

基于轮廓方向特征的柚子果形检测研究

杨冬涛,黄杰贤,龚昌来,罗 聪

(嘉应学院电子信息工程学院,广东 梅州 514015)

摘要:果形是实现柚子质量检测与分级的重要特征,针对柚子果形自动检测的迫切需求,采用图像处理技术,提出了基于轮廓方向特征的柚子果形检测方法。文章首先引入纹理梯度算子,定义方向熵函数获取柚子轮廓点上的方向角度并对柚子的轮廓进行编码;建立轮廓方向角度直方图以反应轮廓像素点在不同角度级的分布情况,并作为描述柚子果形特征的方法;在检测工作中,通过计算柚子图像之间的轮廓方向角度直方图相关系数实现对柚子果形优劣的判别。经实验证明:本文算法不仅具有较高的准确率,达到95.4%,而且具有检测效率高(每幅柚子图像的平均检测时间为100 ms),操作简便,算法通用性强的优点,满足实际的生产检测要求。

关键词:柚子果形;纹理梯度;方向熵函数;轮廓;相关系数

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.06.025

Inspection for pomelo's shape based on contour directional feature

YANG Dong-tao, HUANG Jie-xian, GONG Chang-lai, LUO Cong

(School of Electronic Information Engineering, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: The shape is one of the most important features in pomelo quality test and classification. Aiming at pomelo's shape inspection, an inspection algorithm for pomelo's shape based on contour directional feature is presented using image processing. The texture gradient operator is firstly introduced, directional entropy function is defined to obtain the directional angle of pomelo's profile points, which is used to extract and encode pomelo's contour. And then contour directional histogram is established to describe the distribution on shape's directionality as pomelo's shape feature. During inspecting process, pomelo shape's inspection can be realized by means of calculating correlation coefficient between contour directional histograms. The experiment proves its effectiveness, the inspecting accuracy can reach 95.4%. And every inspecting image's processing time is 100 ms on average. So the inspecting algorithm has the advantage of applicability, generality and convenience. That is very fit for practical application.

Key words: pomelo's shape; texture gradient; directional entropy function; contour directional histogram; correlation coefficient

1 引言

梅州市是全国最大的柚子生产基地,柚子是当地农民增收创富的重要的水果经济作物。近年来,柚子生产企业不断在海外开拓市场,并开始向欧、美、澳等高端市场进军。由于美国、澳大利亚及欧洲等发达国家与地区对水果商品的果形、质量、含糖

量、表面质地等关键指标制定了一系列产品标准,

基金项目:广东省自然科学基金项目(No. S2012010010368); 2011年梅州市产业技术研究与开发资金计划项目资助。

作者简介:杨冬涛(1981-),女,硕士,实验师,主要从事模式识别研究。E-mail: ydtsnail@163.com

收稿日期:2012-10-30

生产企业为达到出口标准,必须对柚子进行严格检测。然而,国内企业对柚子等水果的检测仍停留在依靠人眼、依靠经验或辅助测量工具对产品进行全检或抽检的检测水平,这造成了检测结果稳定性差、准确率低、效率不高等问题。针对该种落后的检测现状与柚子出口企业对自动化检测技术迫切需求,本文采用图像处理技术,对柚子关键指标——果形进行检测。

基于图像技术的水果果形检测方法^[1-2]中最常用的方法是几何结构法与统计法相结合的方法,具体是通过矩形率、矩、惯性主轴、偏心率、曲率、连续性等因子描述了果形的主要参数^[3-4],该方法的优点是效率较高,但描述果形的精确度较低,受目标物旋转的影响较大,同时在具体的应用过程中又需对多个参数进行设置,影响了算法的实用性与适应性。

文献研究水果分级用前16个谐波分量来描述形状规则时可达相当高的精度,同时发现用傅里叶描述算子的前4个谐波分量的变化特性能够较好地代表水果的形状,而且傅里叶描述子可以平移、旋转和缩放,具有很强的水果外形重建功能^[5-6]。然而傅里叶变换的局限在于获取最佳的谐波分量是繁琐、复杂的过程。这就给实际的应用、操作增加了难度并受到限制。

边界编码法虽然能够准确地描述水果的形状,但是数据量大而且压缩困难^[7]。但该方法却给本人的研究带来了新的思路与启发。在前人研究工作的基础上,本文提出基于信息熵的果形特征描述方法,并对柚子的果形进行检测。研究内容主要包括:①提取柚子的轮廓特征并基于纹理梯度获取轮廓的方向性特征;②定义轮廓方向角度直方图用于描述果形特征;③基于轮廓方向角度直方图的相关性对果形进行检测;④通过果形检测实验验证该方法的有效性,凸出本文算法的优越性。

2 基于方向熵的轮廓信息提取

轮廓特征是重要的图像特征,也是柚子果形检测最重要的参考依据。本节提出了量化目标轮廓边缘方向性的表达方法——纹理梯度方向性分布熵(简称方向熵)对轮廓进行初定位,并获取轮廓的方向特征信息。在整幅图像中,某像素点的纹理梯度数学表达式如(1)所示,对应的纹理梯度方向角度计算公式定义为式(2):

$$G_Y = [f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)] - [f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)]$$

$$G_X = [f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)] - [f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{G_Y}{G_X} \right| \quad \theta \in (0^\circ, 90^\circ) \quad (2)$$

为了搜索、提取有利于图像匹配的区域特征,首先将整幅图像划分为若干个单元图像(如图5所示)。根据公式(6)分别计算每个单元图像所包含的信息量——信息熵,本文通过对单元图像的灰度级分布情况进行统计以获取灰度信息熵值。

为了方便研究,将纹理梯度角度划分为不同的角度级*i*, $i=1, 2, \dots, N_\theta$, N_θ 为最高的纹理梯度角度级。在本实验中,当 $\theta \in (0^\circ, 10^\circ)$ 时, $i=1$; 当 $\theta \in (10^\circ, 20^\circ)$ 时, $i=2, \dots$; 当 $\theta \in (80^\circ, 90^\circ)$ 时, $N_\theta=9$ 为最高纹理梯度角度级。

分别从整幅图像中攫取 $R \times S$ 的图像,定义统计函数 $f_\theta(i)$ 统计,如式(3)所示,该公式表示为落入角度级为*i*的像素统计量,在整幅图像中,每个角度落入*i*角度级区间的概率 $P_\theta(i)$ 为:

$$P_\theta(i) = \frac{f_\theta(i)}{\sum_{j=1}^{N_\theta} f_\theta(j)} \quad i=1, 2, \dots, N_\theta \quad (3)$$

采用熵的方法度量轮廓角度分布情况,并通过定义方向熵的数学表达式对轮廓特征与方向特征进行提取,如式(4)所示:

$$E = - \sum_{i=1}^{N_\theta} P_\theta(i) \log P_\theta(i) \quad (4)$$

将公式(4)方向熵的数学表达式应用于图1(a)与图1(d),分别获取圆形目标物与矩形目标物的轮廓特征与轮廓的方向特征。根据熵的定义可知:熵可用于度量某变量的不确定性,当某变量为某确定事件时,熵值较小,根据该性质,纹理梯度角度级集中在某角度级分布时,方向熵值亦随之变小(图1(b)与图1(e)轮廓边缘区域的方向熵与非边缘区域的方向熵相比较具有明显的可区分性),方向熵较小的区域表示纹理梯度角度将集中在某个角度级集中分布,从中不仅可以对轮廓的位置进行初步定位,也可获取各轮廓点的方向角度信息,图1(c)、图1(f)为通过设置阈值对目标物轮廓进行分割,并获取各轮廓点的方向角度信息^[8-13]。

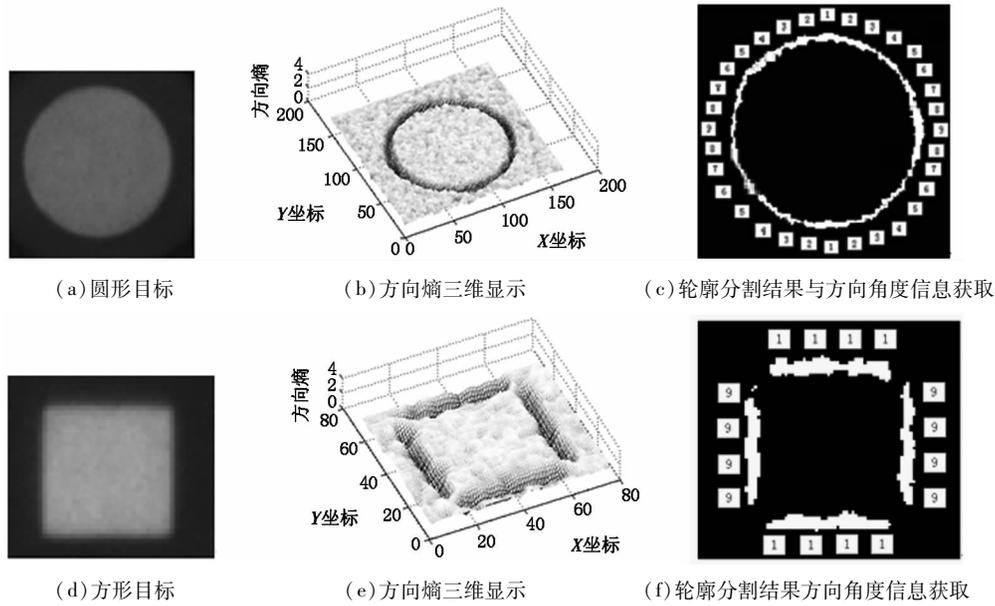


图1 基于方向熵的轮廓特征信息提取

3 轮廓方向角度直方图

图1实验完成了对轮廓的初步定位,并获取了每个轮廓点对应的轮廓角度级信息。在此基础上对轮廓的边缘作进一步精确定位(如图2(a)、图2(c))

所示),同时对筛选后所有轮廓点落入不同角度级的情况进行统计,图2(b)、图2(d)为轮廓点落入不同方向角度级的直方图统计结果,并做了归一化处理。

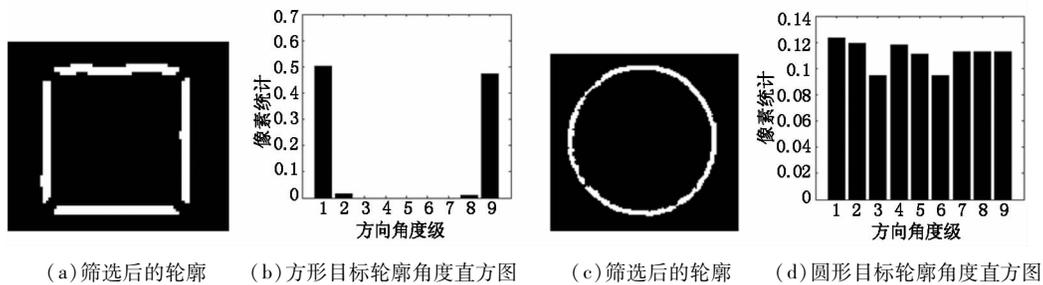


图2 轮廓方向角度直方图统计

从图2的直方图统计结果得到,方形目标物的轮廓点主要分布在第1,9的方向角度级区间(如图2(d)所示)分布;圆形目标的轮廓点则均匀地分布在各个方向角度级区间(如图2(d)所示),基本符合这两种不同外形特点目标物的轮廓角度级分布情况,验证了轮廓角度直方图描述目标外形的有效性。

4 基于轮廓方向角度直方图相关性的果形检测

将上述实验结果应用于柚子的果形描述,柚子的图像、柚子的边缘、方向熵、轮廓方向角度直方图分别如图3(a)~图3(d)所示。

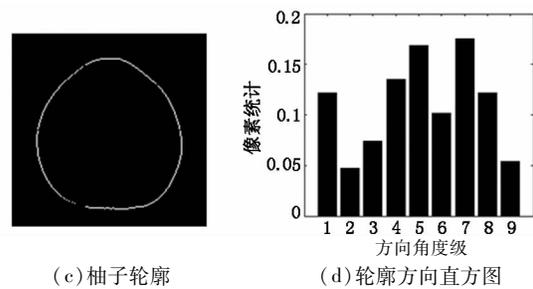
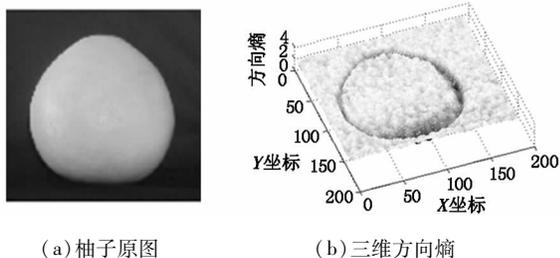


图3 柚子果形特征分析

图4分别提取不同果形的柚子目标物轮廓,并获取对应的轮廓方向角度直方图,通过观察得知,图4(a),图4(c),图4(e)的果形与图3(b)柚子果形的相似度逐渐减弱,用于描述柚子果形的轮廓角度直方图之间的差异性也逐渐随之增加。通过直方图相关性计算公式(5)分析果形之间的相似程度。

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N (R(i) - \bar{R})(S(i) - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N R(i) - \bar{R}} \sqrt{\sum_{i=1}^N S(i) - \bar{S}}} \quad (5)$$



(a) 柚子原图

(b) 三维方向熵

公式(5)相关系数 C 度量两个变量之间关联程度,取值范围为 $(-1,1)$ 。以图 3(a)的图像为参考图像,图 3(d)为标准的轮廓方向角度直方图以变量 R 表示, \bar{R} 为 R 的平均值; S 为待检测的柚子果形图像的轮廓方向角度直方图, \bar{S} 为直方图 S 的平均值。根据公式(5)计算标准图像与检测图像(如图 4 所示)的轮廓相似度,相关系数分别为:0.8962,0.6157,0.4038,0.3374。

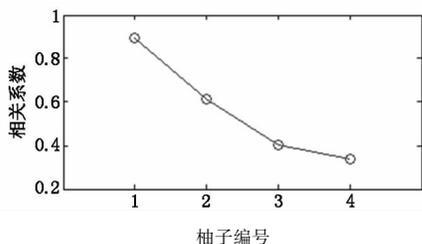
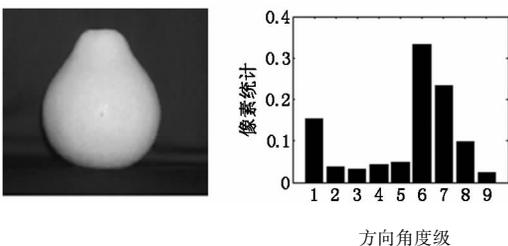
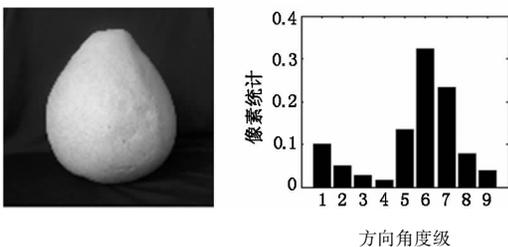
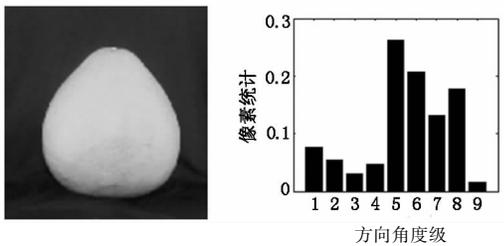
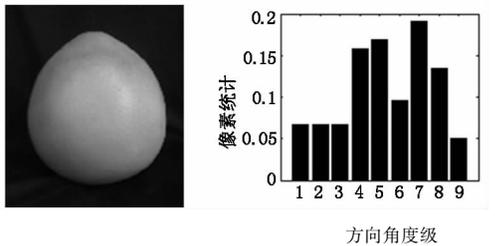


图 4 柚子果形相似度分析

根据图 4 相关系数的分布得到,轮廓方向角度直方图的相关系数可有效地衡量柚子果形之间的相似程度,根据该实验结果,提出基于轮廓方向角度直方图相关性的柚子果形检测方法。为了进一步验证该方法的有效性,分别获取 50 个果形合格的柚子与 50 个果形不合格的柚子作为检测样品,并观察每个柚子相关系数的分布情况,图 5 中, Y 轴表示相关系数, X 轴为柚子果形的周长(单位为像素),“ o ”表示果形合格的柚子样品,“ $*$ ”为果形不合格的样品数。具体分布如图 5 所示。

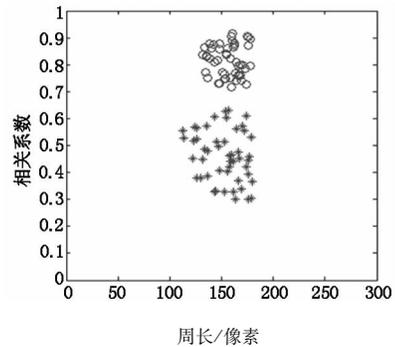


图 5 检测样品相关系数分布

从图 5 的实验结果得到,合格样品与非合格样品在相关系数上存在着明显的分界线,因此,基于轮廓方向角度直方图相关性分析方法能够对柚子果形的优劣进行有效区分。根据该批实验样品,采用分类器的方法获取最佳的柚子果形优劣的判别阈值,本实验的阈值为 0.65。

自动光学检测的性能可以通过以下指标进行评定^[14]:①准确率:给出准确结果的比率;②误检率:即系统将果形合格的样品判断为不合格的比率;③漏检率:即系统将不合格的样品判为合格的比率。对 478 个柚子样品的果形进行检测,已知有 87 个不合格的样品,检测结果如表 1 所示。

表 1 实验检测结果

测试样品总数	不合格样品识别数	误检数	漏检数	准确率/%	误检率/%	漏检率/%
478	99	17	5	95.4	3.56	1.04

5 实验结果分析

本文提出的算法不仅能够准确地对柚子果形的优劣进行判别,而且具有以下优点:①算法具有比较好的通用性,不仅可用于对柚子果形进行检测,也可用于其他水果的果形检测,或者对其他目标物的外形相似度进行判别;②与同类算法的水果果形检测方法相比较,算法的应用更加简便,仅需获取标准果形的轮廓方向直方图即可启动检测工作,无需设置

额外的参数与操作步骤;③算法具有高效的优点,算法的硬件平台为英特尔双核 2.53 G 的处理器,采用软件 VC 软件,处理尺寸大小约为 200×200 图像的平均时间为 100 ms 左右,满足实际生产检测的要求。

6 总结与展望

本文通过提取柚子轮廓方向角度,并建立轮廓方向角度直方图的方法描述柚子的果形特征,最终基于轮廓方向直方图相关性的方法实现对柚子果形的检测,准确率达到。该算法具有准确、高效、实用的优点,不仅具有理论价值,更具有实用价值。下一步研究工作将集中在柚子表面质地——纹理的检测工作上。

参考文献:

- [1] Ying Yibin, Rao Xuiqin, Ma Junfu. Methodology for non-destructive inspection of citrus maturity with machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2): 144 - 147. (in Chinese)
应义斌, 饶秀勤, 马俊福. 柑橘成熟度机器视觉无损检测方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 144 - 147.
- [2] Cao Leping. The overview of fruit grading technology based on computer vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 11: 10 - 15. (in Chinese)
曹乐平. 基于计算机视觉技术的水果分级研究进展[J]. 农机化研究, 2007, 11: 10 - 15.
- [3] Lin Kaiyan, Wu Junhui, Xu Lihong. Separation approach for shape grading of fruits using computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(6): 71 - 74. (in Chinese)
林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 基于计算机视觉技术的水果形状分级方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 71 - 74.
- [4] Cao Leping, Wen Zhiyuan. Error of the compensation fuzzy neural network fruit grader[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 102 - 106. (in Chinese)
曹乐平, 温芝元. 补偿模糊神经网络水果形状分级器分级误差[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 102 - 106.
- [5] Ying Yibin. Fourier descriptor of fruit shape[J]. Journal of Biomathematics, 2001, 16(2): 234 - 240. (in Chinese)
应义斌. 水果形状的傅里叶描述子研究[J]. 生物数学学报, 2001, 16(2): 234 - 240.
- [6] Qi Liyong, Gao Feng, Tan Yuzhi, et al. Cucumber shape description based on elliptic fourier descriptor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 164 - 167. (in Chinese)
戚利勇, 高峰, 谭豫之, 等. 基于归一化椭圆傅里叶描述子的黄瓜形状识别[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 164 - 167.
- [7] Yue Lijun, Wang Renhuang, Huang Yingyi. The machine vision method of distill the character parameter of plant laminae[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 5: 170 - 173. (in Chinese)
岳利军, 汪仁煌, 黄颖怡. 植物叶片特征参数的机器视觉提取方法[J]. 农机化研究, 2009, 5: 170 - 173.
- [8] D M Tsai, B T Lin. Defect detection of gold-plated surfaces on PCBs using entropy measures[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002, 20(6): 420 - 428.
- [9] Jiexian Huang, Feng Ye, Zhijie Dong, et al. Correction of FPC solder position error based on mutual information entropy[J]. Circuit World, 2011, 37(1): 46 - 51.
- [10] Feng Ye, Di Li, Jiexian Huang, et al. Flaw detection on FPC solder surface[J]. Circuit World, 2012, 38(3): 142 - 152.
- [11] Wang Yingying, Zhang Yongshun, He Pingping. Research on IR target-detecting method based on morphology and entropy[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 513 - 517. (in Chinese)
王莹莹, 张永顺, 何莘莘. 基于形态学和信息熵的红外目标检测算法[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 513 - 517.
- [12] Zhao Fucai, Hu Yihua, Tao Xiaohong, et al. Research on the effect evaluation based on information theory in imaging systems[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(4): 371 - 374. (in Chinese)
赵福才, 胡以华, 陶小红, 等. 基于信息理论的成像系统干扰效果评估[J]. 激光与红外, 2008, 38(4): 371 - 374.
- [13] Ding Xianyun, Zhu Yu. Segmentation for sem image based on two-dimensional entropy and artificial fish swarm algorithm[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(2): 210 - 214. (in Chinese)
丁贤云, 朱煜. 基于二维熵的人工鱼群材料图像分割方法[J]. 激光与红外, 2010, 40(2): 210 - 214.
- [14] Huang J X, Li D, Ye F, et al. Detection of surface deflection of solder on flexible printed circuit[J]. Opt. Precision Eng., 2010, 18(11): 2443 - 2453. (in Chinese)
黄杰贤, 李迪, 叶峰, 等. 挠性印制电路板焊盘表面缺陷的检测[J]. 光学精密工程, 2010, 18(11): 2443 - 2453.