

基于 OTSU 算法的苹果果实病斑图像分割方法

薛 飞, 刘立群*

(甘肃农业大学 信息科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:在苹果种植面积和产量日益增长的情况下,果实的各种病变如黑点病、斑点落叶病等也日益增多,严重影响了果农的经济收益。针对传统人工肉眼检测方法,受人为主观判断容易产生错误,降低病变识别准确度的缺陷,提出了基于最大类间方差法(OTSU)的苹果果实病斑图像分割方法。设计开发了苹果病斑图像分割处理系统,系统基于 MATLAB GUI 开发界面,将读取的苹果彩色病斑图像分别进行灰度处理、直方图均衡化、滤波增强、模糊增强、图像分割、识别病斑区域等一系列操作,分别选取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病等六种病斑果实图像进行采样处理,利用 OTSU 算法对六种苹果病斑图像进行分割识别。分割实验结果显示,对于病斑适中、颜色较深的苹果病变区域分割后识别率和识别成功率较高。

关键词:苹果病斑;最大类间方差法;图像分割;MATLAB GUI;图像处理系统

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)12-0181-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.12.032

Image Segmentation Method of Apple Fruit Spots Based on OTSU Algorithm

XUE Fei, LIU Li-qun*

(School of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: With the increasing of apple planting area and yield, the diseases of apple fruits such as black spot and blotch defoliation are increasing, which seriously affects the economic profit of fruit farmers. Aiming at the defects of traditional artificial eye detection method, which is subject to subjective judgment and easy to make mistakes and reduce the accuracy of disease detection, an image segmentation method of apple fruit disease spot based on the maximum inter-class variance (OTSU) method is proposed. Apple disease spot image segmentation and processing system is designed and developed based on Matlab GUI development interface, the apple color spot image is read by a series of operations such as grayscale processing, histogram equalization, filter enhancement, mold and enhancement, image segmentation, recognition of the spot area, etc. The images of apple black spot, apple spot falling, apple bitter spot, apple red spot, apple spot and apple sunburn are sampled and processed, and the images of apple black spot are segmented and recognized by OTSU Algorithm. The results of segmentation experiment show that the recognition rate and the success rate are higher for the apple lesion regions with moderate and dark color.

Key words: apple spots; maximum class variance method; image segmentation; MATLAB GUI; image processing system

0 引 言

中国的苹果生产和消费已经位居世界之首^[1]。在苹果种植面积和产量日益增长的情况下,苹果果实的各种病变(如黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病等)也日益增多,严重影响了果农的经济收益,因此对苹果进行检测对提升苹果整体的品质具

有重要的意义。

目前,传统的检测方法以人工肉眼检测为主,受人为主观判断容易产生错误,降低了病变识别准确度。随着经济的快速发展,目前人工成本越来越高。随着技术的不断发展升级,能够替代人工肉眼识别的机器视觉的出现显得更为重要。机器视觉领域包括图像处

收稿日期:2019-12-31

修回日期:2020-04-30

基金项目:甘肃农业大学信息科学技术学院发展基金(GAU-XKFZJJ-2020-11);甘肃省高等学校科研项目(2019B-086);甘肃农业大学学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-255, GAU-XKJS-2018-253, GAU-XKJS-2018-251);国家自然科学基金(61741201);甘肃省教育科学“十三五”规划2019年度一般规划课题(GS[2019]GHB2152)

作者简介:薛 飞(1989-),男,硕士研究生,助教,研究方向为农业图像处理;通信作者:刘立群(1982-),女,硕士,副教授,研究方向为智能计算、图像处理。

理、智能控制、电光源照明、传感器检测、模拟数字视频技术等。图像处理是机器视觉的基础,其中图像分割是按照一定的原则将一幅图像分为若干的具有单独性质的子集,并提取出感兴趣目标的技术和过程。

因此,利用图像分割算法对苹果病斑图像识别进行研究具有重要的实际意义和应用前景。目前该领域的研究对象一般为黄瓜、西红柿、柑橘、马铃薯等常见病害图像。国外研究学者已经开展了大量工作,文献[2]为了分割出樱桃白粉病病害区域,采用自适应阈值分割方法,结果表明分割的病斑区域可以有效地反映疾病感染水平。文献[3]将 Sobel 边缘检测算子应用于大麦叶片病斑分割实验中,从而实现了病斑与背景的分隔^[4]。文献[5]选取种子像素并采用区域生长迭代法和分裂合并方法对柑橘皮病斑进行了分割,结果表明柑橘皮病斑区域分割结果良好。文献[6]通过实验对香蕉病害叶片病斑提取,选择最优门限阈值,准确将病斑分割出来^[7]。文献[8]对苹果进行了形状判断的研究,依靠轴定向可以采集苹果在不同角度的 5 帧图像并使用计算机进行图像分析处理。文献[9]提出在理论上任意颜色都可以用 R、G、B 分量不同的数值组合来进行呈现,实验数据表明该理论的误差很小,但是这种方法增加了计算量,同时也降低了速率,增加了实际误差^[10]。文献[11]采用机器视觉对草莓形状、大小及颜色等特征进行分级方法研究^[12]。国内学者也开展了相关研究,文献[13]提出的改进全卷积神经网络的黄瓜叶部病斑分割方法可以对不同黄瓜叶部病斑做到精细化分割。文献[14]提出的 LBP 和 OTSU 相结合的危害叶片图像分割方法使危害叶片分割更完全。文献[15]提出的基于朴素贝叶斯的病害图像分割方法对柑橘溃疡病叶片图像进行分割研究,达到了较为适宜且精确度较高的程度。文献[16]提出了一种改进全卷积神经网络玉米叶片病斑分割方法,可以准确分割出玉米叶部病斑区域。文献[17]对 HSV、Lab、YCbCr 和 RGB 几种颜色空间下水稻稻瘟病、细菌性条斑病和稻曲病 3 种病害图像分割进行了研究,取得了不错的分割效果。可见,利用图像处理算法对病害进行分割与识别是一种非常有效的方法,将其应用于不同类型的苹果病斑图像的分割识别领域,可快速简单地苹果病斑识别,节省人力物力。

针对传统人工肉眼检测的缺陷,该文应用最大类间方差(OTSU)对不同类型的苹果病斑图像进行分割研究,提出了基于 OTSU 算法的苹果果实病斑图像分割方法。设计开发了苹果病斑图像分割处理系统,系统基于 MATLAB GUI 开发界面,将读取的苹果彩色病斑图像分别进行灰度处理、直方图均衡化、滤波增强、模糊增强、图像分割、识别病斑区域等一系列操作,

分别选取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病等六种病斑果实图像进行分割处理,实现病斑图像分割结果展示。

1 理论基础

1.1 最大类间方差算法分割原理

广泛流行的图像分割算法是最大类间方差,又称大津法(OTSU),是日本学者大津展之在 1979 年提出的。其算法思想是通过最大类间方差准则来选取最优阈值。

OTSU 算法基本原理是:假设图像中有 L 个灰度等级,其中灰度值为 j 的数目为 n_j ,则有图像中总的像素公式为:

$$N = \sum_{j=0}^{L-1} n_j \quad (1)$$

每个灰度值概率公式如下:

$$P_j = n_j / \sum_{j=0}^{L-1} n_j \quad (2)$$

假设在 $(0 \sim L)$ 灰度内存在灰度 k 将图像分为两类,那么公式如式(3)所示。

$$P_A = \sum_{j=0}^k p_j, P_B = \sum_{j=k+1}^L p_j \quad (3)$$

此外两类灰度值均值计算方法分别如式(4)和式(5)所示。

$$\omega_A = \sum_{j=0}^k p_j j / \sum_{j=0}^k p_j \quad (4)$$

$$\omega_B = \sum_{j=k+1}^L p_j j / \sum_{j=k+1}^L p_j \quad (5)$$

通过公式可以计算出图像总体灰度均值为 $w_T = p_A \omega_A + p_B \omega_B$,根据方差计算公式可得出式(6)^[18]。

$$\delta^2 = P_A (\omega_A - \omega_T)^2 + P_B (\omega_B - \omega_T)^2 \quad (6)$$

通过 OTSU 算法的基本原理可以得到 OTSU 求取图像最佳阈值的公式(7),方差越大,效果越好^[19]。

$$T = \max_{0 \leq l \leq L-1} [\omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2] \quad (7)$$

1.2 MATLAB 及 MATLAB GUI 原理

随着面向对象技术的兴起,图形用户界面(GUI)的设计与开发已经成为一种大的趋势。MATLAB 平台可建立基于用户完整的图形用户界面,对于图像的分割处理更加精准和简易^[20]。

利用 MATLAB GUI 实现图像处理一体化平台设计可以充分发挥 MATLAB 在图形可视化方面的特性。平台设计中充分利用了 MATLAB 的各种图形对象,如按钮、文本框、菜单、图轴等控件,通过鼠标拖入控件来创建对象,编写相应回调函数实现平台的算法集成和交互可视化功能,为用户有效利用多种方法进行图像处理提供了便利。

1.3 苹果果实病斑分类

目前,苹果的各种病变体现在果实病斑上,主要包括以下六种类型:黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病及日灼病。

苹果黑点病一般局限在果实表皮,不深入果肉^[21],影响苹果果实外观、经济价值。苹果斑点落叶影响苹果外观病贮藏期间还易感染其他病菌,并感染其他果实,造成经济损失。苹果苦痘病果面病斑深褐色至黑褐色^[22],严重影响苹果外观、口感和经济价值。苹果红点病出现在果皮表面,影响外观、果农经济收入^[23]。苹果痘斑病表现在果实表面,病变严重可以深达果肉^[24],易感染其他果实造成经济损失。苹果日灼病是由果面高温和太阳光的辐射所引起,使苹果失去食用价值^[25]。

2 苹果果实病斑图像分割方法

2.1 苹果果实病斑图像分割方法原理

针对传统人工肉眼检测的缺陷,该文提出了基于 OTSU 算法的苹果果实病斑图像分割方法。该方法基于 MATLAB 平台,将读取的苹果彩色病斑图像分别进行灰度处理、直方图均衡化、滤波增强、模糊增强、图像分割、识别病斑区域等一系列操作,分别选取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病斑果实图像进行采样处理,利用 OTSU 算法对六种苹果病斑图像进行分割识别。

2.1.1 苹果果实病斑图像分割方法

苹果果实病斑图像分割方法包含以下四个模块:读取苹果病变图像模块、图像灰度处理模块、图像预处理模块、图像分割模块。

读取苹果病变图像模块实现苹果病斑图像的读入功能,首先对苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病变进行采样处理,在系统分

别对应的功能区进行读入。图像灰度处理模块实现灰度图像处理功能,将苹果彩色病斑图像读入后自动将苹果病斑图像进行灰度处理并显示。图像预处理模块,建立预定义的滤波算子,模糊增强滤波器,将原始图像按指定的滤波器进行滤波增强处理,并计算出图像的直方图。图像分割模块,利用 OTSU 算法计算出图像的一个阈值,可以用来区分图像的前景和背景部分,然后显示病斑分割结果。

2.1.2 苹果果实病斑图像分割方法流程

Step1:读取苹果病斑图像。

Step2:对苹果病斑图像进行灰度处理。

Step3:建立预定义的滤波算子,模糊增强滤波器,将原始图像按指定的滤波器进行滤波增强处理,并计算出图像的直方图。

Step4:利用 OTSU 算法计算出图像的一个阈值 finalT,显示病斑分割结果。

2.2 苹果病斑图像分割处理系统

2.2.1 总体设计方案

该文基于 MATLAB 平台,运用 OTSU 算法对苹果病斑图像进行分割,并利用 MATLAB GUI 功能实现病斑图像分割结果展示,设计开发了苹果病斑图像分割处理系统。

由于照片采集过程中会受到外部光源等一系列不确定因素的影响,可能会影响苹果病斑识别的正确率,因为存在这些不确定性因素,所以在苹果病斑识别过程中存在一定的复杂性。采集到的苹果病斑图像进行识别分割,因为受光源、色彩等因素的影响,所以在识别过程中先将彩色图像进行处理转换为灰度图像,并进行图像的预处理,然后进行病斑区域分割,以提高病斑分割正确率。苹果病斑图像分割处理系统总体设计方案如图 1 所示。

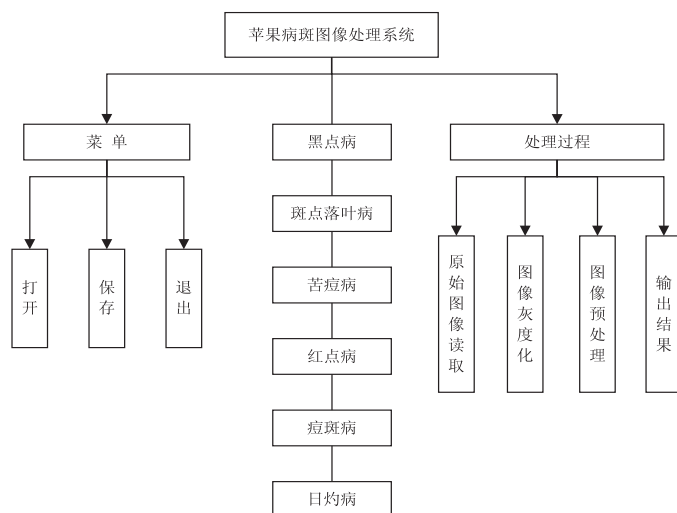


图 1 总体设计方案

总体设计方案中的分割识别处理,分别读取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病斑图像,将原图像变换为灰度图像,然后进行图像的预处理,最后输出结果并保存图像,分割识别结束。

2.2.2 苹果病斑图像分割处理系统处理流程

利用 OTSU 算法在 MATLAB GUI 平台对苹果病斑图像进行分割处理得出实验数据。苹果病斑图像分割处理系统的处理步骤包括:读取图像、灰度处理、直方图均衡化、滤波增强、模糊增强、图像分割、识别病斑区域,如图 2 所示。

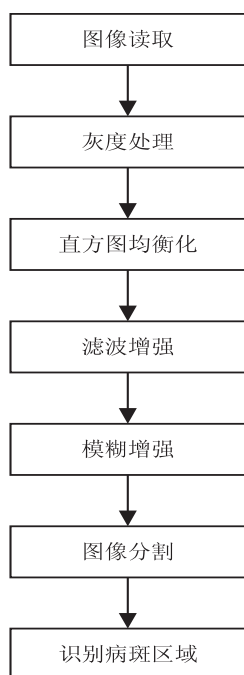


图 2 苹果病斑图像分割处理系统处理流程

2.2.3 系统设计界面

根据总体设计方案,设计开发出苹果病斑图像分割处理系统界面,如图 3 所示,六种苹果病斑图像分类选择界面如图 4 所示。



图 3 苹果病斑图像分割处理系统界面



图 4 六种苹果病斑图像分类选择界面

3 苹果病斑图像分割实验

3.1 实验设计

选取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病斑图像进行实验,验证 OTSU 的图像阈值寻优能力及图像分割效果。图像采集选择室外自然光采集。计算机处理器为 Intel Core i5,主频为 1.8 GHz,内存为 8.0 GB,显卡 Intel HD Graphics 6000,显卡内存 1 536 MB,数码相机选用 Canon G7。图片处理软件是 Matlab 2019a。

根据果实病斑的实际大小,将分割出的目标按照形状、大小等特征进行划分,以下几种情况的目标可忽略不计入分割出的病斑数:目标过小成点状、目标过大成片状、目标成线条状。以分割出的果实病斑数与果实实际病斑数的比较来评价 OTSU 分割算法的分割效果。先定义 N_m 为算法分割识别出的总目标数。 N_f 为人工目视识别得到的实际病斑数, N_t 为算法可分割识别出的病斑数。

分别定义识别率($R_{识别}$)、识别成功率($R_{成功}$)、误识率($R_{错误}$)和漏识率($R_{漏识}$),选取识别率、成功率、误识率和漏识率 4 个指标进行衡量^[26]。

$$R_{识别} = \frac{N_m}{N_f} \times 100\% \quad (8)$$

$$R_{成功} = \frac{N_t}{N_f} \times 100\% \quad (9)$$

$$R_{错误} = \frac{N_m - N_t}{N_m} \times 100\% \quad (10)$$

$$R_{漏识} = 100\% - R_{成功} \quad (11)$$

3.2 实验结果与分析

六种苹果病斑图像分割阈值结果如表 1 所示,苹果果实黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病斑类型图像分别用 A#、B#、C#、D#、E#、F#表示。

表 1 六种苹果病斑图像分割效果比较

病斑类型	N_m	N_f	N_t	识别率/%	成功率/%	错误率/%	漏识率/%
A#	13	21	13	61.90	61.90	0.00	38.10
B#	4	6	4	66.67	66.67	0.00	33.33
C#	9	9	8	100.00	88.89	11.11	11.11
D#	9	19	8	47.37	42.11	11.11	57.89
E#	12	14	11	85.71	78.57	8.33	21.43
F#原始计算值	3	1	1	300.00	100.00	66.67	0.00
F#矫正值	1	1	1	100.00	100.00	0.00	0.00

将六种苹果病斑图像的六幅图像分别用 OTSU 分割方法进行分割后寻取的最优阈值如表 2 所示。

表 2 六种苹果病斑图像分割最优阈值

病斑类型	OTSU 最优阈值
A#	128
B#	129
C#	130
D#	128
E#	129
F#	130

由表 2 可以看出,不同类型病斑图像由于光照或自身原因,分割后得到的最优阈值并不相同。由此可见 OTSU 算法会根据实际情况得出各图像的最优阈值。

苹果病斑图像分割处理系统对六种不同的苹果病斑图像进行分割后的结果如图 5 所示。根据表 1 和表 2 及图 5 分割图像分析得出,图 5(a)所示黑点病斑图

像的识别率为 61.9%。由于病斑点的颜色深浅不同、病斑大小不同及自然光照不充足,所以部分偏小病斑和右下方成片状无法分割。图 5(b)所示苹果斑点落叶病斑图像由于左侧病斑偏小颜色偏浅并且下方连成片状无法分割,所以识别率为 66.7%。图 5(c)所示苹果苦痘病斑图像的识别率为 100%。由于病斑点大小差别不大,光线照射充足所以识别率为 100%。但同时错误率也有 11.11%,造成这种情况的原因是左侧病斑点与周围环境连成片,苹果顶端凹陷处成黑色斑点被误识别为病斑点。图 5(d)所示红点病斑图像的识别率为 47.37%。造成这一结果的原因是红点病斑多而群发,且都集中在苹果右下侧分割后与背景颜色连接成片状无法分割。图 5(e)所示痘斑病斑图像分割识别率为 85.71%,大部分病斑点都分布在苹果果实上端、光照充足,病斑点大小颜色相近,未出现成片状分割结果,但是误把苹果果实顶端的凹陷处识别为病斑点。图 5(f)所示苹果日灼病斑图像的原始计算值中识别率计算结果超过 100%,因为光线和果实自

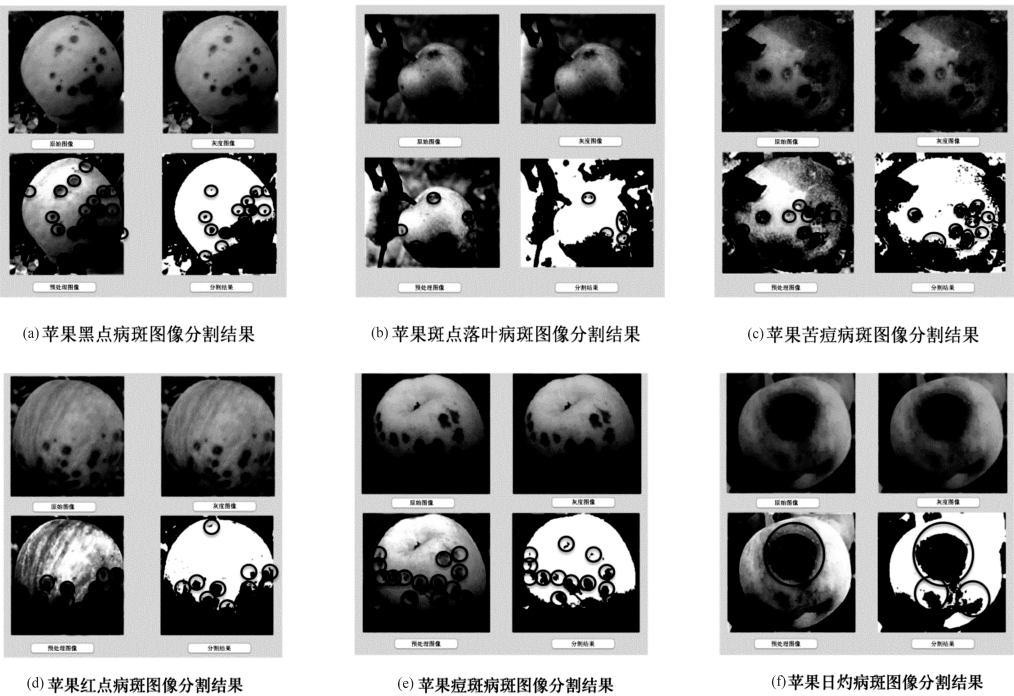


图 5 六种苹果病斑图像分割结果

身的影响,OTSU 算法计算出的分割阈值存在缺陷,导致分割出过多误识的目标,根据前面假设,果实病斑的实际大小与目标相差过远,因此将图 5(f)所示苹果日灼病斑图像中下方成片、微小的目标可忽略不计入分割出的病斑数。所以对苹果日灼病斑图像的分割总目标数 N_m 进行矫正,计算出识别率为 100%。

综合表 1、表 2 实验结果和图 5 六种苹果病斑图像分割结果,识别分割目标已经基本和背景分离,初步达到预期效果。但是识别成功率还是低于识别率,并存在一定的错误和漏识。

4 结束语

针对传统人工肉眼检测的缺陷,提出了基于最大类间方差法(OTSU)的苹果果实病斑图像分割方法。设计开发了苹果病斑图像分割处理系统,系统基于 MATLAB GUI 开发界面,将读取的苹果彩色病斑图像首先转换为灰度图像,并进行图像的预处理,然后进行病斑区域分割,以提高病斑分割正确率。实验分别选取苹果黑点病、斑点落叶病、苦痘病、红点病、痘斑病、日灼病六种病斑果实图像进行采样处理,利用 OTSU 算法对六种苹果病斑图像进行分割识别。分割实验结果显示,对于病斑适中、颜色较深的苹果病变区域分割后识出率和识别成功率较高。但是该系统识别成功率还是低于识别率,并存在一定的错误和漏识,分割算法还有待进一步改进。

参考文献:

- [1] 农业部种植业管理司. 中国苹果产业发展报告[EB/OL]. 2017. http://www.360doc.com/content/18/0803/07/31038585_775307628.shtml.
- [2] SENGAR N, DUTTA M K, TRAVIESO C M. Computer vision based technique for identification and quantification of powdery mildew disease in cherry leaves[J]. Computing, 2018, 100(11): 1189–1201.
- [3] BAUM T, NAVARRO-QUEZADA A, KNOGGE W, et al. HyphArea—Automated analysis of spatiotemporal fungal patterns[J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(1): 72–78.
- [4] 袁万宾. 基于形状和颜色特征的小麦白粉病生长模型研究[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2019.
- [5] BLASCO J, ALEIXOS N, MOLTÓ E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85(4): 415–423.
- [6] CAMARGO A, SMITH J S. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms[J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(1): 9–21.
- [7] 许新华. 基于改进 LBP 的复杂背景下作物病害叶片病斑分割方法研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [8] VARGHESE Z, MORROW C T, HEINEMANN P H, et al. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision[C]//ASAE meeting. [s. l.]: [s. n.], 1991: 1682–1689.
- [9] CHANG Y C, REID J F. Characterization of a color vision system[J]. Transactions of the ASABE, 1996, 39(1): 263–273.
- [10] 孙斐. 基于机器视觉的苹果分级检测算法研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [11] BATO P M, NAGATA M, CAO Q X, et al. Study on sorting system for strawberry using machine vision (part 1)[J]. The Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers, 2000, 62(1): 100–110.
- [12] 王克俊. 基于多信息融合的苹果智能分级技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2009.
- [13] 王振, 张善文, 王献锋. 基于改进全卷积神经网络的黄瓜叶部病斑分割方法[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(5): 1054–1060.
- [14] 许新华. 基于改进 LBP 和 Otsu 相结合的病害叶片图像分割方法[J]. 计算机产品与流通, 2019(8): 99–100.
- [15] 魏家玺. 基于计算机视觉的柑橘溃疡病图像分割的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [16] 王振, 师韵, 李玉彬. 基于改进全卷积神经网络的玉米叶片病斑分割[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(22): 127–132.
- [17] 苏博妮, 化希耀, 范振岐. 基于颜色特征的水稻病害图像分割方法研究[J]. 计算机与数字工程, 2018, 46(8): 1638–1642.
- [18] 燕红文, 邓雪峰. OTSU 算法在图像分割中的应用研究[J]. 农业开发与装备, 2018(11): 103.
- [19] 路彬彬, 贾振红, 何迪, 等. 基于混合蛙跳算法改进的 OTSU 遥感图像分割方法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(9): 77–79.
- [20] 陈垚光, 毛涛涛, 王正林, 等. 精通 MATLAB GUI 设计[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2011: 3–4.
- [21] 杨华, 李广旭, 张广仁, 等. 几种杀菌剂防治苹果斑点落叶病田间试验[J]. 北方果树, 2019(6): 15–16.
- [22] 杨丽娜, 王小侠, 杜维林. 苹果红点病发生的原因及预防措施[J]. 山西果树, 2015(2): 58–59.
- [23] 韩丽红. 苹果苦痘病的发生与防治[J]. 北方果树, 2012(3): 46.
- [24] 蒯传化, 杨朝选, 刘三军, 等. 落叶果树果实日灼病研究进展[J]. 果树学报, 2008(6): 901–907.
- [25] 徐秉良, 魏志贞, 王喜林. 苹果黑点病症状及病原菌鉴定[J]. 植物保护, 2000(5): 6–8.
- [26] 钱建平, 杨信廷, 吴晓明, 等. 自然场景下基于混合颜色空间的成熟期苹果识别方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 137–142.