doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.004

基于几何形态学与迭代随机圆的番茄识别方法

孙建桐[1]　孙意凡[2]　赵　然[2]　季宇寒[2]　张　漫[1]　李　寒[1]

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 中国农业大学农业农村部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为解决番茄采摘机器人作业过程中果实识别不准确的问题,提出一种基于几何形态学和迭代随机圆相结合的目标提取算法,该算法可对图像中粘连的果实进行有效分割与识别。首先,以串收番茄佳西娜为研究对象,使用 RGB 相机采集图像;其次,对图像进行 Canny 边缘检测操作,获得果实边缘轮廓点;然后,对果实边缘轮廓点进行基于几何形态学的处理,获得果实轮廓点;最后,对果实轮廓点分组处理后,进行迭代随机圆的处理,得到果实识别结果。对该算法的正确率和准确率进行了验证,结果表明,果实识别正确率为 85.1%,果实识别准确率为 79.1%,此算法在一定程度上解决了复杂环境下多个果实粘连或被少量遮挡情况下的果实分割问题。

关键词: 番茄; 迭代随机圆; 几何形态学; 图像识别

中图分类号: TP391.41　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2019)S0-0022-05

Tomato Recognition Method Based on Iterative Random Circle and Geometric Morphology

SUN Jiantong[1]　SUN Yifan[2]　ZHAO Ran[2]　JI Yuhan[2]　ZHANG Man[1]　LI Han[1]

(1. *Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The application of agricultural robot is the inevitable trend of the development of intelligent agriculture. The main difficulties in the application of fruit picking robots are the difficulties of fruit recognition and location caused by fruit occlusion and uneven light. In order to solve the problem of inaccurate fruit recognitionin tomato picking robot, an image processing algorithm based on geometric morphology and iterative random circle was proposed, which can effectively segment and recognize the adhesive fruit in the image. Firstly, taking the tomato called Jiaxina as the research object, digital RGB camera was used to collect image. Then the image was preprocessed through Canny edge detection to obtain the fruit edge contour points. After obtaining the fruit edge contour points, the fruit contour points were obtained through geometric morphology processing, which can filter out non-fruit contour points. Finally, the fruit contour points were grouped and processed by iteration random circle, and the fruit recognition contour was obtained. The correct rate and accuracy rate of the algorithm was calculated after applying the proposed method on 80 images with 302 fruits. The results showed that the correct rate of fruit recognition was 85.1%, and the accuracy rate of fruit recognition was 79.1%. It was showed that the algorithm solved the problem of fruit segmentation in complex environments where multiple fruits were adhered or occluded by a small amount.

Key words: tomato; iterative random circle; geometric morphology; image recognition

0　引言

由于农业采摘作业的复杂性,目前绝大部分采摘作业仍通过人工作业完成[1-3]。自动化采摘作业中的果实图像识别十分重要,准确识别图像中果实位置,直接影响后续果实的定位。图像识别主要分

收稿日期: 2019-04-15　修回日期: 2019-05-15

基金项目: 中国农业大学基本科研业务费专项资金项目(2019TC124)和云南院士专家工作站(20170907)

作者简介: 孙建桐(1996—),男,硕士生,主要从事电子与通信工程研究,E-mail: sunjiantong@cau.edu.cn

通信作者: 李寒(1986—),女,副教授,主要从事多模态图像信息融合和墒情自动监测研究,E-mail: cau_lihan@cau.edu.cn

为图像预处理和果实识别两部分。

有效的图像预处理能简化后续图像处理过程，许多学者对此进行了研究[4-12]。现有研究对图像获取要求较高，当逆光拍摄或光圈效果明显时，对预处理的效果会产生较大影响。

在果实识别与定位方面，李寒等[13]针对图像中多个成熟番茄粘连或被遮挡时的果实提取问题，提出使用局部极大值法和随机圆环变换算法相结合进行目标提取。王津京等[14]针对苹果采摘机器人果实识别过程误差大、时间长的问题，应用支持向量机方法对苹果果实进行识别。BANSAL 等[15]对绿色圆形果实进行识别，运用了快速傅里叶变换（FFT）法对叶片和果实位置进行了区分。谢志勇等[16]运用 Hough 变换进行草莓识别，当成熟草莓被部分遮挡时，对识别影响较大。SENGUPTA 等[17]利用 SVM 对绿色圆形果实进行识别。许迎春等[18]运用线扫描方法对白桃果实进行圆特征的提取。LI 等[19]提出一种基于快速归一化互相关的机器视觉算法，对未成熟的绿色柑橘果实进行识别和计数。王富春等[20]基于模糊聚类算法对番茄果实识别进行研究，算法的有效性和准确性较好，但果实分割结果出现不完整现象。上述研究大都针对简单环境中果实位置的单一问题，易于得到果实的位置以及轮廓，而对多个果实相互粘连的分割问题目前研究不多。

基于以上分析，本文以串收番茄为研究对象，使用 RGB 相机采集图像，对多个果实存在粘连或被少量遮挡情况的分割问题进行研究。在图像预处理的基础上，提出一种基于几何形态学和迭代随机圆相结合的目标提取算法。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用番茄图像拍摄于北京市昌平区小汤山实验基地番茄大棚内。拍摄时间为 2018 年 12 月 18—20 日 10：00—11：00，番茄品种为佳西娜，如图 1 所示，这种串收番茄尺寸小，数量多并且存在大量粘连。

选用 Nikon J1 型数码相机作为信息采集设备，



图 1　试验番茄图像

Fig. 1　Tomatoes image used in experiment

此相机的分辨率为 3 872 像素 ×2 592 像素，高分辨率的图像可以获得高清晰度、细致的轮廓特征。试验环境为 Windows 10 操作系统，Visual Studio 2015 为平台，安装 OpenCV 3.3.0 工具包，使用 C + + 语言编程。

1.2　果实图像处理

对采集的番茄果实 RGB 图像进行预处理，处理的难点为将果实区域与背景区域进行分割。在复杂的自然环境中，番茄果实之间会出现粘连现象并且番茄果实和叶片之间也会存在相互遮挡，普通的图像处理方法无法对此类复杂问题进行有效解决。因此，根据每个轮廓像素点的几何形态学特征以及通过轮廓点后续处理进行番茄果实识别，提出一种基于几何形态学筛选果实轮廓像素点以及基于迭代随机圆识别番茄果实轮廓的算法。

1.2.1　果实图像预处理方法

在 Visual Studio 2015 平台下利用 OpenCV 3.3.0 工具包中的基础函数对番茄果实图像进行处理，得到果实区域的二值图像。图像预处理部分的流程图如图 2 所示。

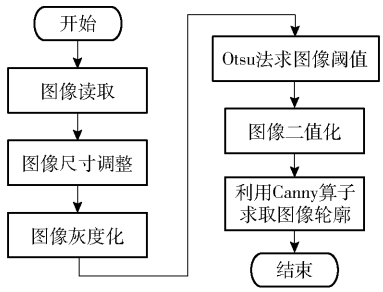


图 2　图像预处理流程图

Fig. 2　Flow chart of image pretreatment

首先将图像尺寸进行缩小，长宽各缩小为原图像的 1/3，目的是在尽量减小对边缘信息的影响情况下，减少像素点的数量，从而减小计算量，加快运行速度。接着将图像分为 R、G、B 3 个通道，利用 $2R-G-B$ 法进行图像灰度化，成熟佳西娜番茄果实表面呈红色，使用 $2R-G-B$ 法可以突出图像中红色分量。通过 Otsu 法得到灰度图像的阈值，使用此阈值将灰度图像二值化，得到成熟番茄果实区域，最后得到成熟番茄果实区域的边缘轮廓点。

1.2.2　基于几何形态学的果实轮廓像素点选取

通过预处理得到果实区域的轮廓点是若干组具有 8 连通特点的连续像素点，在复杂的自然环境中，果实之间的粘连现象以及果实和叶片之间的相互遮挡现象普遍存在，通过预处理得到的果实区域边缘轮廓点并不都是果实的轮廓点。果实轮廓点具有特定的形态，满足一些特定几何关系，因此通过几何形态学算法对果实轮廓点进行选取。

(1)假设理想情况下果实形状为圆形,番茄果实图像中有一满足条件的果实轮廓点 A,左侧第 M 个相邻像素点 B 到轮廓点 A 的距离应与右侧第 M 个相邻像素点 C 到轮廓点 A 的距离相同。AB、AC 关系示意图如图 3 所示。实际情况中果实形状近似于圆形,并且果实轮廓在像素尺度下为 8 连通连续点,因此 AB 和 AC 满足近似相等的条件。设 AB 和 AC 近似相等的阈值为 0.9。

果实轮廓点 A 应满足 AB 与 AC 的关系为

$$\begin{cases}\dfrac{L_1}{L_2}>0.9\\ \dfrac{L_2}{L_1}>0.9\end{cases} \tag{1}$$

式中 L_1——AB 长度 L_2——AC 长度

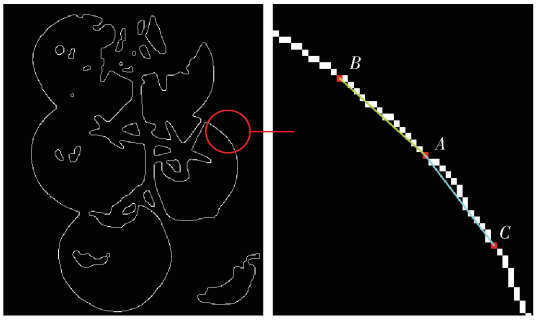


图 3 AB、AC 关系示意图

Fig. 3 Diagram of relationship between AB and AC

关于 M 的选取,当 M 小于 10 时,果实区域轮廓点 8 连通的特点对 AB 和 AC 产生较强的不确定性,会滤除大量果实轮廓点,当 M 大于 30 时,阈值 0.9 对于 AB 和 AC 之间近似相等关系限定不足,不能起到滤除非果实轮廓点的目的。因此有效的 M 取值范围为 10~30,通过大量试验,最终确定 M 为 15。

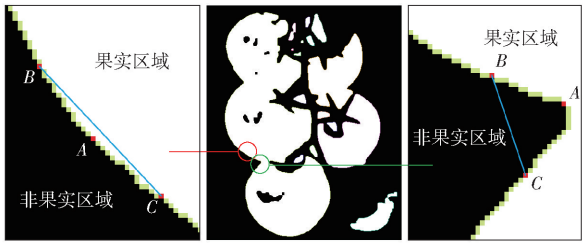
(2)番茄果实在图像中形状近似于圆形,因此果实轮廓上两点连线之间经过的像素点应全部包含于果实区域内,即满足条件的果实轮廓点 A,左侧第 N 个相邻像素点 B 与右侧第 N 个相邻像素点 C 的连线 BC 经过的像素点都应是果实区域像素点,BC 与果实区域关系如图 4 所示。每个像素点占有一个像素小格的面积,而像素点的中心到其边界的距离为$[1/2,\sqrt{2}/2]$,由于 BC 没有宽度,因此 BC 经过的像素点需满足像素点到支线的距离小于 0.5 像素。

像素点(x_0,y_0)到直线 BC 的距离 d 为

$$d=\sqrt{\frac{[(y_1-y_2)x_0-(x_1-x_2)y_0+x_1y_2-x_2y_1]^2}{(y_1-y_2)^2+(x_1-x_2)^2}} \tag{2}$$

式中 (x_1,y_1)——果实轮廓点 A 左侧的第 N 个相邻像素点 B 的坐标

(x_2,y_2)——果实轮廓点 A 右侧的第 N 个相邻像素点 C 的坐标



(a) 果实区域内 (b) 果实轮廓图 (c) 果实区域外

图 4 BC 与果实区域关系图

Fig. 4 Relationship diagram between BC and fruit area

关于 N 的选取,当 N 小于 15 时,由于果实区域轮廓点 8 连通的特点,BC 长度较小并且经过 BC 的像素点较少,较大的不确定性会导致滤除大量非粘连位置果实轮廓点,当 N 大于 40 时,粘连位置果实轮廓点去除效果较好,但与此同时会去除大量靠近粘连位置果实轮廓点。两种情况同样会导致后续果实轮廓点数量较少,阈值选取困难。因此 N 的有效取值范围为 15~40,通过大量试验,最终确定 N 为 25。

1.2.3 迭代随机圆法

将几何形态学处理得到的果实轮廓点进行分类,将满足 8 连通要求连续的轮廓点分到一起,总共分为 t 组。随后进行迭代随机圆法的处理,最终得到果实个数及其圆心和半径。

(1)随机圆法:对每组果实轮廓点个数进行判断,若大于 60,则将其作为果实轮廓。从中随机取出 3 个像素点,若 3 点不共线,则根据 3 点坐标确定圆的圆心和半径。通过方差来评价此次随机圆的准确程度,随机过程共重复 50 次,取准确程度最高的一次作为此组果实轮廓点对应圆的圆心和半径。

评价随机圆准确程度的方差为

$$s^2=\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}[R-\sqrt{(x_0-x_i)^2+(y_0-y_i)^2}]^2 \tag{3}$$

式中 n——选定果实轮廓的像素点数

(x_i,y_i)——该组果实轮廓的第 i 个像素点坐标

(x_0,y_0)——随机圆法得到的圆心坐标

R——随机圆法得到的半径

(2)迭代随机圆法:对随机圆法得到的圆的圆心和半径进行比较,若其中两组果实轮廓点对应的圆心和半径满足特定关系,则将两组果实轮廓点合并为一组,完成比较后,对新确定的每组果实轮廓点按随机圆法处理,得到新圆的圆心和半径,再进行特定关系判定,重复上述过程,直到进行特定关系判定过程中未出现果实轮廓点合并,此时得到的圆的圆心和半径即为最后得到的果实的圆心和半径。

迭代随机圆算法流程如图 5 所示。

1.2.4 结果评价标准

通过 2 个指标评价番茄识别的结果,一个是观

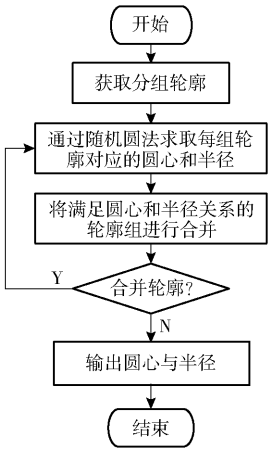


图 5　迭代随机圆算法流程图

Fig. 5　Flow chart of iterative random circle algorithm

察通过算法识别的番茄数目和实际的番茄数目是否一致,即判断算法的正确率。另一个是观察通过算法识别的番茄位置边缘和实际的番茄位置边缘是否贴合,即判断算法的准确率。

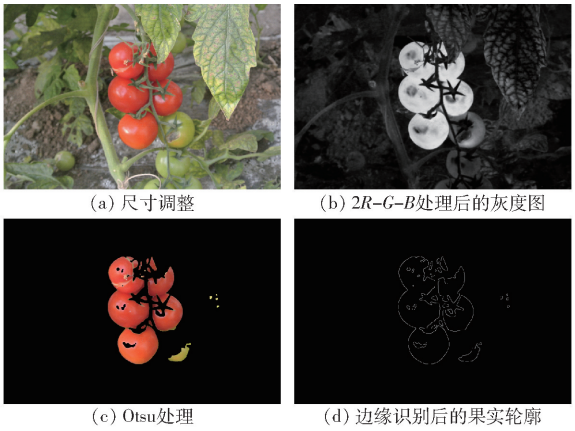
统计图像中的实际果实数、识别果实数、正确识别果实数、误识别果实数以及准确识别果实数。其中识别果实数为图像中显示的白色圆的数量,果实正确识别的标准是识别的圆与实际果实重合率在 70% 以上,果实误识别的标准是识别的圆与实际果实重合率不到 70%,果实准确识别的标准是识别的圆与实际果实重合率在 90% 以上。判断果实的标准是果实成熟,呈红色。

2　试验与分析

试验共采集了 1 000 幅图像,进行图像处理以及果实识别,每幅图像经过处理后,对最后果实识别标记的正确率和准确率进行统计,利用这 2 个参数衡量算法的可靠性。

2.1　果实图像预处理

对图 1 进行预处理,过程图像如图 6 所示。



(a) 尺寸调整　(b) 2*R*−*G*−*B*处理后的灰度图

(c) Otsu处理　(d) 边缘识别后的果实轮廓

图 6　图像预处理过程

Fig. 6　Image preprocessing

2.2　基于几何形态学像素点选取

通过几何形态学的算法对果实区域轮廓点进行筛选,满足算法条件的轮廓点确定为果实轮廓点,将果实轮廓点根据 8 连通关系分为 n 组连续的果实轮廓,为满足迭代随机圆法精度要求,需去除长度小于阈值 k 的果实轮廓。阈值设置过大会去除大量果实轮廓,导致果实识别数量误差较大,阈值设置过小会保留大量果实轮廓,导致后续迭代随机圆法得到的果实圆心和半径误差较大。通过大量试验,确定阈值为 50。几何形态学算法处理后果实轮廓结果如图 7 所示,为使果实轮廓线清晰,对果实轮廓图进行膨胀操作。由图 7 可知,果实粘连的位置已经被滤除,同时保留了足够多的果实轮廓信息。

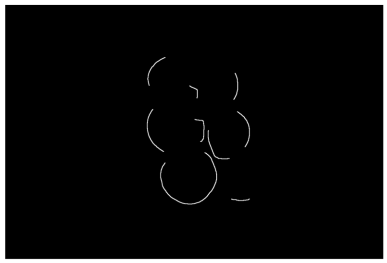


图 7　算法处理后的轮廓图

Fig. 7　Contour image after algorithmic processing

2.3　迭代随机圆识别结果

根据几何形态学算法筛选得到果实轮廓,进行迭代随机圆算法处理。对果实的半径范围进行阈值限定,最终得到果实识别结果如图 8 所示。白色圆表示果实识别的轮廓,由图 8 可知,5 个果实中有 3 个果实识别准确度很高,2 个红色果实轮廓识别准确度相对较低,分析影响准确度的因素为果梗的遮挡,导致果实轮廓点不能代表整个果实。



图 8　果实识别结果

Fig. 8　Result of fruit recognition

2.4　算法验证结果

从采集到的图像中随机选取 80 幅作为样本,对每幅图像进行处理,其中每幅图像的平均处理时间为 0.81 s。统计图像中的果实数、识别果实数、正确识别果实数、误识别果实数以及准确识别果实数。根据 1.2.4 节的结果评价标准,图 8 中果实数为 5 个,识别果实数为 5 个,正确识别果实数

为 5 个,误识别果实数为 0 个,准确识别果实数为 5 个。

试验中果实识别正确率、识别遗漏率、识别错误率以及识别准确率如表 1 所示。

另外,以上 80 幅图像中包含了不同自然环境下的果实识别结果图像,如图 9 所示。

表 1 果实识别的正确率、错误率和准确率

Tab. 1 Correct rate, mismatch rate and accuracy rate of fruit recognition

参数	果实总数	正确识别	遗漏	错误识别	准确识别
果实数量/个	302	257	45	14	239
识别率/%		85.1	14.9	4.6	79.1



(a) 果实简单粘连 (b) 多个果实少量粘连及叶片遮挡 (c) 多个果实严重粘连及叶片遮挡 (d) 强光下简单粘连

图 9 不同自然环境下的果实识别结果

Fig. 9 Fruit recognition results in different natural environments

3 结论

(1)针对粘连果实图像难以分割与识别的问题,提出一种基于几何形态学和迭代随机圆结合的目标提取算法。经过大量试验,得出本文算法的果实识别正确率为 85.1%,识别准确率为 79.1%。

(2)在几何形态学处理中,M 和 N 的取值对果实轮廓点的选取影响很大,通过大量试验得出 M 和 N 的值,虽然效果很好,但仍然浪费了大量的非果实粘连处的点,后续试验中需要对其进行深入研究。

参 考 文 献

[1] 项荣. 开放环境中番茄的双目立体视觉识别与定位[D]. 杭州:浙江大学,2013.
XIANG Rong. Recognition and localization for tomatoes under open environments based on binocular stereo vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013. (in Chinese)

[2] 宋健,张铁中,徐丽明,等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. 农业机械学报,2006,37(5):158 - 162.
SONG Jian, ZHANG Tiezhong, XU Liming, et al. Research actually and prospect of picking robot for fruit and vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 158 - 162. (in Chinese)

[3] 王丹丹,宋怀波,何东健. 苹果采摘机器人视觉系统研究进展[J]. 农业工程学报,2017,33(10):59 - 69.
WANG Dandan, SONG Huaibo, HE Dongjian. Research advance on vision system of apple picking robot[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(10): 59 - 69. (in Chinese)

[4] 赵金英,张铁中,杨丽. 西红柿采摘机器人视觉系统的目标提取[J]. 农业机械学报,2006,37(10):200 - 203.
ZHAO Jinying, ZHANG Tiezhong, YANG Li. Target extraction based on vision system of tomato picking robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 200 - 203. (in Chinese)

[5] 司永胜,乔军,刘刚,等. 苹果采摘机器人果实识别与定位方法[J]. 农业机械学报,2010,41(9):148 - 153.
SI Yongsheng, QIAO Jun, LIU Gang, et al. Recognition and location of fruits for apple harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 148 - 153. (in Chinese)

[6] 王晓楠,伍萍辉,冯青春,等. 番茄采摘机器人系统设计与试验[J]. 农机化研究,2016,38(4):94 - 98.
WANG Xiaonan, WU Pinghui, FENG Qingchun, et al. Design and test of tomatoes harvesting robot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(4): 94 - 98. (in Chinese)

[7] STAJNKO D, LAKOTA M, HOEVAR M. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 42(1): 31 - 42.

[8] 蔡健荣,周小军,李玉良, 等. 基于机器视觉自然场景下成熟柑橘识别[J]. 农业工程学报,2008,24(1):175 - 178.
CAI Jianrong, ZHOU Xiaojun, LI Yuliang, et al. Recognition of mature oranges in natural scene based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 175 - 178. (in Chinese)

[9] 张红旗,刘宇,郝敏. 基于机器视觉的番茄果实图像分割方法研究[J]. 农机化研究,2015,37(3):58 - 61.
ZHANG Hongqi, LIU Yu, HAO Min. The research of tomato image segmentation based on machine vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(3): 58 - 61. (in Chinese)

[10] PAYNE A, WALSH K, SUBEDI P, et al. Estimating mango crop yield using image analysis using fruit at 'stone hardening' stage and night time imaging[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 100: 160 - 167.

(下转第 61 页)

MA Fei, YANG Haoshen, GU Qing, et al. Navigation path planning of unmanned underground LHD based on improved A* algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 303 - 309. (in Chinese)
[10] 甘威,刘兴权,代真虎. 基于 Dijkstra 的改进算法在城市道路网络分析中的应用[J]. 信息技术与标准化,2017(5):59 - 63.
GAN Wei, LIU Xingquan, DAI Zhenhu. Application of an improved algorithm based on Dijkstra for analysis at urban road network[J]. Information Technology and Standardization, 2017(5): 59 - 63. (in Chinese)
[11] 任伟建,左方晨,黄丽杰. 基于 GIS 的 Dijkstra 算法改进研究[J]. 控制工程,2018,25(2):188 - 191.
REN Weijian, ZUO Fangchen, HUANG Lijie. The improvement research of Dijkstra algorithm based on GIS [J]. Control Engineering, 2018, 25(2): 188 - 191. (in Chinese)
[12] 马慧慧,卢昱,王增光. 适用于无向网络的动态 Dijkstra 算法优化[J]. 计算机测量与控制,2018,26(7):143 - 146.
MA Huihui, LU Yu, WANG Zengguang. Dynamic Dijkstra algorithm optimization for undirected networks [J]. Computer Measurement and Control, 2018, 26(7): 143 - 146. (in Chinese)
[13] 王树西,李安渝. Dijkstra 算法中的多邻接点与多条最短路径问题[J]. 计算机科学,2014,41(6):217 - 224.
WANG Shuxi, LI Anyu. Multi-adjacent-vertexes and multi-shortest-paths problem of Dijkstra algorithm [J]. Computer Science, 2014, 41(6): 217 - 224. (in Chinese)
[14] 王峰博,崔先国,丁琳,等. 基于 Dijkstra 算法驾车导航路径研究与实现[J]. 中国西部科技,2011,34(10):26 - 28.
WANG Fengbo, CUI Xianguo, DING Lin, et al. Research and implementation of driving navigation path based on Dijkstra algorithm [J]. Western China Science and Technology, 2011, 34(10): 26 - 28. (in Chinese)
[15] 王饰欣,胡静波,王莉莉. 地图数据结构的简要分析[J]. 测绘与空间地理信息,2014,37(10):212 - 213.
WANG Shixin, HU Jingbo, WANG Lili. Brief analysis of the map data structure[J]. Mapping and Spatial Geographic Information, 2014, 37(10): 212 - 213. (in Chinese)
[16] 刘辉,兰梅,余洋. 主流电子地图 API 的综合评价分析[J]. 北京测绘,2015(3):58 - 61.
LIU Hui, LAN Mei, YU Yang. Comprehensive evaluation on the main stream electronic map API[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2015(3): 58 - 61. (in Chinese)
[17] 马超,李苗. 基于高德地图的生活服务平台的设计与实现[J]. 科教文汇(下旬刊),2017(11):182 - 184.
MA Chao, LI Miao. Design and implementation of a life service platform based on Gaode map [J]. Science and Education Collection (Later Issue), 2017(11): 182 - 184. (in Chinese)

(上接第 26 页)

[11] 熊俊涛,卜榕彬,郭文韬,等. 自然光照条件下采摘机器人果实识别的表面阴影去除方法[J]. 农业工程学报,2018,34(22):147 - 154.
XIONG Juntao, BU Rongbin, GUO Wentao, et al. Shadow removal method of fruits recognized by picking robot under natural environment[J]. Transactions of the CSAE,2018,34(22):147 - 154. (in Chinese)
[12] ZHAO C, LEE W S, HE D. Immature green citrus detection based on colour feature and sum of absolute transformed difference (SATD) using colour images in the citrus grove[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 124:243 - 253.
[13] 李寒,王库,曹倩,等. 基于机器视觉的番茄多目标提取与匹配[J]. 农业工程学报,2012,28(5):168 - 172.
LI Han, WANG Ku, CAO Qian, et al. Tomato targets extraction and matching based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(5):168 - 172. (in Chinese)
[14] 王津京,赵德安,姬伟, 等. 采摘机器人基于支持向量机苹果识别方法[J]. 农业机械学报,2009,40(1):148 - 151,147.
WANG Jinjing, ZHAO Dean, JI Wei, et al. Apple fruit recognition based on support vector machine using in harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(1):148 - 151,147. (in Chinese)
[15] BANSAL R, LEE W S, SATISH S. Green citrus detection using fast Fourier transform (FFT) leakage [J]. Precision Agriculture, 2013, 14(1):59 - 70.
[16] 谢志勇,张铁中,赵金英. 基于 Hough 变换的成熟草莓识别技术[J]. 农业机械学报,2007,38(3):106 - 109.
XIE Zhiyong, ZHANG Tiezhong, ZHAO Jinying. Ripened strawberry recognition based on Hough transform[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(3):106 - 109. (in Chinese)
[17] SENGUPTA S, LEE W S. Identification and determination of the number of immature green citrus fruit in a canopy under different ambient light conditions[J]. Biosystems Engineering, 2014, 117(1):51 - 61.
[18] 许迎春,刘英,范开欣, 等. 基于线扫描及其参数空间的圆形果实识别[J]. 中国农机化学报,2018,39(9):51 - 55.
XU Yingchun, LIU Ying, FAN Kaixin, et al. Round fruit recognition based on line scanning and it's parameter space[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2018,39(9):51 - 55. (in Chinese)
[19] LI H, LEE W S, WANG K. Immature green citrus fruit detection and counting based on fast normalized cross correlation (FNCC) using natural outdoor colour images[J]. Precision Agriculture, 2016, 17(6):678 - 697.
[20] 王富春,徐越,宋怀波. 西红柿果实目标识别方法研究——基于模糊聚类算法[J]. 农机化研究,2015,37(10):24 - 28,33.
WANG Fuchun, XU Yue, SONG Huaibo. Study on identification of tomatos—based on fuzzy PID and PI control[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2015,37(10):24 - 28,33. (in Chinese)