

# 基于树莓派平台的苹果自动化分级系统实现

李彬,胡步发,刘顾胜

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 305116)

**摘 要:**我国苹果种植面积广、产量大,但是传统人工分级很难满足现代生产要求,提高苹果分级效率急需自动化的机械分级系统。基于树莓派平台,设计并实现了一种小型的嵌入式苹果分级系统。该系统通过采集苹果图像,利用单阈值分割和 Canny 算子完成图像分割和图像边缘提取。利用机器学习领域的 BP 神经网络算法实现分级。实验结果表明,该系统实时性和准确度都较高,基本满足自动化分级的要求。

**关键词:**树莓派;嵌入式系统;Canny 算子;BP 神经网络

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)04-0209-03

## Implementation of Apple Automatic Grading System Based on Raspberry Pi Platform

LI Bin, HU Bufa, LIU Gusheng

(College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

**Abstract:** The Apple planting area is wide and the yield is large in China, but the traditional manual grading is difficult to meet the requirements of modern production, so the automatic mechanical grading system is urgently needed to improve apple grading efficiency. This paper designs a small embedded apple grading system based on raspberry pi platform. The system is used to collect apple images, then, single threshold segmentation and Canny operator are used to complete the image segmentation and the image edge extraction. The BP neural network algorithm in machine learning field is used to realize the classification. The experimental results show that the system has high real-time performance and accuracy, and basically meets the requirements of the automatic classification.

**Keywords:** raspberry pi; embedded system; Canny operator; BP neural network

## 0 引言

近年来,我国农业发展迅速,水果产量在世界范围内也是名列前茅。随着社会的发展,人工成本的提高,对水果分级智能化提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。在国外,对水果分级的研究成果很多已应用于实际。例如土耳其 Süleyman Demirel 大学<sup>[2]</sup>提出并设计了一种基于图像的苹果质量检测及分级系统;伊朗大不里士大学<sup>[3]</sup>研发了一套用于枣椰子在线分级系统。国内也已拥有许多自主研发的水果分级技术。例如北京市农林科学院与上海交通大学联合研发了一套对苹果早期腐烂情况进行检测的自动分级系统<sup>[4]</sup>;王鑫等人<sup>[5]</sup>基于机器视觉对苹果的在线分级系统进行了设计。本文设计出一种低成本的苹果自动分级系统。选择嵌入式设备树莓派作为系统平台实现苹果分级,USB 摄像头作为图像的采集部分。采用 Canny 算子<sup>[6]</sup>完成水果图像的边缘检测,选择 BP 神经网络作为机器学习的分级算法。

## 1 图像预处理和 Canny 算子边缘提取

### 1.1 图像预处理

消除图像噪声的过程称为图像平滑或滤波,目的主要是改善图像质量和减小特征提取难度。噪声源的种类多且复杂,进行滤波的方法也多种多样<sup>[7]</sup>。滤波分为图像

空间域去噪和图像变换域去噪。本文采用空间域去噪<sup>[8-11]</sup>。图像增强的方式有很多,本文使用空间域增强,即灰度变换法、二值化处理以及空间滤波。

### 1.2 基于 Canny 算子的边缘提取

用一个二维函数表示一幅图像,图像边缘是图像中灰度发生急剧变化的部分。在该边界上图像的梯度存在极大值,故图像边界可以用灰度分布的梯度来反映,通过计算各个像素点梯度和幅值信息,找到区域极值点,最终反映出图像边界。利用边缘点判定最大化原则,Canny 将二维高斯函数分解为两个一维滤波器,利用它们与图像的卷积,得到高斯滤波后的图像,计算该图像  $2 \times 2$  邻域差分可以得到它的梯度幅值和方向。通过计算图像点的梯度幅值和方向后,将图像中的点映射到梯度幅值阵列  $M(i,j)$  中, $M(i,j)$  中每个点的值代表图像中对应点的梯度幅值, $M(i,j)$  中每个点对应的值越大代表该点的梯度幅值越大。在确定一个区域内的某个方向上连续的较大幅值点的集合过程中,这个方向上的高幅值点往往有一定的宽度,必须对该边缘带的区域点进行细化,即极大值抑制。经过非极大值抑制处理后,之前  $M(i,j)$  区域的宽屋脊带被细化为一个像素点宽,但仍然能够有效地描述边缘的情况,并保留了边缘梯度的幅值信息。

## 2 苹果分级算法

### 2.1 基于当量直径的苹果大小分级算法<sup>[12]</sup>

苹果周长和半径之间关系为  $R=L/2\pi$ , 苹果周长可以反映半径的大小。实验中, 苹果周长  $L$  是用图像边缘的像素点表示的, 令  $D=2R=L/\pi$ , 由 GB 10651-89 标准, 苹果相邻等级直径反映到图像中, 其当量直径会有明显的区别, 因此测得的像素周长误差不会影响分级结果。对不同苹果等级设置对应的当量直径阈值就可以对苹果实现大小分级。

### 2.2 基于 BP 神经网络的苹果颜色分级算法

1) 利用 HSI 色彩空间确定苹果颜色特征参数

本文选择 HSI 模型作为颜色分类模型, 该模型中  $I$  分量与彩色信息无关, 考虑实际中光照强度基本不变, 则与其对应的  $S$  分量亦可认为不变。因此对苹果颜色识别时只需要考虑  $H$  分量就可以了, RGB 模型和 HSI 模型可以相互转换, 其中  $H$  的转换可用公式 (1) 确定<sup>[13]</sup>:

$$H = \begin{cases} \left\{ 270^\circ + \tan^{-1} \left[ \frac{2R-G-B}{\sqrt{3}(G-B)} \right] \right\} \times \frac{255}{360}, & G > B \\ \left\{ 90^\circ + \tan^{-1} \left[ \frac{2R-G-B}{\sqrt{3}(G-B)} \right] \right\} \times \frac{255}{360}, & G < B \\ 255^\circ, & G = B. \end{cases} \quad (1)$$

根据测试实验可得, 不同色彩等级的苹果  $H$  值均分布在  $0^\circ \sim 60^\circ$  之间。对已知不同颜色等级的苹果进行  $H$  值的像素统计如图 1 所示。其中, 横坐标表示  $H$  值, 纵坐标表示对应于该  $H$  值的像素个数即色度频度。

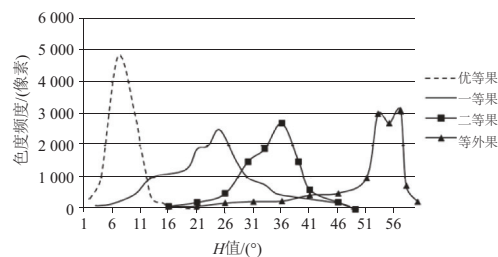


图 1 不同颜色等级苹果  $H$  值像素频度

为了提高分级准确性, 根据图 1 中  $H$  值分布规律, 将色度区间分为等距的 4 个区间<sup>[14]</sup> ( $0 \sim 15$ ,  $15 \sim 30$ ,  $30 \sim 45$ ,  $45 \sim 60$ ), 分别用 I、II、III 和 IV 表示。计算  $H$  值在不同区间的百分比  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ , 将这 4 个参数作为 BP 神经网络的输入。经分区间后的苹果图像像素统计图如图 2 所示。图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)、图 2(d) 分别对应优等、一等、二等和等外, 其中横坐标表示色度区间, 纵坐标表示该色度区间占总像素的百分比  $P_i$ 。

2) 基于 BP 神经网络的苹果颜色分级

BP 神经网络由输入层(I)、隐含层(H)和输出层(O)组成, 节点与节点之间有权重。设节点  $i$  与节点  $j$  之间的权重为  $w_{ij}$ , 节点  $j$  的偏置为  $b_j$ , 每个节点的输出值为  $x_j$ 。本实验中激励函数选择 S 型, 则相邻两层之间的计算公式为:

$$S_j = \sum_{i=0}^{m-1} w_{ij} x_i + b_j \quad (2)$$

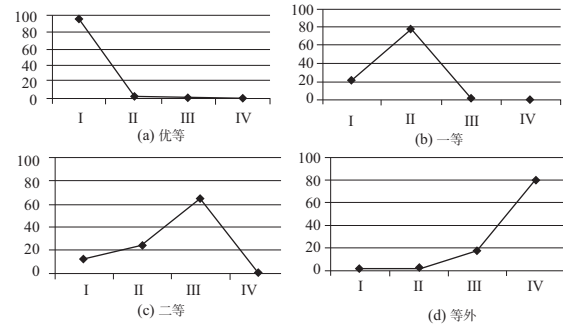


图 2 不同等级苹果色度百分比分布图

$$x_j = f(S_j) = \frac{1}{1 + \exp(-S_j)} \quad (3)$$

其中:  $m$  表示输入层层数, 也就是输入的维度;  $f$  为激励函数。在 BP 神经网络中, 利用误差的反向传递可以反复地修正权值和偏置。令  $\delta_{ij} = (d_j - y_j) f(S_j) [1 - f(S_j)]$ , 根据梯度下降法, 对于隐含层和输出层之间的权值和偏置调整有如下的迭代公式:

$$\omega_{ij} = \omega_{ij} - \eta_1 \frac{\partial E(\omega, b)}{\partial \omega_{ij}} = \omega_{ij} - \eta_1 \delta_{ij} x_i \quad (4)$$

$$b_j = b_j - \eta_2 \frac{\partial E(\omega, b)}{\partial b_j} = b_j - \eta_2 \delta_{ij} \quad (5)$$

输入层和隐含层之间的权值和偏置调整与此类似。本文使用隐含层为 5 的神经网络, 因为层数低于 5 时误差无法收敛。根据分级要求设置输出节点为 2 个 (其中优等为 00, 一等为 01, 二等为 10, 等外为 11), 建立 4-5-2 型的 BP 神经网络模型。

## 3 实验

### 3.1 树莓派实验平台

本系统使用的硬件平台为树莓派 (Raspberry Pi) 硬件平台, 其发明者为英国剑桥大学博士 EBEN Epton, 本意是将其应用于教育行业<sup>[15]</sup>。本文设计一款低成本的苹果自动分级系统。树莓派实验平台如图 3 所示。

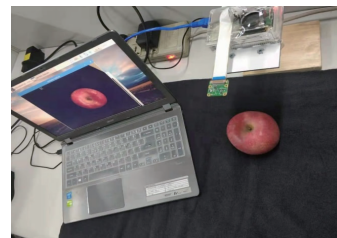


图 3 树莓派实验平台

### 3.2 实验结果

实验使用苹果种类为红富士, 属于大型果。预处理后苹果图像如图 4 所示。图 4 中依次为 (a) 苹果原图、(b) 灰度变换、(c) 滤波、(d) 图像增强、(e) 二值化后的苹果图像。

1) 苹果大小分级实验结果

利用大型果分级标准, 随机选取不同等级苹果样本各 10 个进行实验。分级结果如表 1 所示。

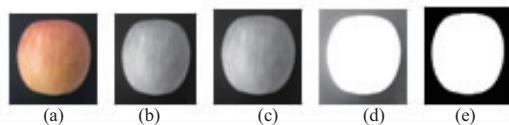


图4 苹果预处理图像

表1 苹果大小分级实验结果

| 等级  | 样本数 | 结果/误判 | 正确率/% |
|-----|-----|-------|-------|
| 优等果 | 10  | 10/0  | 100.0 |
| 一等果 | 10  | 9/1   | 90.0  |
| 二等果 | 10  | 8/2   | 80.0  |
| 等外果 | 10  | 10/0  | 100.0 |
| 汇总  | 40  | 37/3  | 92.5  |

## 2) 苹果颜色分级实验结果

颜色分级实验中,选择40个苹果样本,对神经网络进行训练,训练完成后随机选取不同颜色等级的苹果各10个,利用已知的神经网络对其进行分级实验。其中单个一等果的原图像和对应的图像色度频度数据如图5所示,分级实验结果如表2所示。



图5 原图像和对应的图像色度频度数据

表2 苹果颜色分级实验结果

| 等级  | 样本数 | 结果/误判 | 正确率/% |
|-----|-----|-------|-------|
| 优等果 | 10  | 10/0  | 100   |
| 一等果 | 10  | 9/1   | 90    |
| 二等果 | 10  | 9/1   | 90    |
| 等外果 | 10  | 10/0  | 100   |
| 汇总  | 40  | 38/2  | 95    |

## 4 结语

本文基于树莓派平台,对苹果图像完成了采集、滤波、边缘提取和分级,实验结果表明正确分级率可达92%以上,验证了系统的正确性和有效性,基本可满足应用要求。

## 参考文献:

- [1] 焦恩璋,杜荣. 工业机器人分拣技术的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2010(2):84-87.
- [2] M.M. Sofu, O. Er, M.C. Kayacan, et al. Design of an automatic apple sorting system using machine vision[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127:395-405.
- [3] RAZIEH Pourdarbani, HAMID REZA Ghassemzadeh, HADI Seyedarabi, et al. Study on an automatic sorting system for date fruits[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2015, 14(1):241-249.
- [4] ZHANG Baohua, FAN Shuxiang, LI Jiangbo, et al. Detection of early rottenness on apples by using hyperspectral imaging combined with spectral analysis and image processing[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(8):124-128.
- [5] 王鑫,赵莹,杨简. 基于视觉技术的苹果分拣系统设计[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(5):169-172.
- [6] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [7] O.Kleynen, V.Leemans, M.F.Destain. Selection of the most efficient wavelength bands for 'jonasold' apple sorting[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 300:221-232.
- [8] 郝红卫,王志彬,殷绪成,等. 分类器的动态选择与循环集成方法[J]. 自动化学报, 2011, 37(11):1290-1295.
- [9] 范生宏,黄桂平,陈继华,等. Canny算子对人工标志中心的亚像素精度定位[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(1):76-78.
- [10] KONDO N, AHRNAD U. Machine vision based quality evaluation of iyokan orange fruit using neural networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 29:135-147.
- [11] REN Xiaofeng, CHARLESS C Fowlkes, JITENDRA Malik. Learning probabilistic models for contour completion in natural images[J]. International Journal of Computer-Vision, 2008, 77:47-63.
- [12] 谢静. 基于计算机视觉的苹果自动分级方法研究[D]. 芜湖:安徽农业大学,2011.
- [13] TAO Y, HEINEMANN P H, VARGHESE, et al. Machine vision for color inspection of potatoes and apples[J]. Transaction of the ASAE, 1995, 38(5):1555-1561.
- [14] 侯大军. 基于机器视觉的苹果特征选择和分类识别系统[D]. 镇江:江苏大学,2010.
- [15] AGRAWAL N. Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino[C]. International Conference on Computing, Communication & Automation, 2015: 928-932.

收稿日期:2019-03-25