对合并后的线条进行区域化处理即可将每一个货箱独立分割出来,得到每一个货箱的最小外接矩形,货箱分割结果如图4(g)所示。对每一个独立分割出来的货箱进行最小外接矩形处理,从而得到每一个货箱的中心点位置坐标与倾斜角度,如图4(h)所示。

经过上述一系列图像处理操作之后,得到了每一个货箱在像素坐标下的位置,然后将每一个货箱位置

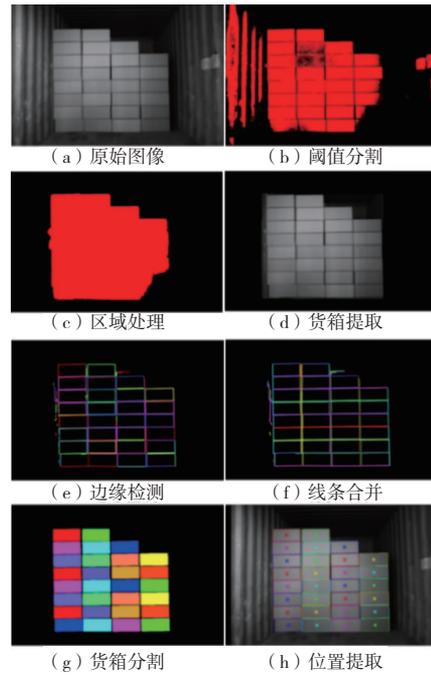


图4 图像处理效果

的像素坐标代入坐标系,转化数学模型即可求得每一个货箱在世界坐标系下的位置坐标与倾斜角度。

## 3 系统实现

在将视觉系统、PLC控制系统以及卸货机器人硬件搭建完成之后,还需要进行PLC控制程序设计以及上位机软件设计。上位机软件是基于Visual Studio 2019开发环境,采用C#语言编写。

通过软硬件的调试,抓取系统工作流程如下:

1) 小车自动移动到拍摄位置,拍摄的照片发送给上位机进行图像处理,然后通过坐标变换得到货箱的实际位置;

2) 在得到货箱的位置信息之后进行路径规划,然后将规划好的路线发送给PLC,最后PLC控制卸货机器人进行抓取卸货操作;

3) 在完成一次循环之后,视觉系统再次拍照,从而得到最新的货箱位置信息,然后再进行抓取卸货,直到货箱全部抓取完毕。系统控制流程如图5所示。

## 4 工程验证

为了验证系统的可行性,在某集团进行了大量的抓取实验,抓取的堆叠货箱长宽高尺寸为530 mm×300 mm×250 mm,抓取数量为10 000个。抓取结果表明:视觉图像处理时间约2 ms,识别成功率可达97%以上,可牢固抓取25 kg以内的货

箱,货箱抓取精度在 5 mm 以内,如表 1 所示,抓取效率可达到 5 s/件,抓取系统卸货过程如图 6 所示。

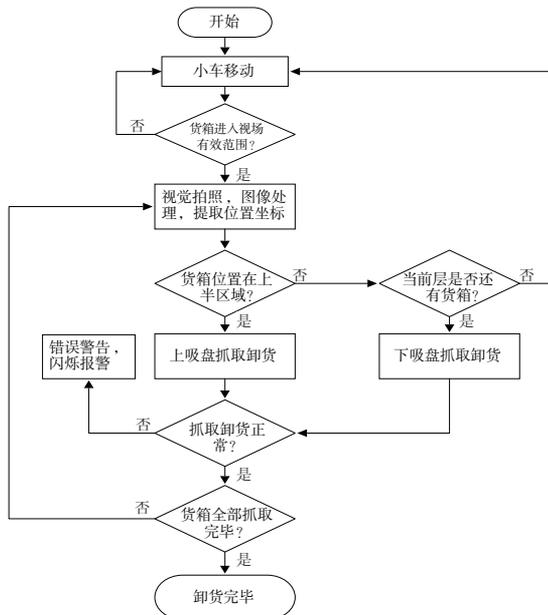


图 5 系统控制流程图

表 1 抓取位置与实际位置对比 单位:mm

序号	抓取位置	实际位置	误差
1	2 060	2 059	1
2	1 828	1 830	2
3	1 600	1 601	1
4	1 372	1 372	0
5	1 140	1 142	2
6	910	913	3
7	683	684	1
8	463	465	2
9	225	226	1



图 6 抓取系统卸货过程

### 5 结语

本文设计了一套基于机器视觉的堆叠货箱抓取系统,采用机器视觉、改进 Canny 边缘检测以及最小外接矩形的方法得到货箱的像素坐标;再通过坐标变换得到每一个货箱的世界坐标位置后进行路径规划,最后卸货机器人在 PLC 的控制下按照既定路径实现对堆叠货箱的抓取卸货。该系统于 2022 年 11 月在某集团进行了大量的抓取实验。实验结果表明:该抓取系统图像处理时间 2 ms,定位精度 5 mm,抓取成功率可达 97%,能够很好地满足工业生产,对实现自动化卸货提供很高的实用价值。

### 参考文献:

[1] 屠海斌. 基于机器视觉的搬运机器人系统研究与软件实现[D]. 南京:东南大学,2015.

[2] 李雪梅,李喆,张鑫,等. 基于机器视觉的阀口袋动态抓取系统设计[J]. 机床与液压,2022,50(12):77-82.

[3] 王天琪. 基于视觉伺服的机器人料库抓取系统研究[D]. 常州:江苏理工学院,2020.

[4] 苗彭. 基于视觉的机械臂工件抓取系统研究[D]. 天津:天津理工大学,2019.

[5] 李晓晓,吴昊荣,孙付春,等. 基于 Halcon 的单目相机标定方法与测量实验[J]. 山东工业技术,2022(5):8-12.

[6] 占光洁,丁涛,马志斌. 一种基于无人机的钱塘江涌潮高度及传播速度测量方法:CN114396921A[P]. 2022-04-26.

[7] DUAN Y, YU Y L, LI P, et al. High-precision camera calibration based on a 1D target[J]. Optics Express, 2022,30(20):36873.

[8] 孙浩然. 大挠性卫星高精度姿态控制技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.

[9] 丁鹤华,杜坡,段振云. 大直径零件机器视觉转角测量标定方法[J]. 机械管理开发,2022,37(7):64-66.

[10] 杨正华,朱健. 基于机器视觉的阀芯自动装配系统[J]. 机械制造与自动化, 2021, 50(1):231-234,236.

[11] VEMURU K V. Implementation of the canny edge detector using a spiking neural network [J]. Future Internet,2022,14(12):371.

收稿日期:2023-03-16