

# 基于 Matlab 的无花果成熟度识别技术

孙 阳, 白皓然, 初留珠, 王高弟, 李 秀

(青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 利用 Matlab 和图像处理技术对无花果果实进行处理识别, 该系统可以快速、高效地辨别出七八分熟以上的无花果果实, 进而提高了无花果自动化识别水平, 同时为无花果采摘机器人的研究做了准备; 无花果目前已知有八百个品种, 绝大部分都是常绿品种, 但目前市场上常见的大约在十种以内; 并以布兰瑞克、金早、金傲芬、紫蕾、波姬红、绿早、青皮几种中国最受欢迎的无花果品种为对象, 通过 Matlab 软件研究了判别无花果成熟度的算法, 分别依据果实裂口和颜色变化进行判别; 综合两种算法对果实成熟度进行判断, 正确率达到 89.5%。

**关键词:** 图像处理; 无花果; 成熟度; 采摘

## Maturity Recognition Technology of Figs Based on Matlab

Sun Yang, Bai Haoran, Chu Liuzhu, Wang Gaodi, Li Xiu

(College of Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** Using Matlab and image processing technology to process and identify the fig fruits, the system can quickly and efficiently identify fig and fruit ripening, which improves the automatic recognition level of figs, and prepares the fig picking robot. Fig is currently known to have 800 varieties, most of them are evergreen varieties, but currently on the market about 10 kinds of common. In this study, Bran Rick, Jin Zao, Jin Ao-fen, Zi Lei, Boji Hong, Lu Zao, and Qing Pei were selected as the most popular fig varieties in China. The algorithm for judging fig ripeness was studied using Matlab software. Fruit nicks and color changes were identified. Two kinds of algorithms were used to judge the maturity of fruits, and the correct rate reached 89.5%.

**Keywords:** image processing; fig; maturity; pick

## 0 引言

随着电子技术和计算机技术的发展, 智能采摘机器人作为高科技的产物, 在果蔬收获这项劳动密集型工作中的应用越来越广泛, 它是实现农业现代化的重要手段之一, 使得农业生产更加精准、更加高效, 也是实现果蔬收获自动化、智能化的重要标志。近年来, 农业果蔬采摘机器人的研究受到了很多国家的关注, 并获得了许多成果, 主要任务是对水果和蔬菜完成果实的采摘、分级、运输等任务<sup>[1-3]</sup>。

目前无花果果实主要依靠人工采摘, 无花果生长势强, 并有多次生长习性, 所以存在着采摘时间长、劳动强度大等问题。随着科技的进步, 使用采摘机器人代替人工作业将成为可能。无花果每年结果 2 次。春果的结果部位均为上年生枝未曾结果的叶腋, 而夏、秋的结果部位均为当年生枝, 夏果着生于春梢叶腋, 秋果着生于秋梢叶腋。因此对果实成熟度的判别就显得尤为重要。

熟透的无花果极不易保存, 所以采摘时只能选择八分熟的果实进行采摘, 八分熟的无花果表面还比较绿, 但没有光泽, 捏起来比较硬, 扔在筐里会弹起来, 适合长途运输, 这也就是我们市场上的无花果, 这种果子掰开后边缘立刻会有许多白色的汤汁渗出, 果肉松散成颗粒状, 不是特别饱满, 在生产地这类果子是不适合生吃的, 而运往外地的这类果子, 经过一段时间的折腾, 基本就变软了, 也就成了市场意义上的熟果。而采摘九分熟甚至十分熟的果子, 必须要经过冷库降温预冷, 然后用冷链运输才可以运出去, 否则果子在运输途中很容易因高温而导致变质。

本文用 Matlab2014b 软件平台设计实现一个数字图像处理界面系统, 此系统是以可视化界面的方式展现在用户面前。图像处理模块是本系统的核心, 此模块所实现的主要功能是用算法处理图像, 再对处理后的图像进行观察分析。

## 1 图像处理简介

### 1.1 Matlab 简介

Matlab 的 r2014b 版本为许多处理图像领域的从业人员贡献了特殊的处理图像工具箱和相应的系统模块。通常这些工具箱都是为专门从事图像处理领域的人士设计的, 而用户可以直接拿过它进行学习和使用, 不需用户再写入图像处理程序。由于优秀的图像处理能力以及对相关数据进行分析的能力, Matlab 的应用涉及到图像处理领域的方方面

收稿日期: 2018-03-15; 修回日期: 2018-04-08。

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2013CL021); 2017 年主持省重点研发计划项目(2017NC212003, 2017CXGC201); 2018 年山东省农机装备研发创新计划项目(2018013003016)。

作者简介: 孙 阳(1991-), 男, 山东淄博人, 硕士生, 主要从事农业电气化反向方向的研究。

通讯作者: 白皓然(1968-), 男, 山东青岛人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农业电气化反向方向的研究。

面。比如概率的统计和算法的优化、数据库的接口和信号的控制、神经网络和嵌入式系统开发方面等诸多领域的应用。

Matlab 广泛地应用在图像的处理方面，刚开始开发 Matlab 软件的初衷就包括方便进行数据的可视化，这样就可以通过图形把矩阵向量在 Matlab 软件中表示，并且对显示出来的图像进行文字标记等操作。最近开发的 Matlab 软件完善并改进了图形的处理功能方面，使它不只在多维曲线的处理和操作方面具有一般的图像处理软件都有的功能，而且在图形的光线照射处理、四维数据的表现和色差方面的处理上增添了新的功能<sup>[4]</sup>。

### 1.2 图像类型

无论一幅数字图像是对一幅模拟图像的量化和采样的结果还是已经生成数字形式了，它都可以用一个 2-D 的实数矩阵来表示。根据预设数据类型的变化能够分辨每个区域的最大最小值，当数据类型是 unit8 时范围为 0（黑）到 255（白），当数据类型是 double 时数据类型是 0.0（黑）到 1.0（白）。一种颜色的本质是一个 2-D 的数组，编程易操作的原因是 Matlab 能够把矩阵数组当成 Matlab 软件自身建立的一个数据模型。

在 Matlab 软件的编程操作中，所有二值图像的像素要么是“0”，要么是“1”，也就是说，利用黑色跟白色这两种颜色可以构成二值图像。“0”和“1”这两个值分别代表了关闭和打开，“0”表示了此像素代表了背景，而“1”表示了此像素代表了前景，通过这种方式对图片的结构方式可以更方便的识别。一幅二值图像只能返回与这幅图像相关的结构和信息，如果要对其他图像也要进行操作，就必须将图像转变成二进制的图像形式。二值图像的处理有重要的作用，首先用户需要得到二值化图像之前，就必须先将灰度图像进行二值化的处理。其次，对图形进行二值处理使图形变得简单，图片的存储空间变小，能够更加容易的凸显用户所想要图片外部轮廓和特征。

用户可以利用下述的下面几种公式得到 Gray 后，统一利用 Gray 把原来程序中 (R, G, B) 中的 R, G, B 进行替换，形成新的的颜色 RGB (Gray, Gray, Gray) 就是灰度图了<sup>[5]</sup>。图 1 显示出了一幅无花果的二值化图像。

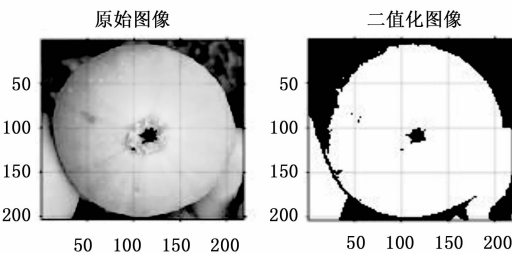


图 1 二值化图像

## 2 图像预处理

图像的获取是对果实成熟度识别的重要前提，图像的

预处理工作是图像处理技术在实际应用中十分关键的一环，因为图像信息在拍摄过程中会存在干扰和噪声，我们为了保证或者提高图像的质量，对图像进行边缘检测、图像分割和形态学处理，增强了图像中有价值的信息。

### 2.1 边缘检测

边缘检测属于机器视觉中图片操作时进行特征值提取的一个方面，它的目的是对用户处理的图像中明暗变化相对明显的点进行标记<sup>[6]</sup>。通过边缘检测可以去除与用户操作内容不相关信息的同时还保留了图像的基本结构，而且可以缩减数据量，因此更加节约空间。现在一般有两类寻找边缘的类型：一类是利用穿过的边缘检测方法，它寻找这幅图像的边界的方法主要是利用寻找图像的二阶导数的 0 穿越，一般是利用非线性差分表示的零点或者是利用 laplacian 通过零点。另一类是在查找边缘基础上的检测方法，它通常在梯度的最大方向上定位出边缘，利用查找图像的的一阶函数求导的极值点来寻找这幅图像的边缘部分。

当确定出用哪种边缘检测的算法以后，接下来的关键一步就是选择一个阈值来确定边缘的位置。如果用户选择一个过小的阈值，用户会检测出较多的边界，用户得到的结果容易受到噪声的影响。但是当用户选择一个高的阈值的时候虽然不容易受到噪声的影响，但是会检测不到物体轻微的边缘，这就需要用户选择一个更加合适的阈值。

罗伯茨边缘检测算子，即用户进行图边界检测中最便捷的一种边界检测算子，它采用了差分算子的部分化来进行边缘的检测，把相对方向两个相近的像素的差表示这个梯度检测幅值的边缘，如图 2 所示。



图 2 Roberts 算子分割图像

prewitt 边缘检测算子，即可以去除掉一部分处理图像的伪边缘，可以去除图像中出现的噪声。prewitt 算子的实质是在图像的空间上通过模板与两个方向的模板（检测水平和垂直的边缘）进行邻域的卷积，一个数字图像可以用 prewitt 算子定义方式定义，如图 3 所示。

Canny 边缘检测算子，目的是寻找一种最好的边界检测的方法，尽可能找到一个清晰地寻找图像边界，所标出的边界部分要尽量与实际的图像的边缘相似，在 canny 算法中运用了可以寻找满足一个可以实现一定功能的变分法，运用 canny 算子进行边缘检测时用四个指数相加表示，它与高斯函数的一阶导数相类似。canny 算子检测的一般步骤是首先要去掉噪声，然后在图像中寻找一个亮度的梯度，最



图 3 prewitt 算子分割图像

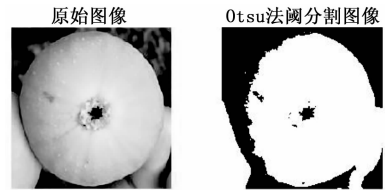


图 6 阈值分割图像

后在图像中进行边缘跟踪, 如图 4 所示。



图 4 Canny 算子分割图像

### 2.2 图像分割

图像分割是图像处理到分析的重要的步骤, 它就是要求用户把所要求的处理的图像分解成几个特定的、具有特定特点的区域, 并对这些域进行一系列的处理。图像分割处理有多种方法, 但是利用边缘的切割和阈值的切割、利用区域的切割和特定理论的切割方法是用户常用的几种方法。进入到 21 世纪以来, 很多科学家, 研究员不断地改进图像分割的理论和研究的新方法来进行图像分割。用户通过图像分割提取到的目标区域同样能用于图像的语音识别跟图像的搜索等领域, 如图 5 所示。

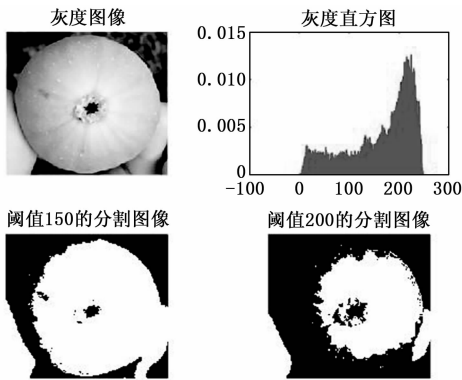


图 5 灰度直方图

直方图阈值得到一个找到最合适阈值的方法是通过分析处理图像的灰度直方图进行处理。在根据用户需要的实验结果确定合适的方法之前, 需要利用直方图阈值法通过直方图的分析来判断用户处理的图像是单双峰或者多峰<sup>[7]</sup>。如图 6。

### 2.3 形态学处理

图像的处理中有一个分支被称做数字形态学, 它可以用来为描述、表达和分析一幅图像中的状态提供完整的工具。除此之外, 数字形态学还被应用在对感兴趣形状图像的预处理上面。

数字形态学的基本原理是利用一个结构元素进行变换, 从一个不知道的图像中过去几何以及拓扑的信息<sup>[8]</sup>。在用户进行的图像的形态学的处理中, 对图像的形状和尺寸的设计使用户进行操作的关键部分, 如图 6 所示。

膨胀是用户进行形态学处理中的一种形态操作, 膨胀产生的效果是“扩大”或者“粗化”处理一幅用户二值图像的目标区域, 需要利用结构类型的相关尺寸和形状来控制图像粗化的范围和方向, 如图 7 所示。



图 7 膨胀后图像

与膨胀操作一样, 腐蚀也是一种形态操作, 腐蚀的效果是“细化”或者“收缩”, 用户进行处理的这幅二值图像中的目标区域。这个细化或收缩的范围和方向被结构元素的形状和尺寸所控制着, 如图 8 所示。



图 8 腐蚀后图像

直方图的均衡化处理就是把所处理图像的直方图的一个聚集的灰度分布区处理为全部灰度级并进行平均的分布。用户将待处理的图像进行非线性的伸长伸直等操作, 并对重新分配图像中的像素值。直方图的均衡化对于图像的前景色跟背景色都很有效, 并且直方图均衡化是一个可逆的技术, 当用户知道均衡化的函数, 用户就可以恢复图像原始的直方图, 如图 9 所示。

平滑滤波是空间域滤波技术的一种, 可以把低频率进行加强处理。进行平滑滤波的目的主要是使用户待处理的图像变的模糊或者消除上面的噪音。用户一般采用简单平均法进行处理, 用户需要求相邻像素像素点的平均亮度值。用户选取的邻域的面积与处理的平滑滤波结果有密切的联系, 选取的邻域越大用户处理的效果越好。图 10 是不同模

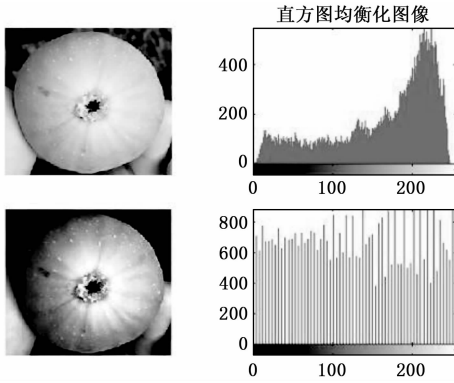


图 9 直方图均衡化图像

板下的平滑滤波。

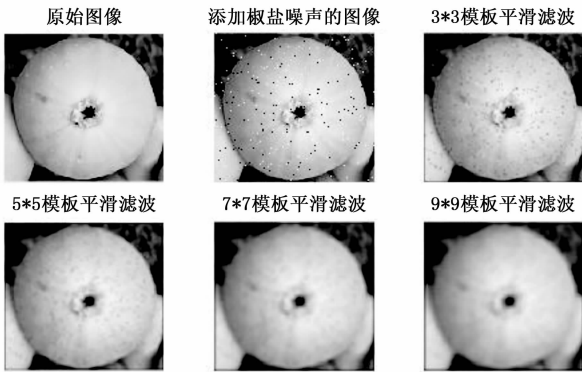


图 10 平滑滤波图像

进行图像的锐化处理是的目的使用户待处理的模糊图像的边界表达的更清晰。图像锐化与图像模糊相反，所以必须使用图像模糊的逆运算，例如微分等方法。图像模糊是因为其图像中高频部分的分量被减弱，可以运用高通滤波器进行处理的原因是从频率域的角度进行考虑。用户要进行图像锐化的前提是处理的图像必须要有比较高的信噪比和噪声的比例，不然会降低处理后图片的信号和噪声的比例，所以先进行去除噪声，再进行图像的锐化处理，如图 11 所示。

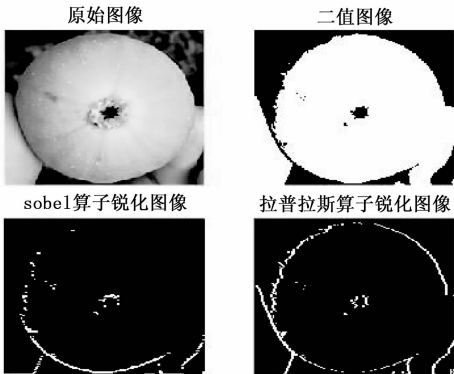


图 11 锐化后图像

### 3 系统设计与实现

#### 3.1 设计思路

由于并不是所有的无花果成熟之后都是红色，所以我们不能单纯的用颜色作为唯一判别依据，而且无花果成熟的判断其实比较复杂。

大田栽培的无花果可分为夏果和秋果<sup>[9]</sup>。北方设施栽培的无花果，由于冬季对树干进行极重短截的“平茬”管理模式，因此果实都着生在当年枝条上，于夏季成熟并能延长到秋末冬初。无花果的果实是由花序轴及其上着生的小花发育而来的假果，果实内部的花发育过程不能从外部直观观察到，其形态结构还不清楚。随着果实发育，果实外部颜色从绿色，逐渐发生褪绿至变白，随后迅速膨大着色至成熟；果实内部颜色从白色小花变为红色小花，最后小花顶部花柱和柱头由红色变为黄色。而从视觉识别的角度来看，现实中人们是靠着经验，从果实的色泽、大小、裂口、饱满程度甚至硬度来判断。程荣花等<sup>[10]</sup>采用主成分分析的方法得到相关信息，以高达 93% 的识别率来实现水果图像准确辨识。

本系统设计了两种算法对果实进行判别。

#### 3.2 裂口识别算法

无花果出现裂口是果实成熟的标志，因此可以通过识别无花果裂口处的像素点来进行判断。思路是裂口处的像素点比其他的地方密集，利用掩模运算对图像上某些区域作屏蔽，使其不参加处理或不参加处理参数的计算，得到感兴趣区图像进行判断，界面如图 12 所示。



图 12 裂口识别界面

#### 3.3 颜色识别算法

大多数种类的无花果成熟后会变深色。像布兰瑞克成熟后是古黄铜色，金傲芬和美丽亚是金黄色，波姬红是鲜红或紫红，紫陶芬和蓬莱柿是紫红至褐色。而青皮、长江七号、绿抗一号等，即使成熟也是绿色，只是形态上发生变化。所以在颜色上，识别出这些暖色调就判断未成熟。

做了大量实验分析，发现单纯用 RGB 区分效果并不好，LAB 颜色空间也不行，而用 HSI 效果很好，首先将 RGB 颜色空间映射到 HSI 空间， $h$  是色调， $s$  是饱和度， $I$

是亮度。我们来识别  $h$  分量, 得到  $h$  分量的直方图, 如果没有成熟, 直方图分布都在 0.6 以下, 成熟了的在 0.7 以上也会有分布, 统计  $hsi$  颜色映射空间  $h$  分量值大于 0.7 的个数。有裂口的或者红了的, 在  $h$  分量力有个明显的规律,  $h$  值靠近 1 而远离 0, 界面如图 13 所示。

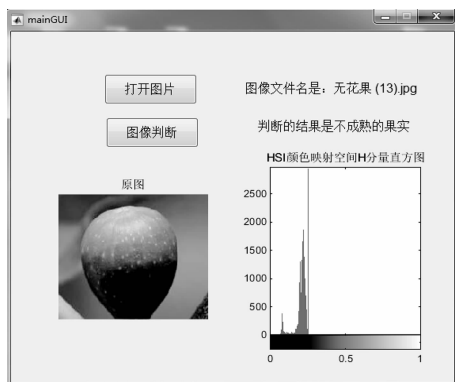


图 13 颜色识别界面

#### 4 试验验证

将这两种算法合并在一起, 界面上没有把掩模体现出来, 识别正确率提高了很多, 以 500 张照片为实验对象, 正确率达到 88.6%, 最终识别界面见图 14。

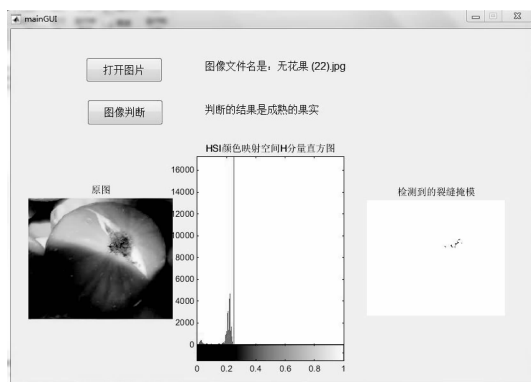


图 14 最终识别界面

(上接第 290 页)

#### 参考文献:

- [1] 刘大响, 陈光. 航空发动机——飞机的心脏 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [2] 廉筱纯. 航空发动机原理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.
- [3] 石宏. 航空发动机装配工艺技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.
- [4] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式 [J]. 计算机集成制造, 2017, 23 (1): 1-9.
- [5] APRISO. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication [EB/OL]. (20140506). Http://www.aprison.com
- [6] 庄存波, 刘检华, 熊辉, 等. 产品数字孪生提的内涵、体系结构及其发展趋势 [J]. 计算机集成制造, 2017, 23 (4):

#### 5 结论

本设计是基于 Matlab 图像处理技术, 做了一个判别无花果果实成熟度的系统, 根据无花果成熟的标准研究了识别算法, 利用 RGB 颜色空间映射到 HSI 空间, 直方图分布在 0.7 以上有分布时说明根据颜色判断, 果实是成熟的, 同时利用掩模判别选定区域中裂口像素点, 这个相对区域内密集的像素点就是果实裂口; 一定区域像素点个数大于预设值时就认定为成熟, 然后进行计数处理, 完成识别率测试, 取得不错的实验结果, 此设计为以后无花果的智能采摘提供了研究基础, 顺应农业发展趋势, 具有现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 郑勇. 后危机时代水果产业发展策略研究——以陕西省为例 [J]. 安徽农业科学, 2010 (10): 246-248.
- [2] 黄晓. 基于 LabVIEW 和 IMAQ Vision 的几何尺寸非接触测量系统的研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [3] 陈浩. 机器视觉在渔网检测中的应用 [J]. 科技尚品, 2016 (7): 150-151.
- [4] 庄鸿昌, 郝智强, 崔志鹏. 矩阵实验室——Matlab [J]. 艺术科技, 2016 (6): 45-49.
- [5] 纪传丽. 基于图像扫描矢量化的线切割编程系统 [D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [6] 马腾赟. 基于 FPGA 的红外图像预处理技术及实现 [D]. 西安: 西安工业大学, 2015.
- [7] 侯越. 基于灰度直方图的阈值分割算法 [J]. 硅谷, 2010, (23): 34-37.
- [8] 刘飞, 张强, 张勇为. 基于图像形态学对光弹性图像的预处理 [J]. 实验科学与技术, 2007 (2): 19-22.
- [9] 周用宾, 邱家洪, 严玉平. 无花果果实的着生与发育动态研究 [J]. 江西农业学报, 1997 (9): 26-29.
- [10] 程荣花, 马飞, 梁亚红. 形状相似水果自动化识别研究 [J]. 山东农业科学, 2015, 8 (47): 116-118.
- [7] Yan, L., Morris K C, et al. NISTIR 8107 Current Standards landscape for smart manufacturing systems [D]. National Institute of Standards and Technology, 2016.
- [8] 周烁, 刘宜胜, 汪俊熙, 等. 大型商用航空发动机整机装配工艺浅析 [J]. 北京: 航空制造技术, 2014 (5): 92-96.
- [9] 王宏光, 常智勇, 张海明. 面向航空发动机装配过程管理与控制关键技术研究 [J]. 电子设计工程, 2013, 21 (9): 18-21.
- [10] 戴国洪, 张友良, 王惠芬, 等. 产品数字化预装配系统体系结构的研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004 (7): 39-41.
- [11] 焦亮, 胡国清, 吕成志, 等. 基于机器视觉的高精度测量与装配系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 72-75, 81.