

面向非典型食品生产的高速机器人分拣系统设计

High speed sorting robot for non-typical food production systems

严培培

YAN Pei-pei

(江西科技学院机械学院, 江西 南昌 330098)

(Jiangxi University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Nanchang, Jiangxi 330098, China)

摘要:为解决食品生产种类多、差异大等原因造成难于分拣的问题,以并联机器人和视觉技术为基础,设计分拣系统的运行方案。而目前对于复杂型包装及体积小的食品,国内外对其设计的分拣系统技术并不成熟。根据高速机器人视觉系统的功能需求,构建了更精准的不同食品定位和分级的硬件系统,并完成控制系统的软件程序设计。通过对整个系统的研究发现其能够达到设计的要求,可有效地提高复杂包装及小体积食品的分拣效率,降低人工劳动的强度。

关键词:食品;机器人;分拣系统

Abstract: In order to solve the sorting technology problem in food production caused by more kinds of food and the big differences, and based on the parallel robot and visual technology, operation scheme of the sorting system was designed. At the present, the sorting system of domestic and foreign technology of the design is not mature in the area of complex packaging and small volume of food. According to the functional requirements of high-speed robot vision system, the hardware system of different food location and classification is more accurate, and complete the software design of control system. Through the research on the system that it can meet the design requirements, and improve the sorting and packaging efficiency of small food effectively, as well as reducing labor intensity.

Keywords: food; robot; sorting system

传统的加工过程主要是利用人工进行食品的分拣,生产的效率比较低,劳动强度大。近年来,机器人及其视觉技术在食品生产中发挥越来越重要的作用,主要是由于其精密化的加工制造、容易实现准确定位、高速柔性化的运动等,已逐渐成为食品加工行业的发展趋势^[1]。

食品生产的自动分拣就是要将不同种类的物品根据不同的属性进行分离和归类,使相同属性的分配到同一个地方。其速度快、出错率极低,可为企业带来巨大的经济

效益^[2]。

国外运用 Delta 并联机器人的技术比较成熟,如 ABB、BOSCH,实现了机器人的产业化。目前运用到生产的机器人只有二自由度和三自由度两种结构形式的 Delta 机器人。中国并联机器人的研究则相对滞后,尚处于起步阶段,仅有部分大型企业使用。

根据中国食品生产的现状,为了降低企业成本和提高食品的合格率,设计了符合中国国情的高速分拣系统。系统由计算机、运动控制器、CCD 视觉系统和夹持器等组成。CCD 视觉是系统能够根据食品的图像,运用图像算法,对食品进行分级和判断,进而通过控制器驱动并联机器人实现分拣操作^[3]。可以说普通分拣系统在中国已经走向成熟化,已经达到了国际先进水平,但对一些非典型食品的分拣技术还没有比较完善的系统。非典型食品即食品本身形状或外包装复杂,靠传统分拣系统无法确定其重心并稳固夹持分拣的新型食品。

本设计针对形状复杂和重量体积存在差异的产品,在原有成熟分拣系统的基础上,拟对并联机器人的执行机构进行针对性改进,使其可以实现对形状复杂的食品稳定牢靠夹持,采用 Delta 并联的机构和基于 CCD 元件的视觉新技术,完善非典型食品的图像采集及精准外形结构分析,并完成对系统的软件控制,以实现非典型食品快速和稳定的分拣。

1 分拣系统原理分析

1.1 分拣系统的设计原则

分拣系统就是基于机器视觉、机器人运动控制的先进技术,是面向食品包装后高速分拣的分装系统(见图 1、2),由工控机器、运动控制器、并联机器人、夹持器和基于工业相机的机器视觉系统组成。因此结合其工作的特点确定如下原则^[4]:

(1) 系统的简化性。由于工作的系统需要很多结构的配合,给功能的实现带来了困难,应尽量降低结构的复杂程度。

作者简介:严培培(1985—),女,江西科技学院讲师,硕士。

E-mail: yuyansiyang@163.com

收稿日期:2015-12-16

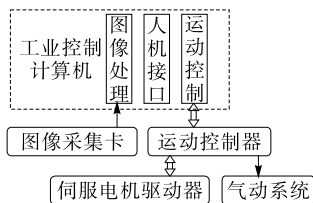
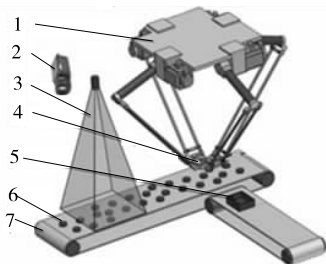


图1 分拣系统控制流程图

Figure 1 Sorting control flow chart



1. 并联机器人 2. 工业相机 3. LED光源 4. 夹持器 5. 包装箱 6. 食品 7. 输送带

图2 高速并联机器人自动分装系统

Figure 2 High-speed parallel robot automatic split charging system

(2) 系统的柔性化。食品多样性需要不同的工作模式,因此需要兼容以及复合的操作才能精确地实现不同类型食品的分拣。

(3) 系统的损伤最小。当分拣的系统进行拾取动作时,应尽量避免对食品的破坏,以保持原有的产品属性。

1.2 系统组成和工作原理

以并联机器人为基础,设计一个能够运用机器视觉技术的食品分拣系统平台。它主要由硬件和软件组成(见图3)。硬件主要由计算机、运动控制器、Delta机构、夹具和工业视觉系统组成。软件主要由分拣系统控制平台和视觉控制组成^[5]。

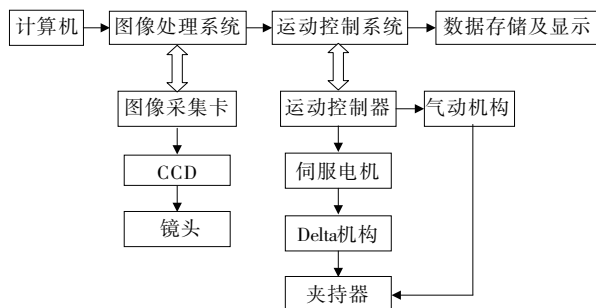
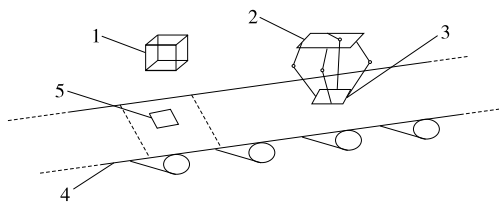


图3 自动分拣系统组成图

Figure 3 The automatic sorting system diagram

高速机器人分拣系统的工作原理(见图4):当食品进入作业区域时,上位机利用 CCD 完成食品图像采集,运用机器视觉技术对图像进行运算分析,完成对运动目标状态的跟踪;此时通过控制系统的下位机完成并联机构和夹持器的操作,将目标物放到指定位置,进而实现食品的自动分拣。



1. 工业相机 2. 并联机器人 3. 夹持器 4. 传送带 5. 食品

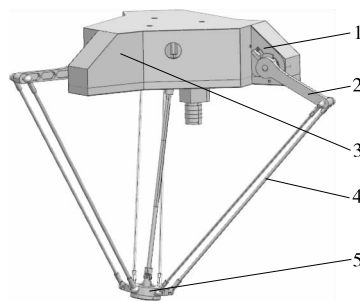
图4 分拣系统原理图

Figure 4 The principle diagram of the sorting system

2 基于分拣系统的功能分析

2.1 并联机器人系统分析及改进方案

现有并联机器人(图5)具有良好的动态性能、高速度以及高精度的特点,已在工业领域取得巨大的效益。它主要是由动静平台、主从动臂、伺服电机、驱动部件以及执行器等组成^[6]。执行器采用真空吸盘,摆臂由安川交流伺服电机驱动,精度可达 $\pm 0.08\text{ mm}$ 。



1. 伺服电机 2. 主动臂 3. 静平台 4. 从动臂 5. 执行器

图5 Delta 并联机器人三维模型

Figure 5 The Delta three model of parallel robot

当整个机构发生运动时,平行四边形结构会限制其转动,留下末端执行器的3个平动自由度。此外,还可以运用不同的算法,求解机构的正解和逆解,对机构的实时运动状态进行控制。但对于体积小的包装食品,其生产流水线比较精密,所以对并联机器人尺寸及工作空间要求也非常严格。由于食品体积小且包装复杂,所以要求并联机器人执行机构的定位精度及抓夹力度都要有所变动。此外,主动臂、从动臂的结构及配合形式也要有所改进,在进行平动和转动时需要更多的可操作位置,以克服3个平动自由度的不足。

2.2 视觉技术系统分析引用

对于运动食品的图像采集,采用的是基于 CCD 的工业相机,能很好地实现信号的稳定性采集和高速率的传输等。项目采用的是大恒图像科技有限公司 MER-030-120UM/UC 系列摄像机,分辨率 656×492 、帧率 120 fps、像素尺寸 $5.6\ \mu\text{m} \times 5.6\ \mu\text{m}$,传感器是 Sony ICX618CCD,数据的接口采用 USB 2.0,镜头安装的方式采用 C 固定架。它的外形尺寸为 $29\text{ mm} \times 29\text{ mm} \times 29\text{ mm}$,比较紧凑。

现有视觉技术已经比较成熟,光谱可以是黑白或者彩色的,能够在复杂的环境下完成工作,具有很高的可靠性^[7-8]。例如,图6所示的巧克力食品,可先利用 Sherlock 的图像选

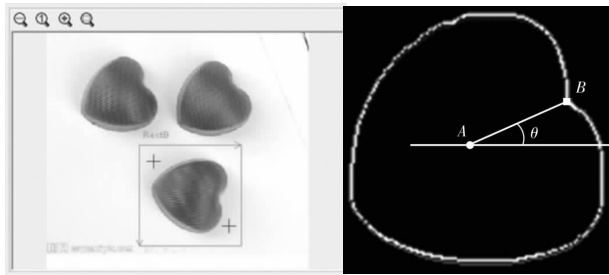


图 6 食品的特征提取示例

Figure 6 Food feature extraction example

择、边缘提取、图像增强等功能,确定巧克力的边缘曲线;再通过所开发的机器视觉软件,确定边缘曲线的中心点、拐点和旋转角。

2.3 数据采集系统改善方式

一般分拣系统在完成图像采集时,会通过数据总线传至 PC 机,此时主控制器根据内部不同模块功能完成处理,进而对运动控制器发送指令。对于典型食品的图像处理,由于其外观形状比较规则,一般可通过图像采集、边缘提取、图像增强和特征分析等方法提取分拣食品的特征。而对于精密型食品图像采集需要更高的采集方式。主要考虑对非典型食品分拣时中心点的选取以及对不规则外观包装的识别两个方面。图像采集系统主要包括基于 CCD 的工业相机、图像采集卡、PC 机和显示器。它们之间的连接方式见图 7。运动控制系统包括运动的控制卡、驱动器、交流伺服电机等,它们之间的数据交换主要是基于 PCI 的数据总线来进行通讯的。

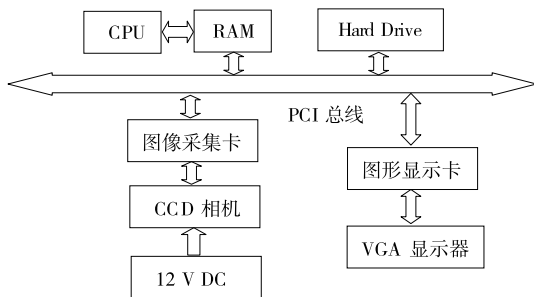


图 7 图像采集系统

Figure 7 The image acquisition system

3 分拣系统的软件分析改善

面向食品机器人的分拣系统的软件设计主要包括人机交互界面、机器视觉软件系统以及运动控制部分。其中交互界面是操作人员能够直接接触和控制的;视觉系统主要有图像的采集、特征的识别以及数据的传输等组成;运动的控制部分主要针对正反解。这 3 个部分是相互关联的,当相机采集到图像后,操作人员就会对界面的信息进行分析和处理,然后通过视觉系统反馈给末端控制部分,执行相应的动作,完成整个系统的工作要求^[9]。

系统软件的工作流程为:工业相机拍摄运动食品的图像,这些信号会被传输到图像采集卡的输入端口,在采集卡

的内部将模拟信号转化为数字图像,计算机程序会根据图像的特征生成相应的控制指令,通过数据总线发送给控制台。控制柜在得到指令后,会将脉冲传到交流伺服电机上,实现食品的分拣动作^[10]。在食品拾取的过程中,机器的视觉技术要解决的问题有工业相机的标定、目标的识别以及动态目标的追踪,运动控制问题主要是指并联机器人的不同动作。分拣系统工作的主要流程见图 8。

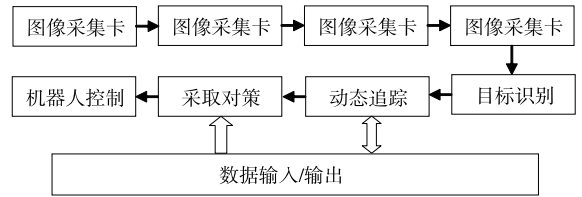


图 8 系统软件的工作流程

Figure 8 The working process of the system software

3.1 视觉技术系统总体设计

3.1.1 工业相机标定 工业相机的标定就是指目标对象的像素坐标到使用场景坐标的变换。完成相机的标定,对运动食品的定位有很重要的作用。它能清晰的发现对象在实际坐标中的位置。通常运用小孔成像的模型来计算,算法采用直接线性的方法,通过实验进行验证。分拣系统的标定能够有效和精确地发现目标,从而为后续的目标追踪和末端执行奠定基础。

3.1.2 目标的检测识别 分拣系统发现目标后,就要确定对象的类别。对于大多数的食品都具有规则的外形,一般采用图像的边缘提取和特征分析来完成。但是也存在着不规则的食品,此时就要根据它们的特征点或者记录其外形曲线来进行识别。

3.1.3 动态追踪 当获得目标对象的轨迹后,系统会分析其运动的状况,从而采取下一步的动作。分拣系统的动态追踪能够实时地记录对象的状态,为拾取提供可靠的信息。

另外,分拣系统主要采用的是 GNN 的算法以及通用的滤波算法。食品的运动信息得到追踪后,计算机就会提取有效信息,可以有效预测未来的运动状态,加强对目标行为的理解。

机器视觉软件开发可采用全自主开发或利用专用机器视觉软件开发。但全自主开发方式的开发工作量大、周期长、可靠性低。所以目前工业市场多采用专业机器视觉软件开发。

3.2 图像采集系统开发

典型食品在进行机器视觉系统的图像采集时,主要有以下两种方式:① 利用图像采集卡采集图像;② 利用现在比较常用的工业相机采集图像。本设计就是以工业相机为基础的二次开发式设计。

工业相机采集图像具有信号质量好、传输快、性能稳定的特点,而且在食品分拣上有着广泛的应用。对于非典型食

品分拣来说,图像采集软件系统要有处理不规则食品的特征点和转角,这就需要软件开发的智能化和大数据化。而且要以食品图像处理的实时性为其设计的主要因素,非典型食品的实时性也是图像采集软件部分的主要突破口。对于采集图像的工业相机也要提高其分辨率,可以采用 DALSA 公司生产的 Genie 系列的工业相机,该系列相机是基于千兆以太网通信协议开发,分辨率可达到 640×480 、帧/行频 64 fps、像元尺寸 $7.4 \mu\text{m}$ 、GigE-Vision 数据接口。

3.3 机器人的控制改进

当机器人系统的视觉技术设计完成后,计算机就会根据要求发出指令控制其运动的轨迹。选用的交流伺服电机为安川公司生产的 MOTOMAN 系列,它能够让系统调用库函数,函数调用完成后就会以串口向控制器发送运动指令,由主、从动臂实现运动^[11]。

PC 机与运动控制器是以 RS232 建立连接的,它们之间的互通需要一定的通信协议。对于串口的连接,需要设置通信的参数,如波特率、数据位等。当取得通信的库函数和参数的标准设置后,就完成了它们之间的通信,通信函数为: short cid = Bsc Open(“./”, 1)。

当前运动姿势的获取,需要连接不同的数据,函数设置为 Bsc Connect(cid)。移动时,需要调用 BscIsRobotPos(cid, "BASE", 0, &robotConf, ¤tToolNo, robotPosition)。完成这些动作之后,运用函数 BscClose(cid)即可关闭之前所有的通信连接。

在运行夹持食品的程序时,每当夹持动作结束后,程序会立即返回,导致程序报错或者指令得不到执行。因此在完成编程后,应该及时检查程序或者保持较快的运动速度。

4 非典型食品分拣系统的实现

当系统的硬件和软件完成后,就要检验分拣系统的可靠性。它的主要操作分为识别、抓取、分拣。对于非典型食品分拣来说,要克服典型食品外形状的复杂性,机械结构上要解决两个问题:① 在抓取工序上进行传统技术升级,也就是并联机器人的多关节设计,要使并联机器人具有臂转动的效果,就像汽车的钣金焊接一样,要使其焊接臂多自由度旋转移动,还要保持其可靠度;② 在夹持器功能要进行传统性突破,传统的吸附夹持已经满足不了非典型食品的夹持功能。对于非典型食品,在保证其外形不被破坏的条件下,可采用两面夹紧夹持。这样需要对食品外包装强度进行计算,来保证夹持力度及夹持可靠度。

而识别过程主要是图像采集,对于不规则的非典型食品的图像采集要考虑其中心位置和外观形状,以便于抓取工作的精准度及抓取位置的选择。

分拣过程就是通过软件控制并联机器人将食品从流水线上分装到包装箱的工作,此部分要注意的是本试验研究的是包装复杂、体积小的食品分拣,所以机器抓取精度必须保障。另外,原有的分拣系统对控制性及校验方面做得不到

位,因此新型分拣系统对于非典型食品也要有抓取成功与否的校验功能。有了校验模块,就可以保证分拣成功率,减少人为校验环节。识别、抓取、分拣 3 个步骤完成后,设置的软件程序就会重复上面的操作,直到工作的完成。

5 结语

通过分析食品行业的生产现状,设计了面向食品生产的高速机器人的分拣系统。根据分拣系统的总体方案,阐述其工作的过程和原理。该系统以机器人运动控制和视觉系统技术为基础,针对非典型食品的分拣从硬件和软件两个方面进行设计。并完成了在原有分拣系统基础上,分拣非典型食品夹持及图像采集功能的改进。经可靠性检测发现该系统能够精确分拣,达到了非典型食品分拣的设计要求。机器人技术的使用不仅代替了复杂的人工劳动、提高了生产的效率,而且还能保证动作的精确执行,自动化的程度得到提高。设计的分拣系统能够实现食品的有效拾取和归类,具有很大的运用空间,可为相关分拣系统设计提供一定的参考。

参考文献

- [1] 晏祖根, 王立权, 孙智慧. 面向食品生产的高速自动分拣系统的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 16-18.
- [2] 宫亦坤, 蓝黎恩, 熊吉光. Delta 并联机器人设计分析与实现[J]. 机械传动, 2014, 38(5): 61-63.
- [3] 黄真, 赵永生, 赵铁石. 高等空间机构学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 45-46.
- [4] 刘振宇, 赵彬, 邹风山. 机器视觉技术在工件分拣中的应用[J]. 计算机应用于软件, 2012, 29(11): 87-91.
- [5] 王忠平, 李响, 马永, 等. 基于坐标式机器人的瓶坯装箱系统[J]. 食品与机械, 2011, 27(5): 134-136.
- [6] 刘凤臣, 陈凯, 张良安, 等. 基于 Delta-s 的高速果奶装箱机器人工程示范[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 171-175.
- [7] Zhang L M. Integrated optimal design of Delta robot using dynamic performance indices[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011: 62-64.
- [8] 许德群, 肖衡. 我国包装与食品机械发展现状及趋势[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(5): 47-50.
- [9] 张良安, 马寅东, 单家正, 等. 基于遗传算法和 Petri 网络的机器人装配生产线平衡方法[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 79-82.
- [10] 朱学建, 马永, 冯渝, 等. 直角坐标机器人瓶坯装箱生产线控制系统[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 187-189.
- [11] 张少文, 吴学梅. 新型烹饪机器人锅具运动机构的设计及运动学仿真[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 92-94.