

改进流形排序算法的绿色柑橘识别

化春键^{1,2*}, 张梓峻^{1,2}, 蒋毅^{1,2}, 俞建峰^{1,2}, 陈莹³¹江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122;²江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122;³江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡 214122

摘要 针对自然环境下绿色柑橘与背景具有相似的颜色特征导致柑橘难以识别的问题, 提出一种改进流形排序算法的显著性检测方法。首先, 为了避免绿色柑橘图像亮度不均匀导致识别难度增加, 利用基于模糊集理论的亮度增强方法对柑橘图像进行预处理。其次, 为了解决传统的基于图的流形排序显著性检测算法依赖边界背景先验获取前景种子, 导致显著图效果不理想的问题, 使用相对总变差和局部复杂度结合的方法提取更准确的前景种子。最后, 将提取到的前景种子与去除前景种子的边界背景先验显著图相结合进行流形排序, 得到最后的显著图。实验结果表明, 所提算法能更有效地识别出绿色柑橘区域, 分割准确率、假阳性率和假阴性率达 94%、3.19% 和 1.64%。

关键词 图像处理; 显著性检测; 流形排序; 绿色柑橘

中图分类号 TP391 文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP202259.1815007

Improved Manifold Ranking Algorithm for Green Citrus Recognition

Hua Chunjian^{1,2*}, Zhang Zijun^{1,2}, Jiang Yi^{1,2}, Yu Jianfeng^{1,2}, Chen Ying³¹School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;²Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, Jiangsu, China;³School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China

Abstract This research proposes a saliency detecting approach based on an improved manifold ranking algorithm, aiming at the problem that green citrus has similar color features to the background in the natural environment, making the citrus difficult to be recognized. First, to avoid the increasing difficulty of recognizing caused by the uneven brightness of the green citrus images, the brightness improvement approach based on fuzzy set theory was employed to preprocess the orange images. Second, to resolve the issue that the traditional graph-based manifold ranking saliency detection algorithm relies on the boundary background to obtain the foreground seeds, resulting in the unsatisfactory effect of the saliency map, an approach combining relative total variation and local complexity was employed to extract more accurate foreground seeds. Finally, to sort the manifolds, the extracted foreground seeds were combined with the a priori saliency map of the boundary background without foreground seeds and the final saliency map was obtained. Experimental findings indicate that the proposed algorithm can recognize the green citrus region more effectively, and the segmentation accuracy, false-positive rate, and false-negative rate are 94%, 3.19%, and 1.64%, respectively.

Key words image processing; saliency detection; manifold ranking; green citrus

1 引言

柑橘是世界第一大类水果, 也是我国南方栽培面积最广、经济地位最重要的水果^[1]。果实采摘是柑橘产业中劳动强度大、季节性强的一个重要环节, 传统的

人工采摘不仅效率低下, 而且需要雇用大量的劳动力, 产生大量人力成本^[2]。伴随着大量人口的城市化、老龄化以及教育水平的提高, 随之而来的将是劳动力的大量短缺和劳动力成本的上升^[3]。基于机器视觉的柑橘识别技术能够帮助采摘机器人顺利完成收获任务,

收稿日期: 2021-06-28; 修回日期: 2021-07-22; 录用日期: 2021-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(61573168)

通信作者: *cjhua@jiangnan.edu.cn

大大降低人力成本,对提高农业生产力和农业智能化发展具有很强的现实意义。

近年来,国内外许多学者在水果检测方面进行了研究,但研究内容大多为与背景环境颜色差异较大的水果,如 Liu 等^[4]利用成熟苹果的颜色特征和形状特征完成了苹果的检测;刘平等^[5]利用葡萄在 HSV 颜色空间的 H 特征获取贴叠葡萄串区域,进而完成目标葡萄串识别。随着自然环境下水果检测研究的不断深入,逐渐有关于树上绿色水果检测的论文发表,如 Bansal 等^[6]提出基于快速傅里叶变换泄露的检测方法,该方法识别自然光照条件下采集的绿色柑橘图像,识别准确率为 82.2%;张春龙等^[7]在环形闪光灯条件下采集了夜间苹果树图像,以归一化的 g 分量、HSV 颜色空间中 H 分量和 S 分量、超绿算子为特征,实现了对自然环境中绿色苹果的有效识别,准确率达 89%;卢军等^[8]在弱光条件下使用闪光灯作为光源,利用拍摄后水果表面呈环形光照分布的轮廓特征和 local binary pattern(LBP)纹理特征进行柑橘识别,识别准确率能达到 82.3%。以上对绿色水果的识别方法均需要设定特殊的环境条件,且主要是基于颜色特征或颜色特征与纹理特征相结合进行识别的,识别准确率较低。

视觉显著性检测是近年来兴起的一种图像检测方法,通过建立数学模型让计算机模拟人类视觉机制,达到从一个场景中快速高效地捕获最引人注目的信息的目的^[9]。显著性检测算法往往通过计算图像各像素与邻域像素之间的对比度来实现对目标的显著性检测^[10]。Yang 等^[11]提出的基于图的流形排序显著性检测(GMR)算法使用图片边界上的超像素块作为背景线索,利用流形排序技术在稀疏闭环图上求解一个最

优的排序函数,然后用该函数计算每一个超像素块与背景的相似性,得到超像素的显著值。GMR 算法取得了较好的检测效果,但默认图像边界上的超像素块为背景,导致检测目标与边界接触时检测效果较差。因此本文提出一种改进流形排序算法的绿色柑橘识别算法,针对 GMR 算法存在的不足,提出了结合相对总变差模型和局部复杂度的初步前景提取方法,根据初步前景对边界超像素块进行筛选,然后将初步前景与背景先验相结合得到更精确的前景种子,从而获得更精确的显著性检测结果。

2 所提算法内容

GMR 算法使用图像四个边界上的超像素块作为背景查询节点进行第一次流形排序,得到 4 个显著图,然后对 4 个边界的显著图进行融合,得到融合后的初步显著图。但这种方法得到的显著图不够准确,当识别目标与边界相交时,会把识别目标的一部分当作背景,这会导致检测效果较差甚至检测不到目标。因此,对绿色柑橘区域进行初步提取,进而改进显著性检测的效果。所提算法流程如图 1 所示,首先综合考虑图像亮度的整体信息和局部信息,结合模糊集理论对图像的亮度进行增强;接着将基于相对总变差的纹理结构提取、局部复杂度特征和 Canny 边缘检测相结合,提取出初步前景种子;然后根据初步前景提取边界中包含前景部分的超像素块,将其余边界超像素块作为背景种子进行第一次排序,对得到的 4 幅显著图进行融合,得到初步显著图;接着对初步显著图与初步前景进行融合,得到更精确的前景区域;最后利用得到的前景区域作为前景种子进行第二次排序,得到最后的显著图。

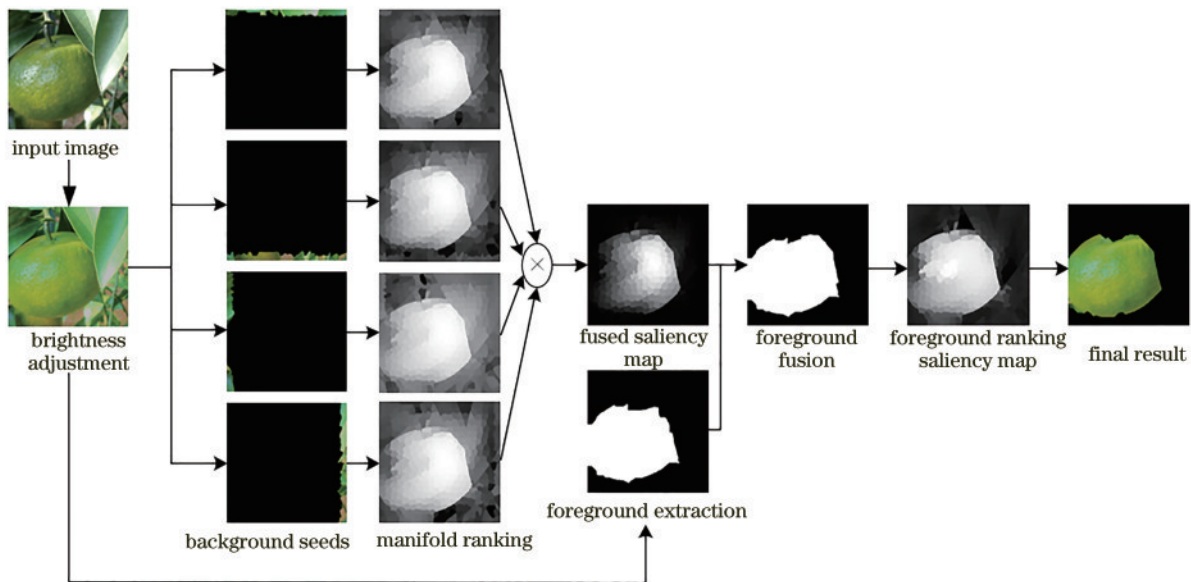


图 1 所提算法流程

Fig. 1 Flow chart of the proposed algorithm

3 柑橘图预处理

3.1 模糊集理论

美国加州大学 Zadeh 教授于 1965 年首次提出模糊集理论这一概念^[12],为描述模糊的现象及事物,提供了一种全新的数学方法。在图像增强中,根据模糊集理论,将一个包含 L 个灰度级、大小为 $M \times N$ 的二维图像看成一个模糊像素集,表达式为

$$X = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \frac{\mu_{ij}}{X_{ij}}, \quad (1)$$

式中: X_{ij} 为像素点 (i, j) 的像素值; μ_{ij} 为像素点 (i, j) 的隶属度函数,且 $\mu_{ij} \in [0, 1]$, 其值由隶属度函数计算得出。

3.2 亮度增强方法

在自然环境中绿色柑橘果实与果树叶片的颜色十分相似,同时由于光照的随机分布和自然环境中树叶、枝干等元素的遮挡,图像存在阴影和高亮区域,为绿色柑橘的识别带来困难。所提算法提取柑橘图像 HSV 颜色空间中的 V 分量进行处理。Sun 等^[13]利用模糊集理论实现了对亮度不均匀绿色苹果图像的亮度增强,根据给定图像亮度分量最大值、最小值、均值、标准差等参数之间的关系,设定均值加标准差作为隶属度函数分界值以处理青苹果图像,取得了较好的效果,表达式为

$$\mu_{ij} = \begin{cases} (V_{ij} - V_{\min}) / (\bar{V} + \sigma - V_{\min}), & V_{ij} \leq \bar{V} + \sigma \\ (V_{\max} - V_{ij}) / (V_{\max} - \bar{V} - \sigma), & V_{ij} > \bar{V} + \sigma \end{cases}, \quad (2)$$

式中: V_{ij} 为点 (i, j) 处的亮度值; \bar{V} 为亮度分量的均值; V_{\max} 为亮度分量最大值, V_{\min} 为亮度分量最小值; σ 为其标准差。因此所提算法继续采用该值将图像亮度划分为需要增强和需要减弱两类。文献^[13]中的方法仅仅考虑了图像的全局信息,没有充分考虑到图像亮度分布的局部信息,这可能导致某些像素过分集中的区间局部细节失真,因此本文结合模糊集理论与局部对比度处理方法^[14],提出一种结合指数函数的线性映射亮度增强方法,表达式为

$$V_{ij} = \exp^{q \cdot (\bar{V} + \sigma - V_{ij})} \cdot V_{ij}, \quad (3)$$

$$q = \exp^{\sigma_p / \bar{V}_p}, \quad (4)$$

式中: q 为控制亮度调整的尺度参数; σ_p 为亮度分量的局部方差; \bar{V}_p 为亮度分量的局部均值。经过实验,本文局部信息计算的窗口选择大小为 3×3 的正方形窗口。所提算法综合考虑了图像亮度的全局信息与局部信息,计算图像的总均值与方差之和,将图像亮度分为高低两类。当图像亮度大于 $\bar{V} + \sigma$ 时, $\exp^{q \cdot (\bar{V} + \sigma - V_{ij})}$ 小于 1,对图像亮度进行降低;当图像亮度小于 $\bar{V} + \sigma$ 时, $\exp^{q \cdot (\bar{V} + \sigma - V_{ij})}$ 大于 1,对图像亮度进行增强。在对亮度进行调整时使用局部亮度调整参数 q ,对亮度波动较大或较小的地方进行优化。

此外,图像的饱和度也会对图像增强产生影响,因此对 HSV 颜色空间的 S 分量进行调整,表达式为

$$S'_{mn} = S_{mn}^x, \quad (5)$$

式中: S_{mn} 是对应像素 (m, n) 处的饱和度值; x 是非线性拉伸系数; S'_{mn} 是变换后的饱和度值。参考文献^[13]中的参数设定,取 $x=0.5$,可以使变换后的饱和度值更适应于人眼,亮度增强前后的对比如图 2 所示。

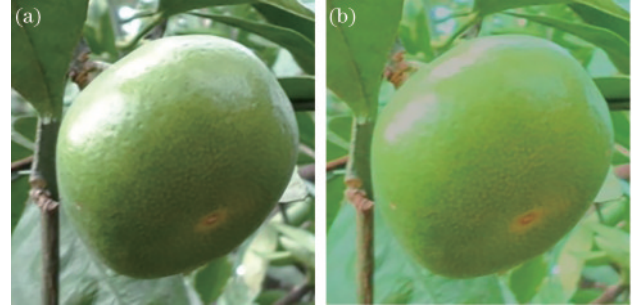


图 2 图像亮度增强结果。(a)拍摄所得原图;(b)亮度增强后
Fig. 2 Image brightness enhancement result. (a) Original image; (b) image after brightness enhancement

4 传统基于图的流形排序显著性检测算法

4.1 超像素分割

GMR 算法使用简单的线性迭代聚类 (SLIC) 算法对图像进行超像素分割。SLIC 算法简单高效,是超像素分割算法中应用最广泛的一种^[15]。它将彩色图像转化为 CIELAB 颜色空间和 XY 坐标下的 5 维特征向量,然后对 5 维特征向量构造距离度量标准,对图像像素进行局部聚类分割。超像素分割通过将相邻像素聚集成具有一定同质性的子区域,大幅降低了后续处理的计算复杂度^[16],被广泛地应用在显著性检测中。经过实验,选择超像素数量 $N_p=400$,分割结果如图 3 所示。

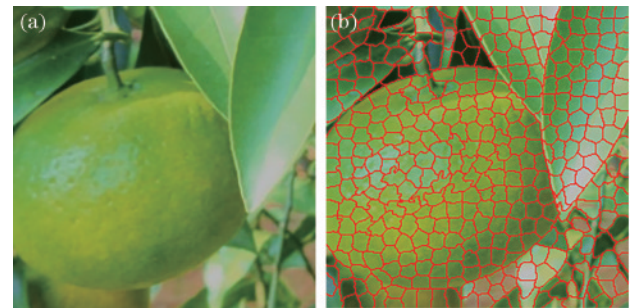


图 3 超像素分割结果。(a)亮度增强图;(b)超像素分割图
Fig. 3 Superpixel segmentation result. (a) Brightness enhancement image; (b) super pixel segmentation image

4.2 闭环图模型构建

GMR 算法将超像素分割后的图像表示成一个无向图模型 $G(V, E, W)$,其中 V 表示节点集合, E 表示边集合, W 表示边上的权重。超像素分割后的所有超像

素 $X = \{x_i | 1 \leq i \leq I\}$ 作为图 G 的节点集合 V , x_i 对应第 i 个超像素。构建的是两层邻接图, 即每个节点与其邻居节点, 以及邻居节点的邻居节点相连接。为了减小边界处相似超像素的测地线距离, 提高显著性检测的鲁棒性, 将四个边界处的节点两两相连接, 形成一个闭环图, 由此得到图 G 的边集合 E 。边界权重定义为两个超像素节点在 Lab 颜色空间的平均颜色的欧几里得距离, 具体计算公式为

$$W_{ij} = \exp \frac{-|c_i - c_j|}{\sigma^2}, \quad (6)$$

式中: i 和 j 代表两个超像素节点; c_i 是节点 i 包含所有像素点的 Lab 平均颜色。

4.3 基于图的流形排序算法

流形排序理论利用图模型来模拟数据集内在的流形结构, 通过图模型将所有数据点的排序值传播给相邻的数据点, 直至排序值收敛到稳定状态。

给定一个数据集 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \in \mathbf{R}^{n' \times n'}$, 其中 n 为数据的个数, 数据中包括已查询的数据和未进行排序的数据。定义排序函数 $f: x \rightarrow \mathbf{R}^{n'}$, 每一个数据点 x 对应一个排序值 f , 构成矢量 $\mathbf{f} = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_{n'}\}^T$, 同时设定指示向量 $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n'}\}^T$, 当 x_i 为查询节点时, $y_i = 1$, 否则 $y_i = 0$ 。流形排序算法的主要步骤如下:

1) 对数据集构建图模型 $G = (V, E)$, 图的节点 V 由数据集 X 组成, 图的边缘 E 由相似度矩阵 $W = [w_{ij}]_{n' \times n'}$ 来确定;

2) 计算图的度矩阵 $D = \text{diag}\{d_{11}, \dots, d_{nn'}\}$, 其中 $d_{ii} = \sum_j w_{ij}$;

3) 流形排序函数 F 最终可收敛为

$$\mathbf{F} = (\mathbf{D} - a\mathbf{W})^{-1}\mathbf{Y}, \quad (7)$$

式中: $a = 1/(1 + \mu)$, μ 为控制平衡的约束参数。

5 改进流形排序的绿色柑橘检测算法

5.1 相对总变差模型

Xu 等^[17] 在 2012 年提出了一种基于相对总变差 (RTV) 的模型来区分一幅图中的结构与纹理, 从而提取出视觉感知所需的主要数据, 即图像中的结构部分。将该模型应用于图像融合中图像分解这一重要步骤时, 不要求处理图像中有规律性的纹理, 所构造的目标函数为

$$S = \arg \min_S \sum_P (S_P - I_P)^2 + \lambda \left[\frac{D_x(P)}{L_x(P) + \epsilon} + \frac{D_y(P)}{L_y(P) + \epsilon} \right], \quad (8)$$

式中: I_P 为输入图像; S_P 为输出结构图像; P 为两幅图像像素索引; λ 与 ϵ 是两个控制参数, λ 控制图像平滑程度, ϵ 控制结构变化的平稳。

5.2 局部复杂度

图像灰度特征的局部复杂度 (LC) 指通过统计图

像灰度级别数目反映局部邻域窗口内的灰度层次信息^[18]。LC 特征可以刻画出图像局部灰度特征的变化频率, 对于一幅大小为 $m \times n$ 、包含 L 个灰度级 ($0 \sim L-1$) 的灰度图像, 具体计算步骤如下。

1) 以图中每个像素点为中心, 以 $k \times k$ 大小的矩形窗口为模板, 分别计算每个像素点局部邻域模板内包含的灰度级数, 定义为初始局部复杂度 $C_L(m, n)$ 。

2) 对以每个像素点为中心计算出的初始局部复杂度进行组合, 构成图像的局部复杂度矩阵 C_L , 表达式为

$$C_L = \begin{bmatrix} C_L(1, 1) & C_L(1, 2) & \dots & C_L(1, n) \\ C_L(2, 1) & C_L(2, 2) & \dots & C_L(2, n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_L(m, 1) & C_L(m, 2) & \dots & C_L(m, n) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

3) 计算局部复杂度矩阵 C_L 中的最大值 $C_{L, \max}$ 和最小值 $C_{L, \min}$, 然后对 C_L 矩阵中每个值进行归一化, 表达式为

$$C_L(m, n) = (L - 1) \frac{C_L(m, n) - C_{L, \min}}{C_{L, \max} - C_{L, \min}}. \quad (10)$$

对于图像中任意一点, 计算出的 $C_L(m, n)$ 值越大, 表明其邻域内包含的灰度级更复杂; $C_L(m, n)$ 值越小, 表明该像素周围包含的灰度级越单一。

5.3 结合相对总变差和 LC 特征的前景提取

Xie 等^[19] 在 2011 年提出一种通过颜色增强 Harris 角点检测获取粗略前景区域的方法, 该方法获得了比较广泛的应用。该方法对图像进行颜色增强后对检测到的角点进行筛选, 删除靠近边界处的角点, 然后将余下角点中最外侧的一圈连接, 构成一个包含前景的凸包。该方法的缺点在于默认识别目标位于图像中心, 同时角点检测在目标与背景颜色差异较大时效果较好。将该方法应用于本文中的图片时效果较差, 如图 4 所示。

由于绿色柑橘与背景颜色较为接近, 且绿色柑橘位置可能出现在图像的边界上, 因此考虑通过其他特征对绿色柑橘进行分割。本文提出一种结合相对总变差、局部复杂度和 Canny 边缘检测的前景提取方法。首先用改进 RTV 模型对增强后的亮度通道分量图像进行结构提取, 去除图中的大部分纹理, 提取出柑橘图像的主体结构, 经过实验, 取相关参数 $\lambda = 0.05$, $\epsilon = 3$, sharpness 为 $1 \times 10^{-3} + 0.004$, 迭代次数为 4, 结果如图 5(b) 所示, 可以看出图像中的绝大多数纹理已经被剔除, 只保留了主体结构。局部复杂度特征图中, LC 值越大的部分白色越明显, 代表原图中该位置局部复杂度较大。由于已经利用改进 RTV 模型去除了大部分纹理, 保留了主体结构部分, 因此可以利用局部复杂度对主体结构进行进一步提取, 经过实验, $k = 3$ 时可以兼顾结构的完整性和运算速度, 实验结果如图 5(c) 所示, 可以看出保留了图像



图 4 Harris角点检测凸包结果

Fig. 4 Convex hull results of Harris corner detection

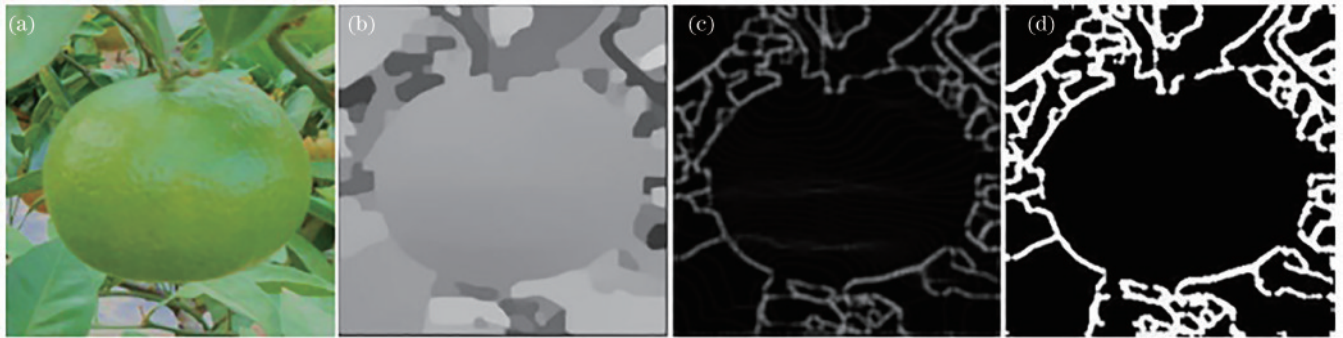


图 5 RTV 结构提取与 LC 特征图。(a)亮度增强;(b)RTV 去纹理;(c)LC 特征图;(d)筛选后

Fig. 5 RTV structure extraction and LC feature images. (a) Brightness enhancement; (b) RTV de-texturing; (c) LC feature image; (d) after screening

的大部分结构部分,但部分亮度差异造成的近似边缘也被保留。因此再对其进行一次自适应阈值分割筛选,去除 LC 值过小的部分,最终结果如图 5(d) 所示。

经过两次结构提取后,柑橘的主要轮廓已经比较清晰,但仍存在许多的缺口,需要对其进行补充。Canny 算子具有较高的检测精度和较好的去噪能力^[20],但直接使用 Canny 算子检测图像边缘时会有大量的干扰边缘,因此对增强后的亮度通道分量先进行均值滤波与自适应直方图均衡化,再用 Canny 边缘检

测对图像边缘进行提取,结果如图 6(a)所示;之后,参考特征融合策略,将 RTV-LC 方法提取出的结果与 Canny 边缘检测的结果相结合,结果如图 6(b)所示。可以看出柑橘的主要轮廓已经较为完整,对于部分小缺口,使用闭运算将其连接。考虑到所采集的图像中目标柑橘在采集图像中占比较大,因此采用最大连通域面积筛选的方法提取出柑橘区域,然后通过欧拉数和开运算对区域内可能出现的孔洞进行判断与填充,最终的前景区域提取结果如图 6(c)所示,定义初步前景结果图为 RL 图。

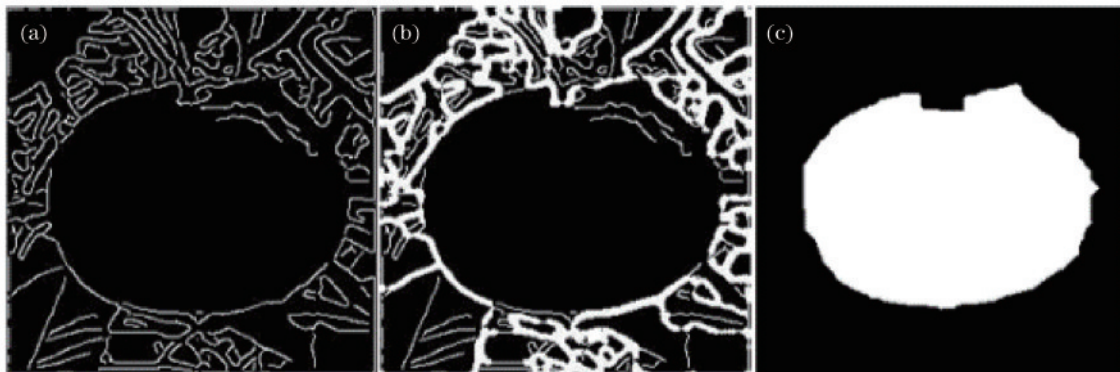


图 6 初步前景提取结果。(a) Canny 边缘检测;(b)特征融合;(c)初步前景结果

Fig. 6 Preliminary foreground extraction result. (a) Canny edge detection; (b) feature fusion; (c) preliminary foreground result

5.4 改进背景先验的流形排序

GMR 算法将四个边界处的超像素块默认为背景,进行第一次流形排序显著性检测,得到初始显著图 S_i ,但由于采集到的绿色柑橘图像中柑橘目标可能与边界相连,这种方法可能会将柑橘目标部分区域视作背景,导致后续显著图不够准确。本文提出一

种结合初步前景的边界背景提取方法,在对四个边界上的超像素块进行第一次流形排序之前,将包含前景部分的边界超像素块去除,如图 7 所示。可以看出所提方法提取的边界背景较 GMR 算法更为准确,不会将绿色柑橘部分错误判断为背景,进而可以提高显著性检测效果。



图 7 改进的背景先验方法。(a)亮度增强后;(b)GMR方法;(c)所提方法

Fig. 7 Improved background prior method. (a) After brightness enhancement; (b) GMR method; (c) proposed method

5.5 融合背景筛选和前景信息的流形排序

在得到显著图 S_i 后,GMR 算法对 S_i 进行固定阈值二值分割,阈值设定为 S_i 的平均显著值;再将分割后结果中的超像素块作为查询节点,进行二次排序,得到最后的显著图 S_s 。对原方法进行改进,提出一种融合初步前景的识别方法。首先用 5.4 节中的改进方法得到新的初始显著图 S_{i2} ,然后将 S_{i2} 和初步前景图相结合,取二者的算术平均,构造出融合初始显著图和初步前景特征图的融合显著图 S_{mix} ,再对 S_{mix} 取其平均值的 k 倍,作为固定阈值进行分割,公式为

$$S_{mix}(i,j) = 0.5S_{i2}(i,j) + 0.5RL(i,j), \quad (11)$$

$$\begin{cases} S_{mix}(i,j) = 1, & S_{mix}(i,j) > k \cdot \overline{S_{mix}} \\ S_{mix}(i,j) = 0, & S_{mix}(i,j) < k \cdot \overline{S_{mix}} \end{cases}. \quad (12)$$

经过实验 k 值取 1.2。接着参考 GMR 算法,以分割后的融合显著图作为查询节点进行第二次流形排序,得到显著图。最后参考文献[11]中的方法对得到的显著图进行分割,获得绿色柑橘区域,平滑边缘后得到最后识别结果。

6 实验结果分析

所使用的绿色柑橘图像均为 2020 年 9 月至 2020 年 10 月在无锡大浮果园采集所得,使用的图像采集设备为 SONY DSC-W830 数码相机。所提算法的实验环境为 MATLAB 2016b,处理器为 i5-9300H,16G 内存。

将所提算法得到的显著图与 ITTi、SR、FT、CA、GMR 算法得到的显著图进行对比,如图 8 所示。通过对比可以看出,从 ITTi、SR、FT、CA 四种算法得到的显著图无法识别出绿色柑橘部分,GMR 算法得到的显著图与所提算法得到的显著图较为接近。为了进一步

验证所提算法的有效性,将 GMR 算法和所提算法得到的分割结果与人工分割结果进行对比,如图 9 所示。从图 9 可以看出,所提算法分割出的绿色柑橘区域与 Photoshop 软件人工分割出的绿色柑橘区域十分接近,所提算法能够有效提取出绿色柑橘的大部分区域。为了进一步验证所提算法的有效性,对 GMR 算法的分割结果与所提算法的分割结果进行评价,使用分割准确率(SA)、假阳性率(FPR)、假阴性率(FNR)对实验结果进行评价。

$$A_s = \frac{A_2}{A_1} \times 100\%, \quad (13)$$

$$R_{FP} = \frac{A_2 - (A_1 \cap A_2)}{A_1} \times 100\%, \quad (14)$$

$$R_{FN} = \frac{A_1 - (A_1 \cap A_2)}{A_1} \times 100\%, \quad (15)$$

式中: A_1 表示绿色柑橘目标的真实面积; A_2 表示绿色柑橘目标的算法分割面积; $\overline{A_1}$ 为 A_1 的补集。FPR 表示实际属于背景的像素点被误判为目标像素点的百分比,FNR 表示实际上属于目标的像素点被误判为背景的百分比。SA 的值越大,FPR 与 FNR 的值越小,表示分割效果越好。分割结果数据如表 1 所示。

从表 1 可以看出,GMR 算法在绿色柑橘位于图像中心且与图像边界没有接触时分割准确率较高,平均可达 85%,但当绿色柑橘与边界相接触时识别准确率大幅下降;所提算法在两种情况下没有明显差异,平均分割准确率可达 94%,分割假阳性率与假阴性率均较低,能够有效地提取出绿色柑橘的大部分区域,分割准确率较 GMR 算法有大幅度提升。

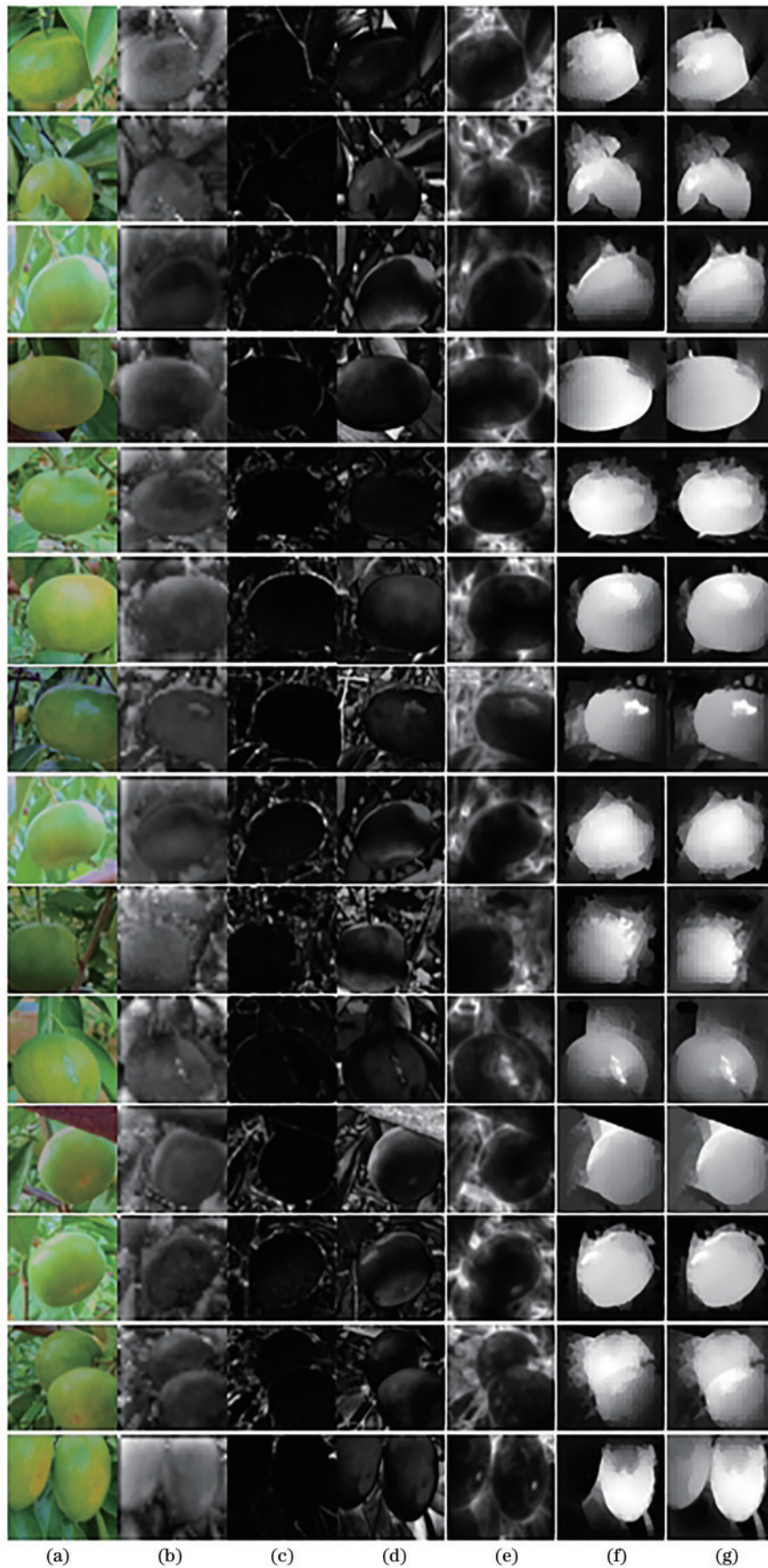


图 8 不同算法的结果对比图。(a) 亮度增强后;(b) ITTi;(c) SR;(d) FT;(e) CA;(f) GMR;(g)所提算法
 Fig. 8 Result comparison of different algorithms. (a) After brightness enhancement; (b) ITTi; (c) SR; (d) FT; (e) CA;
 (f) GMR; (g) proposed algorithm

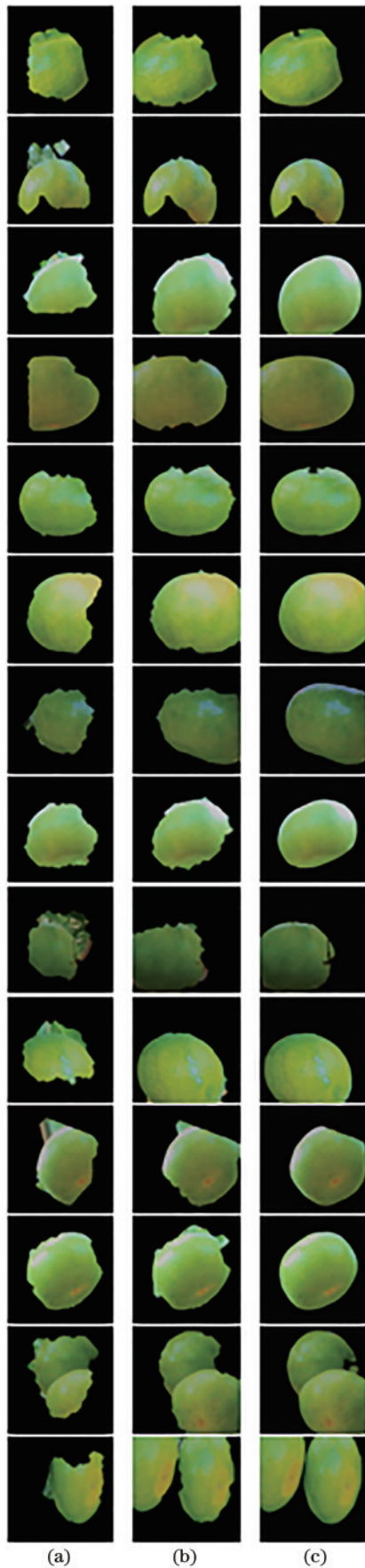


图9 分割结果对比。(a) GMR;(b)所提算法;(c)人工分割
Fig. 9 Comparison of segmentation results. (a) GMR;
(b) proposed algorithm; (c) artificial segmentation

表1 分割结果评价

Table 1 Evaluation of segmentation results

Image number	GMR algorithm			Proposed algorithm		
	SA / %	FPR / %	FNR / %	SA / %	FPR / %	FNR / %
1	67.83	19.88	0.38	92.33	4.36	1.56
2	71.66	5.86	8.27	97.12	0.80	0.37
3	54.75	27.45	2.63	95.96	2.05	1.41
4	71.71	23.97	0.17	95.87	3.74	0.76
5	80.03	12.49	0.22	96.56	1.18	1.35
6	74.65	21.91	0.03	97.75	1.52	0.98
7	54.10	29.11	1.32	91.36	6.97	0.31
8	81.94	8.51	1.65	92.18	3.13	1.49
9	42.80	25.50	13.44	90.05	3.36	3.11
10	50.45	28.50	5.89	97.39	0.68	1.52
11	69.93	14.53	5.07	92.54	2.78	2.32
12	93.43	3.60	0.70	90.51	2.31	4.59
13	58.78	33.98	2.37	95.12	4.99	0.93
14	40.27	50.47	1.81	94.40	6.82	2.21
Average	65.17	21.84	3.14	94.22	3.19	1.64

7 结 论

提出了一种结合前景提取改进流形排序算法的绿色柑橘检测算法。该算法解决了绿色柑橘与自然背景颜色相近而难以识别的问题。利用模糊集理论与局部对比度处理方法,改善图像中的阴影与高光区域;通过RTV模型与LC特征提取图像中主体结构,再结合Canny边缘检测结果提取初步前景;最后改进GMR算法原有的背景先验排序部分,对去除前景部分的边界背景进行第一次排序,得到基于背景的显著图,对所得显著图与初步前景进行结合提取更精确的前景种子,进行第二次流形排序,得到最后的显著图。实验结果表明,所提算法提取的绿色柑橘区域十分接近实际区域,分割结果较GMR算法有较大提升,能够有效地识别出自然环境下的绿色柑橘,具有较好的实际应用价值,同时对其他绿色水果的识别研究具有一定参考意义。

参 考 文 献

- [1] 郭文武, 叶俊丽, 邓秀新. 新中国果树科学研究70年: 柑橘[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1264-1272.
Guo W W, Ye J L, Deng X X. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: citrus[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1264-1272.
- [2] Wu G, Zhu Q B, Huang M, et al. Automatic recognition of juicy peaches on trees based on 3D contour features and colour data[J]. Biosystems Engineering, 2019, 188: 1-13.
- [3] Yang Q H, Chen Y Q, Xun Y, et al. Superpixel-based segmentation algorithm for mature citrus[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 13(1): 1-10.

- 2020, 13(4): 166-171.
- [4] Liu X Y, Zhao D A, Jia W K, et al. A detection method for apple fruits based on color and shape features[J]. IEEE Access, 2019, 7: 67923-67933.
- [5] 刘平, 朱衍俊, 张同勋, 等. 自然环境下贴叠葡萄串的认识与图像分割算法[J]. 农业工程学报, 2020, 36(6): 161-169.
Liu P, Zhu Y J, Zhang T X, et al. Algorithm for recognition and image segmentation of overlapping grape cluster in natural environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(6): 161-169.
- [6] Bansal R, Lee W S, Satish S. Green citrus detection using fast Fourier transform (FFT) leakage[J]. Precision Agriculture, 2013, 14(1): 59-70.
- [7] 张春龙, 张楫, 张俊雄, 等. 近色背景中树上绿色苹果识别方法[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 277-281.
Zhang C L, Zhang J, Zhang J X, et al. Recognition of green apple in similar background[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 277-281.
- [8] 卢军, 胡秀文. 弱光复杂背景下基于 MSER 和 HCA 的树上绿色柑橘检测[J]. 农业工程学报, 2017, 33(19): 196-201.
Lu J, Hu X W. Detecting green citrus fruit on trees in low light and complex background based on MSER and HCA[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(19): 196-201.
- [9] 林晓, 刘祖祥, 郑晓妹, 等. 基于凸包改进的流行排序显著性检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(5): 761-770.
Lin X, Liu Z X, Zheng X M, et al. Saliency detection based on improved manifold ranking via convex hull[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2019, 31(5): 761-770.
- [10] 王文胜, 黄民, 李天剑, 等. 四波段多光谱遥感图像的船舶目标显著性检测[J]. 光学学报, 2020, 40(17): 1728001.
Wang W S, Huang M, Li T J, et al. Saliency detection for ship targets on four-band multi-spectral remote sensing images[J]. Acta Optica Sinica, 2020, 40(17): 1728001.
- [11] Yang C, Zhang L H, Lu H C, et al. Saliency detection via graph-based manifold ranking[C]//2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 23-28, 2013, Portland, OR, USA. New York: IEEE Press, 2013: 3166-3173.
- [12] 伍冬睿, 曾志刚, 莫红, 等. 区间二型模糊集和模糊系统: 综述与展望[J]. 自动化学报, 2020, 46(8): 1539-1556.
Wu D R, Zeng Z G, Mo H, et al. Interval type-2 fuzzy sets and systems: overview and outlook[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(8): 1539-1556.
- [13] Sun S S, Wu Q, Jiao L, et al. Recognition of green apples based on fuzzy set theory and manifold ranking algorithm[J]. Optik, 2018, 165: 395-407.
- [14] 赵海法, 朱荣, 杜长青. 全局色调映射和局部对比度处理相结合的图像增强算法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2020, 66(6): 597-604.
Zhao H F, Zhu R, Du C Q. Image enhancement algorithm combining global tone mapping and local contrast processing[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2020, 66(6): 597-604.
- [15] 任欣磊, 王阳萍. 基于改进简单线性迭代聚类算法的遥感影像超像素分割[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(22): 222801.
Ren X L, Wang Y P. Super-pixel segmentation of remote sensing image based on improved simple linear iterative clustering algorithm[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(22): 222801.
- [16] Yang F T, Sun Q, Jin H L, et al. Superpixel segmentation with fully convolutional networks[C]//2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 13-19, 2020, Seattle, WA, USA. New York: IEEE Press, 2020: 13961-13970.
- [17] Xu L, Yan Q, Xia Y, et al. Structure extraction from texture via relative total variation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 139.
- [18] 吴涛, 杨俊杰. 融合局部特征的图像过渡区提取与阈值化[J]. 计算机应用, 2013, 33(1): 40-43, 52.
Wu T, Yang J J. Image transition region extraction and thresholding based on local feature fusion[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(1): 40-43, 52.
- [19] Xie Y L, Lu H C. Visual saliency detection based on Bayesian model[C]//2011 18th IEEE International Conference on Image Processing, September 11-14, 2011, Brussels, Belgium. New York: IEEE Press, 2011: 645-648.
- [20] 张加朋, 于凤芹. 基于 Canny 算子改进型的影像测量边缘检测[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 241024.
Zhang J P, Yu F Q. Improved image measurement edge detection based on Canny operator[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 241024.