doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.007

扰动柑橘采摘的实时识别与采摘点确定技术*

熊俊涛[1]　邹湘军[2]　彭红星[1]　陈文光[1]　林桂潮[2]

(1.华南农业大学信息学院,广州 510642;2.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)

摘要:对成熟柑橘果实在扰动状态下的视觉识别定位技术进行研究。利用 ANSYS 进行了扰动柑橘的动力学分析,结合图像处理分析结果,确定了微扰动柑橘的运动规律为类单摆运动;对采集的微扰动柑橘视频进行图像处理,设定规则选取视频中的图像,利用改进的 K-means 聚类分割法结合优化 Hough 圆拟合方法实现柑橘果实的分割;根据图像分割结果,对柑橘的二值图像进行 Hough 直线拟合,结合直线斜率在 -0.45 ~ 0.45 的约束条件,确定扰动柑橘的有效采摘点。试验结果表明该方法能有效地识别自然环境中的微扰动柑橘,确定扰动果实采摘点的准确率达 85%,采摘点确定的处理时间在 7.58 ~ 9.24 s 范围内。

关键词:柑橘　采摘机械手　扰动　采摘点　动力学分析　视觉识别

中图分类号:TP391.41;TP241　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2014)08-0038-06

引言

现代果业生产中,利用水果采摘机器人替代人工采摘是发展的重要方向之一[1]。因采摘目标是具有多样性和不确定性的生物体,同时生长环境中多因素的干扰会造成采摘机器人的定位和采摘误差,因此机器人收获的关键是从果树中准确识别果实并确定果实的空间位置[2]。在自然环境中果实的生长会呈现不同的状态,如静止、摆动的状态,因此怎样针对不同状态实现机器人视觉的精确定位,是采摘机器人研究的难点问题。

文献[3-5]对自然场景下柑橘多果重叠问题,利用优化的圆形 Hough 变换提取目标图像的形心坐标及半径,恢复遮挡果形,正确识别率为 95%;文献[6-7]研究了柑橘的识别与空间定位技术,利用双面立体视觉技术实现了树上柑橘的果实圆心的立体匹配与空间定位,并对遮挡情况下的柑橘进行了识别定位。但这些研究主要针对静态的柑橘,未涉及扰动柑橘的视觉定位。

本文对扰动状态下的柑橘进行视觉识别与采摘点确定研究,设计实现扰动柑橘实时识别的视觉算法,并根据识别结果提出柑橘果梗上采摘点的确定方法,为柑橘采摘机器人的研究提供理论与基础。

1　视觉系统

视觉系统的组成如图 1 所示,其中由 CCD 双目摄像机、削减反射光的偏正片、激光测距仪、可升降的三脚架和放置摄像头的导轨等组成。



图 1　视觉系统组成结构

Fig.1　Structure of visual system

(a) 双目视觉系统实物图　(b) 双目视觉系统示意图

2　扰动目标的识别

2.1　柑橘扰动受力分析

利用图像处理和建模仿真技术进行了柑橘扰动的受力分析,确定扰动存在的规律和数学模型。通过设计扰动柑橘的试验,进行了运动受力分析。在前期研究中,曾对柑橘及其枝杆的运动状态进行了分析,确定了风速大小直接关系柑橘及其枝杆的运动幅度。较大的风吹时,会出现树枝与果实随风一起发生偏移,进行无规律的随机运动,从而会造成视觉的定位困难,并超出机械手的作业能力范围,因此需要设定临界条件,判断柑橘所处状态是大扰动或者微扰动,从而实现微扰动柑橘的视觉定位。

进行扰动状态分析的试验工具:风速仪、可调速电风扇、带母枝的柑橘果实和 CCD 摄像机。试验过程为:设定一个时间段,利用电风扇对柑橘及其枝杆

收稿日期:2014-03-14　修回日期:2014-04-18

*国家自然科学基金资助项目(31201135)和国家星火计划资助项目(2013GA780043)

作者简介:熊俊涛,副教授,博士,主要从事机器视觉与图像处理技术研究,E-mail:xiongjt2340@163.com

通讯作者:邹湘军,教授,博士生导师,主要从事农业机器人、智能设计与制造研究,E-mail:xjzou1@163.com

吹风，吹风的方式为直接对柑橘及枝杆定向连续吹风和风扇摇头对柑橘和枝杆不定向间隔吹风，然后利用风速仪测量出风速值，同时采集扰动柑橘的视频。利用图像处理技术，计算各帧图像中柑橘果实的质心，获得柑橘果实的运动轨迹，绘制成曲线图如图 2 所示，图中正负表示偏离定义中心左右位移，位移用像素数表示。

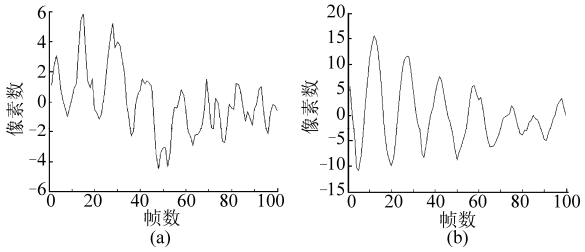

图 2　扰动柑橘果实质心的运动轨迹

Fig. 2　Trajectory of disturbance citrus fruit centroid

(a) 风速为 4.0 m/s　(b) 风速为 2.5 m/s

柑橘果实在不同风速干扰下，位移变化很大，较大的风吹时，其运动轨迹随机且无规律，如图 2a 所示；而在较小风吹时，柑橘果实的运动位移基于某个中心点对称，位移幅度由大至小，如图 2b 所示。柑橘的结果母枝受风面积小，与柑橘果实相连接时，其扰动幅度主要由柑橘果实的扰动决定。通过试验确定了风速 3.5 m/s 为区分柑橘扰动状态大小的环境变量。

同时利用 ANSYS Workbench 建模软件，进行柑橘扰动的仿真，模拟现实环境柑橘果实在风速小于等于 3.5 m/s 时的扰动情况，然后比较模拟扰动的效果与图像处理结果，从而确定扰动柑橘的运动规律。试验过程为：

(1)利用 ANSYS Workbench 软件进行建模仿真。通过 ANSYS Workbench 软件的 Inventor 建模，然后利用软件中的 Fluid Flow(CFX)模块进行流体分析，再利用 Transient Thermal 模块进行动力学分析[8]。流体模型和固体模型如图 3 所示。将流体模型和固体模型导入 CFX 模块后进行网格划分，在 CFX 模块中进行域定义、边界定义、风速加载等。

(2)动力学分析。首先要定义果树材料，分别设置果梗和果实的密度、泊松比和弹性模量，然后设置约束。把树的主干设置为固定端约束，把果实和树枝间设置为固定约束。进行加载，先加入重力，再输入风力载荷[9]。本文选定的柑橘品种为萝岗橙，主要生长在广东地区，果实中等大，果形端正，长圆形，单果质量 110 ~ 120 g，果实横径 55 ~ 72 mm。因柑橘在成熟时，其果实体积大小在一定范围内，并且与结果母枝的直径大小有一定的比例，因此设定约束以及加载各个参数值都根据实际环境中柑橘的生物特性进行设置。求解之后，得出果实和树枝交界

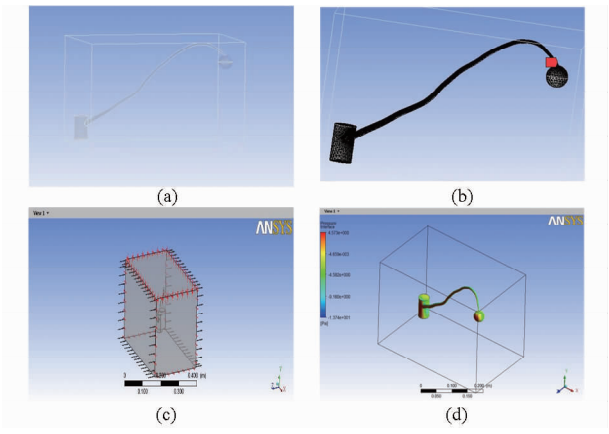

图 3　柑橘扰动的 ANSYS 建模仿真过程

Fig. 3　Process of ANSYS modeling and simulation for citrus disturbance

(a) 柑橘流体模型　(b) 网格划分后的固体模型

(c) 固体模型加载各个定义　(d) 固体模型的求解运算

上的某点的位移曲线和表格数据(表格数据保存为文本文档)，其中位移曲线如图 4 所示。

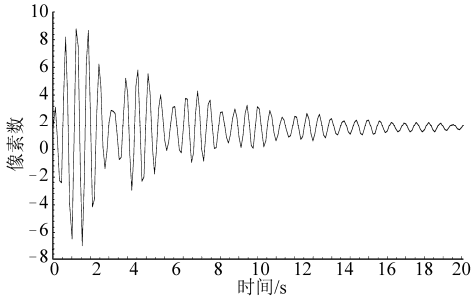

图 4　风速为 2.5 m/s 时柑橘果实的位移轨迹

Fig. 4　Track of citrus fruit displacement in wind speed 2.5 m/s

通过图 2、图 4 所示，设定风速小于 3.5 m/s 时的仿真位移轨迹与图 2b 柑橘质心的运动轨迹相似，都是基于某个中心点对称，位移幅度由大至小，因此可以确定柑橘的微扰动情况类似单摆运动，在某个中心点左右对称摆动。

2.2　颜色分析

彩色图像处理算法的关键是确定合适的颜色模型。从采集的柑橘图像中选取 3 幅不同背景、不同成熟度的柑橘图像，见图 5。

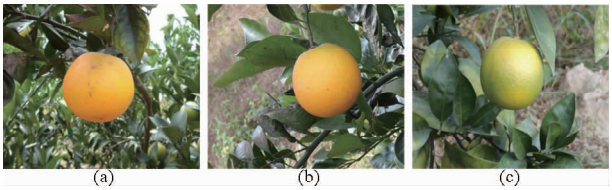

图 5　3 幅不同背景下的柑橘图像

Fig. 5　Citrus image under three different backgrounds

(a) 正常光，成熟　(b) 阴天，成熟　(c) 正常光，未成熟

通过颜色分析，确定 YCbCr 模型下的 *Cb* 分量能很好地凸显果实部分，而且成熟和不成熟果实的

直方图相差比较大,比较容易分离出成熟和不成熟柑橘,因此最终选取 YCbCr 颜色模型进行柑橘图像分割[10],结果如图 6。

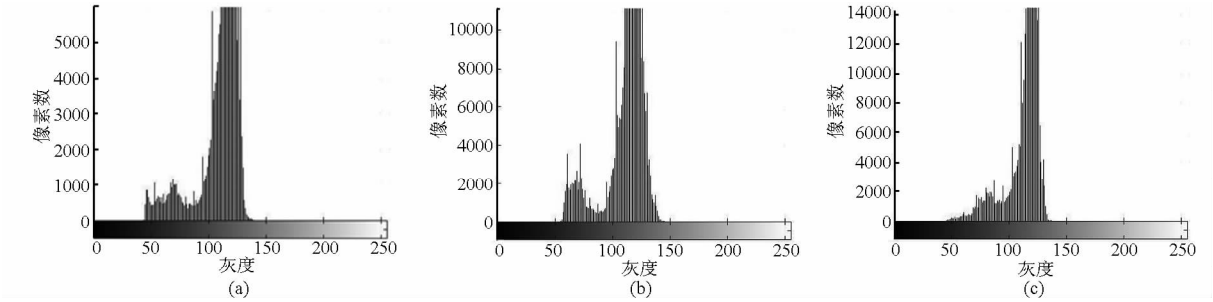

图 6 3 幅柑橘图像 YCbCr 模型的 *Cb* 分量直方图

Fig. 6 Histogram of *Cb* component in the YCbCr color model of three citrus images

(a) 正常光,成熟 (b) 阴天,成熟 (c) 正常光,未成熟

2.3 识别算法

2.3.1 改进的 K-means 算法

K-means 算法采用距离作为相似性的评价指标,认为类是由距离靠近的对象组成的,因此把得到紧凑且独立的类作为最终目标[11]。聚类的关键步骤之一是初始中心的选择,它的好坏直接影响聚类划分的结果。最原始的 K-means 算法是随机的选取初始聚类中心,并且选取的聚类中心代表一类,这样使得算法迭代过程复杂、耗时长,甚至导致不合理的聚类结果[12]。本研究根据分割目标的颜色特征,进行了 K-means 算法的改进。K-means 的基本原理为[13]:

目标函数

$$\min J(\boldsymbol{U},c) = \sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{n} u_{ij}d_{ij}^2 \qquad (1)$$

约束条件

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{c} u_{ij} = 1 \quad (1 \leqslant j \leqslant n) \\ u_{ij} \in [0,1] \quad (1 \leqslant i \leqslant c, 1 \leqslant j \leqslant n) \\ 0 < \sum_{i=1}^{c} u_{ij} < n \quad (1 \leqslant j \leqslant n) \end{cases}$$

其中 $d_{ij} = \| x_j - v_i \|$ $\boldsymbol{U} = [u_{ij}]_{c\times n}$

式中 d_{ij}——样本 x_j 和聚类中心 v_i 的欧氏距离

u_{ij}——第 j 个样本在第 i 个聚类中的隶属度,取 0 或 1

$\boldsymbol{U}$——模糊划分矩阵

c——聚类的类数

n——聚类空间的样本数

改进 K-means 算法的主要思路是确定初始类心和聚类数。在确定的颜色模型 YCbCr 的 *Cb* 分量灰度直方图中,进行直方图的波峰波谷的检测。根据直方图分布规律,选取直方图的波峰值处为K-means 的初始聚类中心,同时对直方图进行波峰的检测,根据波峰数来确定聚类数,如果波峰为 n,则聚类数为 $n+1$。考虑到图像本身情况和噪声的影响,直方图中常出现类似波峰的随机干扰点,影响计算机的波峰自动检测。为去除随机干扰点,要对直方图进行平滑处理。平滑的方法较多,这里采用高斯滤波平滑。

由图 7、8 所示的图像分割结果可以看出,直接运用 K-means 分割的柑橘图像结果是将果实的大部分提取出来,而对于果梗,则由于背景、光照等因素的影响,无法精确地提取出来。而利用改进的 K-means图像分割方法,确定好聚类数为 2 后进行分割,则能准确地分割果实。但主要目的是得到采摘点,至于果梗是否能被提取,并不影响。



图 7 不理想的柑橘图像分割结果

Fig. 7 Unsatisfactory segmentation results of citrus images

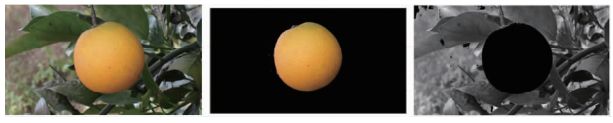

图 8 理想的柑橘图像分割结果

Fig. 8 Ideal segmentation results of citrus images

2.3.2 优化的 Hough 变换圆检测

Hough 变换圆拟合是将原始图像中给定形状的曲线变换成 Hough 空间中的一个点,抗干扰能力强是 Hough 变换的一个突出优点,但巨大的数据量制约着它的应用[14]。因此需要提高 Hough 变换的效率和精度。

在 Hough 变换圆检测中,3 个参量空间的最大值分别为 $r_0 = r_{max} - r_{min}$、$y_0 = h$、$x_0 = w$,式中:r_{max}和 r_{min}分别为图像中所有圆中最大半径和最小半径的估值,r_0为圆半径估值范围大小,h、w 分别为包括圆的图像高度和宽带,x_0、y_0分别为圆心行坐标、圆心列坐标范围。

要提高 Hough 变换圆检测的速度，必须减少这 3 个参量空间的值，根据目标区域的具体情况设置半径和圆心位置的搜索范围。根据采摘机器人视觉系统的摄像机的拍摄范围 357 ~ 857 mm（采用的摄像机的有效拍摄范围），标定的摄像机焦距 f，成熟柑橘的直径平均值，可以确定柑橘的 Hough 变换圆检测半径的搜索范围和圆心距离，确定结果为

$$r_{\min} = \frac{\min\{a_i, b_i\}}{1.5} \tag{2}$$

$$r_{\max} = 2.5\max\{a_i, b_i\} \tag{3}$$

$$\min_dist = \frac{\min\{a_i, b_i\}}{2} \tag{4}$$

其中，a_i 和 b_i 分别为图像中柑橘的外接矩形的长和宽（单位为像素），数字 1.5、2.5 和 2 是由试验统计得出的参数。图 9 为使用优化的 Hough 变换圆检测的结果。



图 9　Hough 变换圆拟合结果

Fig. 9　Circle fitting results of Hough transform

3　扰动柑橘采摘点的确定

根据柑橘采摘机器人的末端执行器结构[15]，其夹持机构参数：长 60 mm，张开宽度 50 mm，为其有效采摘范围。采摘柑橘主要夹持果梗，然后进行切割。利用视觉进行定位，柑橘的采摘点必定在果梗上。扰动柑橘采摘点确定的处理过程如图 10 所示，具体为：

（1）获取扰动柑橘的视频。由于视频有一定时长，是由一帧帧图像组成，如果对每一帧图像处理，不仅会耗时大，而且没必要。采集的视频时长确定为 3 s，视频为 30 帧/s，经过试验确定从视频总帧数的 1/4 处开始取样本图像，每隔 7 帧取一幅图像作为样本图像，总共取 13 幅。根据单摆的运动规律，判断这 13 幅图像中果实处在最低位置的那幅图像，对该幅图像进行处理。

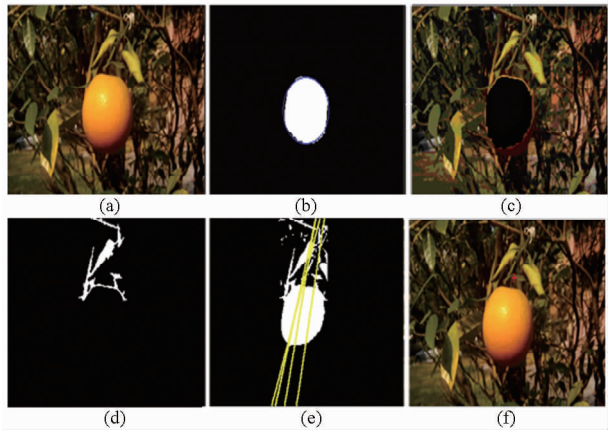

图 10　柑橘图像分割与采摘点确定的过程图

Fig. 10　Process of image segmentation and picking point determine of citrus

（a）柑橘原图　（b）分割果实二值图

（c）去果实后背景图　（d）有效果梗二值图

（e）直线拟合结果图　（f）确定采摘点效果图

（2）利用 K-means 聚类结合 Hough 圆拟合进行图像分割得到柑橘果实，如图 10b 所示。然后在原图中去掉柑橘果实，得到图 10c；同时根据柑橘生长规律，果梗必定位于果实上方的某个特定区域内。为了能更精确地获取采摘点，利用图像处理将果实上方，以及距离果实左右一定距离的区域去除掉。如图 10d 所示。

（3）确定果梗区域。根据图像分割的结果，对柑橘果实果梗的二值图进行 Hough 运算直线检测，选取拟合度最好的 4 条直线；同时设定约束条件，保留斜率在 -0.45 ~ 0.45 之间的拟合直线，从而确定有效的果梗采摘区域，得到的结果如图 10e 所示。

（4）图像去噪处理。为了进一步确定采摘点，利用连通区域标记法进行去噪处理，保留最大的果梗区域。因为在除果实之外，其他干扰因素的面积大于梗的可能性比较低，故可以用此方法保留有效采摘点区域。

（5）确定采摘点。在确定的果梗上，选取采摘点的位置，通过设定条件为离果实的距离为果实直径的 1/3 处，即确定该点为采摘点，如图 10f 所示。

各种情况下柑橘的采摘点确定效果如图 11 所示。

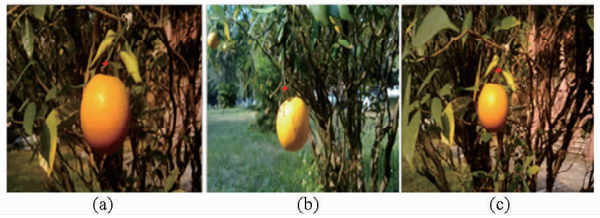

图 11　柑橘采摘点确定的效果图

Fig. 11　Rendering of citrus picking point to be determined

（a）正常光照　（b）阴天　（c）强光照

4　试验结果分析

选择 11 月中旬 ~ 12 月中旬的柑橘成熟期，利用视觉系统进行扰动柑橘的视频采集，在不同时间段、不同角度等条件下拍摄了 100 个不同场景成熟柑橘的扰动视频，进行了微扰动柑橘的实时识别与采摘点确定的视觉试验，其中根据采摘机器人末端

执行器的容错范围进行判断,有 85 个柑橘视频的采摘点是有效采摘点,能实施准确有效地采摘。整个扰动柑橘采摘点的算法处理的时间在 7.58 ~ 9.24 s 范围内。视觉试验结果统计如表 1 所示。

表 1 柑橘视觉识别定位试验统计结果

Tab. 1 Result of citrus visal identification experiment

类型	总数	正确数	正确率/%
果实识别	100	89	89
采摘点确定	100	85	85

造成柑橘果实识别错误的因素有:①光照条件不理想,太强和太弱的光照都会影响图像分割,虽然在图像采集时加了偏正片,削减光照影响,但是还是会存在错误。②果梗以及叶子生长期太长会出现和柑橘近色的情况,如叶子逐渐变枯,会与柑橘颜色相近,造成图像分割错误。③柑橘图像背景复杂,会存在与果实相近的背景,造成图像分割错误。以上这些因素都会造成柑橘识别错误,从而使得扰动柑橘的视觉定位失败。效果如图 12 所示。

造成视频处理失败的原因:①因外界干扰太大致使柑橘扰动太大,柑橘视频采集会有部分图像中柑橘跳出摄像机视角范围,造成处理失败。②柑橘果梗与背景其它枝杆的颜色接近,造成图像识别的错误,将其它树枝确定为果梗区域而处理失败。③图像识别效果的不理想造成果梗区域的标记错误从而采摘点确定错误。④当柑橘果实被树枝挤压而使得果梗不是向下生长时会造成采摘点确定误差。这些误差需要在以后研究中,从柑橘识别算法和视觉系统硬件两方面予以完善,以减小光照以及其它外界物的干扰。

5 结论

(1) 针对自然环境下扰动柑橘的识别定位问题,利用 ANSYS 的 Workbench 软件进行了扰动柑橘的建模与仿真,对柑橘扰动进行了运动受力分析,确定微扰动存在的规律和数学模型。同时利用图像处理得到的位移效果图与仿真结果比较,确定微扰动柑橘的运动规律。

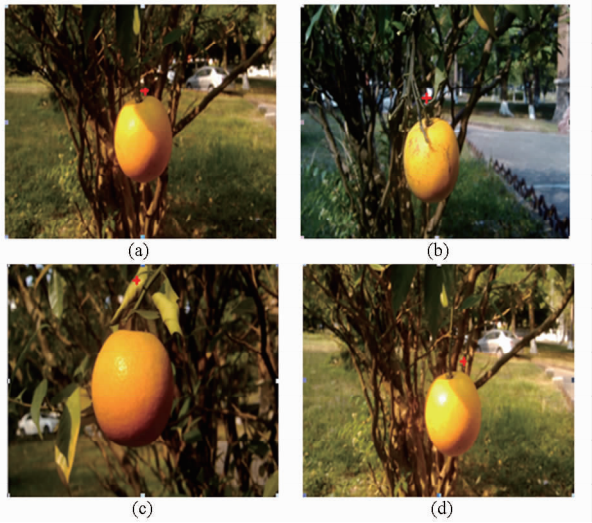

图 12 扰动柑橘的采摘点确定错误的效果图

Fig. 12 Error picking point to be determined for disturbance citrus

(a) 采摘点靠近果实 (b) 采摘点不在果梗上情况 1 (c) 采摘点在树叶上 (d) 采摘点不在果梗上情况 2

(2) 进行了微扰动柑橘的识别与采摘点的确定研究。选取 *Cb* 分量图进行图像分割,通过改进 K-means 聚类法结合优化的 Hough 变换圆检测法,实现了扰动柑橘果实的识别;根据识别结果,利用 Hough 直线拟合确定有效的果梗区域,最终实现采摘点的确定。微扰动柑橘的识别与采摘点确定试验结果表明:本文方法有效识别柑橘并确定采摘点的成功率为 85%,算法处理时间为 7.58 ~ 9.24 s,为采摘机器人对扰动柑橘的采摘提供了理论基础与技术支持。

参 考 文 献

1 熊俊涛,邹湘军,陈丽娟,等. 荔枝采摘机械手果实识别与定位技术[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2012, 33(1): 1 - 5.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Fruit recognition and positioning technology of litchi picking manipulator[J]. Journal of Jiangsu University: National Science Edition, 2012, 33(1): 1 - 5. (in Chinese)

2 Raphael Linker O C A N. Determination of the number of green apples in RGB images recorded in orchards[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 45 - 57.

3 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)

4 吕强, 蔡健荣, 赵杰文,等. 自然场景下树上柑橘实时识别技术[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2):185 - 188.
Lü Qiang, Cai Jianrong, Zhao Jiewen, et al. Real-time recognition of citrus on trees in natural scene[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2):185 - 188. (in Chinese)

5 蔡健荣,李玉良,范军,等. 成熟柑橘的图像识别及空间定位研究[J]. 微计算机信息,2007,23(12 - 1):224 - 226.
Cai Jianrong, Li Yuliang, Fan Jun, et al. Image recognition and three-dimens ional location of mature oranges from nature scene [J]. Microcomputer Information, 2007,23(12 - 1):224 - 226. (in Chinese)

6 周小军. 柑橘采摘机器人成熟果实定位及障碍物检测研究[D]. 镇江:江苏大学, 2009.

Zhou Xiaojun. Study on mature fruit location and obstaele detection for citrus picking robots[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese)
7 李玉良. 基于立体视觉的遮挡柑橘识别与空间匹配研究[D]. 镇江:江苏大学,2007.
8 赵晓西,徐松林,胡良明,等. 基于 SAP2000 与 ANSYS 建模方法的工程抗震应用[J]. 工业建筑,2010, 40(增刊): 334 – 336.
Zhao Xiaoxi, Xu Songlin, Hu Liangming, et al. Study on engineering seismic design based on SAP2000 and ANSYS modeling[J]. Industrial Construction, 2010, 40(Supp.): 334 – 336. (in Chinese)
9 赵娜, 李军向, 李成良. 基于 ANSYS 建模的风力机叶片模态分析及稳定性分析[J]. 玻璃钢/复合材料, 2010(6):14 – 17.
Zhao Na, Li Junxiang, Li Chengliang. Model analsis and stability analysis of wind turbing blades based on ansys modeling[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2010(6):14 – 17. (in Chinese)
10 彭红星,邹湘军,郭艾侠,等. 基于探索性数据分析的柑橘部位颜色模型分析与识别[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊 1): 253 – 259.
Peng Hongxing, Zou Xiangjun, Guo Aixia, et al. Color model analysis and recognition for parts of citrus based on exploratory data analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(Supp. 1):253 – 259. (in Chinese)
11 郭宙, 杨学智, 司银楚, 基于 K-均值聚类的常用色彩空间舌质舌苔分割研究[J]. 北京中医药大学学报, 2009, 32(12): 819 – 821
Guo Zhou, Yang Xuezhi, Si Yinchu. Segmentation of tongue body and fur based on common color space of K-means clustering [J]. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2009, 32(12):819 – 821. (in Chinese)
12 曹志广,陈玮,马如豹. K 均值和最大加权熵在彩色图像分割中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(21):174 – 177.
Cao Zhiguang, Chen Wei, Ma Rubao. Application of Kmeans and maximum weighted entropy on color image segmentation[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(21): 174 – 177. (in Chinese)
13 吕明磊,刘冬梅,曾智勇. 基于改进 K-means 算法的图像检索方法[J]. 计算机应用, 2013,33(增刊 1) : 195 – 198.
Lü Minglei, Liu Dongmei, Zeng Zhiyong. Novel image retrieval method based on improved K-means algorithm[J]. Journal of Computer Applications, 2013,33(Supp. 1): 195 – 198. (in Chinese)
14 尚璐,李锐,宋信玉. 改进的 Hough 变换圆检测算法[J]. 电子设计工程, 2011,19(14): 168 – 171.
Shang Lu, Li Rui, Song Xinyu. Improved Hough transform circle detection algorithm[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(14): 168 – 171. (in Chinese)
15 叶敏, 邹湘军, 蔡沛锋,等. 水果采摘机器人通用夹持机构设计[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):177 – 180.
Ye Min, Zou Xiangjun, Cai Peifeng, et al. Clamping mechanism of fruits harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):177 – 180. (in Chinese)
16 项荣,应义斌,蒋焕煜. 田间环境下果蔬采摘快速识别与定位方法研究进展[J]. 农业机械学报,2013,44(11):208 – 223.
Xiang Rong, Ying Yibin, Jiang Huanyu. Development of real-time recognition and localization methods for fruits and vegetables in field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(11):208 – 223. (in Chinese)

Real-time Identification and Picking Point Localization of Disturbance Citrus Picking

Xiong Juntao[1]　Zou Xiangjun[2]　Peng Hongxing[1]　Chen Wenguang[1]　Lin Guichao[2]
(1. *College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*
2. *Key Lab of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: The visual identification technology of mature citrus fruits in the condition of disturbance had been studied. Firstly, analyzing disturbed citrus in ANSYS, so as to confirm the law of motion was the simple pendulum movement. Secondly, processing video image of the disturbed citrus, by using the improved K-means clustering method combined with Hough circle transform method to segment fruits. According to the image segmentation result, fitting the binary citrus image using Hough line method. With constraint of straight slope between $-0.45 \sim 0.45$, disturbed citrus' picking positions were determined ultimately. Test results show that this method could identify the disturbed citrus effectively in the natural environment, and the recognition rate of picking position was 85%, with processing time within 7.58 s to 9.24 s. The study provides the theoretical foundation and technical support for the visual localization of disturbed fruits.

Key words: Citrus　Picking manipulator　Disturbance　Picking point　Dynamics analysis　Visual identification