

doi: 10.7690/bgzdh.2021.05.005

水果智能分拣产线的现状与发展趋势

党 淼, 王 娜

(河南工业职业技术学院机电自动化学院, 河南 南阳 473000)

摘要: 针对果实分拣中存在识别精度低、单个果实信息处理时间长的问题, 对国内外的水果智能分拣生产线进行研讨和分析。根据水果分拣产线的工作原理, 结合工业机器人和视觉分拣技术, 提出利用卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)和使用光谱技术分析水果的化学性质等方法, 对水果瑕疵检测和成熟度分拣进行分析, 并分别对 CNN 和光谱分析技术在水果分拣中的应用发展趋势进行阐述。分析结果表明, 该研究对提高水果瑕疵检测和分拣精度研究具有一定的实用价值。

关键词: 水果分拣; 智能产线; 卷积神经网络; 光谱分析技术

中图分类号: TS255.35 **文献标志码:** A

Status and Development Trend of Fruit Intelligent Sorting Production Line

Dang Miao, Wang Na

(Department of Electromechanical Automation, Henan Polytechnic Institute, Nanyang 473000, China)

Abstract: Aiming at the problems of low recognition accuracy and long processing time of individual fruit information in the fruit sorting process, this study analyzes and forecasts the current fruit sorting production lines at home and abroad. According to the working principle, combining with the industrial robots and visual sorting systems, methods such as the use of convolutional neural network(CNN) and the use of spectroscopic techniques to analyze the chemical properties of fruits are carried out to conduct research on fruit defect detection and maturity sorting. Convolutional neural network and spectral analysis technology in fruit sorting application development trends are described separately. The results show that the research has certain practical value for improving the research of fruit defect detection and sorting accuracy.

Keywords: fruit sorting; intelligent production line; convolutional neural network; spectral analysis technology

0 引言

我国是农业大国, 而水果产业是农业中的第三大产业, 具有劳动力使用密集、进出口吞吐量大等特点^[1]。根据国家统计局主办的国家数据网站(data.stats.gov.cn)提供的数据显示, 2019 年我国水果产量达到 27 400.84 万吨, 干鲜果品类成交额达 7 904.26 亿元, 蔬菜、水果、坚果或其他植物制品出口额为 80.50 亿美元, 进口额为 14.01 亿美元。

目前, 人工智能在我国水果业生产的各个环节得到普及, 从果实的种植、养护到采摘、分级和运输等环节都可以见到人工智能的影子^[2]。尤其在智能机器人和视觉识别技术飞速发展的基础上, 农业上推广了智能采摘机器人、农药喷洒无人机系统和果实分拣包装系统等人工智能系统^[3]; 因此, 笔者重点对水果智能分拣产线的现状和趋势进行分析。

1 水果产业智能技术介绍

1.1 工业机器人技术现状

随着科技的高速发展, 人工智能已进入农业、

工业、运输业等领域, 呈现出蓬勃的发展趋势^[4]。工业机器人技术最早在 20 世纪 60 年代由美国人提出, 作用是通过编写程序驱动机器代替人工进行各类作业。最早的机器人是由恩格尔伯格(George Charles Dovel)设计研制。1969 年, 出现了 6 个轴全由电气化驱动的机器人——“斯坦福机械臂”, 该机器人由美国人 Victor Scheinman 发明, 使得机器人技术开始商业化。当前, 世界销量排名前 4 的机器人企业分别为德国的 KUKA, 瑞典的 ABB, 日本的 FANUC 和安川电机^[5], 他们的工业机器人本体销量之和占据整个市场的一半以上^[6]。4 大企业介绍如图 1 所示。



图 1 工业机器人 4 大企业介绍

收稿日期: 2021-01-15; 修回日期: 2021-02-14

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(20B470003)

作者简介: 党 淼(1990—), 男, 河南人, 硕士, 从事工业机器人技术研究。E-mail: partycat@126.com。

国际机器人协会 (International Federation of Robotics, IFR) 在“World Robotics 2019”统计报告中指出, 从 2016 年起, 最近 4 a 内工业机器人的销量以世界 15%、亚洲 18% 的速度递增, 2019 年中国市场占全球机器人销量的 40%。

在中国, 埃夫特、新松机器人、富士康科技、格力智能等公司也相继研发机器人, 但是起步较晚, 市场占有率不高。截止 2019 年上半年, 不同品牌机器人在中国市场占有量如图 2 所示。

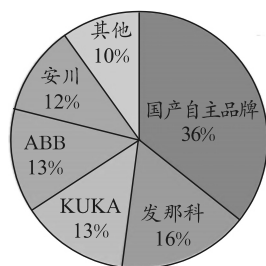


图 2 不同品牌机器人在中国市场占有量

随着机器人在各行各业的普及, 其完成的工序也越来越复杂, 不但能够代替人工进行装配、打包、码垛等重复性作业^[7], 而且能够配合视觉系统进行采摘、分拣等高精度作业^[8]。

1.2 视觉识别技术现状

视觉识别技术研究重点之一是结合工业机器人技术对产品进行识别分拣, 在果蔬生产、安全防护、医药卫生和制造业等多个产业得到广泛应用^[9]。该技术以光学、信号处理、机器学习等技术为基础, 以图像处理和计算机视觉技术为核心, 结合工业机器人技术, 从而实现产品的识别分拣^[10]。产品识别分拣技术关系如图 3 所示。

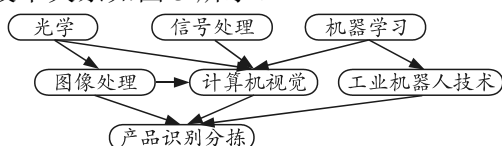


图 3 产品识别分拣技术关系

传统产品识别技术采用的算法有分割法、特征分析方法、图像识别决策分类方法、模式学习和形状匹配方法等^[11-12]。

2 国内外研究现状

2.1 国外现状

2.1.1 市场现状

在国外, 水果分拣技术已经进入商业化阶段, 很多国家, 如美国、日本等, 早在 20 世纪末期就开始相关技术的研究, 并拥有成熟的分拣技术手段。

在美国, 比较著名的分拣系统有: 用于苹果分拣处理的 Merling 系统, 该系统集成了视觉高速采集技术, 能够实现苹果的快速分拣; 通过质量进行分拣的 Decco 系统, 该系统通过对果实质量的测量实现果实的分拣; 更为先进的 Inspectronic 系统和 Model6 系统, 可以通过视觉设备采集果实的外形、尺寸和颜色, 作为果实分拣的测量依据。

在日本, 通过研发红外传感器和可见光传感器来实现对水果成熟度的检测, 并将该检测设备与分拣设备相结合, 同步集成在苹果和梨的包装生产线上, 以保证水果被无损地分拣包装^[9]。

2.1.2 研究现状

2009 年, N·KONDO 提出了果实快速分级系统, 最高识别速度为 3 μ s/个, 且能够达到在水果分级中几乎无损水果表皮的效果^[13]; 2011 年, Z·MAY 等对油棕果分拣技术进行研究, 最终实现油棕果的成熟度分拣, 分拣效率约为 87%^[14]; 2012 年, P·YIMYAM 等通过建立神经网络和支持向量机算法模型^[15], 对芒果表面各项特征与成熟度关系进行研究, 得出水果形状特征比颜色、纹理特征更加能够体现水果成熟度的结论; 2013 年, T·SUSNJAK 等建立了结合 AdaBoost 算法的水果表面特征学习系统, 并通过该系统实现水果的分级^[16]; 2015 年, P·RAZIEH 等以椰枣为分拣对象, 通过颜色特征作为样本实现对椰枣进行分拣^[17]; 2016 年, M·P·ARAKERI 等对西红柿的表皮缺陷程度与成熟度关系进行研究, 实现对西红柿的成熟度分拣^[18]; 2020 年, M·ZUDE-SASSE 等对欧洲梨通过光谱分析进行分拣尝试^[19]。

2.2 国内现状

2.2.1 市场现状

国内分拣技术起步较晚, 大部分仍然停留在人工配合机械系统进行水果分拣的状态。分拣系统主要是根据特定的水果形状和质量进行分拣, 并且防护措施差, 对水果表面损耗度较高^[20]。如国产某型间隙式水果分拣机, 仅能对苹果进行分拣, 并且 6 个分级间隙是根据苹果外形大小设计, 无法适用于其他形状和大小水果, 普及性较差; 另一种根据质量对果实进行分类的水果分拣机, 可以对规则形状的水果进行分拣, 但对于不规则形状如杏果、梨等椭圆形水果无法实现分拣。国产间隙式和质量式水果分拣机如图 4 所示。

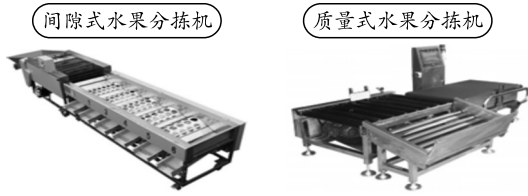


图 4 国产间隙式和质量式水果分拣机

2.2.2 研究现状

2007 年, 饶秀勤提出了通过计算水果表面积来检测水果质量的方法, 其中也针对快速检测技术进行理论研究, 取得了一定的成果^[21]; 2013 年杜永忠等针对圣女果的表皮平整度提出了视觉识别算法并改进自动分级系统, 提高了圣女果自动分级系统的准确度^[22]; 2013 年, 张发军等尝试将脐橙图像采集后把图片处理为像素矩阵, 使用 MATLAB 进行编程分析^[23]; 2017 年, 卢勇威以并联机器人为执行器, PLC 为总控单元搭建了智能分拣系统, 实现对水果的分级分拣^[24]; 2018 年, 刘东海等提出了并联机器人动态分拣系统^[25]; 2019 年, 张震研究了基于 Halcon 视觉的果蔬动态分拣系统^[26]。

3 水果产业智能技术发展趋势

3.1 CNN 分拣应用

水果分拣中, 第一道分类工序是残次品检测分类, 通过卷积神经网络算法搭建的检测产线, 可以将水果以毫秒级的速度进行分拣处理。

通常在卷积神经网络 (CNN) 加入 dropout 层进行训练, 虽然训练时间会被加长, 但是在测试使用过程中没有任何影响。加入 dropout 层的优势是果实各个外形特征之间的训练不会被其他特征所影响, 而传统的神经网络则没有这个优势。传统的神经网络和加入 dropout 层的神经网络对比如图 5 所示。通常使用果实图片进行不同种类的特征提取, 比如色彩、晕纹斑点、划痕、轮廓等, 甚至针对不同品种水果特有的性质如“裂果”特征进行取样训练^[27]。

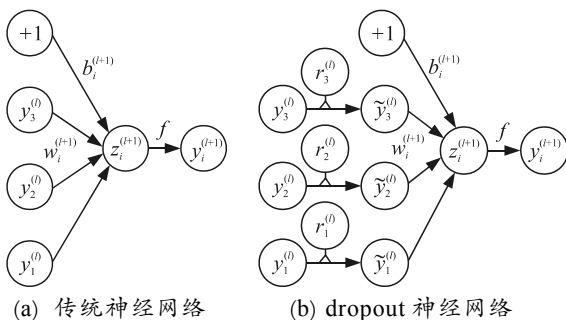


图 5 传统神经网络和 dropout 神经网络对比

文献[28]中使用卷积神经网络对苹果进行了缺陷分拣和检测, 达到了很好的效果, 平均识别单个苹果时间小于 12 ms, 并且准确度达到 92%。N·AMIN 等使用卷积神经网络对大枣进行缺陷检测和果实成熟度预判训练, 得到了很好的效果^[29]。

3.2 视觉检测光谱分析应用

水果分拣技术实现的目标在于识别水果的成熟度, 而水果成熟度的判别最直观因素是水果的外部特征, 但是仅从外部特征无法正确识别果实的成熟度; 因此, 需要从其他的参数中进行成熟度识别补充。

在光谱分析方法中, 根据不同类型的水果主要评估的参数有: 果实固形物含量、水分含量、油分含量、脂肪成分含量、游离酸度、反射率、穿透率和光密度等^[30]。常用的光谱测量方法为近红外光谱法 (near infrared spectroscopy, NIRS) (1 100~2 500 nm) 和中红外光谱法 (2 500~40 000 nm)^[31]。随着科学技术的不断更新, NIRS 与化学计量学相互交叉结合, 使其快速发展形成一种分析速度快、效率高、免预处理、无损伤、适用于在线分析的现代检测技术, 成为了水果行业乃至其他农产品行业质量鉴别和损伤检测的优先选择技术之一^[32]。近红外光谱区与有机分子中含氢基团 (O-H、N-H、C-H) 振动的合频和各级倍频的吸收区一致, 通过扫描样品的近红外光谱, 可以得到样品中有机分子含氢基团的特征信息^[33]。中红外光谱法常用于甘氨酸等大分子颗粒的检测, 是光谱检测技术之一^[34]。

M·ZUDE-SASSE 等使用破坏性光子密度波 (photon density wave, PDW) 对欧洲梨的含水量进行检测, 并根据该系统对欧洲梨的成熟度进行检测, 将成熟度检测的均方根误差降低至 2.6%^[19]。X·D·SUN 等通过 NIRS 对橄榄的果油进行干物质含量 (dry matter content, DMC) 检测, 并建立橄榄果实光谱模型, 预测成熟度成功率达到 92.5%^[31]。

4 结论

工业机器人系统、视觉识别系统是水果分拣中智能化实现的纽带, 在水果产业中发挥了巨大的作用。传统的视觉分拣系统仅能识别果实的体积、颜色等外部特征, 分拣精度低、识别处理时间长一直是困扰科技工作者的难题。在分拣系统中加入 CNN 和使用光谱分析水果的化学性质等研究, 将会大大提高分拣精度, 使水果产业进一步与国际化接轨。

参考文献：

- [1] 蔡自兴. 中国人工智能 40 年[J]. 科技导报, 2016, 34(15): 12-32.
- [2] 刘双印, 黄建德, 黄子涛, 等. 农业人工智能的现状与应用综述[J]. 现代农业装备, 2019, 40(6): 7-13.
- [3] 吕之谓. 人工智能在计算机网络技术中的应用研究[J]. 现代信息科技, 2019, 3(3): 73-75.
- [4] 石依灵. 人工智能技术在现代农业生产中的应用[J]. 南方农机, 2019(14): 73.
- [5] WEBSTER S A. ABB Introduces YuMi a Dual-Arm Co-Robot[J]. Manufacturing Engineering, 2015, 154(6): 22.
- [6] 任志刚. 工业机器人的发展现状及发展趋势[J]. 装备制造技术, 2015(3): 166-168.
- [7] GAIL H. Combined talents offer flexible robot operation[J]. Machinery Update, 2015, 26(5): 88-89.
- [8] 张瑞舒, 张昶, 郑卫刚. 浅谈工业机器人的现状与发展[J]. 智能机器人, 2018(4): 37-39, 65.
- [9] 郑卫刚. 简述智能机器人及发展趋势展望[J]. 智能机器人, 2016(4): 41-43.
- [10] 王思佳, 许富强, 何昌鑫. 浅谈基于视觉分析的工业分拣机器人的发展[J]. 山东工业技术, 2017(24): 22.
- [11] JOACHIM V. Pick-pick-Zack-zack[J]. Automation: Fertigung, Montage, Transport, 2015(5): 34-35.
- [12] CHEN W S, WANG J P. Design of RFID card reading system based on LWIP and FreeRTOS[C]. Electronics, automation and engineering of power systems: Selected, peer reviewed papers from the International Forum on Electrical Engineering and Automation & the 2014 International Conference on Lighting Technology and Electronic Engineering (ICLTEE 2014), November 29-30, 2014, Guangzhou, China. 2015: 898-902.
- [13] KONDO N. Robotization in fruit grading system[J]. Sensing & Instrumentation for Food Quality & Safety, 2009, 3(1): 81-87.
- [14] MAY Z, AMARAN M H. Automated oil palm fruit grading system using artificial intelligence[J]. Int. J. Eng. Sci, 2011, 11: 30-35.
- [15] YIMYAM P, CLARK A F. Agricultural produce grading by computer vision using Genetic Programming[C]. Robotics and Biomimetics(ROBIO), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012: 458-463.
- [16] SUSNJAK T, BARCZAK A, REYES N. A Decomposition Machine-learning Strategy for Automated Fruit Grading[J]. Lecture Notes in Engineering & Computer Science, 2013, 2208(1): 819-825.
- [17] RAZIEH P, HAMID R G, HADI S, et al. Study on an automatic sorting system for Date fruits[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2015, 14(1): 87-93.
- [18] ARAKERI M P, LAKSHMANA. Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture Industry[J]. Procedia Computer Science, 2016, 79: 167-169.
- [19] ZUDE-SASSE M, HASHIM N, HASS R, et al. Validation study for measuring absorption and reduced scattering coefficients by means of laser-induced backscattering imaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 153: 161-168.
- [20] 白菲, 孟超英. 水果自动分级技术的现状与发展[J]. 食品科学, 2005(S1): 145-148.
- [21] 饶秀勤. 基于机器视觉的水果品质实时检测与分级生产线的关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007: 8-10.
- [22] 杜永忠, 平雪良, 何佳唯. 圣女果表面缺陷检测与分级系统研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1): 194-199.
- [23] 张发军, 雷祎, 朱鑫, 等. 基于图像原理脐橙分拣技术装置设计的研究[J]. 现代机械, 2014(1): 57-60.
- [24] 卢勇威. 基于机器视觉的水果分拣系统[J]. 装备制造技术, 2017(3): 163-165, 168.
- [25] 刘东海, 许剑新, 方艳. 基于 IRB360 工业机器人的果蔬分拣系统设计[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(5): 83-84.
- [26] 张震. 基于机器视觉的果蔬分级系统研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2019: 5-14.
- [27] 丁改秀, 王保明, 仓国营, 等. “凯特”杏成熟期果面遇雨积水是裂果的主要诱因[J]. 果树学报, 2016, 33(9): 1103-1110.
- [28] FAN S X, LI J B, ZHANG Y H, et al. Online detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 286: 102-110.
- [29] AMIN N, AMIN T G, ZHANG Y D. Image-based deep learning automated sorting of date fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 153: 133-141.
- [30] RABATEL G, MARINI F, WALCZAK B, et al. VSN: Variable sorting for normalization[J]. Journal of Chemometrics, 2020, 34(2): 168-171.
- [31] SUN X, SUBEDI P, WALKER R, et al. NIRS prediction of dry matter content of single olive fruit with consideration of variable sorting for normalisation pre-treatment[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 163: 111-140.
- [32] 丁海泉, 高洪智, 刘振尧. 近红外光谱分析技术在中药材鉴定和质量控制中的研究进展[J]. 现代农业装备, 2020, 41(3): 11-16.
- [33] 近红外光谱[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E8%BF%91%E7%BA%A2%E5%A4%96%E5%85%89%E8%B0%B1/7094930?fr=aladdin>.
- [34] 石晓妮, 田静, 贾铮, 等. 基于中红外光谱技术的甘氨酸铁螯合物判别研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(9): 2733-2738.