

基于机器视觉的纽扣电池托盘分拣系统

顾六平, 姚庆文

(常州轻工职业技术学院, 常州 213164)

摘要: **目的** 为了提高电池生产企业的检测效率, 避免误检, 以降低企业生产成本。**方法** 分析传统分拣方式中存在的不足之处, 以 ABB 并联机器人和美国康纳智能相机为平台, 搭建一个基于机器视觉的工业机器人分拣系统。运用经典的 SIFT 算法对分拣对象的图片信息进行处理, 克服了光照和位置变化对视觉系统造成的不良影响, 提高分拣效率。**结果** ABB 并联机器人根据图像信息能识别出待分拣的物体, 且工作稳定、可靠, 分拣成功率为 100%。**结论** 该分拣系统软硬件设计合理, 满足了电池生产企业的要求。

关键词: 并联机器人; 机器视觉; SIFT 算法; 分拣系统

中图分类号: TB486; TP29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0178-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.027

Sorting System of Button Cell Tray Based on Machine Vision

GU Liu-ping, YAO Qing-wen

(Changzhou Vocational Institute of Light Industry, Changzhou 213164, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the detection efficiency of battery production enterprises and avoid false detection to reduce production cost of the enterprise. The deficiencies in traditional sorting methods were analyzed. An industrial robot sorting system based on machine vision was constructed with ABB parallel robot and American Connal intelligent camera as platform. The classic SIFT algorithm was used to process the image information of sorted objects, which overcame the adverse impacts of illumination and position change on visual system and improved the sorting efficiency. ABB parallel robot could identify objects to be sorted according to image information. It worked stably and reliably and enjoyed success rate of 100%. The software and hardware of the sorting system are reasonably designed and meet the requirements of battery manufacturers.

KEY WORDS: parallel robot; machine vision; SIFT algorithm; sorting system

目前, 国内电池生产企业对纽扣电池托盘中“是否放置同一型号产品? 是否有缺少产品?”还是通过传统的人工来检测。这种人工检测是通过人为观察的方式来实现对托盘中每个纽扣电池的型号进行判断, 然后挑选出不合格产品。这种检测方法不仅效率低下, 而且工人在高强度的工作中会出现视觉疲劳, 误检时有发生。随着产业升级, 传统的人工检测已不适应工业发展, 高效、安全、稳定的视觉机

器人成为最佳选择^[1], 因此文中研究一种基于机器视觉的纽扣电池托盘分拣系统, 利用机器视觉技术来代替工人的目测, 对纽扣电池托盘中放置的产品型号, 有无电池做出是否合格的判断, 是一种新型检测方式。

1 纽扣电池托盘分拣系统的工作流程

纽扣电池托盘分拣系统是纽扣电池自动生产线

收稿日期: 2017-09-22

作者简介: 顾六平 (1972—), 男, 常州轻工职业技术学院讲师、高级技师, 主要研究方向为自动生产线设计、智能机器人应用、数控机床维修等。

通信作者: 姚庆文 (1967—), 男, 硕士, 常州轻工职业技术学院副院长、教授, 主要研究方向为电气工程。

中的一个重要环节, 计算机程序会判断视野内传送带上的纽扣电池托盘 (见图 1), 是否有不同型号的纽扣电池混入或者缺少纽扣电池。当纽扣电池托盘随着传送带进入相机的视野区域内时, 控制系统就触发相机进行拍照, 获取纽扣电池托盘的位姿图像信息。接着将这些图像信息传送到机器人视觉系统, 通过大量的数据计算, 将纽扣电池托盘它的分类信息, 坐标信息和旋转角度传递回控制器, 由控制器触发并联机器人的机械手臂将不合格的纽扣电池托盘放置到指定的位置。当传送带将下一个纽扣电池托盘运行到相机视野区域后, 重复上述的过程。



图 1 纽扣电池托盘
Fig.1 Button cell tray

2 纽扣电池托盘分拣系统的硬件组成

该分拣系统是由 ABB 并联机器人系统、机器视觉系统、交换机、传送带以及纽扣电池托盘组成, 结构见图 2, 各组成部分参数见图 3。

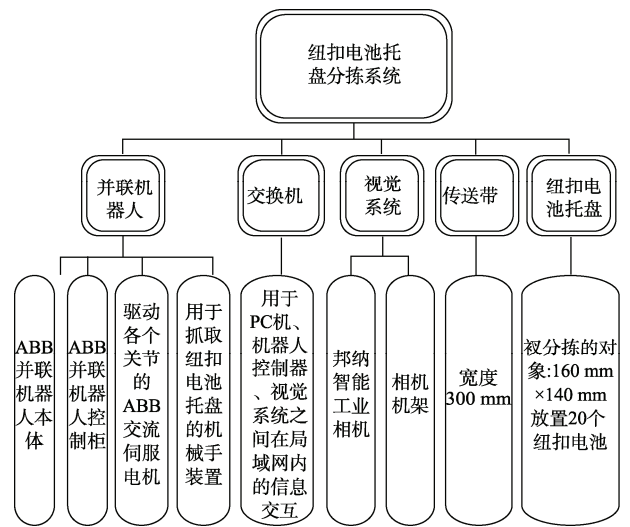


图 2 纽扣电池托盘分拣系统结构
Fig.2 Structure of button cell tray sorting system

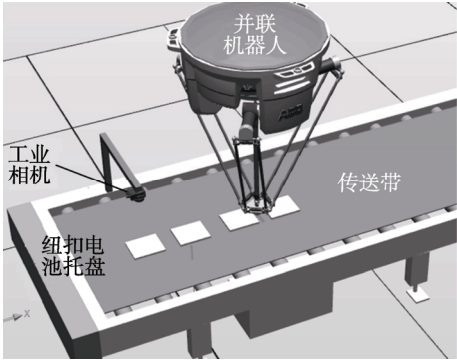


图 3 纽扣电池托盘分拣系统硬件参数
Fig.3 Hardware parameters of button cell tray sorting system

3 纽扣电池托盘分拣系统总体设计

3.1 相机的标定

机器视觉就是用计算机来代替人类的感官获取并处理信息的能力, 相机参数的标定是其中非常关键的环节, 标定结果的精度及算法的稳定性直接影响相机在处理图像的准确性^[2], 是整个分拣系统的高效运行技术基础。

相机标定的主要内容就是利用相机获取模板图像的二维坐标信息, 通过算法计算其在三维空间中的各个数值, 以便获取图像中的点与其相对应的三维空间物体表面的点的对应关系, 以此建立模板的几何模型^[3]。

文中所研究的相机标定是放置在传送带上方的工业相机拍摄 2D 视觉应用, 一般采用张正友平面标定方法。张正友以标定模板位于世界坐标系 Z_W 平面上作为假设前提^[4], 流程如下所述。

1) 通过工业相机对模板从各个角度进行拍照, 获取至少 2 幅以上图像资料。

2) 根据工业相机拍照得到的图像资料, 使计算机获得到各个角点的位置信息计算机图像坐标内的二维点表示 $m=[u, v]^T$, 世界坐标系内的三维点表示为 $M=[X, Y, Z]^T$, 相应的齐次坐标为 $\tilde{M}=[X, Y, Z, 1]^T$ 与 $\tilde{m}=[u, v]^T$, 齐次变化后见式 (1)。

$$\rho \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 & 0 \\ 0 & f_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{R} & \boldsymbol{T} \\ \boldsymbol{0}^T & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \boldsymbol{A} \begin{pmatrix} \boldsymbol{R} & \boldsymbol{T} \\ \boldsymbol{0}^T & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: ρ 为任一比例因子; s 为计算机图像坐标系和图像坐标系之间的倾斜量; f_u 为 u 轴的尺度因子; f_v 为 v 轴的尺度因子; $\boldsymbol{R}$ 为旋转矩阵; $\boldsymbol{T}$ 为平移矩阵。

3) 计算每幅图像的单应性矩阵。取目标模板所在平面的世界坐标系为 Z_W 平面为 0, 模板平面上的点为:

$$\rho \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $A(r_1 r_2 t)$ 为这个模板平面上的点和他的像点之间的单应性矩阵 H 。

4) 线性分解单应性矩阵得内外参数矩阵。首先利用最大似然法 (ML) 来估计单应性矩阵 H , 即从模型总体随机抽取 N 组样本观测值后, 使其概率最大。然后通过 Levenberg-Marquardt 法迭代实现非线性优化问题^[5]。最后加上约束条件计算出相机的内外参数矩阵。

5) 获得畸变参数系数 k_1, k_2 。张正友在标定过程中只考虑了径向畸变, 矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} (u-u_0)(x^2+y^2) & (u-u_0)(x^2+y^2)^2 \\ (v-v_0)(x^2+y^2) & (v-v_0)(x^2+y^2)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u-u \\ v-v \end{bmatrix} \quad (3)$$

6) 参数的优化。

$$\sum_i \sum_j \|m_{ij} - \tilde{m}(A, k_1, k_2, R_i, t_i, M_j)\|^2 \quad (4)$$

将上述所计算的 A, k_1, k_2, t, M 的初始值代入后, 取上式的最小值, 就可以计算出相机参数的准确值。

3.2 图像去重复

在传送带运送纽扣电池托盘至相机视野范围内的过程中, 相机是以一定的频率进行图像采集的, 若托盘经过相机视野范围的时间大于相机的拍照时间间隔, 同一托盘就会被重复进行图像采集, 因此计算机根据图像获取托盘信息时, 必须要进行去重复处理, 以免在后续的机器人分拣中出现误抓, 漏抓现象^[6]。

具体要求为:

$$M \times f - v > 0 \quad (5)$$

式中: M 为相机视野范围; f 为相机拍摄的频率; v 为传送带的速度。

3.3 图像处理过程

文中研究的分拣对象是纽扣电池, 它的外观形状为圆形, 由不锈钢材料制成, 商标和型号用阴文刻在表面, 容易反光, 很难获得其准确的图像用以建立数学模型, 因此, 对图像信息处理的准确性和鲁棒性有了更高的要求^[7]。

SIFT 算法是 LOWE 在 1999 年提出了尺度不变的特征 (scale-invariant feature), 用来进行物体的识别和图像的匹配^[8-9]。在众多的图像处理算法中, SIFT 算法具有较好的鲁棒性和独特性, 对外界环境改变具有较好的适应能力, 特别对于光照的变化能保持一定的稳定性^[10], 因此确定以 SIFT 算法进行中的

图像匹配处理。

整个算法包括 6 个主要的流程^[11], 见图 4。

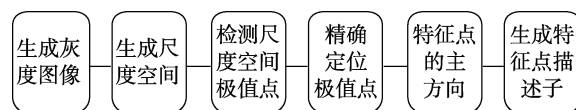


图 4 SIFT 算法流程

Fig.4 SIFT algorithm process

3.3.1 生成灰度图像

为了减少图像特征提取与匹配时计算机检索的范围和数据量^[12], 要将纽扣电池托盘生成一个灰度的图像, 见图 5。



图 5 纽扣电池托盘灰度图像

Fig.5 Gray image of button cell tray

3.3.2 生成尺度空间

为了检测图像的尺度变化具有不变性的位置, 可以在尺度的连续函数也就是尺度空间中寻找稳定的特征^[13], 取得图像具有在不同尺度下的图像。

文中使用高斯尺度空间, 用 $L(x, y, \sigma)$ 表示, 它是由一个尺度可变的高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 和图像的表达式 $I(x, y)$ 做卷积后的结果, 即:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (6)$$

运算时为了更高效地提取到特征点, 使用高斯差分函数, 见式 (7)。

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \quad (7)$$

连续 4 次进行高斯差分后, 得到了 DOG 金字塔的模型。

3.3.3 检测尺度空间的极值点

在建立的 DOG 尺度空间金字塔中, 首先检测最大值的点和最小值的点, 然后跟该点所在的高斯差分尺度空间内相邻 8 个像素点进行比较, 接着比较该点

的上一层尺度空间和下一层尺度空间的 9 个相邻像素点，最后确认尺度空间和二维图像空间的极值^[14]。

3.3.4 精确定位极值点

为了获得亚像素精度，要计算关键点的偏移量。设置一个阈值 R ：

$$R = \frac{(\alpha + \beta)^2}{\alpha\beta} \leq \frac{(r+1)^2}{r}$$

(8)

式中： α 为该点的最大幅值； β 为次小值， $r = \frac{\alpha}{\beta}$ 。一般取 $r=10$ ，不满足式（8）则剔除该点。

3.3.5 特征点的主方向

统计关键点邻域内像素点的方向，以最多个数的点的方向作为主方向。

3.3.6 生成特征点描述子

特征点位置和方向确定之后，要在数学上对这个点进行描述，生成它的描述子，完成图像与图像之间的匹配。

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

(9)

式中： θ 为特征点和方向之间的夹角。

3.4 图像的识别

提取图像特征之后，便要对其进行分类识别。该系统采用模板匹配的方法进行特征判别，即纽扣电池托盘中“是否放置同一型号产品？是否有缺少产品？”。检测结果见图 6。



图 6 有混料的纽扣电池托盘检测结果
Fig.6 Test results of button cell tray with mixture

4.5 纽扣电池托盘分拣系统程序流程

根据电池生产企业的需求，ABB 并联机器人要准确的识别出传送带上装有混料的纽扣电池托盘，并将它抓取至指定的位置^[15]，这一过程的程序设计流程见图 7。

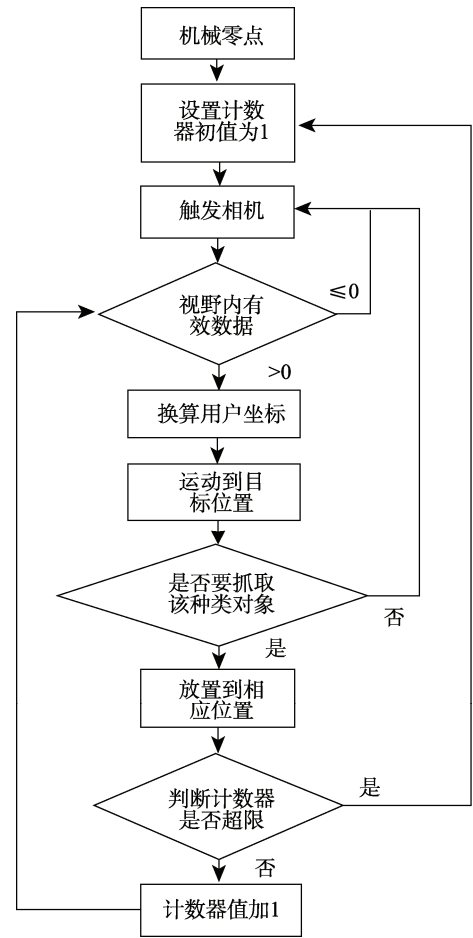


图 7 程序设计流程
Fig.7 Program design flow

5 结语

经过对软硬件的调试，文中所研究的分拣系统顺利完成了对装有混料的纽扣电池托盘的分拣过程。在试运行过程中，电池生产企业车间的生产环境正常（噪音较大，普通照明光源）。此时，在上位机上建立一个正确的纽扣电池托盘的模板，然后在运动着的传送带上随意放置了几个纽扣电池托盘（有一个装有混料电池），传输过程中传送带震动明显，使多个目标偏移原位。接着视觉系统通过识别托盘的图像信息，找出带有混料的纽扣电池托盘，并向 ABB 并联机器人发送其位姿信息。根据提供坐标信息，并联机器人的执行机构移动到该纽扣电池托盘上方，实施抓取后移动到指定地点放置。并联机器人可根据图像信息的显著区域，识别出特定的物体，确定自己所在的位置，而不用考虑其视觉范围内的其他景物，工作稳定、可靠，满足了电池生产企业需求，分拣率达到 99.9%。

参考文献：

[1] 黄冰鹏, 林义忠, 杨中华, 等. 码垛机器人的研究现

- 状[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 82—87.
HUANG Bing-peng, LIN Yi-zhong, YANG Zhong-hua, et al. Research and Application Situation of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(5): 82—87.
- [2] 游迪. 基于合作标定物的相机标定方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
YU Di. Research on Camera Calibration Method of Based on Cooperation Calibration[D]. Beijing: China University Academy of Sciences, 2016.
- [3] 张铨伟, 王彪, 徐贵力. 摄像机标定方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 174—179.
ZHANG Cheng-wei, WANG Biao, XU Gui-li. Camera Calibration Method of Research[J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(11): 174—179.
- [4] ZHANG Z Y. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330—1334.
- [5] YAMASHITA N, FUKUSHIMA M. On the Rate of Convergence of the Levenberg-marquardt Method[J]. Computing, 2001, 15: 239—249.
- [6] 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 Yan-an, ZHANG Cheng-rui, et al. Machine Vision Delta Based on Robot Sorting System[J]. Algorithm Robot, 2016, 38(1): 49—55.
- [7] 靳淑祎, 李世科. 基于 PLC 的定量称量包装控制系统设计[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 124—128.
JIN Shu-wei, LI Shi-ke. Design of Quantitative Weighing Packaging Control System Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 124—128.
- [8] 李军民, 王进戈, 周文天. 基于相对位置不变性的 SIFT 高效匹配算法研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(6): 105—109.
LI Jun-min, WANG Jin-ge, ZHOU Wen-tian. The Efficient Matching Algorithms of SIFT Basing on the Relative Position Fixity[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science), 2013, 45(6): 105—109.
- [9] STEPHEN S, LOWE D G, LITTLE J J. Visionased Global Localiazation and Mapping for Mobile Robots[J]. IEEE Transactionon Robotics, 2005, 21(3): 364—375.
- [10] 崔哲. 基于 SIFT 算法的图像特征点提取与匹配[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
CUI Zhe. Feature Extraction and Matching Algorithms Based on the SIFT Image[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2016.
- [11] 张志忠. 移动机器人视觉中图像特征点提取与匹配技术研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
ZHANG Zhi-zhong. Research on Image Feature Extracting and Matching in Mobile Robot Vision[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-tech University, 2016.
- [12] 冯嘉. SIFT 算法的研究和改进[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
FENG Jia. SIFT Algorithm and Improved[D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [13] 韦虎. 基于 SIFT 图像特征匹配的多视角深度图配准算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(4): 654—661.
WEI Hu. Registration Algorithm of Multi View Depth Map Based on SIFT Image Feature Matching[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2010, 22(4): 654—661.
- [14] 南飞艳. 基于 SIFT 特征匹配的双目视觉图像识别定位系统研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
NAN Fei-yan. Binocular Vision Positioning System of Image Recognition Based on SIFT Feature Matching[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010.
- [15] 张会, 刘士荣, 张波涛. 一种基于颜色和纹理的显著区域提取算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(10): 399—402.
ZHANG Hui, LIU Shi-rong, ZHANG Bo-tao. An Algorithm of Salient Region Extraction Basing on Color and Texture[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science), 2013, 41(10): 399—402.