

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.030

苹果采摘机器人果实识别与定位方法*

司永胜^{1,2} 乔军³ 刘刚² 高瑞² 何蓓²

(1. 河北农业大学信息科学与技术学院, 保定 071001; 2. 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; 3. 中国农业大学网络中心, 北京 100083)

【摘要】 提出了利用归一化的红绿色差 $(R - G)/(R + G)$ 分割苹果的方法。对不同光照情况下拍摄的苹果图像进行了识别,并对识别后的图像进行预处理后,获得苹果的轮廓图像。对轮廓图像采用随机圆环法进行果实圆心、半径提取。通过建立基于面积特征与极线几何相结合的匹配策略实现双目视觉下的果实定位,对于搜索区域内面积相似的果实,通过计算垂直投影的互相关函数最大值的方法,得到排序基准线,然后根据顺序一致性原则进行匹配。实验结果表明:识别算法可以较好地消除阴影、裸露土壤等影响,识别率达到92%。采用随机圆环法,可以准确地提取果实的圆心、半径。在60~150 cm的距离范围内,测量误差小于2 cm。

关键词: 苹果 采摘机器人 机器视觉 图像识别 立体匹配 特征提取

中图分类号: TP242.6⁺2; TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)09-0148-06

Recognition and Location of Fruits for Apple Harvesting Robot

Si Yongsheng^{1,2} Qiao Jun³ Liu Gang² Gao Rui² He Bei²

(1. College of Information Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China 2. Key Laboratory of MOE on Modern Precision Agriculture System Integration Research, China Agricultural University, Beijing 100083, China 3. Network Centre, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

An apple recognition method with normalized color difference $(R - G)/(R + G)$ was presented. The apples in the images taken under different lighting conditions were recognized. Some pretreatments were applied to get contour images. The shape features of the apples were extracted from the contour images based on the method of random circle ring. A matching algorithm based on area feature and epipolar geometry was discussed to position the apples. The apples with similar areas were matched according to the principle of left-right order consistency by calculating the maximum value of cross-correlation function of vertical projections. The experiments results show that the proposed recognition method can eliminate influence of shade, and soil, to a certain extent. The recognition rate reaches 92%. The circle centers and radius are extracted precisely and rapidly based on the method of random circle ring. The errors are less than 2 cm when the measure distance is between 60 cm and 150 cm.

Key words Apple, Harvesting robot, Machine vision, Image recognition, Stereo matching, Feature extraction

引言

在自然光条件下,实现果实的准确识别与定位,是果蔬采摘机器人视觉系统的基础和关键技术,

直接影响采摘机器人的作业效率^[1]。为避免或减少自然光线的干扰,文献[2~3]采用热成像摄像机、激光成像装置等获取果树图像并进行处理,存在精度较低或实时性较差等缺陷。文献[4~7]对适

收稿日期: 2010-02-26 修回日期: 2010-04-30

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z255)和中国农业大学研究生科研创新专项资助项目

作者简介: 司永胜,讲师,中国农业大学博士生,主要从事机器视觉研究, E-mail: siyongsheng@hotmail.com

通讯作者: 刘刚,教授,博士生导师,主要从事电子信息技术在农业中的应用研究, E-mail: pac@cau.edu.cn

合的颜色空间、果实图像的分割、特征提取及定位等提出了不同的解决方案,取得了一定进展。由于作业环境的复杂性,特别是存在光照条件的不确定性和果实部分或完全遮挡问题,造成果实的识别率不高,采摘对象的智能化识别和定位问题还需要进一步研究^[8]。

本文通过“近二值图像”进行苹果识别,并利用随机圆环法(RCR)提取苹果图像的圆心、半径,同时采用特征匹配定位果实坐标。

1 苹果识别及图像预处理

1.1 果实识别

文献[7]先获得亮度 Y 与红色 R 的差值图像,通过计算果实与背景类间方差最大值求得最优分割阈值(以下称 $Y-R$ 法)。文献[4,6]对色 RGB 颜色空间色差分量 $2R-G-B$ 合成的图像进行 Otsu 自适应阈值分割(以下称 $2R-G-B$ 法)。 $Y-R$ 法在图像中果实与背景的比例相差较大时,分割效果较差。 $2R-G-B$ 法容易受到逆光和阴影的影响。同时,上述方法在背景含有裸露土壤时,效果较差。裸露土壤和苹果一样含有较多红色分量,难以进行分割。

苹果果实红色含量较多,而背景绿色含量较多,果实与背景的红绿色差有较大区别。为了减小光强的影响,对色差值进行归一化。本文采用归一化的红绿色差(D_{NRG})分割苹果与背景

$$D_{NRG} = \frac{R - G}{R + G} \quad (1)$$

其中, R 、 G 分别为像素在 R 、 G 通道灰度值。对 RGB 图像所有像素进行上述计算,其结果为元素取值范围在 $-1 \sim 1$ 之间的矩阵 M 。为显示此矩阵,对矩阵元素进行下述转换

$$f(x, y) = (M(x, y) + 1) / 2 \quad (2)$$

其中 $M(x, y)$ 为矩阵 x 行 y 列处元素值, $f(x, y)$ 为所得图像中坐标为 (x, y) 处像素灰度值。将所得图像称为 D_{NRG} 图像。

采用上述方法对苹果图像(图 1a)进行处理,得到图 1b 所示 D_{NRG} 图像。

图 1b 中果实目标比较模糊,对其采用直方图分析。在像素分布上,直方图“宽度”较窄,在直方图的左右两侧有部分背景像素数量较少,但灰度范围分布较广,这部分像素约占像素总体数量的 2%,即左右两侧各占 1%,因此,采用下式进行对比度增强

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \times 255 & (a \leq f(x, y) \leq b) \\ f(x, y) & (\text{其他}) \end{cases} \quad (3)$$

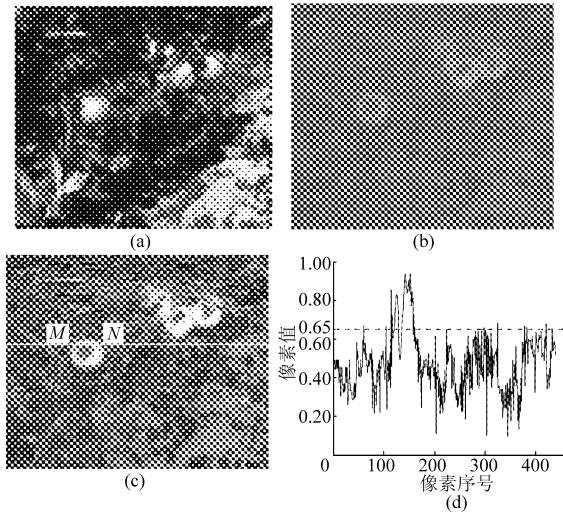


图 1 D_{NRG} 图像

Fig. 1 D_{NRG} image

(a) 原图 (b) D_{NRG} 图像 (c) 增强后 D_{NRG} 图像 (d) 剖面图

$$\begin{cases} \sum_0^a p(f(x, y)) = 0.01 \\ \sum_b^1 p(f(x, y)) = 0.01 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $f_{\min}$ 、 $f_{\max}$ —— D_{NRG} 图像中最小和最大灰度值
 $p(f(x, y))$ ——灰度值 $f(x, y)$ 出现的频率

图 1c 为对比度增强后的 D_{NRG} 图像。对图 1c 进行线剖面图分析,图 1d 是图 1c 中直线的线剖面图,其横坐标为剖面线的像素序号,纵坐标为像素的灰度值。图 1c 中剖面线上 MN 间像素点为苹果,其余点为背景,包括枝叶和土壤等。如图 1c 所示,在增强的 D_{NRG} 图像中,苹果果实的灰度值明显高于天空、土壤、枝叶等背景,果实与背景的分界线在 0.65 附近。因此,以 0.65 作为阈值对增强 D_{NRG} 图像进行分割,分割效果与其他分割算法的对比如图 2 所示。

1.2 图像预处理

图像预处理包括去除噪声和孔洞填充。采用 2×2 的正方形结构元素,进行形态学开运算、闭运算各一次,可有效去除较小噪声点^[1]。然后对形态学处理后的图像进行区域标记,并计算各个区域面积,去除面积小于最大面积 $1/8$ 的区域,可消除较大噪声点。在光线较强的照射下,果实表面会产生光斑,造成识别后的果实图像内部常出现孔洞,为便于进一步的图像处理,采用种子填充法进行区域填充^[9]。图 3a、3b 为左右摄像机拍摄的原图,对其采用本文方法分割并预处理后的图像如图 3c、3d 所示。

2 基于随机圆环法的果实形状特征提取

苹果的图像为不规则的圆形。求得圆心、半径

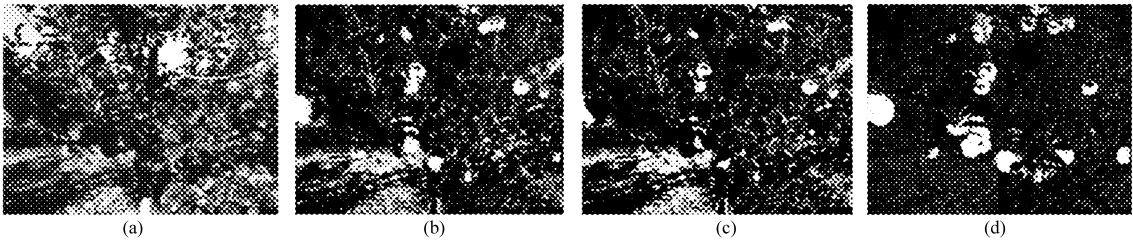


图 2 分割效果对比

Fig. 2 Comparison of segmentation result

(a) 原图 (b) $Y-R$ 法 (c) $2R-G-B$ 法 (d) 本文方法

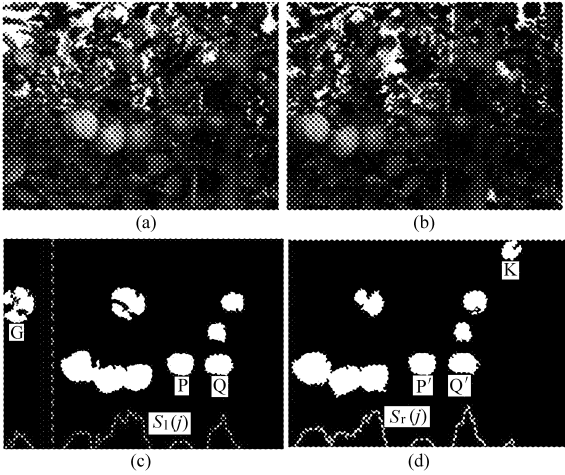


图 3 图像匹配

Fig. 3 Image matching

(a) 左图像原图 (b) 右图像原图

(c) 左图像二值图 (d) 右图像二值图

前对预处理后的图像进行 8 连接边界提取,得到果实的轮廓图像。利用 Hough 变换(Hough transform, 简称 HT)可以提取果实的圆心坐标、半径等形状特征^[4,6],但 HT 在处理果实图像邻接、重叠等情况时效果不好^[10]。苹果轮廓图像为不规则圆形,其像素点不可能精确的在某一圆上,而是大部分位于一定的圆环内。取轮廓图像上任意不共线三点,可以确定一个圆,设该圆圆心、半径分别为 $O(O_x, O_y)$ 和 r 。以该圆为中心,给定宽度范围 r_w ,可确定一个圆环。如果轮廓图像上坐标为 (x, y) 的像素点在此圆环内,则满足

$$r - \frac{r_w}{2} \leq \sqrt{(x - O_x)^2 + (y - O_y)^2} \leq r + \frac{r_w}{2} \quad (5)$$

统计圆环内苹果轮廓像素点数,点数越多,拟合效果越好。受拍摄距离的限制,图像上的苹果半径在一定范围内,定义此范围内的半径为约束半径^[11],式(5)中 r 应在约束半径范围内。具体算法为:

(1) 建立包含所有轮廓点的数据空间 V ,确定圆环宽度 r_w 、约束半径范围和循环次数 N 。循环次数计数器 s 清零。

(2) 由 V 中任意取 3 点,计算其外接圆半径 r 。

(3) 如果半径 r 在约束半径范围内,则 $s = s + 1$,并统计内外圆半径分别为 $r - \frac{r_w}{2}$ 和 $r + \frac{r_w}{2}$ 的圆环内的像素点数。否则,返回步骤(2)执行。

(4) 如果 $s < N$,返回步骤(2),否则,查找包含像素点最多的圆环,其所对应 3 点所确定的圆为果实轮廓所在圆,提取其圆心 O_c 和半径 r_c 。

(5) 以 O_c 为圆心, $1.1r_c$ 半径画圆,将该圆范围内轮廓点转换为背景点。并求取剩余轮廓点外接矩形,设剩余轮廓点的外接矩形中长为 a ,若 a 大于约束半径下限,则认为图像内还有其他果实,返回步骤(1)执行。否则,程序结束。

步骤(1)中, r_w 的选择应略大于果实图像半径的方差,可采用 4~6 像素。循环次数 N 越大,提取的半径之间方差越小, N 达到一定值时,每次提取的半径之间方差趋于零,由此关系可确定循环次数。

3 果实的定位

3.1 双目立体匹配

图像的匹配可分为基于灰度的匹配或基于特征的匹配。与基于灰度的匹配相比,基于特征的匹配对光照变化、遮挡等具有较好的适应能力。果实的颜色和纹理相似,不适合作为匹配特征。在识别后的二值图像中,不同果实的形状由于遮挡、邻接等原因有较大区别,而同一果实在左右图像中有相似的几何属性,本文采用几何属性中的面积特征进行匹配。两个摄像机水平放置且光轴平行,根据极线约束原理,在左右图像中,同一果实在同一高度范围内,即搜索范围可缩小为与被匹配果实等高的矩形区域。具体方法为:分别检测左右图像中与被匹配果实等高的矩形区域内的果实数目 N_l 和 N_r 将左侧图像中的每个果实依次和右侧图像中 N_r 个果实进行面积相减,左侧每个果实和右侧 N_r 个果实相减后都得到 N_r 个面积差,取最小值,并标记对应关系(即该最小值所对应的两个果实在两个图像中的次序)。对左侧图像中所有果实进行上述处理,得到

N_1 个最小值。根据 N_1 个最小值及对应关系进行匹配。

经极线约束, 误匹配可能性减小。但同一搜索区域内仍有可能出现多个面积相似的果实, 如图 3d 所示, 和图 3c 中果实 P 等高的区域内有 P' 和 Q' 两个果实, 需要其他信息或约束进行进一步判别, 以便得到唯一的准确匹配。根据图像匹配的顺序一致性约束, 即左右图像极线上的系列点有相同的顺序, 可以判断两个果实的对应关系。然而在实际作业过程中, 由于拍摄位置的不同, 某些果实在另外的图像中没有对应图像, 如果果实 G 和果实 K, 难以直接利用顺序一致性约束进行匹配。图 3c 相当于将图 3d 向右平移一定距离得到的图像, 在图 3c 中可找到一条基准线, 基准线的右侧的果实和图 3d 中果实排列次序相同, 进而可以利用顺序一致性约束对面积相似的果实进行匹配。为求得该基准线, 首先对二值图像进行垂直投影, 将图像中像素的像素值在垂直方向进行累加, 即

$$S(j) = \sum_{i=1}^h I(i, j) \quad (j=1, 2, \dots, M) \quad (6)$$

式中 $I(i, j)$ 为点 (i, j) 处的灰度值 (0 或 1)。对左右二值图像分别进行上述计算, 得曲线 $S_l(j)$ 和 $S_r(j)$ 如图 3c、3d 所示。左右图像内容相差不大, 因而, 两条曲线相似, 可以通过互相关函数法求得基准线, 互相关函数 $R(n)$ 为

$$R(n) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_r(j) S_l(j+n) \quad (n=1, 2, \dots, M) \quad (7)$$

设 $j=j_{\max}$ 时 $R(n)$ 取得最大值, 则直线 $j=j_{\max}$ 为所求基准线。图 3c 中虚线为按上述方法求得的基准线。搜索区域出现面积相似情况时, 如果左图像中果实在基准线左侧, 则不进行匹配, 否则, 按果实在基准线右侧的次序及右图像中次序, 根据顺序一致性约束进行匹配。

3.2 双目视觉定位模型

本文采用双目立体视觉技术进行果实定位。果实三维位置信息的计算原理如图 4 所示,

假定两摄像机内部参数相同, 光轴相互平行, 成像平面 $X_1^* O_1 Y_1^*$ 和 $X_2^* O_2 Y_2^*$ 重合。两个摄像机的光心 O_1 和 O_2 间距离, 即基线距离为 B 。C 点为果实上一点, C_l 和 C_r 分别为 C 点在成像平面上的成像点。为简化计算, 不妨设世界坐标系与左摄像机坐标系重合, 设 C 点世界坐标为 (X_c, Y_c, Z_c) , C_l 和 C_r 的图像坐标分别为 (X_l^*, Y_l^*) 和 (X_r^*, Y_r^*) , 因两图像在同一平面上, 两纵坐标相同, 即 $Y_l^* = Y_r^* = Y^*$, 则 C 点在世界坐标系下的坐标^[11]

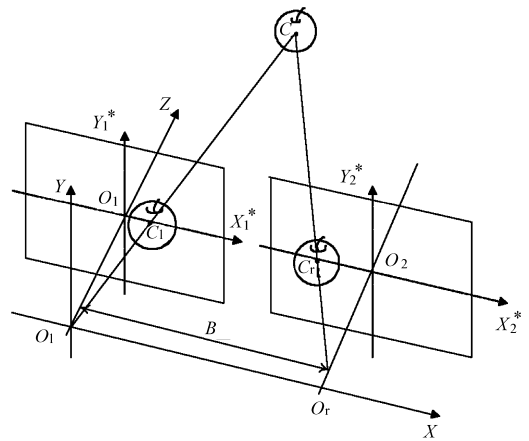


图4 双目立体视觉的定位原理

Fig. 4 Scheme of binocular

$$\begin{cases} X_c = \frac{BX_l^*}{X_l^* - X_r^*} \\ Y_c = \frac{BY^*}{X_l^* - X_r^*} \\ Z_c = \frac{Bf}{X_l^* - X_r^*} \end{cases} \quad (8)$$

其中 f 为摄像机焦距。若 C_l 和 C_r 分别为左右果实图像的圆心, 根据式 (8) 得出的结果为果实中心的三维坐标。同理, 根据特征提取出圆心、半径及式 (8) 可求出果实实际半径值。

4 实验及结果

4.1 实验材料

视觉系统所用的两台摄像机为北京微视公司的 CMOS 彩色摄像机 (型号 MVC1000SAC-GE30), 焦距 6 mm 两摄像机间基线长度为 20 cm。实验所用果树为北京市兴寿果园苹果树, 苹果品种为红富士。对不同光照条件下采集的 130 幅图像 (图像格式为 bmp, 图像大小为 640×480 像素。) 进行了果实识别、特征提取实验。对 80 幅图像 (左右图像各 40 幅) 进行了匹配实验。为检测系统定位精度, 在自然光照下进行了果实测距实验, 测距仪器为德国 Hilti 公司 PD4 型激光测距仪。软件环境为 Matlab R2008a 和 Visual C++ 6.0。

4.2 实验结果

在 Matlab R2008a 编程环境下, 对所采集图像利用归一化红绿色差法进行了果实与背景的分割及图像预处理, 130 幅图像中共计苹果 847 个 (统计遮挡面积小于 1/2 的果实), 成功识别苹果 781 个, 成功率 92%。

在 Visual C++ 6.0 编程环境下, 对上述识别后的果实进行了圆心、半径提取。由图 3d 中的果实边缘提取获得轮廓图像, 然后分别采用 HT 法和随机

圆环法 (RCR) 提取圆心、半径,其中 RCR 法中圆环宽度 r_w 取 5 像素,循环次数为 200 次,约束半径范围为 30 ~ 60 像素。结果如图 5 所示。

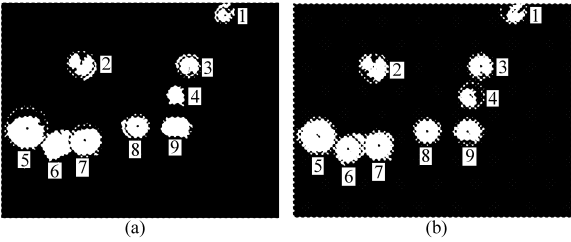


图 5 不同方法圆提取结果

Fig. 5 Results of circle extraction by different methods

(a) HT 法提取 (b) RCR 法提取

匹配实验的图像中,在左右图像中都出现的果实 296 个,其中正确识别 291 个。错误匹配主要原因是两个果实在一副图像中分离而在另外图像中发生邻接。

为检测定位精度,在自然光条件下,用立体摄像机对果实进行测距实验。在 60 ~ 150 cm 范围内,每隔 50 mm 对果实进行测距实验,实验 3 次,实验用果实半径为 4.5 cm,实际距离与测量误差如图 6 所示。

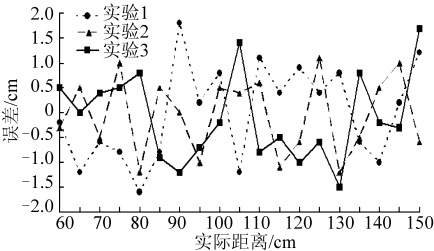


图 6 测量距离与误差关系曲线

Fig. 6 Relationship between distance and error

4.3 结果讨论

从图 2 可以看出,在自然光照情况下,本文归一化红绿色差法的苹果识别算法能够在一定程度上克服阴影、裸露土壤等因素的影响。通过对 130 幅图像的识别实验表明,识别效果较好,识别率较高。分析产生误识别的主要原因有两点:一是部分拍摄图像光圈调整较大,造成图像曝光过度,二是部分图像黄昏时逆光拍摄,图像中枝叶等部分红色分量增加,

导致误识别。

通过图 5 中 9 个果实的圆提取结果表明,对于轮廓无遮挡且圆形成度较高的单个果实,如果实 3 和 8,两种方法都可以较好的进行圆提取,RCR 法效果稍优于 HT 法。对于轮廓遮挡较多或果实轮廓与圆形相差较大的果实,如果实 1、2、4、9,RCR 法效果明显优于 HT 法,其中果实 4 和 9 利用 HT 法不能成功进行圆提取。对于邻接果实,果实 5 和 7 利用两种方法都可以进行圆提取,结果略有差别,而果实 6 只能用 RCR 法进行圆提取。因此,RCR 法的圆心、半径提取效果优于 HT 法。

从图 6 可看出,在 60 ~ 150 cm 范围内,测量误差变化具有随机性,3 组实验最大误差小于 2 cm。受机械臂长度的限制,在采摘作业过程中,摄像机距离果实一般为 60 ~ 150 cm。采摘机械手采用气动柔性末端执行器^[12],其设计抓取物为半径 8.5 cm 的球体,采摘作业对象为矮化苹果树,果实半径一般小于 5.5 cm,最大果实半径与最大定位误差之和小于气动末端执行器设计抓取物半径,定位精度可以满足采摘作业的需要。苹果形状不是标准的圆形,提取的圆心、半径误差是造成测距误差的主要原因。测距精度的影响因素较多,除上述算法原因外,摄像机标定的质量是影响测距的重要因素,实验中采用的标定软件为 Small Vision System。

5 结束语

采用归一化红绿色差法,对自然光照下的红色苹果进行了识别。实验结果表明,该方法可以较好地消除阴影、裸露土壤等影响,识别率达到 92%,算法在图像曝光过度及黄昏逆光情况下识别效果较差。采用随机圆环法,可以准确地提取果实的圆心、半径,对于轮廓部分遮挡及邻接果实,算法同样可以取得较好效果,具有一定的抗干扰性。基于面积特征和极线约束及顺序一致性约束的匹配算法可以可靠地进行图像匹配。在 60 ~ 150 cm 的距离范围内,测量误差小于 2 cm,可以满足实际采摘作业的需要。

参 考 文 献

1 司永胜,乔军,刘刚,等. 基于机器视觉的苹果识别和形状特征提取[J]. 农业机械学报, 2009,40(8):161 ~ 165.
Si Yongsheng, Qiao Jun, Liu Gang, et al. Recognition and shape features extraction of apples based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(8):161 ~ 165. (in Chinese)
2 Stajanko D, Lakotaa M, Hočevaa 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.
3 Jiménez A R, Ceres R, Pons J L. A vision system based on a laser range-finder applied to robotic fruit harvesting[J]. Machine Vision and Applications, 2000,11(6):321 ~ 329.
4 王雅琴,高华. 自然环境下水果图像分割与定位研究[J]. 计算机工程, 2004,30(13):128 ~ 129.

- Wang Yaqin, Gao Hua. Study on the segmentation and orientation of fruit image under natural environment [J]. Computer Engineering, 2004,30(13):128 ~ 129. (in Chinese)
- 5 尹建军,毛罕平,王新忠,等. 不同生长状态下多目标番茄图像的自动分割方法[J]. 农业工程学报, 2006,22(10):149 ~ 153.
Yin Jianjun, Mao Hanping, Wang Xinzong, et al. Automatic segmentation method for multi-tomato images under various growth conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(10):149 ~ 153. (in Chinese)
- 6 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)
- 7 Bulanon D M, Kataokab T, Ota Y, et al. A segmentation algorithm for the automatic recognition of Fuji apples at harvest[J]. Biosystems Engineering,2002, 83 (4): 405 ~ 412.
- 8 蔡健荣,范军,李玉良,等. 基于遗传算法的树上柑桔形状特征提取[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2007,28(6): 469 ~ 472.
Cai Jianrong, Fan Jun, Li Yuliang, et al. Shape feature extraction of on tree citrus based on genetic algorithms[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007,28(6):469 ~ 472. (in Chinese)
- 9 赵杰文,刘木华,杨国彬. 基于 HIS 颜色特征的田间成熟番茄识别技术[J]. 农业机械学报, 2004,35(5):122 ~ 124.
Zhao Jiewen, Liu Muhua, Yang Guobin. Discrimination of mature tomato based on HIS color space in natural outdoor scenes [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2004,35 (5): 122 ~ 124. (in Chinese)
- 10 Alessio Plebe, Giorgio Grasso. Localization of spherical fruits for robotic harvesting[J]. Machine Vision and Applications, 2001, 13(2): 70 ~ 79.
- 11 张广军. 机器视觉[M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 2005.
- 12 鲍官军,高峰,荀一,等. 气动柔性末端执行器设计及其抓持模型研究[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 121 ~ 126.
Bao Guanjun,Gao Feng, Xun Yi, et al. Flexible end-effector based on flexible pneumatic actuator and its grasping model [J]. Transactions of the CSAE,2009,25(10):121 ~ 126. (in Chinese)
- 13 周俊,刘锐,张高阳. 基于立体视觉的水果采摘机器人系统设计[J]. 农业机械学报,2010,41(6):158 ~ 162.
Zhou Jun, Liu Rui, Zhang Gaoyang. Design of fruit harvesting robot based on stereo vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(6):158 ~ 162. (in Chinese)
- 14 李理,殷国富,刘柯岐. 田间果蔬采摘机器人视觉传感器设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(5):152 ~ 157, 136.
Li Li,Yin Guofu,Liu Keqi. Design and experiments of vision sensor for harvest robots in field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(5):152 ~ 157,136. (in Chinese)
- 15 张凯良,杨丽,张铁中. 草莓采摘位置机器视觉与激光辅助定位方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):151 ~ 156.
Zhang Kailiang,Yang Li,Zhang Tiezhong. Object locating method of laser-assisted machine vision for strawberry-harvesting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):151 ~ 156. (in Chinese)
- 16 蔡健荣,周小军,王锋,等. 柑橘采摘机器人障碍物识别技术[J]. 农业机械学报,2009,40(11):171 ~ 175.
Cai Jianrong,Zhou Xiaojun,Wang Feng, et al. Obstacle identification of citrus harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(11):171 ~ 175. (in Chinese)