

文章编号: 2095-2163(2022)06-0106-05

中图分类号: TP315

文献标志码: A

基于 Otsu 算法与形态学的火龙果图像分割研究

邓子青, 王 阳, 张 兵, 杨 晨

(贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 图像检测识别是自动采摘技术的关键环节, 本文是以火龙果为研究对象, 提出一种采用最大类间方差(Otsu)法并结合数学形态学的火龙果果实图像分割方法, 最终实现对火龙果果实与背景的分离, 并计算果实质心, 为后续的机器人采摘技术奠定基础。算法实验表明, 通过联合引入 Otsu 阈值分割算法和数学形态学处理, 所得火龙果图像更加清晰, 提高了图像的可视性和准确性, 效果优于只采用阈值分割。

关键词: Otsu 算法; 火龙果; 图像分割; 数学形态学

Research on pitaya image segmentation based on Otsu algorithm and morphology

DENG Ziqing, WANG Yang, ZHANG Bing, YANG Chen

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[Abstract] Image detection and recognition is the key link of automatic picking technology. This paper takes Huolong fruit as the research object, and proposes a method of image segmentation of Huolong fruit by using the maximum inter class variance (Otsu) method and mathematical morphology. Accordingly, the separation of the fruit from the background is realized, and the fruit quality center is calculated, which lays the foundation for the robot picking technology. The experiment shows that the image of Huolong fruit is clearer after the Otsu threshold segmentation algorithm and mathematical morphology, which improves the visibility and accuracy of the image, and the effect is better than the threshold segmentation.

[Key words] Otsu method; pitaya; image segmentation; mathematical morphology

0 引言

果蔬采摘是农业生产链中耗时耗力的环节之一, 通过保证果实及时采收、降低采收成本, 是实现农业增收的重要途径^[1]。研究可知, 现代经济已然进入高效增长期, 而时下的果农群体却普遍趋于老龄化, 由此带来果蔬生产所涉及的劳动力成本有所增加。随着各种计算机视觉图像处理技术以及众多嵌入式智能控制机器系统的发展, 利用机器人采摘果蔬的现代化方法成为可能^[2], 故实现采摘果实的图像分割是果蔬采摘机器人研发的重点课题内容。

本文即以火龙果采摘作为研究对象, 着重探讨了火龙果果实的图像分割从而获取火龙果果实图像质心, 为后期开发火龙果采摘机器人提供算法支持。在火龙果等果蔬采摘领域, 现阶段常用的主要方法有阈值分割、K-means 聚类算法、人工神经网络和最大类间方差(Otsu)算法等。其中, 神经网络等方法

虽然精度较高, 但却需要海量的数据支持; 若只单一使用传统算法, 分类效果不会很理想。故在对数据量与精度之间进行权衡考虑后, 本文将 Otsu 算法与形态学操作同时引入到火龙果图像分割算法中。要实现机器人自动采摘果实, 首先要保证的就是高实时性, 本文通过利用阈值分割计算方法的简单、高实时性来解决实时性问题, 故采用全局阈值算法。但是仅采用该算法对整幅图像进行处理, 会受到不均匀光等因素的影响, 从而无法适应局部变化^[3]。于是采用数学形态学手段结合阈值分割法, 结果发现, 取得了不错的分割结果。对分割后图像的质心获取也与原图较为相符, 为智能采摘的后续功能的实现提供了条件。

1 Otsu 算法

Otsu 算法(大津法)是一种通过确定图像二值化阈值来实现分割的算法, 由日本学者大津展之于

基金项目: 国家自然科学基金(61604046); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5788号); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5781号)。

作者简介: 邓子青(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理。

通讯作者: 杨 晨 Email: eliot.c.yang@163.com

收稿日期: 2021-04-02

1979年提出^[4]。从 Otsu 算法原理上讲,通过该方法所求得阈值来将图像进行二值化分割,此时前景与背景图像类间方差最大。Otsu 算法作为求图像全局阈值的最佳算法,现已广泛应用在图像处理领域,但该算法也存在噪声敏感特性,只能实现对单一目标的分割。

已知灰度图像 F , 其全图灰度值为 $(0, L - 1)$, 灰度等级为 L , 图像为 $N \times M$ 分辨率, 设 n_i 个灰度级为 i 的像素点, P_i 为该灰度级像素点出现的概率, 即:

$$P_i = \frac{n_i}{N \times M}, \quad P_i \geq 0, \quad \sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1 \quad (1)$$

设分割阈值 $k \in [0, L - 1]$, 按照这一阈值将图像分成 C_0 和 C_1 两类, 其分割结果可以表示为:

$$F(x, y) = \begin{cases} C_0 & i < k \\ C_1 & i \geq k \end{cases} \quad (2)$$

其中, C_0 表示图像目标, C_1 表示图像背景。灰度级小于 k 的包含于 C_0 中, 反之包含于 C_1 之中, W_0 和 W_1 分别表示 C_0 和 C_1 出现的概率; 且将 C_0 和 C_1 的灰度级均值表示为 μ_0 和 μ_1 。

可计算得到 C_0 和 C_1 方差为:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 \frac{P_i}{\omega_0} \quad (3)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 \frac{P_i}{\omega_1} \quad (4)$$

目标和背景类间方差为:

$$\sigma_k^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (5)$$

其中:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^k P_i, \quad \omega_1 = \sum_{i=k+1}^{L-1} P_i,$$

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^k \frac{iP_i}{\omega_0}, \quad \mu_1 = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{iP_i}{\omega_1}.$$

σ_k^2 值的大小表明 C_0 和 C_1 的像素差别程度的大小以及分离效果好坏, 当 σ_k^2 为最大 k 值时, 就是图像分割阈值的最佳点, 即:

$$k = \text{Arg}_{\max} \{ \sigma_k^2(k) \}, \quad 0 \leq k \leq L \quad (6)$$

2 数学形态学

数学形态学由法国的 Serra 和 Matheron 在 1964 年提出^[5], 一开始被用来处理二值图像后应用到灰度图像的处理中, 迄今为止仍然是图像处理领域的一个重要方法理论。其思想是通过结构元素在目标图像上的不断探索, 从而获取图像各局部之间的联系以及图像总体结构。其中, 最基本、也是最有效的

运算有: 形态学的开闭操作、图像腐蚀和膨胀处理。

2.1 腐蚀、膨胀处理

在形态学图像处理中, 通常将腐蚀操作用于消除图像的毛刺, 而常将膨胀操作用来扩大图像有用信息。通过多次应用膨胀、腐蚀或两者结合的方法, 可获取针对不同应用场景的所需图像处理结果。其中, 膨胀处理可使用腐蚀处理的补集表达式来表示。设 A 为初始图像, B 为结构元素, $A \ominus B$ 可表示 B 对 A 进行腐蚀处理, 其数学表达为:

$$A \ominus B = \{x; B + x \subset A\} \quad (7)$$

对于膨胀运算, 则相应可表示为 $A \oplus B$, 即 B 对 A 进行膨胀处理, 其数学表达为:

$$A \oplus B = \{A^c \ominus (-B)\}^c \quad (8)$$

通过数学表达式可以看出, 腐蚀与膨胀的运算基本类似, 两者为互补的关系。通过利用两者的算法特性, 在图像领域常常对图像连续交叉使用这 2 种处理操作, 从而可得到所需图像结构, 其中就包含了图像的开操作与图像的闭操作。

2.2 开、闭运算

开、闭运算是利用腐蚀和膨胀的先后处理的基础上建立起来的。通过对图像先进行腐蚀运算、再进行膨胀运算即为开运算, 通过对图像先进行膨胀操作后、再进行腐蚀操作即为闭运算。开运算的数学表达式可写为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (9)$$

其中, A 为图像本体, B 为结构元素。由于腐蚀和膨胀运算为互补关系, 而开、闭运算为腐蚀、膨胀的先后组合, 故开、闭运算也为互补关系, 表示如下:

$$A \cdot B = [A \oplus (-B)] \ominus (-B) = (A^c \circ B)^c \quad (10)$$

3 火龙果图像分割算法

3.1 火龙果图像分割流程

本文通过同时引入 Otsu 算法以及形态学操作来实现对火龙果图像的分割。由于 Otsu 算法虽然具有优异的图像分割能力, 但其对图像抗噪声性能较差, 故必须对火龙果图像先进行形态学的图像预处理来保证图像的噪点最小化, 2 种算法相互补充, 从而达到优异的火龙果分割结果。其算法流程可表述为: 先通过各颜色空间对预处理图像来进行灰度图像的转换; 通过中值滤波操作, 去除图像噪声; 利用 Otsu 算法预处理后的图像进行阈值分割, 从而获取初次分割图; 后续采用形态学操作对图像进行填充和边缘平滑; 最后对提取的果实图像通过求质心

算法计算其质心。总体流程如图1所示。



图1 火龙果图像分割基本流程图

Fig. 1 Pitaya image segmentation basic flowchart

3.2 最优颜色空间选取

本文主要以成熟火龙果果实的识别的研究为主,已知成熟的火龙果颜色为红色,其果实主体和背景的颜色有较大差异,故可通过颜色差异来实现果实的分割识别^[6]。RGB颜色空间具有运行时间短的特性,故使用RGB模型空间来对所拍摄的火龙果果实图像进行研究^[7]。火龙果灰度图像如图2所示



图2 火龙果灰度图

Fig. 2 Grey scale image of the pitaya

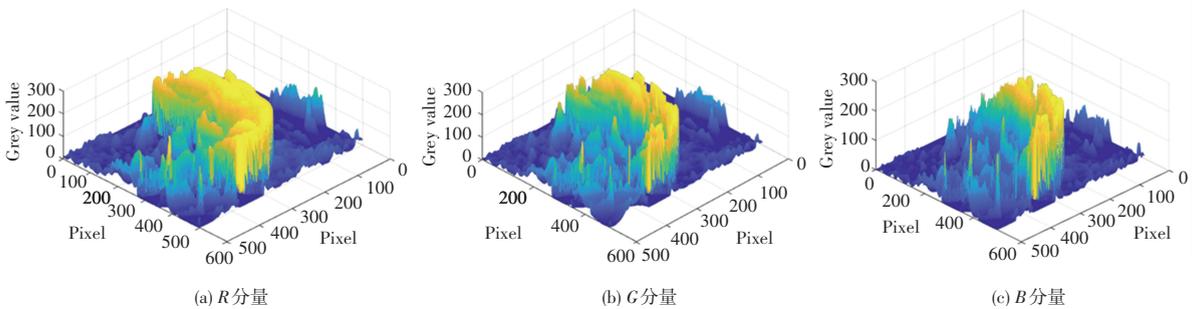


图3 火龙果图像各分量直方图

Fig. 3 Histogram of pitaya image components



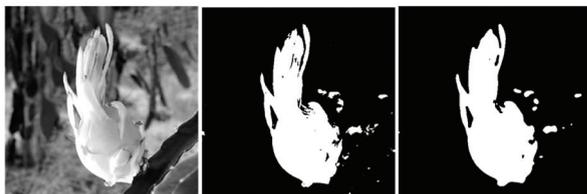
(a) R分量 (b) G分量 (c) B分量

图4 火龙果颜色空间选取

Fig. 4 Color space selection of the pitaya image

3.3 最大类间方差法进行阈值分割

Otsu算法对火龙果图像分割结果如图5所示。其中,图5(a)是火龙果R分量图像,图5(b)为对图像进行Otsu算法处理后得到的二值图像,图5(c)为对该二值图像进行中值滤波后的结果。



(a) 火龙果R分量图 (b) 火龙果二值化图像 (c) 中值滤波结果

图5 Otsu算法对火龙果图像分割

Fig. 5 Pitaya image segmentation using Otsu algorithm

示,处理结果见图3,图4。其中,图3(a)~(c)为RGB各分量直方图统计结果,图4(a)~(c)为基于各分量的分割结果。从图3、图4可以看出,R分量的效果较好,果实与背景有较大对比度,因此选择R颜色特征进行后续研究^[8]。

从图5(c)中可以看出,火龙果果实周围绿色的鳞片导致了二值化的火龙果图像边缘十分不规则;因为火龙果绿色鳞片与绿色背景具有相似颜色,采用阈值法区分前景和背景时容易造成误判。研究中为获得较理想的分割图像,拟采用数学形态学算法对分割结果图像进行后续处理,以获取更加准确的果实图像,求得精确的质心位置。

3.4 形态学的填充及平滑处理

形态学的填充处理可对图像不同连通体内部的‘空洞’部分进行补充,以获取不同主体的完整图形结构。开运算的使用可去除图像毛刺,可平滑图像。闭运算的使用可填补图像空缺,使相近图像主体连通^[9]。本文首先利用闭运算填补图像‘空洞’,得到完整火龙果果实图像,如图6所示。由图6可以看到,使用开运算后的图像边缘被填补,图像中心空洞被填充,但是这也造成了图像面积的膨胀,可能导致计算质心错误。

在此基础上,采用开运算,对图像边缘进行平滑,将火龙果果实凸起的鳞片图像抹除,使形成的果实图像与初始果实图像大小相同。最终仿真结果与原图像对比如图7所示。由图7可以明显看出,分割效果比运用形态学处理图像之前有较大提升。



图 6 火龙果二值化图像闭运算

Fig. 6 Binary image closing operation of the pitaya image

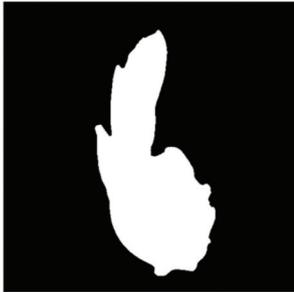


图 7 火龙果二值化图像开运算

Fig. 7 Binary image open operation of the pitaya image

3.5 算法有效性验证

为验证分割算法的有效性,将不同分割算法与本文所用算法的火龙果分割图进行比较,各算法分割结果对比如图 8 所示。

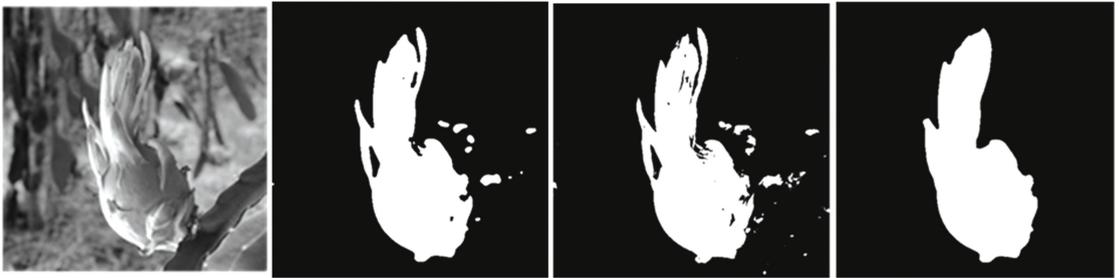
图 8 中,(a)为火龙果灰值图,(b)、(c)、(d)为分别使用中值滤波算法、Otsu 算法、本文方法得到的火龙果分割图。由图 8 可以明显看出,本文所使用算法分割出的火龙果图像边缘更为平滑,火龙果内部无空洞,而且准确分割出只含火龙果的二值图,相比其他算法的分割图,噪点大大减少。综上,本文所用算法可从图片中有效分割出火龙果,且相比传统算法提升明显。

3.6 计算图像质心坐标

最后对上述结果图像坐标求均值,结果坐标即为图像质心,质心公式如式(11)所示:

$$M_{pq} = \int_{a_1}^{a_2} \int_{b_1}^{b_2} x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (11)$$

其中, x, y 表示像素坐标,当 p, q 分别为 $0, 0, 0, 1, 1, 0$ 时即可计算出二值连通区域的质心。计算结果如图 9 所示,图 9 中心红色标志即为图像质心。



(a) 火龙果灰值图 (b) 使用中值滤波算法的分割图 (c) 使用 Otsu 算法的分割图 (d) 使用本文方法的分割图

图 8 各算法分割结果对比图

Fig. 8 Comparison of segmentation results of each algorithm



图 9 火龙果原图与求质心结果对比图

Fig. 9 Comparison of original pitaya image and the centroid result

从图 9 可以看出,形态学运算对火龙果图像轮廓的尖锐凸起有不错的分割效果。

4 结束语

本文以火龙果为研究对象,提出一种采用 Otsu 法

并结合形态学操作的火龙果果实图像分割方法,实现对火龙果果实与背景的分离,并计算出果实的质心,为后期的机器人采摘技术奠定基础。首先在 RGB 颜色空间中选取最佳颜色空间,此后通过中值滤波实现图像降噪,接着利用形态学方法对火龙果图像进行开、闭运算,得到最佳火龙果果实与背景分割图,最后通过数学方法求质心,方便果蔬采摘机器人识别火龙果位置。本研究采用的方法对成熟火龙果图像的分割主体完整,但该算法仅针对于成熟的火龙果果实,对于想提前采摘半熟火龙果果实仍需后续展开进一步的深入研究。

参考文献

[1] 张洁,李艳文. 果蔬采摘机器人的研究现状、问题及对策[J]. 机械设计,2010(06):1-5. (下转第 115 页)