

自然环境下葡萄采摘机器人采摘点的自动定位

罗陆锋^{1,2}, 邹湘军^{1*}, 熊俊涛¹, 张宇², 彭红星¹, 林桂潮¹

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 针对葡萄果梗颜色复杂多变、轮廓不规则等影响因素使得采摘机器人难以准确对采摘点进行定位的问题, 该文提出一种基于改进聚类图像分割和点线最小距离约束的采摘点定位新方法。首先通过分析葡萄图像的颜色空间, 提取最能突显夏黑葡萄的 HSI 色彩空间分量 H, 运用改进的人工蜂群优化模糊聚类方法对葡萄果图像进行分割; 然后对分割图像进行形态学去噪处理, 提取最大连通区域, 计算该区域质心、轮廓极值点、外接矩形; 再根据质心坐标与葡萄簇边缘信息确定采摘点的感兴趣区域, 在区域内进行累计概率霍夫直线检测, 求解所有检测得出的直线到质心之间的距离, 最后选取点线距离最小的直线作为采摘点所在线, 并取线段中点坐标作为采摘点。以从晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照下采集的 300 幅夏黑葡萄进行分类试验, 结果表明, 该方法的采摘点定位准确率达 88.33%, 平均定位时间为 0.3467 s, 可满足采摘机器人对采摘点的定位需求, 为葡萄采摘机器人提供了一种新的采摘点求解方法。

关键词: 机器人; 图像分割; 定位; 葡萄; 采摘点

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.02.003

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-02-0014-08

罗陆锋, 邹湘军, 熊俊涛, 等. 自然环境下葡萄采摘机器人采摘点的自动定位[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 14-21.

Luo Lufeng, Zou Xiangjun, Xiong Juntao, et al. Automatic positioning for picking point of grape picking robot in natural environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(2): 14-21. (in Chinese with English abstract)

0 引言

葡萄营养价值非常丰富, 被誉为世界四大水果之一。在葡萄酒的酿造过程中, 最耗费时间和人力的便是葡萄采摘。而由于葡萄生长环境的复杂性和不确定性、葡萄果轮廓不规则, 同时受树叶、枝条、光照等环境因素的干扰, 使得葡萄采摘机器人难以对葡萄的采摘点进行精确识别和定位。葡萄采摘点的定位是采摘机器人采摘葡萄前的一个重要环节, 农业采摘智能机器人需要从复杂的果园环境中快速识别出葡萄, 并计算出采摘点的三维空间坐标。由于葡萄果梗颜色与树枝或叶片相似, 而与葡萄颗粒的颜色又往往不同, 难以通过简单的颜色分割来进行识别与定位。一直以来, 采摘点的准确识别与定位亦是果蔬采摘机器人研究领域的难点问题。

在国外, Kondo 等^[1]较早提出利用葡萄的光谱特性对目标进行识别定位; Chamelat 等^[2]提出利用 Zemike 距和颜色信息对复杂环境下的葡萄进行识别; Reis 等^[3-4]基于照片彩色信息对自然环境下葡萄进行识别定位系统; Font

等^[5]通过采集葡萄果对光的球面反射峰来进行葡萄颗粒识别; Bac 等^[6]使用辅助线作为视觉提示环绕在甜辣椒茎秆上以便对目标进行识别定位。在国内, 张铁中等^[7]利用草莓图像质心和果尖点来对采摘点进行识别与定位; 熊俊涛等^[8]利用 Hough 圆拟合方法先对柑橘图像进行分割, 再运用约束斜率在 $-0.45 \sim 0.45$ 的 Hough 直线检测对采摘点进行检索; 曾庆兵等^[9]和李伟等^[10]对重叠葡萄的果粒几何尺寸进行识别计算; 杨庆华等^[11]通过提取葡萄图像轮廓的外接矩形对目标进行识别与定位; 张凯等^[12]通过改进的超绿特征模型和遗传算法对葡萄目标进行图像分割与识别; 田锐等^[13]通过计算葡萄图像在 RGB 颜色空间中样本值, 根据样本值对目标图像进行分割; 熊俊涛等^[14]对扰动荔枝、赵德安等^[15]对振动苹果的的定位进行了研究, 邹湘军等^[16]采用双目立体视觉与虚拟机械手结合对荔枝采摘定位及误差进行分析研究; 张浩等^[17]运用光栅投影法对茶叶嫩梢的定位进行了研究。综合国内外研究现状发现, 目前对葡萄的识别主要集中在葡萄簇图像的分割与识别、葡萄颗粒的几何尺寸计算等方面, 而对基于采摘机器人的葡萄果梗上采摘点自动定位方法的研究报道较少。

为提高葡萄采摘机器人的目标识别与定位精度, 降低因采摘点定位不当造成的果实机械损伤, 提出一种基于改进人工蜂群优化模糊聚类的葡萄图像分割和点线最小距离约束求解相结合的采摘点自动定位方法, 利用果梗的线特征和葡萄质心到果梗线的最小距离约束进行检索求解。以晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照下采集的 300

收稿日期: 2014-12-15 修订日期: 2015-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31171457)

作者简介: 罗陆锋, 男 (汉族), 湖南新化人, 博士生, 讲师, 主要从事机器视觉、农业采摘机器人研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。

Email: luolufeng617@163.com

*通信作者: 邹湘军, 女 (汉族), 湖南衡阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业采摘机器人、智能设计与制造、虚拟现实等研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: xjzou1@163.com

幅夏黑葡萄图像进行分类试验,对求得采摘点的像素定位误差和定位时间进行统计和分析。

1 葡萄图像采集

果蔬采摘机器人的采摘作业时间通常选在晴天或阴天,为此,课题组人员采用尼康 D5200 数码相机分别于 2014 年 7 月 21 日(天气晴朗)和 2014 年 10 月 6 日(阴天)在天津茶淀葡萄科技园内按晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照 3 种光照情况对夏黑葡萄进行图像采集。晴天顺光指太阳光照射在葡萄簇上,相机顺着太阳光线拍摄;晴天遮阴是指在太阳光照射下,葡萄簇被叶片或其他障碍物遮盖的情况;阴天光照指在阴天环境下,没有太阳光直射,光线相对均匀。采集图像大小为 2 592 像素×1 944 像素。为便于对采摘点的定位像素误差进行分析,在拍照时使相机与葡萄簇距离约为 80 cm,每次拍摄一个葡萄簇。获得晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照下的葡萄图像各 100 余幅,共计 300 余幅试验图像。在进行本文采摘点的定位试验时,为使本文采摘点定位方法能与实际物理样机作业时保持一致,将采集回来的葡萄图像缩至 800 像素×600 像素,与实验室自主研制的 HN-6Robot 型采摘机器人的相机分辨率保持一致。

2 采摘点定位的计算方法

本文提出的葡萄采摘点自动定位方法流程如图 1 所示。

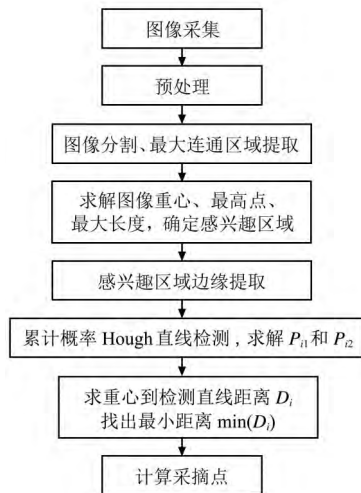


图 1 采摘点计算过程

Fig.1 Calculation process of picking point

首先对采集图像进行预处理并对葡萄进行分割,得到葡萄图像的轮廓区域;求解葡萄质心和轮廓最高点及轮廓最大左右长度;确定葡萄果梗感兴趣区域,对其进行边缘提取,在提取的边缘图像中进行累计概率霍夫直线检测;求解检测到的所有直线到质心之间的距离,通过点线距离最小约束选取距离最短的直线作为采摘点所在果梗的位置,最后取线段中点坐标作为采摘点。

2.1 图像分割与最大连通区域提取

葡萄图像分割是采摘点识别定位的重要基础,通过分析葡萄果与周围叶子、枝干等环境的颜色差异,提取

YCbCr、HSI、L*a*b 等颜色分量,将这些分量进行组合运算,发现夏黑葡萄在 HSI 颜色空间中 H 分量的直方图双峰效果较为明显。图 2a 的 H 分量图如 2b 所示,图 2b 的统计直方图如 2c 所示。

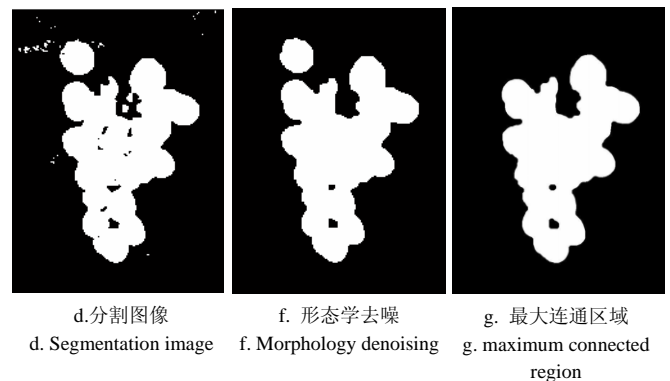
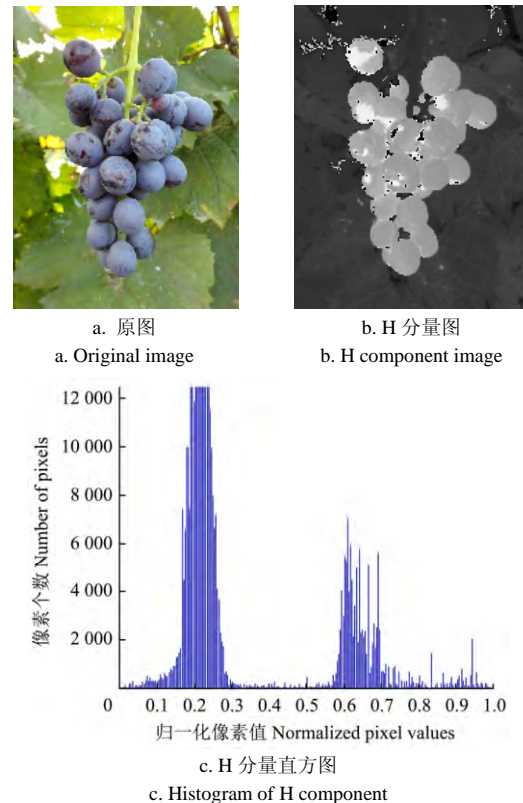


图 2 葡萄图像分割过程

Fig.2 Image segmentation process of grape

在提取图像的 H 分量以后,对图像进行中值滤波。为了在分量直方图双峰效果不理想和出现多峰的情况下亦能较准确地分割出葡萄图像,本文采用改进的人工蜂群优化模糊聚类算法^[18-20]对图像进行分割。通过改进人工蜂群优化算法的适应度函数,将求解模糊聚类中 FCM 算法求目标函数的最小值转化为求解人工蜂群适应度函数的最大值,可有效避免 FCM 算法容易陷入局部极值的缺点。

FCM 算法的目标函数可表示为:

$$J_{\text{FCM}}(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [\mu_i(x_k)]^m (d_{i,k})^2 \quad (1)$$

其中 $d_{i,k} = \|x_k - v_i\|$

式中: n 为图像灰度级样本数据; $\mu_i(x_k)$ 为隶属度矩阵 U 的成员; U 为隶属度矩阵; V 为图像聚类中心; m 为模糊程度的常数; c 为聚类个数; $d_{i,k}$ 为第 k 个灰度级 x_k 到第 i 个聚类中心 v_i 的欧式距离。

改进后的人工蜂群适应度函数表示为:

$$Fit = \frac{1}{1 + \lambda J_{FCM}(U, V)} \quad (2)$$

式中: λ 为适应度动态因子, 用于调节适应度幅度。

运用 ABC-FCM 分割出的图像图如 2d 所示。此时的图像还存在一些噪声, 为了消除这些细杂的区域, 对图像进行形态学开运算。先对图像进行腐蚀操作消除细小区域噪声, 再进行膨胀运算, 既平滑葡萄轮廓又恢复腐蚀操作时删除的区域面积, 得到图 2f。在图像分割完成之后, 有些情况下会出现个别葡萄颗粒与主葡萄簇分离的情况, 但脱离主葡萄簇的颗粒往往是小个体, 如图 2f。为减少葡萄图像质心的计算误差, 本文方法通过提取最大连通区域作为葡萄簇的轮廓, 得到图 2g。

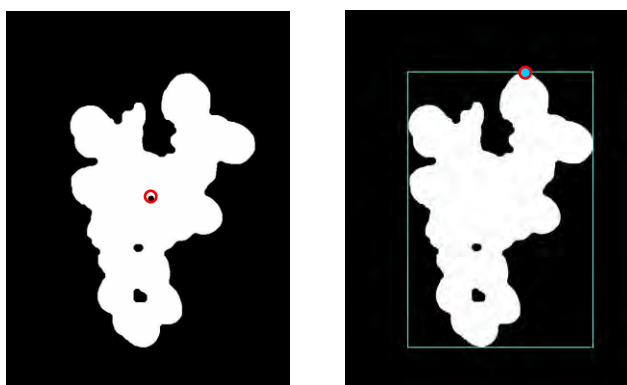
2.2 求解葡萄图像质心及轮廓外接矩形

在提取出最大连通区域后, 得到葡萄区域的二值图像, 即葡萄图像轮廓区域像素值设为 1 (白色), 其余区域设置为 0 (黑色)。为估算出葡萄质心的坐标, 根据图像质心矩的定义^[21], 葡萄质心坐标可由如下公式求得:

$$\begin{cases} x_c = \sum x f(x, y) / \sum f(x, y) \\ y_c = \sum y f(x, y) / \sum f(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_c, y_c 是质心坐标; x, y 为像素坐标; $f(x, y)$ 是二值化图像在点 (x, y) 处的像素值。

葡萄图像质心如图 3a 所示。在求得质心坐标以后, 再对最大连通区域求其左右、上下极值线, 得到葡萄图像区域的最小外接矩形, 从而得到轮廓区域的最高点坐标 (x_t, y_t) 和最大左右长度 L_{\max} 。如图 3b 所示。



a. 图像质心
a. Barycentre of image
b. 外接矩形及轮廓最高点
b. External rectangle and highest point

图 3 葡萄图像形态参数

Fig.3 Morphological parameters of grape

2.3 采摘点位置的计算

根据葡萄生长多样性的特点, 本文以葡萄往下悬挂生长的情况进行采摘点定位研究。为提高采摘点定位速度, 去除一些图像噪声对采摘点定位的影响, 本文在葡萄果区域上方设定一个果梗感兴趣区域, 在对采摘点进

行计算时, 只对感兴趣区域内的图像进行计算处理, 减少与采摘点求解无关的图像区域对定位造成的干扰, 提高定位方法的实时性。为了便于采摘点求解过程中几何原理分析, 以原图 4a 为样例进行求解过程描述, 并构建如图 4b 所示的采摘点计算模型示意图。

2.3.1 确定果梗感兴趣区域

由于葡萄串重力的作用, 使得葡萄在没有其他支撑物干扰的情况下通常是垂直下坠而悬挂于空中, 因而使得果梗通常位于葡萄质心正上方。为了减少环境对采摘点定位的干扰, 根据葡萄质心、轮廓最高点、左右极值线距离确定果梗所在的感兴趣区域, 感兴趣区域长度 Roi_L 为 $0.6L_{\max}$, 高度 Roi_H 为 $0.5|y_c - y_t|$, 区域中心坐标为 $\{x_c, y_t - 0.5Roi_H\}$ 。如图 4b 所示。

2.3.2 感兴趣区域边缘提取与直线段检测

野外作业常存在阴影、光照变化等干扰, 使得采集图像存在噪声, 而在感兴趣区域图像中, 果梗的边缘响应较强, 为了抑制噪声又增强边界, 采用双边滤波对图像进行预处理, 再通过边缘梯度检测算子提取边缘图像。设图像 f 中的像素点用 (x, y) 表示, 其方向向量可以用有限差分来计算, 图像中点的梯度为:

$$\|\nabla f(x, y)\| = \{f_{hs}(x, y)^2 + f_{vs}(x, y)^2\}^{1/2} \quad (4)$$

其中

$$f_{vs}(x, y) = 0.5 \times (f(x+1, y) - f(x-1, y))$$

$$f_{hs}(x, y) = 0.5 \times (f(x, y+1) - f(x, y-1))$$

取图像梯度幅值局部极大点作为边缘像素点, 再对图像梯度幅值进行阈值划分, 得到果梗感兴趣区域的二值边缘图像。如图 4c 所示。

利用果梗边缘呈直线状的特点, 在区域内进行累计概率霍夫直线检测^[22]。通过设定检测为直线的最大投票数, 检测出区域中所有满足条件的直线段, 并记录下线段端点坐标。如图 4d 所示。

2.3.3 计算采摘点位置

设检测得出的线段两端点 P_{i1} 和 P_{i2} 分别为 (x_{i1}, y_{i1}) 和 (x_{i2}, y_{i2}) , 则通过两端点的直线方程可表示为 $L_i(x, y) = 0$, 原理示意图如图 4b。

$$L_i(x, y) = \frac{y_{i1} - y_{i2}}{x_{i1} - x_{i2}} x - y + \frac{x_{i1} y_{i2} - x_{i2} y_{i1}}{x_{i1} - x_{i2}} \quad (5)$$

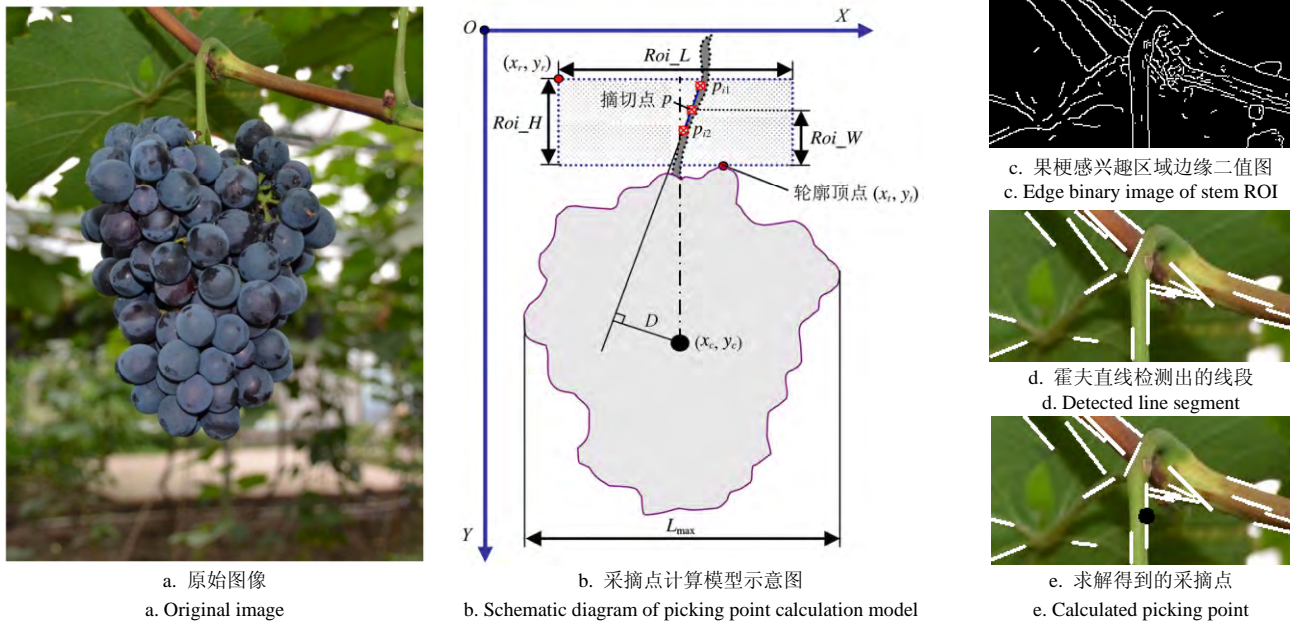
根据求解点到直线距离的原理, 求出每条直线到质心的距离 D_i :

$$D_i = \frac{\left| \frac{y_{i1} - y_{i2}}{x_{i1} - x_{i2}} x_c + \frac{x_{i1} y_{i2} - x_{i2} y_{i1}}{x_{i1} - x_{i2}} - y_c \right|}{\sqrt{1 + \left(\frac{y_{i1} - y_{i2}}{x_{i1} - x_{i2}} \right)^2}} \quad (6)$$

葡萄在重力的作用下, 其果梗通常位于质心正常上方, 因而通过果梗直线的延长线理论上必定通过质心, 但在实际情况中, 由于受图像分割误差、葡萄轮廓不规则、树枝干扰等因素的影响, 使得计算出来的果梗直线的延长线往往与质心有一定偏移。因此, 本文以到

质心距离最小的直线作为果梗采摘点所在的位置,通过求解点线距离最小约束函数 $\min(D_i)$ 来确定采摘点所在

的直线段,最后取该线段中点作为采摘点。如图 4e 所示。



注: x_c 和 y_c 表示质心坐标; x_i 和 y_i 表示葡萄轮廓顶点坐标; L_{max} 表示葡萄轮廓的最大长度; D 是检测直线到质心的距离; Roi_H 感兴趣区域的高度; Roi_W 表示感兴趣区域的宽度; P_{11} 和 P_{12} 表示检测线段的端点; $Pick_H$ 表示采摘点到轮廓顶点的距离。

Note: x_c and y_c indicate barycentre coordinates, x_i and y_i indicate vertex coordinates of grape profile, L_{max} indicates maximum length of grape profile, D is the distance between detected straight line and barycentre, Roi_H indicates the height of region of interest, Roi_W indicates the width of region of interest, P_{11} and P_{12} indicate endpoint of detected line segment, $Pick_H$ is the distance between picking point and vertex of profile.

图 4 采摘点求解过程示意图
Fig.4 Solving process of picking point

3 试验与分析

3.1 定位试验

为试验本文采摘点定位方法的效果,对采集的不同光照下的 300 幅图像进行试验。按晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照 3 种情况进行分类试验。试验平台所用计算机配置为: Intel(R)Core(TM)i5-3230M CPU @ 2.60GHz, 4G 内存, Window 7 操作系统。算法编程平台采用 OpenCV2.3.1 和 Visual C++ 2008。

首先设定采摘点定位方法中的参数: 根据文献^[23]取模糊隶属度指数 $m=2$; 因夏黑葡萄图像的 H 分量直方图大部分情况下呈双峰效应, 取聚类个数 c 为 2; 通过调整人工蜂群适应度值的幅度, 取适应度动态因子 $\lambda=5$; 通过调节累计概率霍夫直线的像素个数, 取最大投票数为 18。然后进行采摘点定位试验, 图 5 为 3 种光照下采摘点的定位过程图像。

3.2 定位误差分析

为了便于分析采摘点定位的精准度, 在这里引入像素定位误差^[24]:

$$e_x = \min |X - x| \quad (7)$$

$$e_y = \min |Y - y| \quad (8)$$

$$e = (e_x^2 + e_y^2)^{1/2} \quad (9)$$

式中: X, Y 表示果梗上最优采摘点像素区域; x, y 表示本文方法所求得采摘点的像素坐标; e_x 为求得的采摘点到最优采摘点像素区域的行方向误差; e_y 为求得的采摘点到

最优采摘点像素区域的列方向误差; e 为求得的采摘点总的像素定位误差。通过定位误差来评价采摘点定位方法的精准度。

运用本文方法计算出全部试验图像质心、采摘点像素坐标。人工设置最优采摘点像素范围, 以果梗中轴线作为最优采摘点所在位置 (4 像素 \times 30 像素)。计算本文方法求得的采摘点与人工确定的最优采摘点之间的误差。表 1 为图 5 中 3 幅图像的采摘点及像素定位误差对照。对 300 幅试验图像进行像素定位误差统计, 误差分布如表 2 所示。

分析 300 幅不同光照下夏黑葡萄采摘点定位的像素误差, 其中有 265 幅图像的采摘点与最优采摘点像素误差在 5~11 之间, 发现这些图像定位出的采摘点位于果梗边缘处; 另外 35 幅图像的采摘点像素误差均大于 30, 点位于果梗以外的区域。通过分析发现, 在 Y (列) 方向上与最优采摘点之间的像素误差较小, 当求得采摘点 y 值在 Y 范围之内时, e_y 为 0; 但在 X (行) 方向与最优采摘点之间存在 4~10 个像素误差。分析本文采摘点计算方法可知, 由于本文方法在果梗感兴趣区域进行霍夫直线检测时, 果梗图像呈双边效应, 通常检测出来的线段位于果梗的边缘, 使得计算出的采摘点位于果梗的边缘上, 而在取最优采摘点时是选取果梗中轴线上的点, 因此在 X 方向存在像素误差, 误差大约为果梗半径。由于采摘机器人末端执行器的夹切机构通常具有一定容错范围, 可弥补本文方法产生的 X (行) 方向采摘点像素误差。

尽管如此,在后续研究工作中,将研究误差补偿方法来提高识别定位的精准度。

通过对 300 幅试验图像的统计分析:运用本文方法计算得到的采摘点与最优采摘点之间的定位误差在 12 个

像素以内的图片幅数达 88.33%, 这些的点均位于果梗上。另外,当葡萄簇在图像两侧且遮盖部分在 1/3 以下,且果梗感兴趣区域内未被大量遮挡时,本文方法亦可较好地

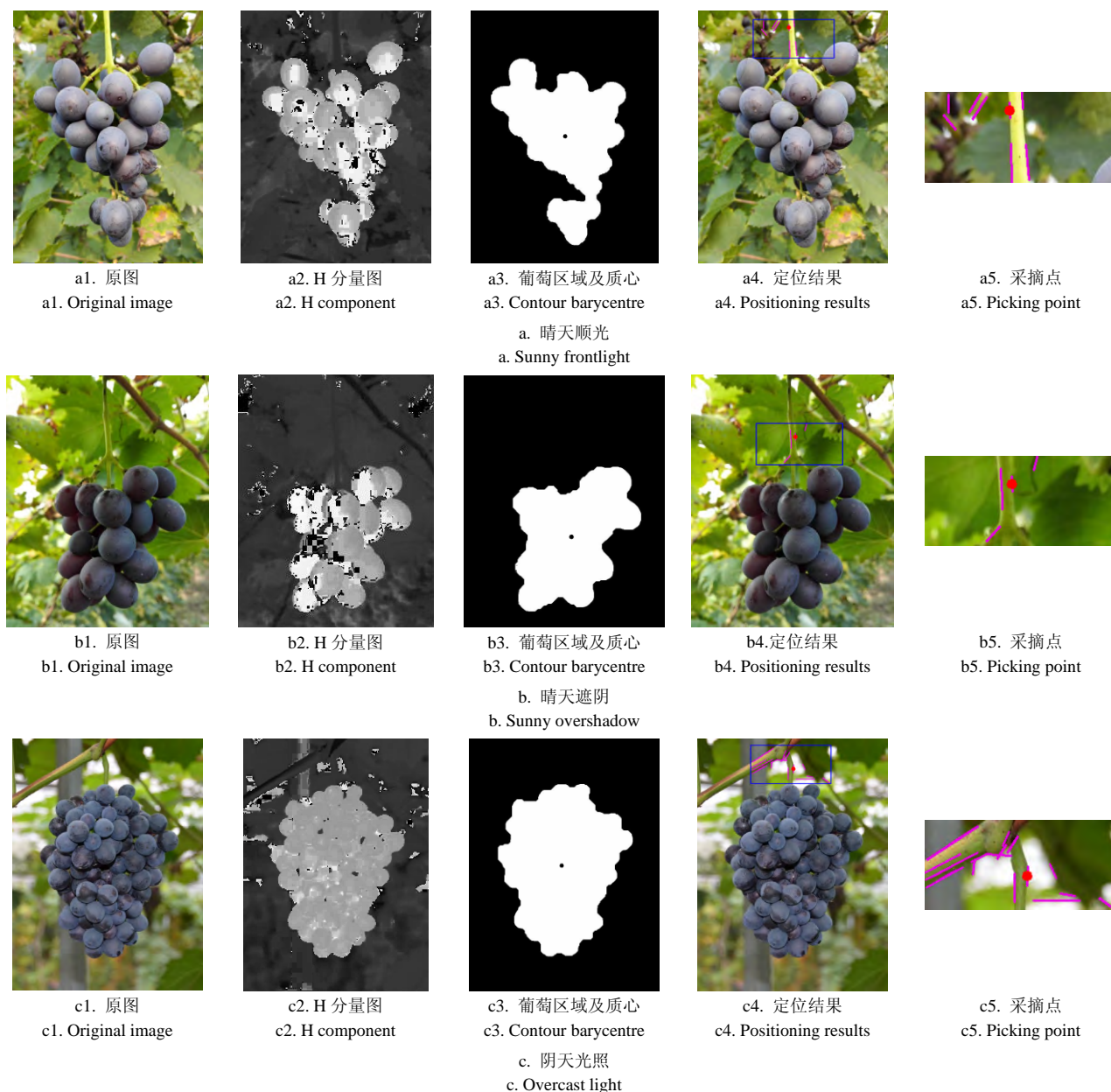


图 5 3 种光照下采摘点定位过程

Fig.5 Locating process of picking point on three kinds of light

表 1 采摘点及像素定位误差对照表

Table 1 Check list of pixel location error for picking point

图片号 Image frame	质心坐标/像素 Pixel coordinates of barycenter/pixel		最优采摘点范围/像素 Optimal point pixels area/pixel		求得采摘点/像素 Obtained picking point/pixel		与最优采摘点之间误差/像素 Pixels error between optimal point and obtained point/pixel		
	x_c	y_c	X	Y	x	y	e_x	e_y	e
图 6a (晴天顺光)	300	397	291~294	55~85	285	57	6	0	6
图 6b (晴天遮阴)	318	472	296~299	167~197	306	182	7	0	7
图 6c (阴天光照)	295	403	293~296	95~125	303	98	7	0	7

注: x_c 和 y_c 表示质心坐标; X 和 Y 表示最优采摘点像素范围; x 和 y 表示求得采摘点坐标; e_x 为行方向像素误差; e_y 为列方向像素误差; e 为总的像素定位误差。

Note: x_c and y_c indicate barycentre coordinates, X and Y indicate pixels area of optimal point, x and y indicate obtained picking point, e_x indicates pixels error in row; e_y indicates pixels error in list, e indicates overall pixels error.

采摘点定位所耗时间直接影响着采摘机器人的实时性和工作效率，对 3 种光照下采摘点定位所耗时间进行

计算统计，得到平均消耗时间为 0.3467 s。3 种光照下的采摘点定位误差和消耗时间统计如表 2 所示。

表 2 3 种光照下采摘点定位情况统计表
Table 2 Statistical table of picking point locating on three kinds of light

光照条件 Lighting conditions	原图/幅 Original image/frame	$e < 12$ 像素 Error is less than 12 pixel /frame	满足定位要求的比例 Meet requirements of locating/%	平均定位时间 Average elapsed time/s
晴天顺光	100	91	91	0.3556
晴天遮阴	100	85	85	0.3375
阴天光照	100	89	89	0.3469

虽然本文为葡萄采摘机器人提供了一种有效的采摘点定位方法，但还有一些因素影响采摘点定位：1) 因葡萄种类多，颜色不一，难以设计出统一的图像分割算法，影响了葡萄图像质心的求解。2) 复杂的葡萄园环境，时常会有枝条、枯叶、多串葡萄果重叠等因素干扰，当葡萄质心上方的果梗被大量遮盖时，该方法中的直线检测将出现误检测或检测不到，这时将难以对采摘点进行准确定位。3) 光照对葡萄色彩成像的干扰，逆光下采摘点识别定位准确率有所下降。在今后的研究中，将对多类葡萄的分割方法及果梗被遮挡时的定位方法进行研究，探索适用于多类葡萄的采摘点定位方法。

4 结 论

本文提出了一种基于葡萄图像分割和点线最小距离约束求解相结合的采摘点定位方法。该方法首先分析葡萄各色彩空间的色分量，提取直方图双峰明显的 HSI 颜色空间分量 H；通过改进人工蜂群优化算法中的适应度函数，对葡萄果图像进行模糊聚类优化分割，再对其进行形态学去噪处理，得到葡萄区域图像，提取图像中的最大连通域区域；再求出该区域图像的质心、轮廓极值点和外接矩形；确定果梗采摘点的感兴趣区域，在区域内进行累计概率霍夫直线检测，检测出所有满足预设条件的直线，选取到质心距离最短的直线段作为采摘点所在线，最后取该线段中点作为葡萄簇的采摘点。以晴天顺光、晴天遮阴、阴天光照下采集的 300 幅夏黑葡萄试验分析，结果显示，采摘点的定位准确率达 88.33%，平均定位时间为 0.3467 s，可满足采摘机器人对采摘点定位的实时性需求。

[参 考 文 献]

- [1] Kondo N, Shibano Y, Mohri K, et al. Basic studies on robot to work in vineyard (part 2)[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1994, 56(1): 45—53.
- [2] Chamelat R, Rosso E, Choksuriwong A, et al. Grape detection by image processing[C]. IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, 2006: 3521—3526.
- [3] Reis J C S, Raul M, Carlos P, et al. A low-cost system to detect bunches of grapes in natural environment from color images[C]. 13th International Conference on Advance

Concepts for Intelligent Vision Systems, 2011: 92—102.

- [4] Reis M J S, Morais R, Peres E. Automatic detection of bunches of grapes in natural environment from color images[J]. Journal of Applied Logic, 2012, 10(4): 285—290.
- [5] Font D, Pallejà T, Tresanchez M, et al. Counting red grapes in vineyards by detecting specular spherical reflection peaks in RGB images obtained at night with artificial illumination[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 108: 105—111.
- [6] Bac C W, Hemming J, Van Henten E J. Stem localization of sweet-pepper plants using the support wire as a visual cue[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 105: 111—120.
- [7] 张铁中, 陈利兵, 宋健. 草莓采摘机器人的研究: 基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 48—51.
Zhang Tiezhong, Chen Libing, Song Jian. Study on strawberry harvesting robot: Images based identifications of strawberry barycenter and plucking position[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1): 48—51. (in Chinese with English abstract)
- [8] 熊俊涛, 邹湘军, 彭红星, 等. 扰动柑橘采摘的实时识别与采摘点确定技术[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 38—43.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Peng Hongxing, et al. Real-time identification and picking point localization of disturbance citrus picking[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 38—43. (in Chinese with English abstract)
- [9] 曾庆兵, 刘成良, 苗玉彬, 等. 基于形态学图像处理的重叠葡萄果径无损测量[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 356—360.
Zeng Qingbing, Liu Chengliang, Miao Yubin, et al. Non-destructive measurement of diameter of overlapping grape fruit based on morphological image processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(9): 356—360. (in Chinese with English abstract)
- [10] 陈英, 李伟, 张俊雄. 基于图像轮廓分析的堆叠葡萄果粒尺寸检测[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 168—172.
Chen Ying, Li Wei, Zhang Junxiong. Overlapped grapes

- berry size inspection based on image contour analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 168—172. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杨庆华, 刘灿, 荀一, 等. 葡萄套袋机器人目标识别方法[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 234—239.
- Yang Qinghua, Liu Can, Xun Yi, et al. Target recognition for grape bagging robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 234—239. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张凯, 赵丽宁, 孙哲, 等. 葡萄套袋智能机器人系统设计与目标提取[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 1): 240—246.
- Zhang Kai, Zhao Lining, Sun Zhe, et al. Design and target extraction of intelligent grape bagging robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.1): 240—246. (in Chinese with English abstract)
- [13] 田锐, 郭艳玲. 基于机器视觉的葡萄自动识别技术[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(11): 95—97.
- Tian Rui, Guo Yanling. Automatic identification techniques of grape based on computer vision[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(11): 95—97. (in Chinese with English abstract)
- [14] 熊俊涛, 邹湘军, 陈丽娟, 等. 采摘机械手对扰动荔枝的视觉定位[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 36—41.
- Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Visual position of picking manipulator for disturbed litchi[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 36—41. (in Chinese with English abstract)
- [15] 吕继东, 赵德安, 姬伟, 等. 苹果采摘机器人对振荡果实的快速定位采摘方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 48—53.
- LüJidong, Zhao De'an, Ji Wei, et al. Fast positioning method of apple harvesting robot for oscillating fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(13): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [16] Zou Xiangjun, Zou Haixin, Lu Jun. Virtual manipulator-based binocular stereo vision positioning system and errors modeling[J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23(1): 43—63.
- [17] 张浩, 陈勇, 汪巍, 等. 基于主动计算机视觉的茶叶采摘定位技术[J]. 农业机械学报, 2014, 45(9): 61—65.
- Zhang Hao, Chen Yong, Wang Wei, et al. Positioning method for tea picking using active computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 61—65. (in Chinese with English abstract)
- [18] Zhou Jianzhong, Liao Xiang, Shuo Ouyang, et al. Multi-objective artificial bee colony algorithm for short-term scheduling of hydrothermal system[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014, 55(2): 542—553.
- [19] Arif N Afandi, Hajime Miyauchi. Improved artificial bee colony algorithm considering harvest season for computing economic dispatch on power system[J]. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2014, 9(3): 251—257.
- [20] 任子武, 王振华, 孙立宁. 基于改进人工蜂群算法的并联机器人正运动学解[J]. 机械工程学报, 2013, 49(13): 48—55.
- Ren Ziwu, Wang Zhenhua, Sun Lining. Forward kinematics solution for parallel manipulators based on improved artificial bee colony algorithm[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(13): 48—55. (in Chinese with English abstract)
- [21] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing[M]. Third Edition, Beijing: Publish House of Ecelectronics Industry, 2012: 542—543.
- [22] Galambos M C, Kittler J. Robust detection of lines using the progressive probabilistic hough transform[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2000, 78(1): 119—137.
- [23] 高新波, 裴继红, 谢维信. 模糊 c -均值聚类算法中加权指数 m 的研究[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 80—83
- Gao Xinbo, Pei Jihong, Xie Weixin. A study of weighting exponent m in a fuzzy c -means algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(4): 80—83. (in Chinese with English abstract)
- [24] 胡炼, 罗锡文, 曾山, 等. 基于机器视觉的株间机械除草装置的作物识别与定位方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 12—18.
- Hu Lian, Luo Xiwen, Zeng Shan, et al. Plant recognition and localization for intra-row mechanical weeding device based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(10): 12—18. (in Chinese with English abstract)

Automatic positioning for picking point of grape picking robot in natural environment

Luo Lufeng^{1,2}, Zou Xiangjun^{1*}, Xiong Juntao¹, Zhang Yu², Peng Hongxing¹, Lin Guichao¹

(1. Key Lab of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: In wine brewing process, the most time-consuming and laborious is grape picking. In order to improve the target location accuracy and work efficiency of grape-picking robot, reduce the mechanical damage that was caused by improper positioning of grape picking point, in view of some influence factors such as the various colors of grape stem and the irregular contour of grape, which make picking robot hard to locate picking point accurately, a new method of picking point location based on the improved image segmentation with clustering and the constraint by minimum distance between dot and line was put forward in this paper. Because the picking time was often chosen in sunny or cloudy day, 300 images of summer black grape were collected using D5200 Nikon digital camera in sunny or cloudy days, which were taken as test materials; the shooting distance between camera and grape cluster was about 80 cm, and the sizes of these images were zoomed to 800×600 pixels. Firstly, the color space of gathered images was analyzed and the component H of HSI color space that can mostly highlight summer black grape was found. The H component of images was extracted and median filtering was performed on these images. Grape fruit image was segmented by using fuzzy clustering that was improved by artificial swarm. Solving the minimum value of fuzzy objective function of FCM clustering algorithm was transformed into solving the maximum value of artificial swarm fitness function by improving the fitness function of the artificial swarm optimization algorithm. Then, the segmented image was processed with morphological denoising, the maximum connected region was extracted, and the regional barycenter, extreme point and external rectangular were calculated. Secondly, the interest region of picking point was determined according to the barycentric coordinates and edge information of grape image. Taking 0.6 times of the length of the external rectangular as the length of region of interest (ROI), and taking 0.5 times of the vertical distance between highest point of profile and barycenter as the height of ROI, the image of ROI was preprocessed with bilateral filter, and its edge image was extracted through gradient edge detection to obtain binary edge. And Hoffe's straight line testing of cumulative probability was taken in this ROI, maximum votes were taken to 18, all the detected endpoints of line were recorded, and linear equation was established by the two endpoints; the distances between all the detected straight lines and barycenter were solved by using the method of shortest distance from point to straight line, the straight line whose distance to barycenter was the smallest was chosen as the line where picking point was located, and the midpoint's coordinates of elected line was used as picking point. Finally, in order to verify the method proposed in this paper, a classification experiment based on 300 images of summer black grape gathered under direct sunlight, backlighting in sunny day and overcast light was carried out, using Opencv2.3.1 and Visual C++ as the algorithm programming platform. Through the statistical analysis of 300 testing images, it was discovered that the ratio of location error within 12 pixels between obtained picking point using this paper's method and optimal picking point by hand could reach up to 88.33%, and these obtained points were located in the stems of grapes, which could meet the requirements of picking robot's location. When grape clusters were located in both sides of image frame and their covered parts were less than one-third, and meanwhile the stem located in the ROI had not been covered mostly, the method could be well to solve the position of grape picking point. The average elapsed time of picking point's positioning in natural conditions was 0.3467 seconds. The test results of location error and elapsed time show that the method proposed in this paper can meet the demand of picking robot on picking point's positioning and is a new solution method of picking point for grape-picking robot.

Key words: robots; image segmentation; location; grape; picking point