

基于计算机视觉的苹果生长姿态估算多方法融合*

谢忠红^{1,2} 徐莹¹ 姬长英² 郭小清¹ 朱淑鑫¹

(1. 南京农业大学信息科学技术学院, 南京 210095; 2. 南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 为了避免机械手在采摘过程中因缺少苹果生长姿态信息造成对苹果和枝干的损伤, 提出了一种苹果生长姿态估算方法。利用纹理和颜色特征两步法实现背景分离后, 采用链码跟踪法获得轮廓; 阐述了二阶中心矩法、最短距离法、斜率方差法和三点一线法 4 种苹果姿态识别方法, 并比较了 4 种方法的识别率。为了提高姿态的识别率, 综合 4 种方法进行决策融合, 识别苹果姿态。研究表明, 基于 4 种方法的融合决策识别苹果的正确率高于单独使用任何一种方法, 正确率达到了 90%。

关键词: 苹果 生长姿态 计算机视觉 估算 多方法融合

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)11-0154-04

Estimation Method of Apple Growing Attitude Based on Computer Vision

Xie Zhonghong^{1,2} Xu Ying¹ Ji Changying² Guo Xiaqing¹ Zhu Shuxin¹

(1. College of Information Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

(2. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

In order to avoid damaging apples and branches caused by manipulator during the picking operation, for the absence of attitude information, an apple's attitude estimation method was put forward. After the apple object was segmented from background with the two-step algorithm based on the characters of color and texture, the freeman chain code algorithm was used to extract one-pixel fruit contour. Then least distance method, least slope variance method and three collinear points' method were given, and the recognition rates of three methods were compared. At last, for the purpose of improving recognition rate, decision method based on fusion of four methods was proposed. The research results showed that the recognition rates by using four methods were higher than using any one of methods separately, and the right recognition rate could reach to 90%.

Key words Apple, Growth attitude, Computer vision, Estimation, Fusion of several methods

引言

苹果的采摘质量会直接影响后续的存储、加工和销售^[1-2]。在自动采摘过程中, 机器人除了要准确定位苹果的空间坐标, 判定苹果的生长姿态也很关键, 这是因为机械手的姿态与苹果姿态一致时, 采摘任务才能顺利完成, 否则, 机械手的采摘动作会对苹果和枝干造成较大损伤^[3-4]。已有文献对苹果生长姿态的研究很少, 董坦坦等^[3]提出了利用矩方法

求目标区域的质心和惯性主轴, 用惯性主轴的角度标识苹果的生长方向, 但在番茄生长姿态接近垂直时会出现识别错误; 周俊等^[2]提出了基于粒子滤波的苹果采摘机器人目标姿态估算方法, 该方法随机采集多帧苹果图像。对每帧图像运用惯性主轴或质心点偏移方法计算苹果在机器人坐标系下的姿态向量值, 并通过粒子滤波融合来得到苹果姿态信息的最优估计, 但由于采用了矩方法计算惯性轴, 导致在苹果自然下垂状态下误识率高。

收稿日期: 2011-06-09 修回日期: 2011-06-29

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2006AA10Z259)

作者简介: 谢忠红, 博士生, 讲师, 主要从事计算机图像处理、模式识别、农业机器人视觉研究, E-mail: xiezh@njau.edu.cn

通讯作者: 姬长英, 教授, 博士生导师, 主要从事新型农业机械理论与技术、农业机器人视觉研究, E-mail: chyji@njau.edu.cn

本文以无遮挡相互分离的树上苹果为研究对象,根据苹果轮廓的几何特征提出了 4 种判定苹果生长姿态的方法:二阶中心矩法、最短距离法、最小斜率方差法、三点一线法,并综合多种方法进行融合决策。

1 常见的苹果姿态

成熟且相互分离的苹果生长姿态主要分为两大类共 4 种^[2]:第 1 类生长状态,苹果尾部花萼遗迹特征明显可见(图 1a),该类苹果迎面生长,根据花萼遗迹特征中心与苹果图像质心的偏移程度,找出苹果图像区域的惯性主轴,再计算果轴方向^[2],本文不讨论。第 2 类生长状态,苹果尾部花萼遗迹特征不可见,该类苹果又可分为:向右倾斜生长(图 1b)、向左倾斜生长(图 1c)和垂直向下生长(图 1d)3 种姿态。本文主要讨论第 2 类中的 3 种生长姿态的识别问题。

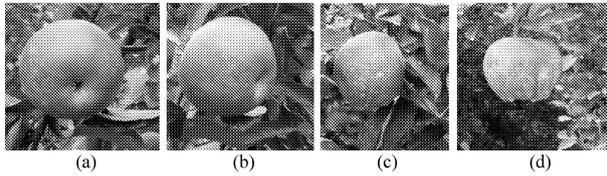


图 1 苹果生长姿态

Fig. 1 Growing attitude of apple

(a) 迎面 (b) 向右倾斜 (c) 向左倾斜 (d) 垂直向下

2 确定苹果生长姿态的 4 种方法

2.1 二阶中心矩法

图像 $f(i, j)$ 的矩^[5]为

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i^p j^q f(i, j) \quad (1)$$

式中 n, m ——图像的宽度和高度

$$\begin{cases} \bar{i} = \frac{m_{10}}{m_{00}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i f(i, j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(i, j)} \\ \bar{j} = \frac{m_{01}}{m_{00}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j f(i, j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f(i, j)} \end{cases} \quad (2)$$

式中 (\bar{i}, \bar{j}) ——质心坐标(图 2b)

中心矩^[3,6]

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (i - \bar{i})^p (j - \bar{j})^q f(i, j) \quad (3)$$

由二阶中心矩构造的惯性主轴方向可表示为

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}\right) \quad (4)$$

苹果的惯性主轴方向(图 2c)可以标识其生长姿态^[3]。

2.2 最短距离法

分析苹果轮廓发现质心距果梗中心点最近,

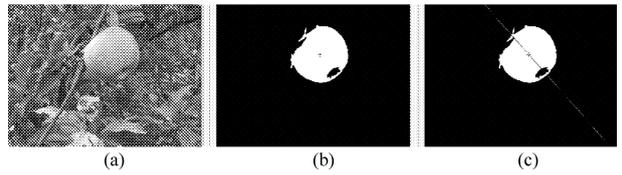


图 2 二阶矩法确定苹果姿态

Fig. 2 Attitude recognition based on second moment

(a) 原图 (b) 二值化图 (c) 确定果轴

且两点之间连线(图 3a)能够确定果轴方向(图 3c)。大部分情况下,果梗中心点位于质心上方,因此以上半部分的苹果轮廓为搜索区域,详细的算法步骤为:

(1) 获取苹果轮廓的左切点 A ,以 A 点为起点沿水平方向扫描找到与该扫描线相交的苹果轮廓点 B (图 3a)。

(2) 从点 A 出发,等距分割 AB 两点间扫描线及 AB 之间上半段苹果边界并标记为特征点(图 3b)。

(3) 找出特征点中距质心最短的点,确定该点为果梗中心点。

(4) 连接果梗中心和质心确定果轴方向(图 3c)。

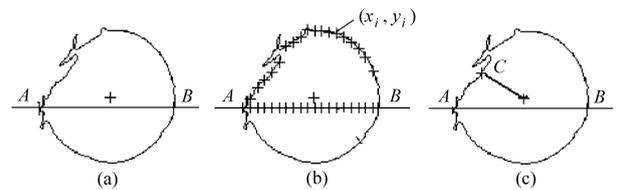


图 3 最短距离法确定苹果姿态

Fig. 3 Attitude recognition based on shortest distance

(a) 苹果左切点和右对称点 (b) 标记边缘特征点 (c) 确定果轴

2.3 斜率方差法

观察苹果轮廓线可以发现果梗和花萼遗迹附近斜率变化很小,其他区域轮廓线的斜率变化较大(图 4a)。斜率方差可以表示斜率变化的大小,方差越大,说明斜率波动大;反之越小。

本文提出了改进的二分查找算法找到果梗中心点,算法步骤如下:

(1) 取苹果轮廓线上半段区域,设左、右端点为 A 和 B ,中间位置为 C (图 4b)。

(2) 若 $|AC| \leq \delta$ 或 $|BC| \leq \delta$, 则执行步骤(6); 否则对 AC 和 CB 分别以 δ 为单位进行等距采样。

(3) 计算 AB 和 BC 两个区域采样点处的斜率,得到左、右两个斜率样本集。

(4) 计算左、右两个样本集的方差,若左样本集方差较小,则 $B = C$; 反之,则 $A = C$ 。

(5) 取新的 AB 轮廓的中点 C ,执行步骤(2)、(3)。

(6) C 就是果梗中心点(图 4c),根据质心和果梗中心点确定果轴方向。

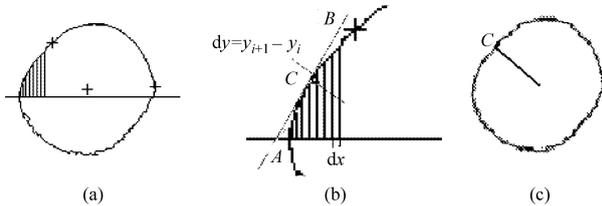


图4 斜率方差法确定苹果姿态

Fig. 4 Attitude recognition based on variance of slope

(a) 上半段苹果轮廓 (b) 计算斜率 (c) 确定果轴

2.4 三点一线法

2.4.1 方向编码描述苹果轮廓的切线信息

以苹果轮廓的下切点 p 为起始点(图 5a),沿逆时针方向以步长 L 为间隔采样(图 5c),采样后的点称为边缘特征点^[8]。特征点前面连续 L 个点的平均方向编码和平均坐标值为该特征点的坐标和方向^[7-8](图 5b、5c)。

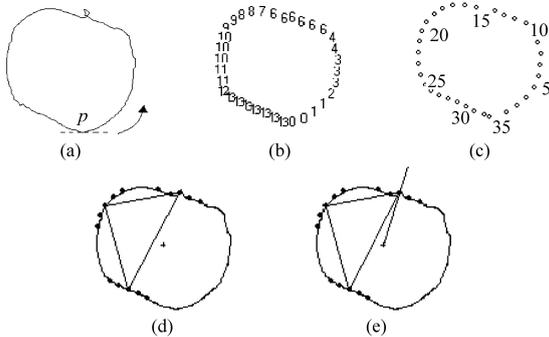


图5 三点一线法确定苹果姿态

Fig. 5 Attitude recognition based on three collinear points method

(a) 单像素苹果轮廓 (b) 方向编码图($L=12$) (c) 边缘特征点图
(d) 凹点群及其中心点之间的直线 (e) 确定果轴方向

2.4.2 苹果姿态的识别

苹果的边缘近似圆形,大部分边缘特征点的方向编码差大于零,但果梗和花萼痕迹处边缘为凹陷或近似直线,在这两处会聚集连续多个方向编码差小于等于零的特征点组。分析图 5a 可知,果梗、花萼痕迹的中心位置和形心近似共线,利用该原理删除伪花萼痕迹、伪果梗,从而确定果轴方向。

设果梗中心点为 (x_1, y_1) ,花萼遗迹中心点为 (x_2, y_2) ,苹果形心位置为 (x', y') ,由果梗和花萼遗迹中心点确定的直线 l 为

$$y = k(x - x_1) + y_1$$

形心位置到直线 l 的距离为

$$d = \frac{|kx' - y' + b|}{\sqrt{1 + k^2}}$$

其中 $k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ $b = \frac{y_1 x_2 - y_2 x_1}{x_2 - x_1}$

显然,当形心与直线 l 之间的距离小于 δ 时,可

以认为这 3 点是共线的,算法步骤为:

- (1) 获取苹果轮廓底部的边缘特征点 p 。
- (2) 以 p 为起点,记为 q ,沿逆时针方向搜索下一特征点。
- (3) 计算 q 点与下一特征点的方向编码差 s 。
- (4) 若 $s > 0$, q 点作已搜索标记,继续逆时针方向搜索下一边缘特征点,记为新的 q 点,转步骤(5);若 $s \leq 0$,则计算点 q 后面连续 N 个特征点的方向差是否均小于等于 0,若是则将这 N 个特征点归为一个凹点群^[9],将群中点的坐标放入数组 pickPoint 中,并对这 N 个点作已搜索标记,将后面的第 $N+1$ 点记为新 q 点,转步骤(5)。
- (5) 判断当前搜索点 q 与起始点 p 是否重合,若重合转步骤(6),否则转步骤(3)。
- (6) 计算每个凹点群的中心点,并按组两两匹配,找到所有可能的直线。
- (7) 找出距离形心最近的那条直线,确定采摘果梗中心点的位置(图 5d)。连接形心和果梗中心点确定果轴方向(图 5e)。

2.5 识别方法存在的不足之处

- (1) 二阶中心矩识别算法的前提条件是准确分割苹果,否则会发生误判;二阶中心矩的本质是寻找目标的惯性主轴,对于存在多个对称轴的苹果,该算法可能会找到多条惯性主轴,导致识别失败。
- (2) 最短距离识别算法要求苹果轮廓清晰准确;苹果质心位置是否准确决定识别的准确率。
- (3) 斜率方差识别算法可以避免因质心不准确而引起的误差。但若苹果上半区域的边界误差大,斜率计算就会有较大误差,导致识别错误。
- (4) 如果苹果轮廓清晰准确,三点一线法识别率较高。但若果形极不对称,会出现三点共线不成立,导致识别失败。

3 多方法融合的姿态识别算法

由于 4 种方法都存在不足,为提高姿态识别准确率,本文尝试综合使用 4 种方法进行融合决策。具体算法流程如图 6 所示。

4 试验

试验使用的苹果图像是 2010 年 10 月在徐州市丰县苹果种植园中采集,摄像设备为 Point Grey Research (PGR) 公司生产 Bumblebee2 型摄像头,基线长 120 mm,焦距为 3.8 mm。图像处理设备为联想 Thinkpad X61 计算机,Intel 酷睿 2 双核 T7300 处理器,2 GHz 主频,2 GB 内存,2 MB 显存。操作系统为 Windows XP,程序设计语言为 Matlab 2008a。试

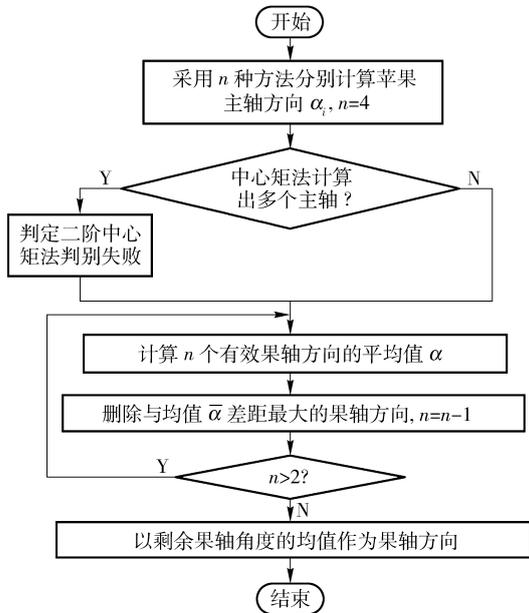


图 6 多方法融合算法流程图

Fig. 6 Flow chart of fusion based on many ways

验中选择 50 幅单个无遮挡的成熟苹果图像,共 50 个苹果,分别利用二阶中心矩法、最短距离法、斜率方差法、三点一线法和多方法融合决策进行苹果姿态识别,试验结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,与前面 4 种方法相比多方法融合决策法识别率更高,可达到 90%,但识别速度和前 4 种方法差距不大。

假设使用任一种姿态识别算法进行识别花费的时间为 t ,则很显然 t 是由两部分构成:预处理时间 t_1 和姿态识别时间 t_2 ,且 $t_1 \gg t_2$ 。

4 种方法进行融合决策花费的总时间 T 的计算公式为

$$T = t_1 + \sum_{i=1}^4 t_{2i}$$

式中 i 表示方法序号。

由于 $t_1 \gg t_{2i}$,所以 4 种方法进行决策融合花费的时间与 1 种方法进行姿态识别花费时间相差不多,如表 2 所示。

表 1 多种方法姿态识别结果

Tab. 1 Results of different attitude recognition methods

算法名称	识别正确率 /%	识别苹果数/个
二阶中心矩法	78	39
最短距离法	80	40
斜率方差法	70	35
三点一线法 ($L=12$)	86	43
多方法融合	90	45

表 2 识别时间

Tab. 2 Time of different attitude recognition methods

算法名称	预处理时间/ms		姿态识别时间/ms	识别时间总和/ms
	二值化等预处理	计算轮廓线		
二阶中心矩法	3 812		275	4 087
最短距离法	3 812	313	253	4 378
斜率方差法	3 812	313	353	4 478
三点一线法 ($L=12$)	3 812	313	246	4 371
多方法融合	3 812	313	1 130	5 255

5 结束语

对比分析了 4 种苹果生长姿态的识别方法,并综合利用这 4 种方法进行决策融合。试验结果表明多方法融合决策可有效地实现苹果姿态的识别,正确识别率达 90%,且识别速度降幅在允许范围内。

参 考 文 献

- 1 宋健,张铁中,徐丽明,等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 158 ~ 162. Song Jian, Zhang Tiezhong, Xu Liming, et al. Research actuality and prospect of picking robot for fruits and vegetables [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 158 ~ 162. (in Chinese)
- 2 周俊,张高阳,刘锐,等. 基于粒子滤波的苹果采摘机器人目标姿态估算[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 161 ~ 165. Zhou Jun, Zhang Gaoyang, Liu Rui, et al. Recognition and shape features extraction of apples based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 161 ~ 165. (in Chinese)
- 3 董坦坦,姬长英,周俊,等. 成熟番茄的图像识别及其位姿的获取研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(8): 152 ~ 155. Dong Tantan, Ji Changying, Zhou Jun, et al. Recognition of ripe tomato image and obtaining of its pose [J]. Transactions of Agriculture Jiangxi, 2009, 21(8): 152 ~ 155. (in Chinese)
- 4 Johan Baeten, Kevin Donne, et al. Autonomous fruit picking machine: a robotic apple harvester [M]. Field and Service Robotics, Springer Tracts in Advanced Robotics, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, 42: 531 ~ 539.
- 5 Karatazas D, Antonacopoulos A. Color text segmentation in web images based on human perception [J]. Image and Vision Computing, 2006, 25(1): 564 ~ 577.

- 版, 2010, 32(3):288 ~ 293.
- Xue Jinshu, Zhou Dongming, Nie Rencan, et al. Color image segmentation based on Unit-Linking PCNN and HSI space [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2010, 32(3): 288 ~ 293. (in Chinese)
- 3 彭真明, 蒋彪, 肖峻, 等. 基于并行点火 PCNN 模型的图像分割新方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(9): 1 169 ~ 1 172. Peng Zhenming, Jiang Biao, Xiao Jun, et al. A novel method of image segmentation based on parallelized firing PCNN [J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(9): 1 169 ~ 1 172. (in Chinese)
- 4 张军英, 梁军利. 基于脉冲耦合神经网络的图像融合[J]. 计算机仿真, 2004, 21(4): 102 ~ 104. Zhang Junying, Liang Junli. Image fusion based on pulse-coupled neural networks [J]. Computer Simulation, 2004, 21(4): 102 ~ 104. (in Chinese)
- 5 Huang W, Jing Z L. Multi-focus image fusion using pulse coupled neural network [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(9): 1 123 ~ 1 132.
- 6 Zhang J Y, Fan X J, Dong J Y, et al. Image segmentation based on modified pulse-coupled neural networks [J]. Chinese Journal of Electronics, 2007, 16 (1): 119 ~ 122.
- 7 周亮, 刘云. 基于改进的 PCNN 的彩色图像边缘检测算法[J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2007, 28(5): 447 ~ 450. Zhou Liang, Liu Yun. Approach for color image edge detection using modified PCNN [J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 28 (5): 447 ~ 450. (in Chinese)
- 8 王巍, 黎明, 刘高航, 等. 基于脉冲耦合神经网络的彩色图像滤波新方法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 24(14): 3 413 ~ 3 415. Wang Wei, Li Ming, Liu Gaohang, et al. New color image filtering algorithm based on PCNN [J]. Computer Engineering and Design, 2007, 24(14): 3 413 ~ 3 415. (in Chinese)
- 9 韩金玉, 王守志. 基于噪声特征和矢量中值滤波的彩色图像去噪算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2 418 ~ 2 419. Han Jinyu, Wang Shouzhi. Color image de-noising based on noise characteristic and vector median filtering [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(9): 2 418 ~ 2 419. (in Chinese)
- 10 马义德, 齐春亮. 基于遗传算法的脉冲耦合神经网络自动系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3): 722 ~ 726. Ma Yide, Qi Chunliang. Study of automated PCNN system based on genetic algorithm [J], Journal of System Simulation, 2006, 18(3): 722 ~ 726. (in Chinese)
- 11 Coquin D B, Ionescu P B. Dissimilarity measures in color spaces [C] // Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, 2002, 1: 612 ~ 615.
- 12 David R M, Charless C F, Jitendra M. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26 (5): 530 ~ 548.
- 13 李永峰, 丁润涛, 国澄明. 一种彩色图像滤波的改进矢量中值滤波算法[J]. 数据采集与处理, 2003, 18(3): 361 ~ 364. Li Yongfeng, Ding Runtao, Guo Chengming. A modified vector median algorithm for color image filtering [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2003, 18(3): 361 ~ 364. (in Chinese)

(上接第 157 页)

- 6 龚声蓉, 刘纯平, 王强, 等. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- 7 张弘, 曹晓光, 谢凤英, 等. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- 8 谢忠红, 姬长英, 郭小清, 等. 一种基于改进 Hough 变换的类圆苹果目标检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 157 ~ 162. Xie Zhonghong, Ji Changying, Guo Xiaoqing, et al. An object detection method for quasi-circular fruits based on improved Hough transform [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 157 ~ 162. (in Chinese)
- 9 朱煜, 江林佳, 肖玉玲. 材料图像目标粘连点定位与分割方法研究[J]. 南京理工大学学报, 2008, 32(1): 110 ~ 113. Zhu Yu, Jiang Linjia, Xiao Yuling. Concave spots localization and region segmentation in fibrous material image based on chain codes [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2008, 32 (1): 110 ~ 113. (in Chinese)