



基于图像处理的物料识别综合实验设计

华铁丹

(武汉科技大学 信息科学与工程学院, 武汉 430081)

摘要: 以实际工业现场生产线中物料分拣的应用为背景, 设计了数字图像处理课程的综合实验案例。在综合实验课程中, 构建了机器人物料识别与分拣系统和可交互图形用户界面。根据实际工程要求, 学生在可交互图形界面中利用 Python 作为编程语言, 运用生产线中物料识别的原理, 补充业务逻辑代码, 按照“图像输入—图像处理—结果输出”的顺序完成函数, 实现物料分拣的功能。在综合实验设计中采用“分层次”的教学方法, 按认知实验、验证实验、创新实验 3 个层次设计实验。该综合实验是现有理论教学的有益补充, 有助于达成课程教学目标。

关键词: 数字图像处理; 综合实验; 形状识别; Python

中图分类号: TP391; G642.423

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20220062](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20220062)

Comprehensive Experimental Design of Material Recognition Based on Image Processing

HUA Tiedan

(School of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: Based on the application of material sorting in the actual industrial field production line, a comprehensive experiment case for the digital image processing course is designed. In the comprehensive experiment case, a material recognition and sorting robot system and an interactive graphical user interface are constructed. Students use Python as the programming language and apply the principle of material recognition to add the business logic code in the interactive graphical interface according to the actual engineering requirements. Students complete functions in the order of “image input-image processing-result output” to realize material sorting. In the design of this comprehensive experiment, the multi-level teaching method is adopted, and the experiment is divided into three levels including cognitive experiment, verification experiment and innovation experiment. This comprehensive experiment is a useful supplement to the existing theory teaching and helps to achieve the teaching objectives of the course.

Key words: digital image processing; comprehensive experiment; shape recognition; Python

数字图像处理是面向电子信息类专业开设的一门理论性较强的专业课程, 该课程要求学生掌握有关数字图像处理技术的基本概念和理论原理^[1]。数字图像处理的内容偏于抽象化, 为利于学生对理论知识的深入理解, 在教学时应注重将基础理论算法和实际生产生活中的具体应用相结合^[2]。近年来, 随着机器视觉在工业、制造业、航天等各个领域的快速发展, 图像处理技术应用十分广泛, 在机器视觉实际应用中

涉及的数字图像处理知识点能够与该课程理论教学相结合^[3-4]。在“新工科”理念的指导下, 数字图像处理课程实验教学环节可根据实际工程应用场景设计对应的综合实验供学生实践, 让学生在实验环节中解决光学系统选型、视觉系统标定、目标图像的视觉识别等工程问题, 以此培养学生综合运用理论知识的能力和创意思维^[5]。

工业机器人搬运、分拣物料等工作任务被广

收稿日期: 2022-01-24; 修回日期: 2022-03-14

基金项目: 2021 年武汉科技大学教学研究项目(2021X048); 2021 年湖北省高等学校实验室研究项目(HBSY2021-86)。

作者简介: 华铁丹(1992-), 男, 硕士, 助理实验师, 主要从事机器人控制等方面的研究。E-mail: huatiedan@wust.edu.cn

泛应用在机床上下料、自动装配流水线、码垛搬运等实际场景,该任务的工作效率和准确率很大程度上取决于物料的识别速度和精准度^[6-7]。机器视觉是物料识别的关键技术,也是完成搬运、分拣任务的基础,在工业机器人执行任务前,需要应用机器视觉技术中数字图像处理相关算法对物料进行分析、识别和定位处理,以此辅助机器人完成相应的搬运工作^[8]。

在此应用背景下,本文以基于视觉模块的机器人物料分拣项目为教学案例,结合“数字图像处理”课程教学目标,设计综合实验^[9]。本实验模拟实际工业现场生产线中基于图像处理技术完成物料形状识别的应用场景,构建教学模块,进行物料的视觉识别实验。从工程实际出发,详细介绍了视觉系统的搭建及数字图像处理的实现过程,让教学效果更加直观,从而提高实验教学效果^[10]。

1 机器人物料识别与分拣系统

在综合实验课程中,构建了机器人物料识别与分拣系统。主要由 PLC(可编程逻辑控制器)控制器、工业机器人、视觉模块和可交互图形用户界面(PC 端)组成。PLC 负责系统的整体逻辑控制;视觉模块负责采集物料工作图像并进行识别,同时可将采集的图像传输给 PC 端,再由可交互图形用户界面对采集的图像进行自定义处理;学生可在 PC 端开发编程,对图像进行二次处理,完成课程训练。工业机器人负责对物料进行抓取操作。

机器人物料分拣系统工作的流程如图 1 所示。当传感器检测到物料到位后会触发视觉模块工作,相机开始拍照并对图像进行处理,得到视觉模块输出。同时视觉模块将图像传递给 PC 端,再由 PC 端的可交互图形用户界面对图像进行二次开发,学生可通过编程完成图像处理,同时软件中已经开发好了默认处理逻辑,包括二值化、边缘提取和模板匹配,可与自定义处理逻辑做对照比较。通过可交互图形用户界面输出图片基本信息和图像识别结果给 PLC 控制系统,PLC 控制系统再结合视觉模块输出,根据应用场景引导机器人进行路径规划,完成物料分拣的操作。

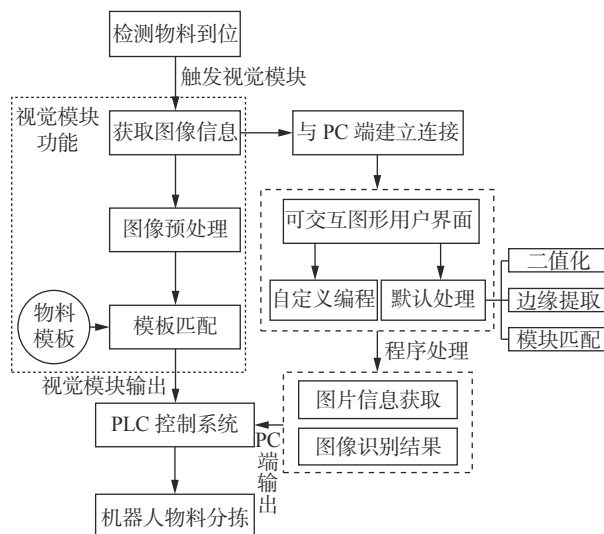


图1 机器人物料分拣系统工作流程图

2 实验平台设计

2.1 实验硬件平台

机器人物料识别与分拣系统模拟实际工业现场生产线中未成品物料搬运和成品物料分拣入库等多个应用场景。物料识别部分分为料井、机器视觉模块和平面料盘,其工作原理为物料从料井中依次出库,由传送带传送到机器视觉模块执行识别操作,当识别完成后将物料传送到末端,同时将识别结果传送到工作台控制系统,控制系统接受物料到达传送带末端的信号后,由机器人实现吸取物料至平面料盘的功能。硬件平台结构如图 2 所示。

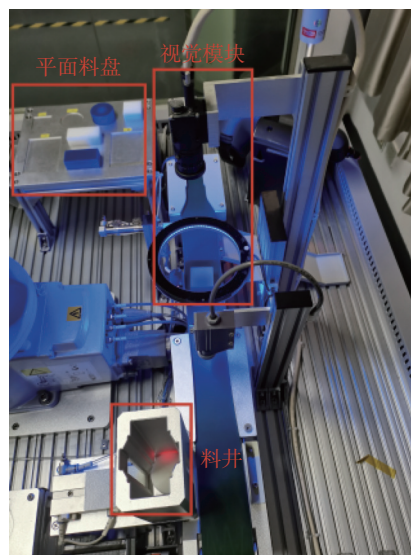


图2 硬件平台结构

图像采集是物料形状识别算法的前提条件,采集性能直接影响到分拣的整体效率。图像采集

模块由欧姆龙图像处理系统 FH-L550 和光源组成,在采集过程中光源均匀照射在物体表面提高成像清晰度,工业相机拍摄的图像作为物料识别算法的输入。图像处理系统配备了一台相机和触摸屏监视器,既可以通过系统内部工作环境配置物料的测量内容,演示工业级的物料识别,也可以通过以太网与外部设施进行通信,在此基础上二次开发实现自定义的图像处理。

2.2 实验软件平台

Python 语言近几年来受欢迎程度一直上涨,据 IEEE Spectrum 发布的 2021 年度编程语言排行榜显示,Python 已经成为最常用编程语言^[1]。本文的可交互的图形用户界面采用 Python 语言进行编写,图形用户界面(GUI)主界面由 PyQt5 构建,图像处理由功能强大的图像处理软件库 OpenCV 提供。在界面主窗口中能够通过以太网获取机器视觉模块实时采集的图片,充分展现图像信息。学生可进到实验平台的主界面中对物料图像进行边缘分割与检测、图像改善、图像滤波、图像变换、图像优化等操作,同时设计了工程实践模块,学生可根据所学知识编写完整的函数体,完成图像处理相关代码。

一旦学生理解了图像处理各个步骤的原理及 OpenCV 实现方法,再根据实际工程要求在可交互图形界面中补充业务逻辑代码,按照“图像输入—图像处理—结果输出”的顺序完成函数,就能实现工业机器人基础教学工作站分拣物料的功能。

3 综合实验内容设计

综合实验总体系统框图如图 3 所示。教学形式上采用项目式教学方法,将基于视觉模块的机器人物料分拣项目拆解为可供学生实践的图像采集、图像预处理、图像识别、物料分拣等各个子任务。在教学内容上,引导学生应用数字图像处理中的图像二值化、边缘检测、模板匹配等技术。

3.1 图像采集与预处理

在实验前首先连接好机器人工作站与 PC 机,然后打开视觉处理模块并启动工作站的物料运输功能,让物料通过传送带从料井移动到相机的正下方。相机实时采集物料图像。图像的分辨率为 1024×768 像素,颜色空间为 RGB,采用 png 格式

存储,每幅图像包含完整的物料及传送带、背景等信息。

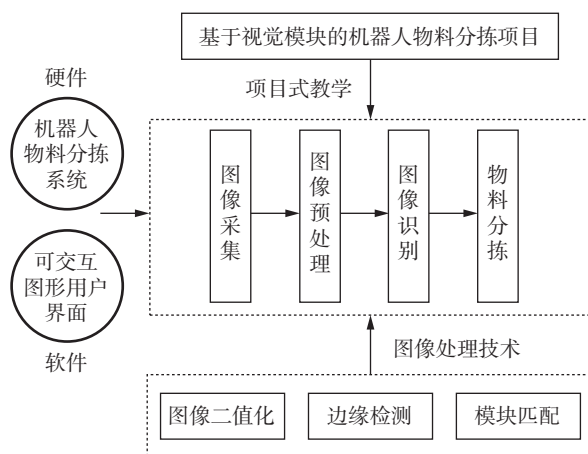


图 3 综合实验总体系统框图

采集好的图像需上传至 PC 机中,作为图像处理的输入。视觉模块和 PC 机使用 FTP 协议通信,通过配置 IP、端口等网络参数,构建通信网络,将视觉模块中的图像存储在 PC 机的指定文件夹中。

物料识别功能实际需要分析的是物料的信息,该部分数据只占整个摄像头获取整体图像的一部分。因此需要对图像进行裁剪与分割,只保留物料的图像数据,提升识别效率。图 4 为相机采集的完整的图像信息,其中物料区域在相机采集图像的中间区域,因此将原有的 1024×768 像素区域进行裁剪分割处理,图中方框内的部分即为处理后保留的物料区域。

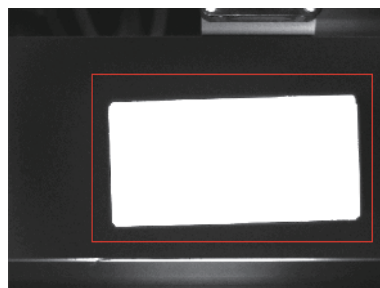


图 4 相机采集图像和裁剪分割保留区域

3.2 图像识别

图像处理功能在可交互的图形用户界面上进行。选择物料区域的图像作为输入,图像处理部分包括图像二值化、边缘提取与检测、模板匹配等几个环节,目标是实现物料形状的识别。学生使用 OpenCV 中的函数补充代码实现对应功能,并对结果进行可视化显示。

3.2.1 图像二值化

图像采集获取的彩色图像可能会受到光照不均等因素造成的影响，需要对其进行预处理。图像二值化是最常见的处理手段，即将图像上点的灰度置为 0 或 255，使整个图像呈现黑白效果。实验案例中，采用阈值法即可满足要求，本文以此为例进行说明。

设 $T(x_i, y_j)$ 为图像在点 (i, j) 处的像素值，在阈值法中任意点 (i, j) 处的输出为：

$$T'(x_i, y_j) = \begin{cases} 0, & T(x_i, y_j) \leq THR \\ 255, & T(x_i, y_j) > THR \end{cases} \quad (1)$$

该方法需要寻找一个合适的阈值 THR ，使在任意点 (i, j) 处小于该阈值的像素点设置为 0，大于该阈值的像素点设置为 255。

用 Python 语言实现二值化程序并不难，利用循环遍历所有像素点再确定合适的阈值 THR 即可实现该运算。本实验案例中，给出二值化函数的声明如下，学生根据所学知识编写完整的函数体：

二值化图像功能，img 为输入的图像，待实现具体功能

```
def threImage(img):
```

3.2.2 边缘提取与检测

边缘提取与检测能够提取图像局部像素值变化较大的地方，进而对图像信息进行简化，边缘检测中的经典算法包括 Sobel 算子、Lapacian 算子、Canny 算子等。在实验中，在 OpenCV 软件包中，分别定义了各个算子的内部处理函数，学生可以通过编程方式来辅助实现相关功能。在相关函数实现完成后，学生可以通过用户界面直观方便地查看各个算子的使用效果。给出的待学生完成的二值化函数的声明如下：

对图像进行边缘提取与检测处理，img 为输入的图像，待实现具体功能

```
def dectImage(img):
```

3.2.3 模板匹配与识别

得到图像边缘信息后即可通过边缘、拐角等形状特征进行匹配以完成识别。模板匹配算法是图像处理领域中对目标形状识别最具代表性的方法，在工程应用中使用较广。考虑到学生具备的理论基础和教学难度，实验平台使用归一化平方差匹配法，该方法预先对目标图像和模板图像进

行标准化操作，再比较两张图片各个像素点的平方差相似性，归一化平方差值越小，目标图像与模板越相近。该方法使用的相似性度量定义如下：

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} [T(x', y') - I(x + x', y + y')]^2}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2} \cdot \sqrt{\sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad (2)$$

当学生理解了上述基本原理及实现，再根据 OpenCV 提供的函数，即可实现算法。

对图像进行模板匹配，origin 为输入的图像，temp 为模板图像，待实现具体功能

```
def matchImage(origin, temp):
```

当学生掌握了以上数字图像处理的基本原理及实现方法后，即可按照“二值化—边缘提取与检测—模板匹配”的顺序实现函数，完成物料识别的功能。

综上所述，本实验中的主程序如下所示。

1) 图像识别主流程函数，点击识别按钮后运行该方法

```
def mainProcess(window):
```

用于进行匹配的模板路径，需在执行程序前准备好

```
temp_path = "temp/rect.png"
```

输入图像路径，需根据图像名称变动

```
img_path = "img/origin.png"
```

获取路径下的图像，后续对该变量进行处理

```
img = cv2.imread(img_path)
```

二值化图像功能，待实现具体功能

```
threImg = threImage(img)
```

对图像进行边缘提取与检测处理，待实现具体功能

```
dectImg = dectImage(threImg)
```

对图像进行模板匹配，待实现具体功能

```
result = matchImage(dectImg, cv2.imread(temp_path))
```

展示处理后的图像、模板图像和匹配结果，该方法已实现

```
showImage(dectImg, temp_path, result)
```

2) 图像识别主程序

```
if __name__ == '__main__':
```

```
app = QApplication(sys.argv)
```

初始化可交互图形用户界面

```
mw = MainWindow()
# 展示界面, 可点击界面按钮运行结果
mw.show()
sys.exit(app.exec_())
```

根据图像处理相关知识完成注释为“待实现具体功能”的函数。根据需求和应用场景调整算法中的某些参数, 观察处理后的图像和识别结果是否符合预期。

3.3 物料分拣

物料分拣增加了工程应用背景。实现分拣前, 需设定分拣系统与 PC 端的网络通信协议(如表 1 所示)。当机器人物料识别与分拣系统检测到有物料到位后, 向 PC 端传入触发信号, PC 端收到信号后获取视觉模块中相机采集的原始图像。根据验证实验内容处理原始图像, 完成模板匹配的功能, 最终得到图像识别的结果, 将识别结果转换为分拣系统能够处理的十六进制值, 并传给 PLC 控制器进行分拣处理。完成程序设计后, 观察机器人的分拣效果。

表 1 网络通信协议

数据传输方向	指令			功能	返回数据
PLC到PC端	0X70;	0X40;	0X20	触发信号	无
PC端到视觉模块	0X80;	0X40;	0X20	图像文件保存于本体	保存路径
PC端到PLC	0X80;	{数据位};	0X20	匹配识别结果	1

实验时, 需要修改 PC 端的 Python 代码。首先修改已创建的实验主程序, 使用 socket 工具包创建 TCP 连接服务端, 端口号设置为 8090, 实现通信协议搭建数据传输通道。然后自定义方法解析指令, 根据不同指令执行不同的功能。具体步骤如下。

1) 导入 socket 工具包, 使用 socket.socket 接口设置网口;

2) 新建线程, 监听网口数据, 执行 write/read, 实现 PC 端与外部设备之间的状态与控制信息读写操作;

3) 自定义相关接口, 处理外部设备的信息, 执行图像处理工作并将结果输出给 PLC。

4 实验验证

实验使用的 PLC 控制器采用西门子 s7-200 系

列, 分拣机构为 ABB 公司的 IRB120 型六轴机械臂。在机械臂腕部末端配备夹爪吸盘工具等模块, 实现机器人常用的搬运功能, 实验装置实物图如图 5 所示。



图 5 实验装置实物图

待识别的物料分别为正方形、矩形、圆形的物块, 在平面料盘上提前规划好区域存放不同形状的物料, 得到物料在机器人极坐标系中的坐标位置和姿态。在机械臂的示教器中提前编辑好程序, 设定好不同物料摆放的起始坐标、终止坐标的值以及移动指令。

验证实验中, 基于 PyQt5 的可交互图形用户界面, 实现图像读取、边缘提取和物料分类等功能的实现。在图像的读入和显示模块, 在此选用了工作环境下矩形物料的相机抓拍图像作为原始图像, 根据所标记的坐标点对原图进行感兴趣区域(region of interest, ROI)选取, 将 ROI 区域图像采用图像处理算法, 通过可视化直观地显示物料识别结果, 如图 6 所示。



图 6 物料识别效果图

对于输入是矩形的物料图像, 经过二值化、边缘检测后, 图像信息的物料边缘信息会突出出来。经过模板匹配算法的计算, 可以得到该图像的识别结果, 将该结果显示在界面的右下角。在

返回结果后还需要将结果转化为 PLC 控制器能够处理的十六进制值, 在此以 0X01、0X02、0X03 分别代表矩形、正方形、圆形物料。

在程序中还需要通过 socket 工具包将数据值回转至 PLC 控制器, PLC 控制器收到指令后即可得知当前物料的形状, 进而控制机械臂完成分拣操作。经过验证分拣操作能够按照预期正常执行。

5 结束语

在“数字图像处理”课程建设的背景下, 利用现有的设备和条件, 通过对平台的二次开发与功能扩展, 设计新的综合实验, 这有利于培养学生的实践性和创新性, 通过综合性实验将数字图像处理及其相关专业课理论与工程应用紧密联系, 弥补了理论教学与实际应用的差距问题。以项目式教学的方式展开实验, 有助于掌握理论知识点, 加深对实际生产的认知, 激发了学生的学习兴趣^[12]。

同时学生可以在此实验项目基础上对实验内容进一步拓展, 在现有开源界面基础上自行优化系统, 可进一步训练学生综合实践能力。教学实践表明, 该综合实验是现有理论教学的有益补充, 有助于达成课程教学目标。

参考文献

- [1] 郑庆庆, 吴谨, 朱磊, 等. 交互式图像分割实验系统开发[J]. *实验技术与管理*, 2018, 35(4): 86-90.
- [2] 陈木生, 林顺达. 数字图像处理实验教学研究与实践[J]. *实验科学与技术*, 2016, 14(4): 133-135.
- [3] 刘丽媛, 刘宏展. 复杂背景下仪表信息的图像识别研究[J]. *激光杂志*, 2020, 41(4): 66-69.
- [4] 刘中合, 王玉亮, 李邦明, 等. 数字图像处理及特征测量技术研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 38(1): 121-124.
- [5] 张永飞, 欧阳元新, 郑锦, 等. 综合素养导向的人工智能方向研究型教学改革[J]. *高等工程教育研究*, 2021(5): 29-33.
- [6] 龚洪浪, 李丽娜. 工业机器人在拖拉机变速箱生产线自动化改造中的应用[J]. *现代电子技术*, 2017, 40(20): 114-116.
- [7] 陈锐鸿. 基于PLC控制的多工位码垛系统设计与实现[J]. *包装工程*, 2018, 39(17): 159-164.
- [8] 刘敬露, 王国超, 杨晓. 基于混合学习的工业机器人实践教学模式研究[J]. *实验科学与技术*, 2018, 16(1): 99-101.
- [9] 行敏锋, 黄方, 官雨薇. 基于图像处理的土壤表面粗糙度测量实验研究[J]. *实验科学与技术*, 2019, 17(6): 1-5.
- [10] 李艳, 李晋川, 郑庭辉, 等. 基于新工科的流体力学多途径整合式教学实践探索[J]. *实验科学与技术*, 2021, 19(4): 101-105.
- [11] 陈娟, 陈雯, 石飞, 等. 基于Python的信号与系统实验教学改革与实践[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(5): 196-200.
- [12] 曹晓燕, 卜涛. 开放型创新实验室建设与管理模式初探[J]. *实验科学与技术*, 2018, 16(4): 152-154.

编辑 张莉