

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.052

# 荔枝采摘机械手视觉定位系统设计\*

熊俊涛<sup>1</sup> 邹湘军<sup>2</sup> 彭红星<sup>2</sup> 吴定中<sup>2</sup> 朱梦思<sup>2</sup>

(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省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**【摘要】** 建立了基于双目立体视觉的荔枝采摘机械手视觉定位系统。通过对成熟荔枝颜色特征的分析,选取 YCbCr 颜色模型进行处理,利用 Otsu 算法结合模糊 C 均值聚类法 (FCM) 对荔枝果实和果梗进行了分割,实验结果表明:有效识别果实和果梗的正确率为 94.2%。通过计算果实质心与果梗的距离最大值确定荔枝采摘点,利用基于色调空间的彩色图像匹配法和极限约束法进行果梗采摘点的立体匹配,实现了采摘点的空间定位。通过定位误差分析,采用直线插值法进行定位误差补偿,定位实验结果表明:定位的深度误差小于 10 mm,能满足荔枝机械手视觉精确定位的要求。

**关键词:** 荔枝 采摘机械手 机器视觉 图像识别 空间定位

**中图分类号:** TP391.41; TP241.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0250-06

## Design of Visual Position System for Litchi Picking Manipulator

Xiong Juntao<sup>1</sup> Zou Xiangjun<sup>2</sup> Peng Hongxing<sup>2</sup> Wu Dingzhong<sup>2</sup> Zhu Mengsi<sup>2</sup>

(1. School of Information, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

### Abstract

A visual positioning system of litchi picking manipulator was established based on the binocular stereo vision. By analyzing the color features of mature litchi, the YCbCr color model was selected. The Otsu algorithm was combined with fuzzy C-means clustering (FCM) to segment litchi fruit and peduncle. The experimental results showed that the effective recognition accuracy of litchi fruit and peduncle reached to 94.2%. The maximum distance between the fruit centroid and peduncle was calculated to determine litchi picking point. The color image matching method based on hue component of color image and the limiting binding method were used to achieve the stereo match of picking point, which realized the spatial position of picking point. Through the analysis of position error, the linear interpolation method was used to realize the positioning error compensation. The positioning experimental results showed that the depth value error was less than 10 mm, which could satisfy the visual accurate position requirements of litchi manipulator.

**Key words** Litchi, Picking manipulator, Machine vision, Image recognition, Spatial positioning

### 引言

果蔬采摘机器人是一类针对水果和蔬菜,通过

编程来完成采摘任务的具有感知能力的自动化机械收获系统<sup>[1]</sup>。开发具有视觉功能的智能化果蔬采摘机器人,对于提高农业生产力有极大的应用价值

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-07-17

\* 国家自然科学基金资助项目(31201135、31171547、51175189)和广东省自然科学基金资助项目(S2011010001933)

作者简介: 熊俊涛, 实验师, 博士, 主要从事计算机图像处理和机器视觉研究, 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

与现实意义。国外发达国家如日本、英国、美国等一直致力于采摘机器人的研究工作<sup>[2-6]</sup>,我国也有很多采摘机器人的相关研究<sup>[7-11]</sup>,涉及的对象有甜橙、苹果、西红柿、黄瓜、柑橘和草莓等,但在果实识别率、采摘成功率等方面还有待提高。根据采摘对象的不同状态实时有效感知与正确决策是采摘机器人发展面临的问题。

本文基于双目立体视觉构建一个荔枝采摘机械手视觉定位系统,通过分析成熟荔枝的颜色特征,选取合适的颜色模型进行荔枝果实和果梗的识别,确定果梗上有效的荔枝采摘点,实现荔枝采摘的空间定位,并对定位误差进行分析,确定误差补偿机制,提高定位精度,为荔枝采摘机械手精确作业提供指导。

## 1 采摘机械手视觉系统构建

整个机器视觉定位系统硬件包括 CCD 摄像机、图像采集卡、计算机和支架等<sup>[12]</sup>,其结构如图 1 所示。双目摄像头固定于支架上,为机械手提供目标位置。其中摄像头是中国大恒公司生产的 DH-HV3100FC 型数字摄像机,计算机操作系统是 Microsoft Windows XP,所用软件为 Matlab R2008 图像编程软件。

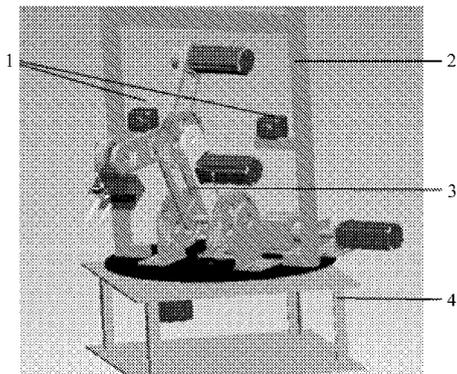


图 1 采摘机械手结构图

Fig. 1 Picking manipulator structure

1. 双目摄像头 2. 支架 3. 机械臂 4. 底座

## 2 果实识别定位

果蔬采摘机器人实现对果蔬的采摘,关键在于要获得果实精确的空间位置。识别与定位果实目标是采摘机器人的首要任务,它影响着果实采摘的成功率。

### 2.1 果实识别

利用图像处理技术识别果实的关键是确定合适的颜色模型和识别算法。对荔枝的彩色图像进行颜色特征分析,将采集的彩色荔枝图像转换到不同颜色模型,对比分析发现:YCbCr 颜色模型的 Cr 分量

图可以较好地 from 图像背景中区别出成熟荔枝及果梗。其中荔枝图像在 YCbCr 颜色模型的 Cr 分量图及其直方图如图 2 所示。由 Cr 直方图可以发现:曲线峰值点明显,适合阈值分割、模糊聚类算法处理得到目标区域。同时结合顺光、逆光的荔枝图像进行实验,发现 Cr 分量能很好地抑制天空背景、光线不均匀等因素的影响,最终选取 YCbCr 颜色模型进行荔枝图像分割。

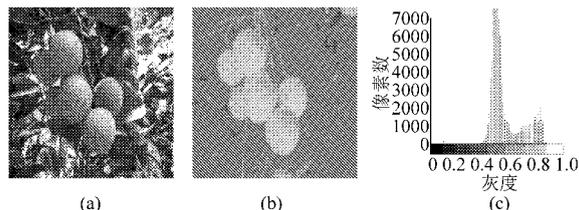


图 2 荔枝图像颜色模型分析

Fig. 2 Color model analysis of litchi image

(a) 原图 (b) Cr 分量图 (c) Cr 直方图

最大类间方差法(Otsu)又称为自适应阈值分割算法,适用于具有双峰直方图的图像分割,它根据图像的灰度特性,将图像划分成背景和目标 2 部分。背景和目标之间的类间方差越大,说明构成图像的 2 部分的差别越大。因此,使类间方差最大的分割意味着错分概率最小<sup>[13]</sup>。

模糊 C 均值聚类算法(FCM)通过优化目标函数得到每个样本点对所有类中心的隶属度,从而决定样本点的类属以达到自动对数据样本进行分类的目的。其实现原理为:假设样本集合为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in \mathbf{R}^m$ , 其中  $x_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{pj}]^T \in \mathbf{R}^p$  为数据元素,  $p$  为数据元素的维数,  $n$  为数据集中元素的个数。将样本分成  $c$  个模糊组,并求每组的聚类中心  $c_j (j=1, 2, \dots, c)$ , 使目标函数达到最小。目标函数为

$$\min J_m(U, c) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij}^m d_{ij}^2) \quad (m > 1) \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1 & (1 \leq j \leq n) \\ u_{ij} \in [0, 1] & (1 \leq i \leq c, 1 \leq j \leq n) \\ 0 < \sum_{i=1}^c u_{ij} < n & (1 \leq i \leq c) \end{cases}$$

其中  $d_{ij} = \|x_j - v_i\|$   $U = [u_{ij}]_{c \times n}$   
 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  
 $U$ ——模糊划分矩阵

$m$ ——权重因子,  $m=2$  时为 FCM 算法<sup>[14]</sup>

利用 Otsu 分割算法结合 FCM 算法,对荔枝彩色图像的 Cr 分量进行果实和果梗的分割,具体实现

过程如下:

(1) 将荔枝图像由 RGB 颜色空间转换到 YCbCr 颜色空间。

(2) 利用 Otsu 算法分割 Cr 分量图, 去除背景。

(3) 利用 FCM 算法对去背景后的 Cr 分量图进行聚类分割获得果实和果梗。

(4) 利用形态学去除残留噪声, 再通过区域标记法保留最大面积区域, 去除小区域噪声。

选取自然环境拍摄的荔枝彩色图像 120 幅, 进行目标果实和果梗的识别, 识别过程如图 3 所示, 识别结果统计如表 1 所示。

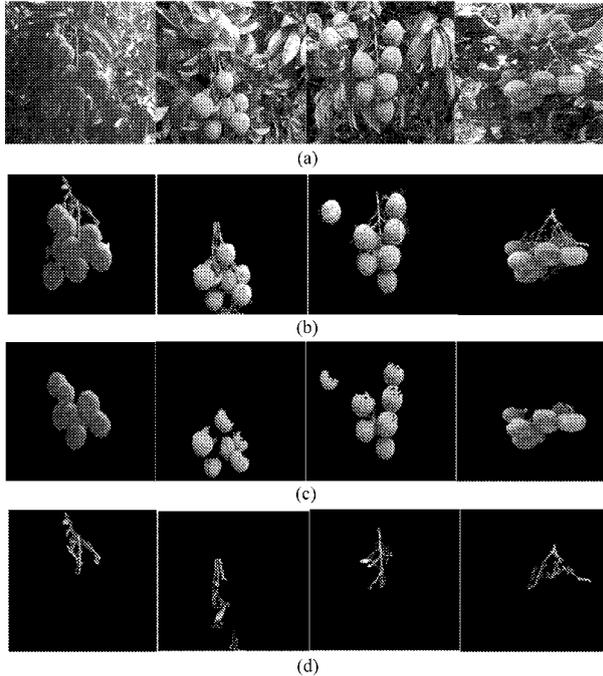


图 3 荔枝识别过程图像组

Fig. 3 Image group of litchi recognition process

(a) 原图 (b) 去背景 (c) 果实 (d) 果梗

表 1 成熟荔枝识别结果统计

Tab. 1 Recognition results statistics of mature litchi

参数	综合情况	顺光	逆光	遮阴	部分遮挡
图像总数/幅	120	35	30	25	30
正确识别数/幅	113	34	29	23	27
正确识别率/%	94.2	97.1	96.6	92.0	90.0

## 2.2 采摘定位

成熟荔枝的生长环境比较复杂, 使得采摘点的确定尤为困难。本研究只考虑成串荔枝果实与果梗连通的情况, 不考虑荔枝图像中果梗上采摘点和果实之间被树枝、树叶等其他噪声隔离的情况。根据荔枝的果实成串的生物特性, 确定采摘点的思路为: 把整串荔枝果实看成一个“果实”, 通过计算果梗上的点与“果实”的质心距离, 确定果梗上与质心距离最大的点为采摘点。荔枝采摘点的确定如图 4 所

示, 其中利用外接矩形来标识出果实区域, 然后计算出矩形中心即为果实质心, 图 4a 中星号标记处为确定的采摘点。

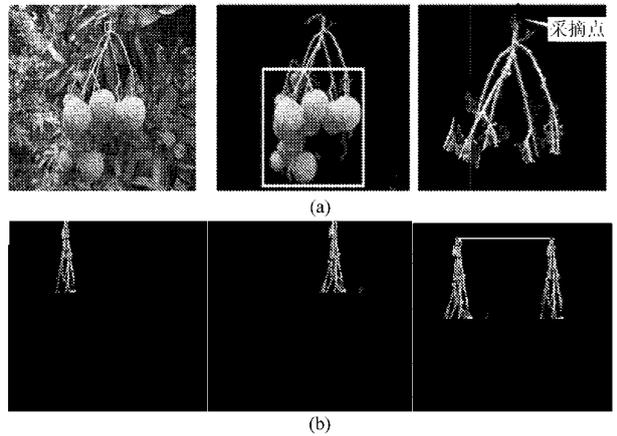


图 4 采摘点定位

Fig. 4 Positioning of picking point

(a) 采摘点的确定 (b) 采摘点立体匹配结果

确定果梗上的采摘点后, 下一步是要计算采摘点的空间位置。本研究采用基于色调空间的彩色图像匹配方法, 结合极线约束法实现立体图像对中采摘点的立体匹配<sup>[15-16]</sup>。其实现原理主要是利用彩色图像中景物的色调信息( $H$ 分量)具有恒常性, 它不易受到光照条件变化的影响, 同时利用立体图像对的匹配点间存在的极线约束关系, 减少匹配数据计算量, 提高匹配效率。具体实现流程:

(1) 将基准图像  $I_A$  (指定为图像对中左图) 上确定的采摘点由 RGB 空间转换到 HSV 空间得到其色调值  $H_A$ , 同时将图像对中  $I_B$  (图像对中右图) 也由 RGB 空间转换到 HSV 空间得到对应的色调矩阵  $H_B$ , 通过依次计算色调值  $H_A$  与色调矩阵  $H_B$  中各个色调值的相关系数  $R, R(i, j) \in [0, 1], R(i, j)$  值最大处即为匹配点。

$$R(i, j) = H_A H_B^{ijT} / (H_A \sqrt{H_B^{ij} H_B^{ijT}}) \quad (2)$$

(2) 利用极线相似距离进行极线约束。极线相似距离的定义是: 两幅图像中的两个匹配点满足的极线约束关系为: 左图像中的某点  $p(x_i, y_i)$  的匹配点为右图中的  $p(x_j, y_j)$  必在其对应的极线上。这样正确的匹配点与极线的距离为零, 因此极线相似距离表示为

$$s_i = \left| \frac{ax_j + by_j + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right| \quad (3)$$

其中, 相应的极线为  $J = [a \ b \ c]^T$ , 匹配点越相似, 则极线相似距离越小。

利用上述方法进行果梗的采摘点的立体匹配能快速确定荔枝采摘的空间位置, 实现立体匹配结果如图 4b 所示。

### 3 定位精度分析与误差补偿

利用双目视觉系统进行空间定位,其定位精度是重点,本研究进行了视觉定位精度分析和误差补偿机制的构建。

#### 3.1 双目视觉标定

摄像机标定的目的是确定摄像机的图像坐标系与世界坐标系之间的对应关系。通过设计标定实验确定了双目视觉系统中摄像机的内外参数和两摄像机之间的最佳基线距离。

(1) 摄像机的内外参数标定。利用张正友标定法对双目视觉摄像头进行了内外参数的标定,获得了摄像机的相关参数,本双目视觉系统左、右摄像机同型号,左摄像机标定的参数为

$$\text{焦距: } f_c = [2\ 580.019\ 78\ 2\ 589.826\ 71]$$

图像主点坐标:  $[u, v] = [1\ 079.769\ 82\ 637.317\ 67]$

双目视觉系统的外参数是左、右摄像机之间的旋转矩阵  $R$  和平移向量  $T$

$$R = \begin{bmatrix} 1.000\ 0 & 0.002\ 8 & -0.001\ 8 \\ -0.002\ 8 & 0.999\ 8 & 0.019\ 9 \\ 0.001\ 8 & -0.019\ 9 & 0.099\ 8 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 122.740\ 43 \\ -0.627\ 86 \\ -1.938\ 64 \end{bmatrix}$$

(2) 基线距离的标定。双目视觉系统中两个摄像头之间的距离为基线距离,基线距离决定着双目视觉定位的有效范围,也影响定位精度。本研究进行基线距离标定实验:针对成熟荔枝的果实串的平均宽度为 160 mm 左右,选取了基线距离  $B$  分别为 90、100、110、120、130 和 140 mm,在深度距离 357 ~ 857 mm 范围(采用的摄像机的有效拍摄范围)进行深度测量实验。

实验过程主要是设定标定板与摄像机之间的不同距离,每间隔 50 mm 用双目立体视觉系统获得计算深度,同时利用与激光测距仪测量的实际深度之差得到一组深度误差数据;然后变换摄像头之间的基线距离,重复以上过程得到对应深度误差数据,共获得 6 个基线距离对应的 6 组深度误差,每个基线距离对应获得 11 个深度误差。

实验工具包括:激光测距仪、三角板、水平测试仪,同型号的 CMOS 图像传感器 DH-HV3100FC 型数字摄像机 2 台,实验桌台、标定板、Matlab 图像处理软件和计算机。

将获得的误差数据进行曲线拟合,分析误差数据的分布趋势,得到如图 6 所示的拟合曲线。由该

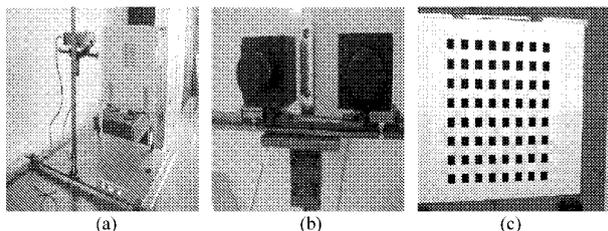


图 5 双目立体视觉实验平台

Fig. 5 Experiment platform of binocular stereo vision

(a) 视觉实验平台 (b) 双目摄像机 (c) 标定板

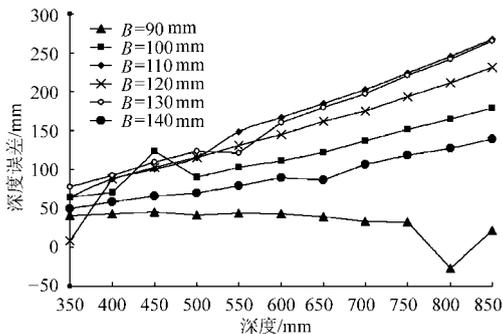


图 6 不同基线距离的深度误差曲线

Fig. 6 Curves of depth error for different baseline distances

图可发现:各个拟合曲线基本趋于线性变换,但在  $B = 120$  mm 时误差值的变化最趋于线性变化,则可以确定双目摄像头的最佳基线距离应取 120 mm。

#### 3.2 定位误差分析

双目立体视觉系统安装好,程序软件调试确定之后,测量精度就已经固定,其误差变化趋势也就固定<sup>[17]</sup>。根据双目视觉摄像头基线距离标定实验结果(图 6)可看出:同一个基线距离,深度与误差呈正比,即随着深度的增加,误差也不断增加,并且增长方式接近于线性正比趋势;不同基线距离间,深度误差曲线呈现的趋势较为一致,但曲线陡势稍有不同,则可得如下结论:同一基线距离的深度误差曲线可看成一次线性正相关,则可由直线公式  $y = kx + b$  表示。其中,  $k$  表示陡势,  $b$  表示节距,  $x$  表示深度,  $y$  表示误差。不同基线距离的  $k$  和  $b$  值不同,则得到  $y = k_i x + b_i$ 。由此可得到视觉定位的误差补偿思路:误差补偿可通过数据库和直线插值方法实现。具体实现和误差补偿过程为:

(1) 建立误差补偿数据库。选定深度范围  $[290\ \text{mm}, 880\ \text{mm}]$ , 每间隔固定距离  $d = 10\ \text{mm}$  测量真实深度  $z_m$ , 同时拍摄标定板图片经双目立体视觉图像处理计算得到深度  $z_c$ , 将对应的  $z_m$  和  $z_c$  写入数据库, 该建立的数据库为误差补偿数据库 ECDB, 供误差补偿时进行匹配查询。

(2) 获取荔枝的双目视觉定位值。设计视觉实验拍摄荔枝图像, 经过图像处理计算出荔枝采摘点

的深度  $z'_c$ 。

(3) 确定荔枝视觉定位误差补偿的深度。以  $z'_c$  为匹配模板, 查询误差补偿数据库 (ECDB) 的  $z_c$  数据项, 找出与  $z'_c$  绝对差最小的两个数据项, 利用两点确定一条直线原理求出  $y = kx + b$  中的  $k$  和  $b$ , 其中两点 (两个数据项) 坐标值中  $x$  为数据项中的深度,  $y$  为数据项中的误差; 然后令  $x = z'_c$  代入  $y = kx + b$  求出误差即为需要补偿的值  $z'_e$ , 将  $z'_c$  与  $z'_e$  求和即是补偿后的深度  $z'_a$ 。

### 3.3 误差补偿机制构建

研究 Microsoft Access 数据库软件与 Matlab 软件相结合, 实现误差补偿机制的建立。

(1) 建立误差补偿数据库。设计视觉定位实验获得测量深度、计算深度和误差之间的对应关系, 建立一个误差补偿数据库, 该数据库通过 Microsoft Access 数据库软件建立, 如图 7 所示, 该图中左边的数据表为 ECDB 数据的部分内容。

(2) 实现模糊查找。在 Matlab 中通过编写程序实现对 Access 数据库的模糊匹配查找, 查找规则设定为与计算深度绝对差最小的两项, 然后根据两个匹配项数据, 利用直线插值法计算补偿值, 进行补偿计算后得到最终深度, 其实现原理如图 7 所示。误差补偿匹配查找既可以通过计算深度查找, 也可以通过测量值进行匹配查找。

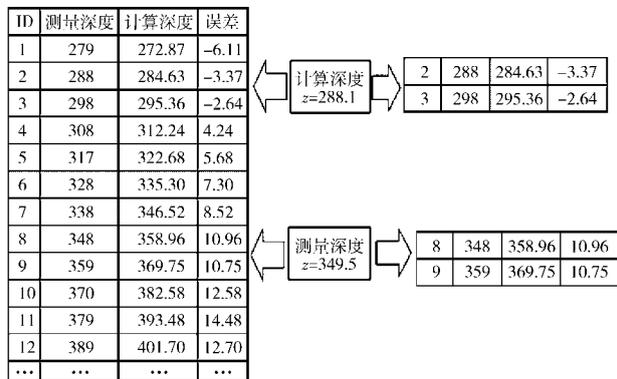


图 7 深度误差模糊匹配查找

Fig. 7 Fuzzy matching searching of depth error

(3) 补偿结果精度分析。通过荔枝采摘点的定位实验, 进行误差补偿机制的精度分析, 主要对误差补偿前、后的深度进行分析, 随机选取了不同的深度进行误差计算, 误差补偿后的深度误差小于 10 mm (表 2)。另外, 通过对采摘点位于图像平面不同位置时的定位实验, 可确定利用该误差补偿方法后定位深度误差都在 10 mm 内, 表明直线插值法的有效性。

## 4 视觉定位系统实现

采用 Matlab R2008a 作为开发平台, 在 Windows

XP 操作系统下开发了一个荔枝识别定位系统。该系统能处理室内、室外环境下采集的荔枝图像, 包括 5 个功能模块: 图像预处理、图像分割、图像识别、图像匹配和目标定位, 系统界面如图 8 所示。

表 2 深度的误差补偿精度分析

Tab. 2 Accuracy analysis of error compensation for depth data mm

$z'_m$	$z'_c$	$z'_a$	$z'_m - z'_a$
291	295.90	298.50	-7.50
310	320.43	315.06	-5.06
322	332.24	325.33	-3.33
331	341.22	333.28	-2.28
364	378.75	366.72	-2.72
373	388.86	375.19	-2.19
403	422.71	403.64	-0.64
423	442.46	421.46	1.54
442	467.59	444.11	-2.11
453	478.22	453.59	-0.59
562	601.19	560.00	2.00
582	622.94	586.36	-4.36



图 8 识别定位系统界面

Fig. 8 Identification and position system interface

## 5 结论

(1) 研究了成熟荔枝的颜色特征, 确定了在 YCbCr 颜色模型中采用 Otsu 算法结合模糊聚 C 均值聚类法进行荔枝图像分割, 有效地分割出了荔枝果实和果梗, 识别正确率达到 94.2%。

(2) 对分割后的果实进行了采摘点的定位, 采用质心与果梗距离最大法有效地确定了采摘点的位置, 利用基于色调空间的彩色图像匹配方法, 结合极线约束法实现采摘点的空间定位, 为机械手的采摘奠定了基础。

(3) 对荔枝采摘点的视觉定位精度进行分析,

根据深度误差分布趋势采用直线插值法进行了视觉定位误差补偿,补偿后定位的深度误差小于 10 mm,有效提高了视觉定位精度,为机械手的精准作业提供支持。

### 参 考 文 献

- 1 戴乃昌. 农业机器人的发展和应用初探[J]. 农机化研究, 2009(2): 241 ~ 243.  
Dai Naichang. Development and application about robot in agriculture[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(2): 241 ~ 243. (in Chinese)
- 2 Ceres R, Pons J L, Jiménez A R, et al. Design and implementation of an aided fruit harvesting robot (Agribot) [J]. Industrial Robot, 1998, 25(5): 337 ~ 346.
- 3 Shigehiko Hayashi, Karsunobu Ganno, Yukitsugu Ishii, et al. Robotic harvesting system for eggplants [J]. JATQ, 2002, 36(3): 163 ~ 168.
- 4 Bulanon D M, Burks T F, Alchanatis V. Study on fruit visibility for robotic harvesting [C] // 2007 ASABE Meeting, Paper No. 073124, 2007.
- 5 van Willigenburg L G, Hol C W J, van Henten E J. On-line near minimum-time path planning and control of an industrial robot for picking fruits [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 44(3): 223 ~ 237.
- 6 Naoshi Kondo, Koki Yata, Michihisa Iida, et al. Development of an end-effector for a tomato cluster harvesting robot [J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2010, 3(1): 20 ~ 24.
- 7 蒋焕煜, 彭永石, 申川, 等. 基于双目立体视觉技术的成熟番茄识别与定位 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 279 ~ 283.  
Jiang Huanyu, Peng Yongshi, Shen Chuan, et al. Recognizing and locating ripe tomatoes based on binocular stereo vision technology [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 279 ~ 283. (in Chinese)
- 8 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)
- 9 刘长林, 张铁中, 杨丽. 茄子收获机器人视觉系统图像识别方法 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 216 ~ 219.
- 10 纪超, 冯青春, 袁挺, 等. 温室黄瓜采摘机器人系统研制及性能分析 [J]. 机器人, 2011, 33(6): 726 ~ 730.  
Ji Chao, Feng Qingchun, Yuan Ting, et al. Development and performance analysis on cucumber harvesting robot system in greenhouse [J]. Robot, 2011, 33(6): 726 ~ 730. (in Chinese)
- 11 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)
- 12 邹湘军, 卢俊. 采摘机构机械与视觉关联定位实验平台: 中国, 200810027369.6 [P]. 2008-09-17.
- 13 Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 ~ 66.
- 14 Krishnapuran R, Fringui H, Nasraoni O. Fuzzy and possibilistic shell clustering algorithms and their application to boundary detection and surface approximation [J]. IEEE Transactions on Fuzzy System, 1995, 3(1): 44 ~ 60.
- 15 姜宏志, 赵慧洁, 梁宵月, 等. 基于极线校正的快速相位立体匹配 [J]. 光学精密工程, 2011(10): 2 520 ~ 2 525.  
Jiang Hongzhi, Zhao Huijie, Liang Xiaoyue, et al. Phase-based stereo matching using epipolar line rectification [J]. Optics and Precision Engineering, 2011(10): 2 520 ~ 2 525. (in Chinese)
- 16 兰海滨, 王平, 赵保军. 基于色调空间的彩色图像匹配算法 [J]. 计算机应用研究, 2009(3): 1 174 ~ 1 176.  
Lan Haibin, Wang Ping, Zhao Baojun. Image match algorithm based on hue component of color image [J]. Application Research of Computers, 2009(3): 1 174 ~ 1 176. (in Chinese)
- 17 Xiong J, Zou X, Zou H, et al. Design and research of camera calibration system in binocular stereo vision [J]. Key Engineering Materials, 2011, 460 ~ 461: 219 ~ 224.