doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.07.009

基于机器视觉的荔枝果实采摘时品质检测技术*

熊俊涛[1]　邹湘军[2]　刘　念[2]　彭红星[2]　李锦鸿[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:为了在荔枝采摘时实时判断果实的品质状态,通过分析自然环境中荔枝不同生长期的图像,对荔枝果实未成熟、成熟、成熟后外表腐烂变质的 3 种情况进行了图像数据分析。选取了 YCbCr 颜色模型,利用探索性分析法对荔枝不同部位、不同光照、不同生长期的荔枝图像的 *Cr* 分量进行了数据分析与统计,确定了辨识荔枝果实未成熟与成熟的 *Cr* 分量的阈值范围;对于成熟的荔枝,采用边缘提取与 Hough 圆拟合方法对其 *Cr* 分量图进行处理,标记出图像的荔枝果实,然后利用纹理统计法、颜色特征与果实不同部分面积比值相结合的方法进行果实变质的判断,最终实现了未成熟、成熟以及腐烂变质的荔枝果实的视觉智能判断,建立了荔枝果实品质辨识的智能系统。试验结果表明,辨识荔枝品质状态的正确率达 93%。

关键词:荔枝　采摘　果实品质　检测　机器视觉　探索性分析

中图分类号:TP391.41　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2014)07-0054-07

引言

果蔬在生长期会呈现出不同的状态,如果实未成熟、已成熟、成熟后因虫害等因素而腐烂变质等。利用信息化手段进行果蔬的自动化收获,必须要实时准确地判断果蔬当前的存在状态,从而进行正确有效的采摘作业。

近年来采摘机器人一直是国内外农业自动化领域的研究热点。国外主要有欧美和日本等进行采摘机器人的研究[1-4],在国内相关研究有黄瓜采摘机器人、蔬菜嫁接机器人等[5-16]。

在上述研究中,采摘机器人的视觉技术主要集中在目标的识别、定位和路径导航等方面,较少涉及采摘目标的品质检测与判断的研究。而国内外在机器视觉进行果实品质的检测研究中,大多集中在产后的果实内外损伤检测、果实体积的大小分级,或者针对某一种病虫害进行视觉图像检测来实现判断[17-25],较少涉及采摘机器人作业过程中视觉实时地判断目标的当前状态,从而实施正确有效地采摘。

本文利用机器视觉技术进行荔枝生长期果实品质实时检测的研究,建立荔枝果实品质辨识的智能系统。

1　图像采集

荔枝采摘机器人利用 2 个 CCD 摄像机组成双目立体视觉系统,其视觉系统的硬件包括:维视的 CCD 数字摄像机、能削减物体反光的奥普特偏振片 2 个、图像采集卡和固定摄像机的支架等。选择荔枝不同生长期进行果实图像的获取,图像采集时间分别为:未成熟期 5~6 月份,成熟期 6~7 月份,成熟变质腐烂期 6 月下旬~7 月初。

2　荔枝果实图像的探索性分析

2.1　荔枝图像分析方法

探索性分析(Exploratory analysis,EA)是一种系统分析方法,用于复杂系统不确定性问题的分析和决策,旨在从复杂问题不确定性因素的分析中找出数据间的相关性和存在规律,它是复杂系统不确定问题的一种解决手段[26]。

本研究采集荔枝果实不同生长时期的图像,进行颜色数据分析,根据生长环境中不同光照条件、不同生长时期的荔枝果实、果梗、土壤、叶子及枝杆的图像数据,找出复杂现象背后数据变量之间的非线性关系[27],确定有效辨识荔枝果实状态的方法和数学模型,从而实现荔枝果实的品质判断。

收稿日期:2014-01-22　修回日期:2014-02-16

*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

2.2　荔枝不同部位的颜色特征分析

通过分析荔枝生长环境中存在的各个部位的颜色特征，确定适合图像处理进行荔枝识别的颜色模型。选取荔枝生长时自然环境中存在的目标：枯草、土壤、树叶和枝杆的图像，根据不同颜色模型的特征，确定 YCbCr 颜色模型进行对比分析，如图 1 所示。利用 YCbCr 颜色模型的 *Cr* 分量进行各个目标的颜色特征分析，如图 2 所示。图 2 中的横轴表述各个目标的 *Cr* 分量值的分布区域（0 到 1 之间），纵轴对应环境中各个目标，无物理意义。由图 2 可发现，成熟荔枝果实的 *Cr* 分量分布区域与其它目标的分量分布区域有较少的重叠区域，这说明在这个颜色分量图中，成熟荔枝果实像素值与其它目标（叶子、土壤、果梗等）像素值存在区别，有利于图像分割。基于以上分析以及图像分割经验，确定选取 YCbCr 颜色模型的 *Cr* 分量灰度图进行自然生长环境中成熟荔枝果实的识别研究。

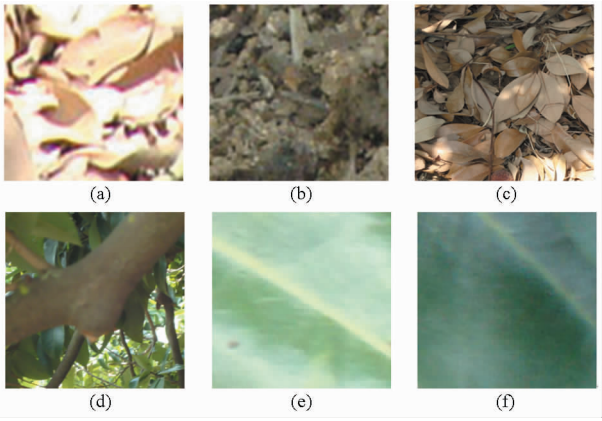


图 1　荔枝生长环境中各个部分的图像

Fig. 1　Images of each part of litchi in growth environment

（a）顺光的枯叶　（b）自然光的土壤　（c）遮阴的枯叶
（d）树干　（e）顺光的绿叶　（f）遮阴的绿叶

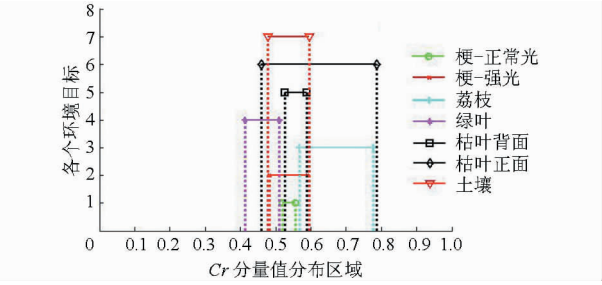


图 2　荔枝生长环境中不同对象的 *Cr* 分量分布情况统计

Fig. 2　Distribution of *Cr* component of each sample in growth environment

2.3　不同生长期荔枝果实的颜色分析

不同的荔枝品种，其成熟期早晚不同。未成熟时的荔枝果实为青绿色，而在成熟收获期，荔枝果实根据品种呈现红色或红褐色，如图 3 所示。本研究的荔枝品种为桂味和怀枝，其成熟收获时果实呈红色。选取荔枝果实在未成熟、成熟、成熟后变质腐烂 3 个时期的果实图像进行颜色特征分析。

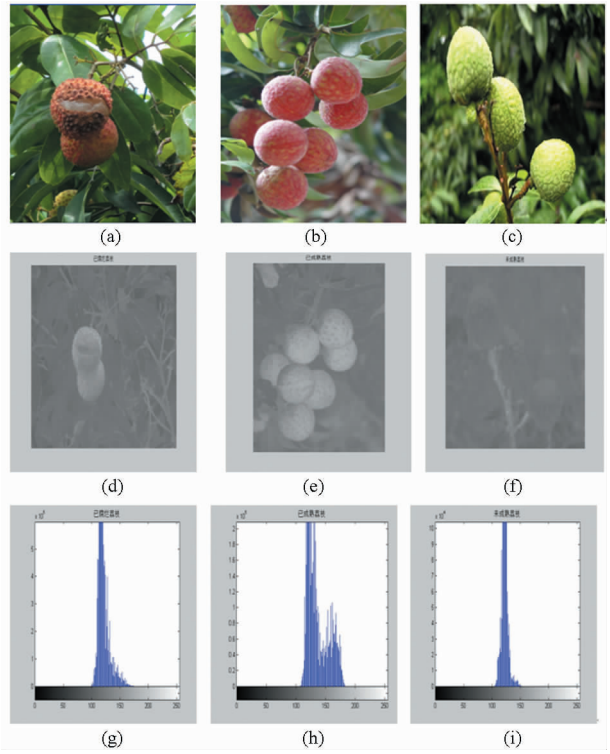


图 3　不同颜色模型的分量

Fig. 3　Component graph and histogram of different color models

（a）变质荔枝　（b）成熟荔枝　（c）未成熟荔枝
（d）变质荔枝灰度图　（e）成熟荔枝灰度图
（f）未成熟荔枝灰度图　（g）变质荔枝灰度直方图
（h）成熟荔枝灰度直方图　（i）未成熟荔枝灰度直方图

在 YCbCr 颜色模型中对荔枝果实 3 种状态的图像进行分析。由图 3 可发现，在荔枝果实的各个生长期，其图像的 *Cr* 分量直方图分布存在明显差异。未成熟荔枝果实，其 *Cr* 分量直方图分布区域窄，无明显波峰波谷；而腐烂变质后表皮开裂的 *Cr* 分量直方图相对未成熟荔枝果实分布区域稍大，因其存在变质开裂部分的颜色值，但其 *Cr* 分量灰度直方图的波峰波谷也不明显；成熟荔枝果实的 *Cr* 分量直方图分布范围大，存在明显的波峰波谷。由上分析可确定，荔枝果实图像的 *Cr* 分量适合进行果实不同品质的辨识研究。

2.4　不同光照条件荔枝果实的颜色分析

在自然环境中，不同光照条件会对荔枝图像的采集造成很大影响。为了确定荔枝图像的 *Cr* 分量在不同光照条件下的变化特征，需要对不同光照的荔枝图像进行分析。试验选取了 3 种光照条件：强光、正常光、弱光下成熟与未成熟的荔枝图像进行统计分析，如图 4 所示。荔枝图像的数据统计结果如图 5 所示，在 3 种不同光照条件下，成熟荔枝与未成

熟荔枝的 *Cr* 分量值存在明显差异，成熟荔枝的 *Cr* 分量值在不同光照条件下变化较小，趋于直线，相对成熟荔枝，未成熟荔枝的 *Cr* 分量受光照变化较大。

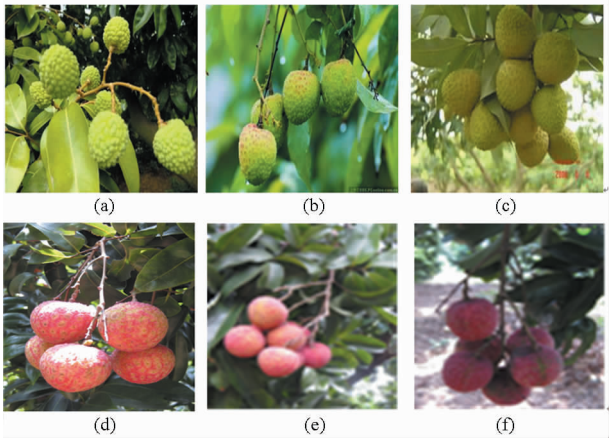


图 4 不同光照条件的成熟与未成熟荔枝图像

Fig. 4 Immature and mature litchi images under different light conditions

(a) 未成熟，强光 (b) 未成熟，正常光 (c) 未成熟，弱光
(d) 成熟，强光 (e) 成熟，正常光 (f) 成熟，弱光

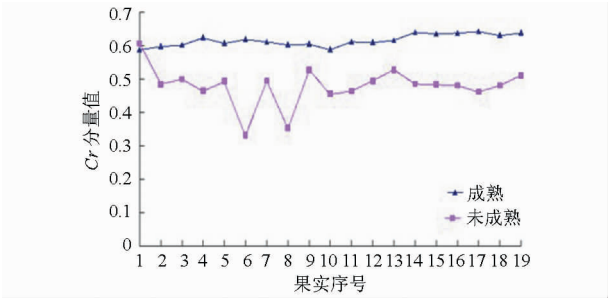


图 5 成熟与未成熟荔枝果实的 *Cr* 分量统计

Fig. 5 *Cr* component statistics of mature and immature litchi fruit

3 荔枝果实品质的辨识

3.1 果实成熟的辨识

荔枝果实成熟的辨识试验过程为：选取 120 幅不同光照条件下成熟荔枝图像进行 *Cr* 分量的数据统计分析，其中强光、正常光和弱光条件的成熟荔枝图像各 40 幅，统计结果为强光图像 *Cr* 分量值为 0.514 695 ~ 0.733 530，正常光图像 *Cr* 分量值为 0.633 479 ~ 0.701 993，弱光图像 *Cr* 分量值为 0.595 765 ~ 0.740 578。由图 5 可知，不同光照条件下的荔枝图像，成熟果实的 *Cr* 分量数据主要集中在 0.514 695 ~ 0.733 530，不成熟果实的 *Cr* 分量数据集中在 0.320 500 ~ 0.536 700，当 *Cr* 分量在 0.398 043 ~ 0.487 049 时为荔枝叶，当其值在 0.740 128 ~ 1.000 000 时为荔枝果实外的其它枝杆与天空的灰度值。通过荔枝果实识别的图像分割试验，最终确定 *Cr* 分量值在 0.541 326 ~ 0.615 916 范围时，能有效分割出成熟的荔枝果实，利用该范围值能进行未成熟与成熟荔枝图像的判断。

3.2 果实变质的辨识

成熟后的荔枝，会因虫害、天气、生长期过长出现变质腐烂，其中因变质腐烂而出现的最直观、普遍的现象是荔枝果皮开裂，它是荔枝果实非常常见的一种现象[28]。本文通过分析成熟荔枝果实的图像特征，首先采用边缘提取的方法获得荔枝果实串的边缘图，然后利用 Hough 变换圆拟合方法拟合出荔枝果实，再对各个拟合圆内的荔枝果实进行判断，利用纹理统计、颜色特征和果实不同部分面积比值相结合的方法，实现成熟荔枝果实是否因变质而表皮开裂的辨识。

3.2.1 边缘提取与 Hough 圆拟合

边缘是图像性区域和另一个属性区域的交接处，是区域属性发生突变的地方。本研究先在 *Cr* 分量图中进行荔枝图像预处理，去掉荔枝果实以外的背景，然后用 Canny 算子进行荔枝果实的边缘检测，得到荔枝果实串的边缘图。再利用 Hough 圆拟合对该边缘图处理，最终得到拟合的各个荔枝果实，其中为了提高 Hough 变换的效率和精度，参考文献[29]对 Hough 圆拟合算法进行了优化。图 6 中，分别对正常成熟荔枝和腐烂的荔枝果实进行了该算法的处理，结果显示都能准确得到荔枝串的各个果实，由此可实现拟合圆内荔枝果实状态的有效判断。

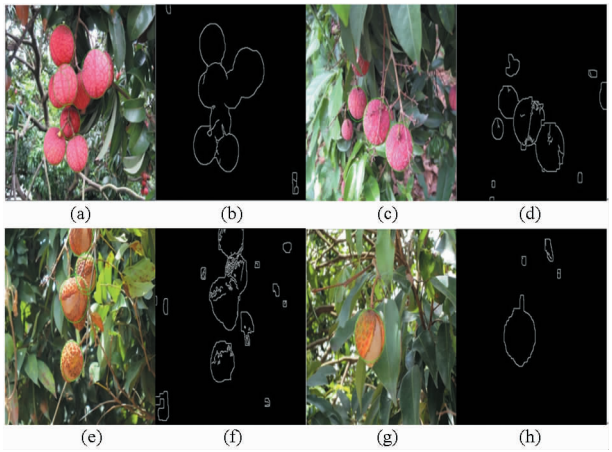


图 6 荔枝果实边缘提取与 Hough 圆拟合结果

Fig. 6 Result of edge detection and Hough circle fitting of litchi

(a) 正常荔枝果实圆拟合结果 1 (b) 边缘提取结果
(c) 正常荔枝果实圆拟合结果 2 (d) 边缘提取结果
(e) 腐烂荔枝果实圆拟合结果 1 (f) 边缘提取结果
(g) 腐烂荔枝果实圆拟合结果 2 (h) 边缘提取结果

3.2.2 纹理统计法

纹理统计法是图像处理中描绘区域的一种重要方法，主要是量化该区域的纹理内容。纹理统计法计算灰度共生矩阵的原理如下：如果图像是由具有

相似灰度的像素块构成，则灰度共生矩阵的对角元素值会比较大；如果图像像素灰度在局部有变化，那么偏离对角线的元素值会比较大[30]。基于灰度共生矩阵可以定义许多纹理特征，本文主要利用一致性和标准偏差两个纹理特征量进行计算。

标准偏差

$$\sigma = \sqrt{\mu_2(z)} \tag{1}$$

一致性

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i) \quad (i = 0,1,2,\cdots,L-1) \tag{2}$$

式中　z_i——第 i 级灰度值

$p(z_i)$——归一化直方图灰度级分布中灰度为 z_i 的概率

L——灰度级总数

μ_2——均值的二阶矩

z——灰度均值

本文利用纹理统计法进行成熟荔枝果皮和果肉的纹理统计，其中通过图像分析试验确定了计算灰度共生矩阵的参数：灰度级数取 8 级，像素间的相对方向取 0°、45°、90°、135°，像素间的相对距离 $d = 1$。结果如图 7 所示，荔枝果皮和果肉在标准偏差和一致性 2 个纹理特征值中，存在较大的差异，其中计算的多幅果皮图像纹理的标准差和一致性的均值为 26.627 412 与 0.011 731；果肉图像的标准差和一致性的均值为 9.293 261 和 0.001 745。因此，可以采用标准偏差和一致性来辨识荔枝果实是否表皮开裂。

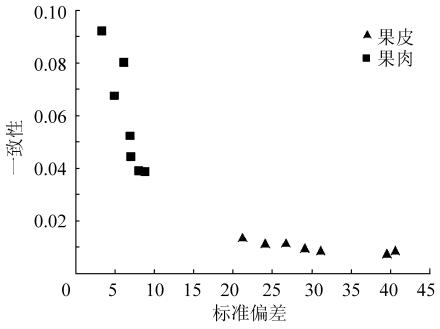


图 7　成熟荔枝果皮和果肉的纹理特征

Fig. 7　Textural features of pericarp and pulp of mature litchi

3.2.3　颜色特征与面积比值分析法

荔枝果实的纹理统计结果会因图像质量的好坏而变化，例如获得的图像模糊会造成纹理统计值变化。当荔枝因腐烂变质而果实开裂后，果肉和果皮最直观的区别是颜色值。果肉呈现白色，而果皮为红色，并且在 YCbCr 颜色模型中表皮开裂的果实其灰度直方图的波峰明显，如图 8 所示。同时当荔枝果实开裂后，其开裂露出的果肉会占整个果实一定的面积（图 8），因此可以通过果实的 Cr 分量灰度直方图特征结合果实不同部分的面积比值来判断果实的变质情况。本文通过采集大量荔枝因腐烂变质而表皮开裂的图像，计算其果实开裂部分占整个果实的面积比值，得到面积比值的经验值为 0.15，即腐烂后表皮开裂露出的果肉面积占整个果实面积的比值大于 0.15，即判断该果实已腐烂变质。利用以上 3 个特征值相结合的方法，可实现荔枝果实是否变质腐烂的判断。

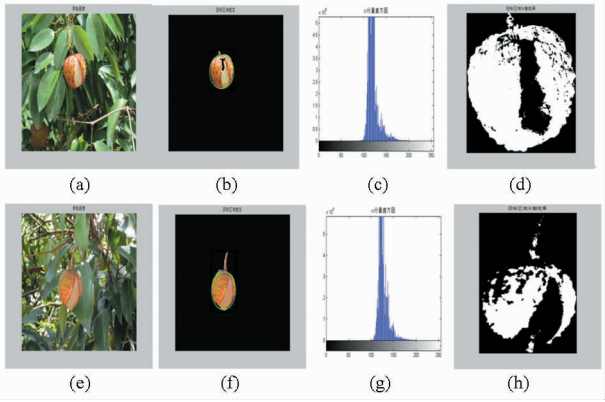


图 8　荔枝品质辨识过程图组

Fig. 8　Image group of litchi quality recognition process

（a）原图　（b）识别的荔枝果实　（c）Cr 分量直方图　（d）开裂果实的二值图　（e）原图　（f）识别的荔枝果实　（g）Cr 分量直方图　（h）开裂果实的二值图

3.3　辨识果实品质流程

本文对荔枝生长期的 3 种状态：未成熟、成熟及腐烂变质进行了机器视觉的辨识算法研究，其辨识流程如图 9 所示。

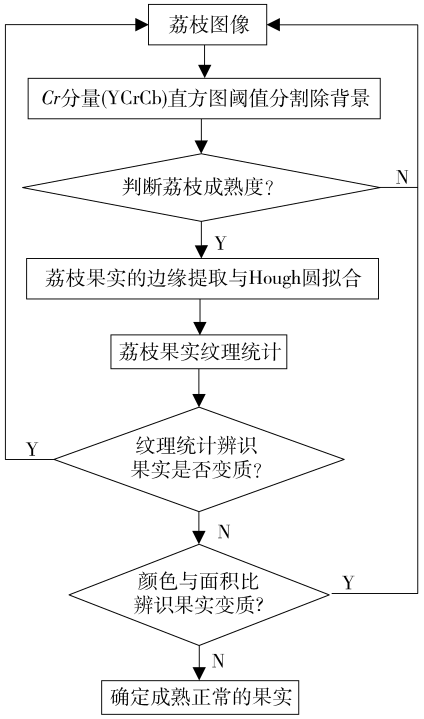


图 9　荔枝果实品质辨识流程图

Fig. 9　Flow chart of litchi fruit quality identification

通过以上算法流程,进行了荔枝果实品质的辨识试验,其中判断果实变质开裂的过程如图 8 所示。

4 试验结果分析

对随机抽取的 100 张不同光照的荔枝样本图像,利用本文算法进行荔枝品质的辨识试验,试验结果中有 93 幅荔枝果实的存在状态被准确判断,即能准确分辨出该荔枝果实是未成熟、成熟及成熟后变质表皮开裂,辨识果实品质的准确率为 93.0%。试验结果统计如表 1 所示。

表 1 荔枝品质辨识试验结果统计

Tab.1 Identification results statistics of litchi fruit quality

图像类型	图像总数/幅	正确辨识数/幅	正确率/%
综合情况	100	93	93.0
未成熟	30	29	96.7
正常成熟	35	33	94.3
变质开裂	35	31	88.6

表 1 的试验结果表明:通过本文的算法能有效判断自然环境中荔枝果实所处的生长状态,指导采摘机器人进行正确有效的作业,但还是存在一些因素影响算法的准确率,具体为:①树叶、枝杆的遮挡使得图像中果实残缺,荔枝果实成串的特点会存在一些果实被藏后面造成无法直观判断等。②果实与摄像机出现相对运动造成图像采集的模糊,使得辨识过程纹理计算出现错误。③阴天光照条件较暗时,加上果实存在遮荫、背光情况时,会出现果实状态辨识误差。这些都会影响到判断的准确性,造成果实品质的辨识错误。在以后的研究中,需要考虑自然环境的影响因素,避免图像采集质量较差,以及对视觉系统硬件与识别算法等软件进行改进,减少天气光线的影响,提高果实品质的辨识精度。

5 荔枝果实品质的辨识系统设计

利用 Matlab 设计开发了一个荔枝品质的智能辨识系统,其界面如图 10 所示。利用该系统进行荔枝果实品质的辨识处理,从获取图像到辨识结果处理完成的平均时间在 3 s 以内,能满足机器人视觉的实时性要求。



图 10 荔枝品质辨识智能系统界面

Fig.10 System interface of litchi quality identification

6 结论

(1)通过分析生长期不同状态荔枝果实的颜色特征和形态特征,利用探索性分析方法进行荔枝图像的颜色数据分析,确定了适合荔枝果实成熟度判断的 YCbCr 颜色模型,通过试验得到了辨识荔枝果实是否成熟的 *Cr* 分量的灰度范围。

(2)针对荔枝果实的成熟与成熟后变质表皮开裂的状态,利用 Canny 算子的边缘提取与 Hough 圆拟合方法结合,标记出了待辨识的荔枝果实,然后采用纹理统计的灰度共生矩阵、颜色特征和果实不同部分面积比值相结合的方法,实现了荔枝果实 2 种状态的辨识。荔枝果实的品质辨识试验结果表明,该算法的荔枝果实不同品质辨识的正确率达到 93.0%,为果蔬采摘机器人视觉系统进行目标状态实时准确地判断提供了技术支持。

参 考 文 献

1 Bulanon D M, Kataoka T. Fruit detection system and an end effector for robotic harvesting of Fuji apples[J]. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal, 2010, 12(1): 203 - 210.

2 Kondo N, Yata K, Iida M, 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.

3 Bulanon D M, Burks T F, Alchanatis V. Study on fruit visibility for robotic harvesting[C]. 2007 ASABE Annual Meeting Paper, 073124, 2007.

4 Reed J N, Miles S J, Butler J, et al. AE-automation and emerging technologies: automatic mushroom harvester development[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(1): 15 - 23.

5 De-An Z, Jidong L, Wei J, et al. Design and control of an apple harvesting robot[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(2): 112 - 122.

6 郭艾侠,邹湘军,朱梦思,等. 基于探索性分析的的荔枝果及结果母枝颜色特征分析与识别[J]. 农业工程学报,2013,29

(4):191 – 198.
Guo Aixia, Zou Xiangjun, Zhu Mengsi, et al. Color feature analysis and recognition for litchi fruits and their main fruit bearing branch based on exploratory analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(4): 191 – 198. (in Chinese)
7 熊俊涛,邹湘军,陈丽娟,等. 采摘机械手对扰动荔枝的视觉定位[J]. 农业工程学报,2012,28(14):36 – 40.
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Visual position of picking manipulator for disturbed litchi[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(14): 36 – 40. (in Chinese)
8 周俊,姬长英. 农业机器人视觉导航中多分辨率路径识别[J]. 农业机械学报, 2003,34(6): 120 – 123.
Zhou Jun, Ji Changying. Multi-resolution road recognition for vision navigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(6): 120 – 123. (in Chinese)
9 于国英,毛罕平. 农业智能车辆视觉导航参数提取的研究[J]. 农机化研究, 2007(1):167 – 169.
Yu Guoying, Mao Hanping. Study on visual navigation parameter determination of agricultural vehicle[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(1): 167 – 169. (in Chinese)
10 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 stereovision technology[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 279 – 283. (in Chinese)
11 马晓丹,刘刚,周薇,等. 基于量子遗传模糊神经网络的苹果果实识别[J]. 农业机械学报,2013,44(12):227 – 232,251.
Ma Xiaodan,Liu Gang,Zhou Wei, et al. Apple recognition based on fuzzy neural network and quantum genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(12):227 – 232,251. (in Chinese)
12 吕继东,赵德安,姬伟. 苹果采摘机器人目标果实快速跟踪识别方法[J]. 农业机械学报,2014,45(1):65 – 72.
Lü Jidong,Zhao Dean,Ji Wei. Fast tracing recognition method of target fruit for apple harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(1):65 – 72. (in Chinese)
13 姬伟,程风仪,赵德安,等. 基于改进人工势场的苹果采摘机器人机械手避障方法[J]. 农业机械学报,2013,44(11): 253 – 259.
Ji Wei,Cheng Fengyi,Zhao Dean, et al. Obstacle avoidance method of apple harvesting robot manipulator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(11):253 – 259. (in Chinese)
14 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)
15 李立君,李昕,高自成,等. 基于偏好免疫网络的油茶果采摘机器人图像识别算法[J]. 农业机械学报,2012,43(11): 209 – 213.
Li Lijun, Li Xin, Gao Zicheng, et al. Camellia fruit image recognition based on preference artificial immune net[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(11):209 – 213. (in Chinese)
16 王辉,毛文华,刘刚,等. 基于视觉组合的苹果作业机器人识别与定位[J]. 农业机械学报,2012,43(12):165 – 170.
Wang Hui, Mao Wenhua, Liu Gang, et al. Identification and location system of multi-operation apple robot based on vision combination[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(12):165 – 170. (in Chinese)
17 刘佳男. 基于机器视觉的水果表面缺陷识别方法的研究[D]. 无锡:江南大学,2012.
Liu Jianan. Study on recognition method of fruit surface defects based on machine vision[D]. Wuxi: Jiangnan University,2012. (in Chinese)
18 Kavdir I, Guyer D E. Evalution of difference pattern recognition techniques for apple sorting[J]. Biosystems Eingineering, 2008, 99(2): 211 – 219.
19 田有文, 李天来, 李成华, 等. 基于支持向量机的葡萄病害图像识别方法[J]. 农业工程学报,2007, 23(6): 175 – 180.
Tian Youwen, Li Tianlai, Li Chenghua, et al. Method for recognit ion of grape disease based on support vector machine[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 175 – 180. (in Chinese)
20 耿长兴, 张俊雄, 曹峥勇, 等. 基于色度和纹理的黄瓜霜霉病识别与特征提取[J]. 农业机械学报,2011,42(3):170 – 174.
Geng Changxing, Zhang Junxiong, Cao Zhengyong, et al. Recognition and features extraction of cucumber downy mildew based on color and texture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 170 – 174. (in Chinese)
21 杨倩,高晓阳,武季玲,等. 基于颜色和纹理特征的大麦主要病害识别研究[J]. 中国农业大学学报,2013,18(5):129 – 135.
Yang Qian, Gao Xiaoyang, Wu Jiling, et al. Identification of barley diseases based on texture color feature[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(5): 129 – 135. (in Chinese)
22 邓继忠,李敏,袁之报,等. 基于图像识别的小麦腥黑穗病害特征提取与分类[J]. 农业工程学报,2012,28(3):172 – 176.
Deng Jizhong, Li Min, Yuan Zhibao, et al. Feature extraction and classification of Tilletia diseases based on image recognition [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 172 – 176. (in Chinese)
23 郑冠楠,谭豫之,张俊雄,等. 基于计算机视觉的马铃薯自动检测分级[J]. 农业机械学报,2009,40(4):166 – 168.
Zheng Guannan, Tan Yuzhi, Zhang Junxiong, et al. Automatic detecting and grading method of potatoes with computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 166 – 168. (in Chinese)
24 卢军,付雪媛,苗晨琳. 基于颜色和纹理特征的柑橘自动分级[J]. 华中农业大学学报,2012,31(6):783 – 786.

Lu Jun, Fu Xueyuan, Miao Chenlin, et al. Citrus automatic grading by using color and texture features[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(6): 783 - 786. (in Chinese)

25 熊俊涛,叶敏,邹湘军,等. 多类型水果采摘机器人系统设计与性能分析[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):230 - 235.
Xiong Juntao, Ye Min, Zou Xiangjun, et al. System design and performance analysis on multi-type fruit harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 230 - 235. (in Chinese)

26 李志猛,沙基昌,谈群. 探索性分析方法及其应用研究综述[J]. 计算机仿真,2009,26(1):32 - 35.
Li Zhimeng, Sha Jichang, Tan Qun. An overview of the theory and application of exploratory analysis[J]. Computer Simulation, 2009, 26(1): 32 - 35. (in Chinese)

27 林开颜,吴军辉,徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图像图像学报,2005,10(1):1 - 10.
Lin Kaiyan, Wu Junhui, Xu Lihong. A survey on color image segmentation techniques[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 1 - 10. (in Chinese)

28 李建国. 荔枝学[M]. 北京:中国农业出版社,2008.

29 黄永林,叶玉堂,陈镇龙,等. 一种新的快速 Hough 变换圆检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2010,24(9):837 - 841.
Huang Yonglin, Ye Yutang, Chen Zhenlong, et al. New method of fast Hough transform for circle detection[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(9): 837 - 841. (in Chinese)

30 谢忠红,姬长英. 基于颜色模型和纹理特征的彩色水果图像分割方法[J]. 西华大学学报:自然科学版,2009,28(4):41 - 45.
Xie Zhonghong, Ji Changying. Segmentation method of color fruit image based on color model and texture character[J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2009, 28(4): 41 - 45. (in Chinese)

Fruit Quality Detection Based on Machine Vision Technology when Picking Litchi

Xiong Juntao[1] Zou Xiangjun[2] Liu Nian[2] Peng Hongxing[2] Li Jinhong[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 and Guangdong Province, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: In order to judge fruit quality real-timely, three conditions of litchi fruit, immature, mature and appearance rot after mature, were analyzed by using the fruit images of different growth periods in natural environment. The YCbCr color space model was selected and the exploratory analysis method was used to analyze and estimate the *Cr* component of litchi images of different parts, different illuminations and different growing periods, and the threshold ranges of *Cr* components of mature and immature litchi fruits was determined; for mature litchi, the fruit edge detection and Hough circle fitting processing were carried out on the *Cr* component diagram to mark litchi fruits. And then the texture statistics and the method that combining the color feature and area ratio of different parts of litchi fruit were used to judge litchi fruit deterioration. Finally, the vision intelligent judgment for the immature, mature and appearance rot of litchi fruit was realized and an intelligent system to identify litchi fruit quality was built. The test results show that the accuracy of identify litchi fruit quality is 93%.

Key words: Litchi Picking Fruit quality Detection Machine vision Exploratory analysis