

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

张铁中 陈利兵 宋健
(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要 成熟草莓果实重心和采摘点的确定是草莓采摘机器人采摘收获作业中的关键问题。采用 LRCD (luminance and red color difference) 方法分割草莓图像。在 RGB 色彩模型中,求得图像中每个像素的色差,在灰度图像中显示以色差值为灰度值的色差图像,取合适的阈值对该图像二值化,得到分割后的草莓图像;提取分割后草莓图像的几何特征,从而确定草莓的重心位置和采摘点。采用本文所述的机器人视觉系统(CCD 成像像素 753 ×582,像素中心距 10 μm ×10 μm)的试验结果表明,其采摘点位置误差 < 3 mm。利用 LRCD 方法能够很好的将成熟草莓与背景分离,通过提取分割后草莓图像的几何信息,可确定草莓重心和采摘点的位置。该处理方法适用于从复杂背景中提取红色目标。

关键词 草莓收获; 机器人; LRCD 变换; 色差

中图分类号 TP 274

文章编号 1007-4333(2005)01-0048-04

文献标识码 A

Study on strawberry harvesting robot : Images based identifications of strawberry barycenter and plucking position

Zhang Tiezhong , Chen Libing , Song Jian
(College of Engineering , China Agricultural University ,Beijing 100083 ,China)

Abstract During the strawberry collection process by robot , the crucial element to ensure the picking precision is the determinations of the ripe strawberry barycenters and the plucking positions . The LRCD (luminance and red color difference) method was adopted to dissect the image of strawberry . The Chromatism of each pixel in the RGB color image was calculated and the result showed in a gray image . The segmented image was gained by translating the gray image to a binary image after selecting an appropriate threshold . The barycenter of strawberry and the plucking position were ascertained by extracting geometry feature of the segmented strawberry image . The result reveals that the eccentricity of the plucking position is not more than 3 mm in the robot vision system(CCD pixel 753 ×582 ,distance between pixels 10 μm ×10 μm) in this paper . Ripe strawberry can be separated easily from the complex background by the LRCD method . The method is valid for pick-up of red object from a complex background .

Key words strawberry-collection; robot; LRCD; chromatism

对草莓分级、分选的研究国内外已有许多报道^[1-9],但对草莓采摘机器人的研究相对较少。机器人采摘草莓的关键是果实重心和采摘点的确定,要解决这个问题,必须把成熟果实从复杂的背景中分离出来,即图像分割。2001年日本宫崎大学永田

雅辉等在实验室对垄作栽培和高架栽培的草莓采摘机器人进行了研究,在图像处理时,先将 RGB 色彩模型转化为 L*a*b* 色彩模型,然后对 L*a*b* 色彩模型中的 a 通道图像进行阈值分割;通过该方法将草莓果实与果梗萼片分别从图像中分割出来,但是

收稿日期: 2004-09-06

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2001AA422300)

作者简介: 张铁中,教授,博士生导师,主要从事生物生产自动化和农业机械人的研究, E-mail: zhangtz @cau. edu. cn

该处理方法比较复杂,且需选取 2 个阈值。2003 年张铁中、周天娟采用 BP 神经网络对草莓图像进行分割^[9],该方法可以通过改变教师信号实现草莓与果梗叶片的分离,但该方法受教师信号以及采摘样本的影响较大,处理方法复杂。笔者采用 LRCD (luminance and red color difference) 方法^[10]分割草莓图像,提取分割后草莓图像的几何特征,从而确定草莓重心和采摘点的位置。

1 机器人系统的组成及工作原理

机器人系统包括 1 个三自由度机械手(直角坐标)、末端执行器、控制系统和视觉系统(图 1)。机器人视觉系统由 1 台计算机、2 台 CCD 摄像机和 2 张图像采集卡组成。

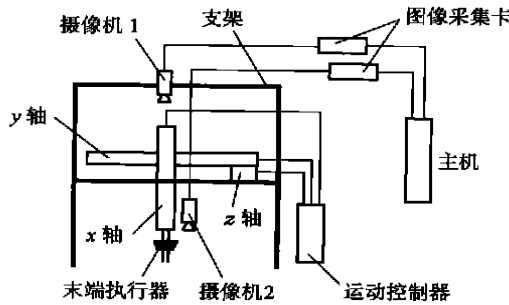


图 1 草莓采摘机器人系统组成
Fig. 1 Schematic diagram of strawberry harvesting robot

草莓采摘机器人系统的工作原理如下:摄像机 1 摄取水平地面上收获区域内草莓的图像,经图像分割后提取收获区域内所有成熟草莓的重心位置,计算草莓个数,并按重心坐标值对草莓排序。当机械手移动到第 1 个草莓重心处时,摄像机 2 获取该草莓的图像,经图像分割后提取该草莓重心和采摘点位置,驱动机械手收获草莓,然后移动到第 2 个草莓重心处。循环上面的操作直到收获区域内所有草莓都采摘完毕。为最大限度的降低草莓的机械损伤,采用切断草莓果梗的方法采摘草莓。

2 图像分割

图 2(a) 示出生长在铺有黑色薄膜地面上的草莓,及枝叶、茎秆和未成熟果实的图像。一幅图像由彩色变换为灰度后,其对应点的灰度值为

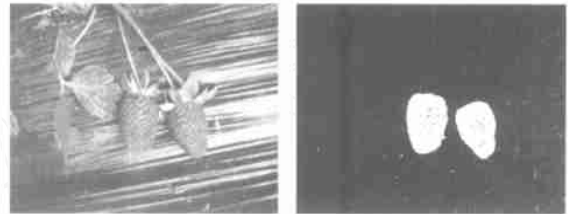
$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

其中:Y 为灰度值,R,G 和 B 为 RGB 颜色空间中像素的 3 个分量。为了突出图像中的红色成分而削

弱其他颜色成分,采用 LRCD 方法来分割图像。图像中每一个像素的色差为

$$c = R - Y = 0.7R - 0.59G - 0.11B$$

在灰度图像中显示以色差值为灰度值的色差图像,取合适的阈值对该图像二值化,即得到分割后的草莓图像(图 2(b))。



(a) 原始图像 (b) 分割后
图 2 草莓原始图像及 LRCD 法分割后的图像

Fig. 2 Contrast of image before and after segmentation

3 重心位置的提取

重心位置的提取步骤是:读入图像 色差变换 二值化去噪音 区域标记 重心识别。首先选取合适的阈值(本文中取 55)对分割后的图像(图 3)进行二值化,中值滤波去噪音,然后进行区域标记。区域标记即对相互连接的所有像素赋予相同的标记,不同连接成分赋予不同标记。其目的是使计算机能够通过目标灰度值的变化识别图像中的目标。区域标记之后才能将每个连接成分分离,并计算各个分离成分的特征。标记时,图像中各物体的标记号从 100 开始,逐渐增加。

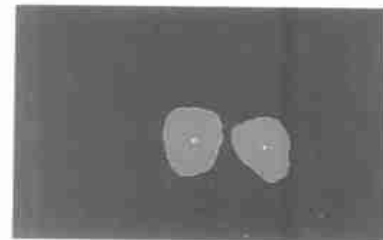


图 3 草莓重心和边界的提取

Fig. 3 Extraction of strawberry barycenter and boaderline

经过区域标记后的各个连接成分,可用二维数组直观表示出来。具体做法是:对应图像 $f(x, y)$ 上的任意一点 (x, y) ,若标记号为 $\phi(x, y) = m$,则 $f(x, y)$ 赋值为 1,否则赋值为 0。这样表示的物理意义是,所有 $f(x, y)$ 的点的集合就代表了标记号为 m 的区域。对于标记号为 m 的区域,其面积可以表示为 $A = \sum_{\phi(x, y) = m} 1$,重心坐标为

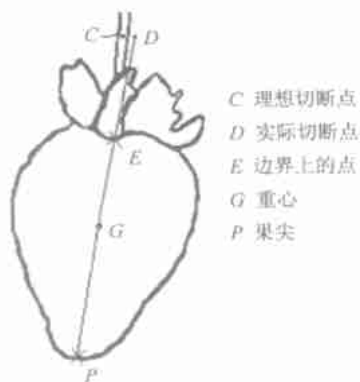
$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{A} \int_{\phi(x,y)=m} x \\ \bar{y} &= \frac{1}{A} \int_{\phi(x,y)=m} y \end{aligned} \right\}$$

对面积 < 50 像素的连接成分,认为是噪音,全部消除。进行轮廓提取,获取各连接成份的边界,将边界像素及重心像素标记出来。处理后的图像见图 3。

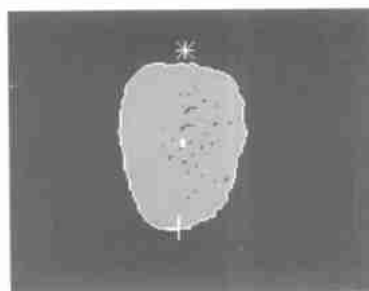
4 采摘点的确定

以草莓重心为基点来确定采摘点位置。采摘点位于草莓果梗上,距花萼约 5 mm。采摘点位置特征见图 4(a),图中 C 为理想切断点, D 为实际切断点, P 为果尖, G 为草莓重心, E 为草莓图像边界上的

点,且 E, D, P, G 共线, D 和 C 到 E 的距离约为 10 mm。由于 C 到 D 的距离很小,因此可以近似地用 D 代替 C,即认为 D 为采摘点。综上所述,要确定采摘点位置,关键是确定果尖位置。对于大多数品种的草莓,其形状呈顶角小于底角的倒三角形,所以其重心向花萼处偏移,果尖是草莓边界到重心距离最长的点。设草莓图像边界上点的坐标为 (x_i, y_i) , 则到重心的距离为 $\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$, 因此,使该距离最大的点就是果尖 P。果尖位置确定后,在 PG 延长线上搜索 1 点,使该点到重心的距离与果尖到重心的距离相等,该点即为采摘点。图 4(b) 示出果尖及采摘点特征的提取结果。



(a) 位置特征



(b) 提取结果

图 4 草莓采摘点位置特征及其提取结果

Fig. 4 Feature of the plucking position and extracting result

5 误差分析及讨论

确定草莓重心和采摘点位置时精度的影响因素很多,主要有 CCD 本身的系统误差、光线不均匀造成的误差,以及图像处理算法造成的误差。实验表明,一般光照条件下本系统在确定重心时最多产生 2 像素的偏差,计算机可读取图像的最小单元为 1 个像素,因此 CCD 系统误差为 1 个像素,故整个系统测量重心的最大偏差为 3 个像素。

由于摄像机 2 确定的草莓重心坐标对摄像机 1 确定的草莓重心坐标进行了修正,因此视觉系统的精度由摄像机 2 决定而与摄像机 1 无关。设摄像机 2 的放大倍率为 M ,根据几何光学成像理论有

$$= D \div D$$

式中: D 为实际物体的尺寸, D 为其在 CCD 上对应的图像尺寸。对于本机器人视觉系统, CCD 成像像素为 753×582 , 像素中心距 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, 为

0.03, 则整个系统测量重心的最大偏差为

$$= 3 \div 0.03 = 3 \times 0.01 \div 0.03 = 1 \text{ mm}$$

其中 0.01 为单个像素尺寸。切断点的偏差主要由于近似替代产生,实验表明,该偏差约为重心偏差的 2 倍,其偏差 < 3 mm。提高摄像机的分辨率,合理分布光照条件可提高系统精度。

参 考 文 献

- [1] 曹其新,吕恬生,永田雅辉,等. 草莓拣选机器人的开发[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(7): 880 - 884
- [2] Cao Qixin, Masateru N, Masafurni M, et al. Study on grade judgment of fruit vegetables using machine vision (Part 2) [J]. Judgment for Several Varieties of Strawberry by Developed Software, 1996, 8(4): 228 - 236
- [3] Nagata M, Kinoshita O, Asano K, et al. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part 1) [J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 1996, 58(5): 57 - 66

- [4] Nagata M, Kinoshita O, Asano K, et al. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part 2)[J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 1996, 58(6): 61 - 67
- [5] Nagata M, Kinoshita O, Asano K, et al. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part 31)[J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 1997, 59(1): 43 - 48
- [6] Masateru N, Cao Qixin, Masafumi M, et al. Study on grade judgment of fruit and vegetables using machine vision (Part 2)[J]. Journal of Society of High Technology in Agriculture (Japan), 1996, 8(4): 140 - 145
- [7] Slaughter D, Harrel R. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 757 - 763
- [8] 高锐. 草莓收获机器人的初步研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004
- [9] 张铁中, 周天娟. 基于 BP 神经网络的草莓图像分割[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(4): 65 - 68
- [10] Duke M, Takashi K, Yoshinobu O, et al. A color model for recognition of apples by a robotic harvesting system[J]. Journal of JSAM, 2002, 64(5): 123 - 133

科研简讯

2004 年中国农业大学主要科研成果

1) 科研成果及其转化推广成绩显著

2004 年度我校申报省部级科技进步奖 26 项, 其中 20 项获奖, 获奖率 77%。“农牧交错带农业综合发展和生态恢复重建技术体系与模式研究”和“蛋鸡全阶段可利用必需氨基酸需要及理想蛋白模式”2 项成果获省部级一等奖; 12 项成果获省部级二等奖——中国地方猪种遗传资源测定、体细胞克隆技术保护和扩繁优质种牛的应用、绒山羊绒毛生长机理及舍饲半舍饲营养调控技术研究、冷却肉加工关键技术与新产品开发、Mozzarella 干酪加工关键技术与设备研究及产业化开发、葛根有效成分提取的产业化关键技术以及土壤/植株动态测试优化推荐施肥技术的建立和应用等。

我校坚持面向国民经济主战场, 促进重大成果与技术的转化与推广。据不完全统计, 2004 年“农大系列玉米品种”推广面积近 300 万 hm^2 , 遍布 19 个省市自治区, 占全国玉米播种面积近 14%; “草业产业化综合技术”示范推广面积近 0.8 万 hm^2 , 经济效益过亿元; “冬小麦节水省肥高产简化四统一栽培技术体系”实现小麦每公顷产量 7 500 ~ 9 000 kg, 累计推广面积 13 万 hm^2 以上; “养分资源综合管理技术”在小麦等作物上推广 4 万 hm^2 , 经济效益 1.2 亿元; “农大褐 3 号”节粮蛋鸡新增饲养 2 000 万羽, 累计近 1 亿羽, 经济效益 8 ~ 9 亿元; “保护性耕作技术与机具”在全国 13 个省市自治区示范推广 66.7 万 hm^2 以上; “饲草、秸秆机械化加工技术与机具”辐射加工范围 1 333.3 hm^2 , 为企业和农户带来经济效益 800 万元; “现代节水灌溉设备及技术”已经推广到北朝鲜、埃塞俄比亚等国家; “土壤水分智能快速检测仪器与技术”在 11 个省建立了 21 个固定墒情监测站; “高效复合增产菌及其生产工艺”专利技术, 以 1 043 万元的价格转让给在美国上市的佳华生物科技公司; “高油玉米技术”成功转让给美国 QTI 公司, 标志着我国高油玉米研究工作继续处于世界领先地位。

2) 科研基地建设进展顺利

2004 年我校经多年建设的科研基地(中心)大部分通过验收。动物营养学国家重点实验室(与中国农科院共建)纳入国家建设计划, 国家饲料工程技术研究中心通过科技部验收, 国家玉米改良中心和兽药安全评价中心通过农业部验收, 国家动物寄生原虫实验室纳入农业部 2004 年度建设计划(经费 1 200 万元), 农业部饲料效价与安全监督检验测试中心(北京)和农业部兽药安全监督检验测试中心(北京)通过审查认可与计量认证, 功能乳品教育部重点实验室(与北京市共建)通过建设计划论证, 教育部玉米育种工程技术研究中心通过教育部验收, 北京市教委投资 200 万元, 加强我校北京市重点实验室建设, 我校与企业联合申报的“动物生物反应器国家工程研究中心”通过国家发改委初审并进入现场考察。另外, 我校还申报草业工程中心、野生稻种质资源保藏实验室等, 逐步完成上庄实验站的机构设置、前期环境调研、土地勘测和初步规划等。

(科学技术处供稿)