

基于多方位视觉的果实形状特征的提取研究

谢国俊¹, 曹其新¹, 刘建政², 郭峰¹, 周金良¹

(1. 上海交通大学机器人研究所, 上海 200030; 2. 上海农业机械研究所, 上海 201106)

摘要: 针对传统瓜果分级中捕捉单幅果实图像来分析果实特征时信息较少的缺陷, 提出了一种基于多方位视觉系统的果实形状特征提取算法。同步采集 3 个方向的果实图像信息, 经 OHTA 空间上的图像分割和改进的 BLOB 算法去噪声等处理后, 分别给出果实的多方位的图像特征信息。运用统计学原理, 设计了线性分类器, 对 3 个方向的图像特征信息进行了互补性融合, 得出分级判别准则。利用开发的智能瓜果精选分级试验样机, 验证了该算法的有效性, 试验结果证明识别成功率达到 97%, 达到了实用的要求。

关键词: 多方位视觉; 瓜果分级; 线性分类器; 特征提取; BLOB 算法

中图分类号: TP274.3; TP242.62

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)7-0127-06

谢国俊, 曹其新, 刘建政, 等. 基于多方位视觉的果实形状特征的提取研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 127-132

Xie Guojun, Cao Qixin, Liu Jianzheng, et al. Method for fruit shape feature acquisition based on multidirectional vision [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 127-132 (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前, 基于机器视觉的农产品无损检测、分级技术已经成为国内外相关领域的研究热点。采用机器视觉代替人眼进行农产品分级, 可以排除疲劳、人为情绪等主观因素干扰, 避免因人而异的分选结果, 提高瓜果分级的准确率和效率, 应义斌, 曹其新等国内学者已进行了相关研究^[1-6]。国外瓜果分级技术的研究起步较早, 已经出现了大量的研究成果^[7,8], 开发的实时瓜果分拣系统已进入实用阶段, 其中最具代表性的是 Tao Y 于 1995 年研制成功的 Merling 高速高频机器视觉水果分级系统^[9]。和国外相比, 国内在该领域的研究大都停留在实验室阶段^[2,10]。在基于机器视觉的瓜果无损检测中, 能否准确提取果形特征是进行准确分级的关键。文献^[11]在用机器视觉技术进行黄花梨果形的识别方法研究中, 提出了采用傅立叶变换和傅立叶反变换来描述果形, 用边界点与形心之间的幅长函数作为封闭曲线在实域中的函数形式。文献^[12]将傅立叶描述方法引入到对苹果的形状识别中, 将果实区域的最大直径与边缘的

交点作为起始采样点, 解决了苹果果梗很多都是缺损而无法作为起始采样点的问 Hilditch 法对图像完成了边缘检测及边缘细化, 既保存了必要的图像原始信息, 又使得图像得到了平滑化处理。这些算法从一定程度上拓展了果实分级检测技术研究方法, 然而都是基于单摄像机固定在水果正上方来采集果实图像, 分析果实的各种特征。采用单个摄像机只能获取果实的有限局部信息, 鉴于果实实时分级检测时果实姿态的随机性, 仅仅根据对有限局部信息的分析来分级, 必然导致分级时误判率的增高。文献^[13]提出了一种基于多摄像机的果实分级系统, 然而仅仅给出了机构方面的设计, 对果实分级算法没有提及。本文构建了一个基于多方位视觉系统的水果分级系统, 应用 3 个 CCD 摄像机获取水果表面绝大部分信息, 采用实时有效的算法提取果实的形状特征, 根据统计学原理设计了线性分类器对 3 个通道的特征进行融合, 大大提高了水果分级的准确率。

1 多方位视觉系统

图 1 为多方位视觉模型的系统示意图, 采用了由 3 个 CCD 摄像机组成多方位果实图像采集系统, 两个 CCD 摄像机分别安装在被测水果左右上方, 相互之间成 120 夹角; 另一个摄像机(下文中称为主摄像机)垂直布置在托盘上方, 3 个摄像机采集的图像区域有一定重叠, 以保证不会遗漏果实表面信息。通过对采集的 3 幅果实图像进行融合, 提取出果实大小、颜色和形状的特征信息。

图 2 说明了两侧 CCD 摄像机的固定角度 θ 的确定方法。

收稿日期: 2005-08-15 修订日期: 2006-03-22

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(农科攻字(2001)第 2-1 号)

作者简介: 谢国俊(1981-), 男, 安徽池州人, 博士研究生, 研究方向为机器视觉。上海市华山路 1954 号 上海交通大学机器人研究所, 200030。Email: gjxie@sjtu.edu.cn

通讯作者: 曹其新(1960-), 男, 浙江温州人, 常务副所长, 教授, 博士生导师, 研究方向为全自主移动机器人、机器视觉、基于网络技术的智能控制、神经网络与模式识别。上海市华山路 1954 号 上海交通大学机器人研究所, 200030。Email: qxcao@sjtu.edu.cn

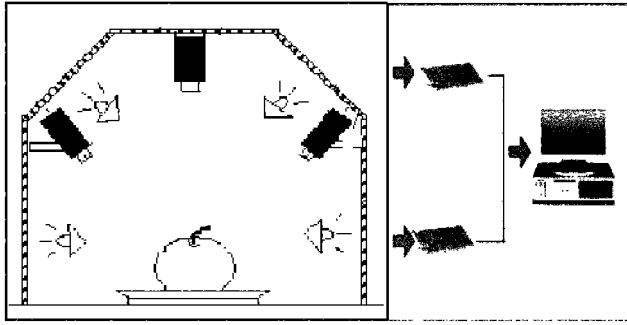


图 1 多方位视觉系统结构示意图

Fig 1 Block diagram of multi-direction vision system

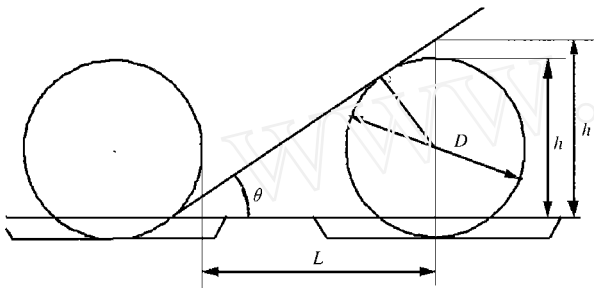


图 2 CCD 安装角度 θ 的确定

Fig 2 Determination of CCD fixed angle θ

应用平面几何知识, 从图 2 中可得到

$$\tan \theta = \frac{\frac{D}{2\cos\theta} - \frac{D}{2} + h}{L}$$

于是

$$\tan(\theta/2) = \frac{L - \sqrt{L^2 - h * (D - h)}}{D - h}$$

在这里, 水果假定为大尺寸, $D = 90 \text{ mm}$, 果盘长度为 140 mm , 盘间距为 45 mm , 于是可得 $L = \text{果盘长度} + \text{盘间距} - D/2 = 140 \text{ mm}$, 果盘高度为 25 mm , 考虑到大尺寸苹果的大径在 $85 \sim 95 \text{ mm}$ 之间, 于是 $h = 60 \sim 70 \text{ mm}$, 取 $h = 70 \text{ mm}$, 于是可以算出

$$\theta = 28.5734^\circ$$

于是可以取

$$\theta = 30^\circ$$

于是左右两侧 CCD 成 $\varphi = 180^\circ - 30^\circ - 30^\circ = 120^\circ$ 夹角布置, 能最大限度的得到果实的信息。

果实图像经图像采集卡采集到 PC 机的内存之后, 为提高图像处理的速度和效率, 采用多线程程序结构, 各线程之间通过事件来进行同步^[14], 如图 3 所示。之后运用线性分类器对 3 幅图像中的信息进行融合, 给出最后的判别准则。

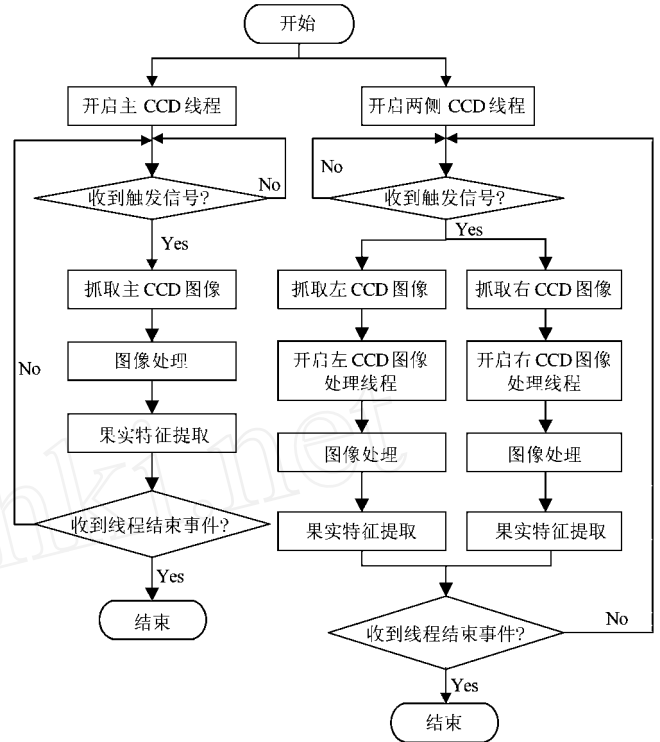


图 3 多线程图像采集处理程序流程图

Fig 3 Flow chart of multithread image acquiring and processing program

2 基于 OHTA 颜色空间的特征提取

20 世纪 80 年代马尔视觉计算理论在实际应用时遇到了困难。之后, J. A tomonos 提出了有目的的、定性的主动视觉理论, 认为马尔视觉计算理论抽取有用的视觉信息涉及太多的计算, 视觉系统在恢复客观世界时包含了太多不必要的东西。本文从有目的的主动视觉观点出发, 在成功采集到果实图像之后, 针对果实这一特殊研究对象, 合理设计算法, 提取果实特征, 减少运算量, 提高程序的运行效率, 主要过程如图 4 所示。

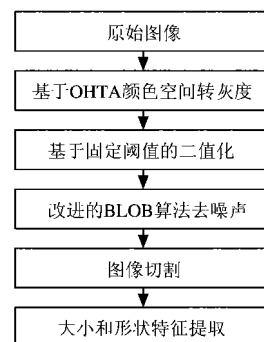


图 4 果实图像处理流程

Fig 4 Flow chart of fruit image processing

2.1 基于OHTA 颜色空间的彩色图像分割

选择合适的彩色空间对于彩色图像分割有重要意义。本文采用的OHTA 颜色空间, 和传统的HIS、HSV 颜色空间相比,OHTA 颜色空间与RGB 颜色空间的换算关系是线性的, 在使用时不会出现非线性颜色空间(如HIS、HSV 等)与RGB 颜色空间转换时出现的色彩奇异性问题; 而且计算简单。因此在彩色图像分割中取得了广泛的应用^[14, 15]。

文献[16]依据模糊集合理论, 提出了先验知识引导的自适应模糊阈值分割算法。试验表明该方法应用效果较好, 但考虑到自动阈值分割算法运算量大, 比较费时, 不适合应用在果实分选流水线作业。在光照比较均匀的情况下, 观察到采集到的果实图像和背景之间灰度阈值差别比较明显, 所以选用固定阈值分割的二值化方法。

2.2 改进的BLOB 算法去除噪声

果实分级流水线上采集到的图像不可避免存在着一定程度的噪声, 对后续算法的准确度造成了严重影响。采用传统中值滤波等降低噪声的方法效率较低, 需要对图像进行多次滤波才有可能使图像质量满足要求, 严重降低了分割算法的速度。从分割后产生的二值图像中可以看出, 果实和图像噪声之间在图形尺寸上存在较大差异, 为此本文充分利用了这一条件, 采用改进了的BLOB 算法滤去图像中噪声。算法步骤如下:

- 1) 根据分割算法的结果将图像二值化;
- 2) 对二值化图像进行一次遍历, 生成一个动态链表来记录图像中各个BLOB 的大小、位置等几何信息;
- 3) 在链表进行中查找尺寸最大的BLOB, 如果其尺寸超过设定的阈值, 则被认为是待选的果实区域; 否则认为图像中没有果实存在;
- 4) 将果实区域进行标记, 并记录每个连通区域标记的累积黑色点数, 选取累积值最大的区域为果实, 其它区域滤除。

2.3 果实图像切割

果实图像中有意义的像素只占图像的一部分, 基于定性的主动视觉的观点, 在去噪声之后对图像进行切割, 原理是: 从左到右, 垂直投影, 确定左右边界; 从上到下, 水平投影, 确定上下边界; 以上、下、左、右边界构成的区域, 剪切图像, 大大减少了后续运算时间。

图 5 为基于OHTA 颜色空间的图像处理整个过程的结果。

2.4 果实图像特征提取

瓜果分级是根据果实大小、形状、色泽和表面缺陷等几个方面进行的。获取准确的果实形状信息是分级的关键之一。果实形状的描述因子有果径 D , 面积 S 等。果实的形状表示方法分为两种, 一种是基于轮廓的形状表

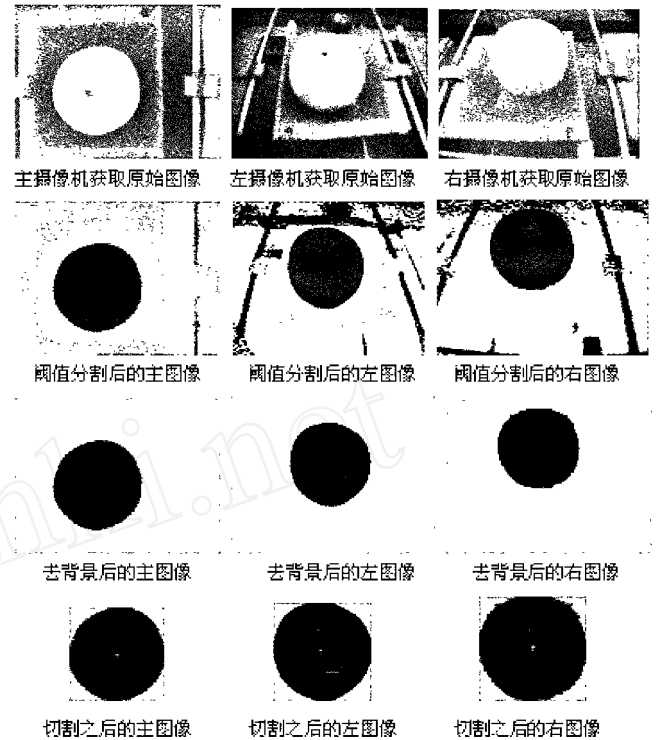


图 5 基于OHTA 颜色空间的图像处理结果
Fig. 5 Results of image processing based on OHTA space

示, 一种是基于区域的形状表示。文献[17]采用了基于轮廓的分割方法, 用与黄花梨梨体形心点和果梗与梨体交界点的连线垂直的最大直径来代表果宽的大小, 选择果宽作为分级时果形的特征。对于果蒂完好的球形果实对象, 该特征量的选取是可行的, 然而考虑到在果实分选流水线上, 果实的果蒂很难完整保存(如苹果、西红柿等), 所以该特征量不具备实用性。基于轮廓和基于区域的形状表示两种表示方式各有优点, 本文结合了两种表示方式的优点, 提取出了果实图像的形状特征, 算法具体步骤如下:

- 1) 分别计算不同方向上的 3 幅图像的面积

$$S_k = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} value(i, j) \quad \text{if } f(i, j) = 0$$

式中 $k = 1, 2, 3$; m —— 图像的高度; n —— 图像的宽度; $value(i, j)$ —— 常值 1; $f(i, j)$ —— 图像像素值。

- 2) 分别计算不同方向上的 3 副图像的形心坐标

$$x_0 = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} i \cdot f(i, j)}{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i, j)}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} j \cdot f(i, j)}{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i, j)}$$

式中 (x_0, y_0) —— 图像形心坐标。

- 3) 以形心坐标为原点, 建立直角坐标系, 从 x 轴正向开始, 以逆时针方向每隔 10° 过原点, 取一条直线方

向, 搜索图像的边缘点 (x_i, y_i) , 并计算出这一方向上的果径值 D_j , 其中 $i = 1, 2, \dots, 36$; $j = 1, 2, \dots, 18$; 18组果径值比较之后得到最大径与最小径, 得到果形的另一特征

$$L = D_{\max}/D_{\min}$$

式中 D_{\max} ——最大果径; D_{\min} ——最小果径。

4) 连接 18 组边缘点, 勾画出果实的外形, 为进一步研究形状特征创造了条件。

试验证明, 这种方法运算速度快, 满足实时分拣的需要; 提取到的边缘十分平滑(如图 6 所示), 虽然存在一定的误差, 但已可以对果实的外形特征进行定量的描述, 提高了后续分选算法的精度。

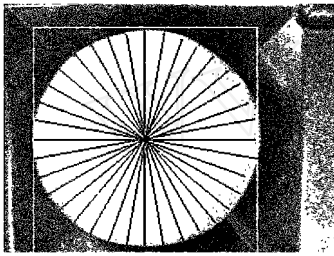


图 6 果实形状描述示意图

Fig 6 Block diagram of fruit shape

3 线性分类器的设计

在多方位视觉系统中, 分别由不同通道获得了果实的信息, 必须进行适当的融合, 来确定最精确的分类准则。多摄像机获取的信息, 进行互补性融合, 可以获得果实绝大部分表面信息, 大大提高了果实分级的准确性。应用统计学原理, 设计了一种线性分类器, 线性准则函数如下:

$$y = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 + k_0$$

式中 x_1, x_2, x_3 ——分别表示左、右、主摄像机所获得图像中提取出的果实特征, 包括果实面积, 果实圆整度, 果实着色度等; k_1, k_2, k_3 ——权值, 反应了各变量的重要程度; k_0 ——常数。

权值的确定方法一般分为两类, 即主观赋权评价法和客观赋权评价法。前者多采取定性的方法, 由专家根据经验进行主观判断而得到权数, 如层次分析法、模糊综合评判法等; 后者根据指标之间的相关关系或各项指标的变异系数来确定权数, 如灰色关联度法、TOPSIS 法等^[18]。对于瓜果分级而言, 如果采用主观赋权评价法来确定权值, 则只能针对特定的一种苹果来进行评价, 如换成另一种苹果, 那么权值就不再适用。为了扩大分类器的应用范围, 采用客观赋权评价法。

权值的确定方法如下:

1) 计算平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i$$

2) 确定各变量与均值间距离

$$\Delta x_i = |x_i - \bar{x}|$$

距离越小, 说明该变量 x_i 越接近最优值, 权值就应该越大。

3) 3 个变量分别求距离, 得到一个三维向量, 如下:

$$\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$$

对该向量归一化处理, 得到

$$\bar{n} = \frac{\bar{x}}{\bar{x}}, \text{ 其中 } \bar{x} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 x_i^2}$$

4) 权值的确定

由于变量 x_i 与均值距离越小, 说明该变量 x_i 越接近最优值, 权值就应该越大, 所以确定权值如下:

$$k_i = \frac{1}{3} - n_i, \quad i = 1, 2, 3$$

式中 n_i ——归一化单位向量 \bar{n} 的第 i 个分量, 并且 $k_0 = 0$ 。

确定线性判别函数之后, 就可以确定分类的等级。

4 试验与结果分析

为了检测基于多方位视觉的果实形状特征提取算法的实时性、稳定性和有效性, 利用开发的智能瓜果精选分拣试验样机, 进行试验。

4.1 试验装置

图 7 为智能瓜果精选分机系统试验样机的实体图, 该系统可以检测多种圆形瓜果(主要是苹果、温室西红柿和温室甜椒), 能够自动完成瓜果上料、传送到分级下



1 果实传送分级机构 2 电气控制系统 3 视觉系统
4 智能软件系统

图 7 智能瓜果精选分级系统试验样机

Fig 7 Experimental prototype of intelligent fruit sorting

料的整个过程。系统由果实传送分级机构、视觉检测系统、电气控制系统和智能软件系统四部分组成。

4.2 试验方法和试验结果

为了验证算法的效率和精度, 随机选取 100 个红富士苹果作为测试的对象, 先不考虑果实表面颜色对分级产生的影响, 按照果实圆整度和尺寸进行了试验, 同批苹果重复测试 3 次, 先人工用游标卡尺精确测量, 然后用机器检测, 以人工精确测量的结果为标准来衡量机器识别的成功率。根据上海孙桥现代农业联合发展有限公司制定的标准, 先按照圆整度标准将苹果分为两级: 等外品(长宽比 $L > 1.2$)和等内品(长宽比 $L < 1.2$), 然后按照尺寸将等内品又分成 3 级: 大($75 \text{ mm} < D$), 中($65 \text{ mm} < D < 75 \text{ mm}$), 小($D < 65 \text{ mm}$)。试验结果如表 1 所示。试验结果表明, 基于多方位视觉的这种果形特征提取方法, 识别成功率达到了 97%, 与单个 CCD 摄像机的分级系统相比有明显优势, 可达到实用的要求。

表 1 红富士苹果分选试验结果

Table 1 Classification results of 'Red Fuji' apples 个

| 次数 | 果实直径 D/mm | | | | | | 果实圆整度 L | |
|-----|--------------------|----|--------------|----|--------|----|-----------|----|
| | > 75 | | $65 \sim 75$ | | < 65 | | > 1.2 | |
| | 人工 | 机器 | 人工 | 机器 | 人工 | 机器 | 人工 | 机器 |
| 第一次 | 8 | 8 | 75 | 77 | 14 | 12 | 3 | 3 |
| 第二次 | 8 | 7 | 75 | 76 | 14 | 14 | 3 | 3 |
| 第三次 | 8 | 8 | 75 | 76 | 14 | 13 | 3 | 3 |

5 结论

本文介绍了一种基于多方位视觉的果实形状特征提取的方法。试验结果表明由 3 个 CCD 摄像机获取大部分果实信息来提取果形特征, 与应用单个摄像机获取图像特征相比具有明显的优势, 能满足实时的精确的瓜果分级的要求。改进的 BLOB 算法能有效的去除图像背景, 降低了不同光线和环境噪声对实时果实分级产生的不良影响, 设计的分类器不仅适用于果形特征的融合, 也适合于果实其它特征的融合, 具有普遍意义。同时, 考虑到果实是一种三维物体, 为更精确的按尺寸对果实进行分级, 必须考虑果实的高度信息, 需构建立体视觉系统进行 3D 测量, 这是下一步的研究方向。

[参 考 文 献]

- [1] 应义斌, 饶秀勤, 赵 匀, 等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 4- 8
- [2] 李庆中, 汪懋华. 基于计算机视觉的水果实时分级技术发展展望[J]. 农业机械学报, 1999, 30(6): 1- 7
- [3] 曹其新, 吕恬生. 日本蔬菜和水果拣选机器人的发展状况[J]. 机械设计与研究, 1998, 4: 9- 12
- [4] 王永红, 曹其新, 刘文秀, 等. 基于神经网络的黄瓜等级判别[J]. 农业机械学报, 1999, 6: 83- 87
- [5] 曹其新, 刘成良, 殷跃红, 等. 基于彩色图像处理的西红柿品质特征的提取研究[J]. 机器人, 2001, 23(7): 652- 656
- [6] 朱伟华, 曹其新. 基于模糊彩色聚类方法的西红柿缺陷分割研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 133- 136
- [7] Studman C J. Computers and electronics in postharvest technology: a review [J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2001, 30: 109- 124
- [8] John B. N jroge Kazunori N inom iya Automated fruit grading system using image processing [A]. SICE 2002 [C]. Aug 5- 7, 2002, O saka 1346- 1351
- [9] Tao Y, Heinemann P, V erghese Z, et al Machine vision for color inspection of potatoes and apples [J]. Transactions of the A S A E, 1995, 38(5): 1555- 1561
- [10] 蒋焕煜, 应义斌, 等. 水果品质智能化实时检测分级生产线的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 158- 160
- [11] 应义斌, 景寒松, 马俊福, 等. 黄花梨果形的机器视觉识别方法研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 192- 196
- [12] 沈明霞, 姬长英, 李秀智. 基于遗传 BP 神经网络的苹果形状识别[J]. 粮油加工与食品机械, 2003, 12: 64- 66
- [13] 李庆中, 汪懋华. 基于计算机视觉的苹果自动分级系统软件开发[J]. 农业机械学报, 2000, 31(2): 56- 59
- [14] 郭 峰, 曹其新, 周金良, 等. 全方位高速瓜果图像采集系统的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 148- 151
- [15] Yu-ichi Ohta, Takeo Kanade. Color information for region segmentation [J]. Computer Graphics and Image Processing 13, 1980: 222- 241
- [16] 应义斌, 景寒松, 马俊福, 等. 机器视觉技术在黄花梨尺寸和果面缺陷检测中的应用[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 197- 200
- [17] 沈明霞, 李秀智, 姬长英. 水果品质检测中的模糊阈值分割方法[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 113- 115
- [18] 虞晓芬, 傅 玳. 多指标综合评价方法综述[J]. 统计与决策, 2004, 11: 119- 121

Method for fruit shape feature acquisition based on multidirectional vision

Xie Guojun¹, Cao Qixin¹, Liu Jianzheng², Guo Feng¹, Zhou Jinliang¹

(1 *Research Institute of Robotics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;*

2 *Shanghai Agricultural Machinery Research Institute, Shanghai 201106, China*)

Abstract: In view of the drawbacks of few fruit feature information in traditional fruit grade identification, which relies on acquiring one fruit image, an algorithm to realize fruit shape feature based on multidirectional vision is presented in this paper. This system can realize synchronic acquisition of multidirectional images of fruit surface, and it can give the features of multidirectional fruit images after image processing, which include image segmentation based on OHTA space and denoising based on improved BLOB algorithm. A linear classifier is proposed according to statistics theory. A judging rule was given after complementary fusion on multidirectional image features. The performance of this algorithm was tested with the developed intelligent fruit sorting experimental prototype, and the experimental results show that it is effective and the success rate is up to 97 percent, which can satisfy the requirements of real time fruit sorting system.

Key words: multi-directional vision; fruit sorting; linear classifier; feature extraction; BLOB algorithm