

基于数字图像的水果分形维数特征

温芝元

(湖南农业大学 理学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 为了定量描述仿球形水果表面轮廓间的差异, 用周长-面积法研究水果的分形维数特征. 取大小不同的温州蜜柑 20 个、麻阳冰糖橙 17 个和红富士苹果 18 个, 设置 3 种水果花萼面和侧面 2 个方向上数字图像红色或蓝色分量阈值, 将水果区域内的红色、绿色、蓝色分量分别置为 0 和 1, 得到水果二值图像. 以水果区域细化后的边界像素数和区域内像素数分别作为水果的周长和面积, 以周长-面积法求得 3 类水果 2 个方向的分形维数. 结果表明, 3 种水果花萼面的分形维数均比其侧面的分形维数小, 花萼面分形维数间差异不明显, 但侧面分形维数差异明显, 表明仿球形水果的外形特征可用花萼面分形维数和侧面分形维数反映, 但主要指标是侧面分形维数.

关键词: 仿球形水果; 图像; 分形维数; 周长-面积法

中图分类号: S661.9; TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)04-0478-05

Fruits fractal dimension of fruits based on digital image

WEN Zhi-yuan

(College of Sciences, HNAU, Changsha 410128, China)

Abstract: Quantitative description about difference in contours of paraspherical fruits was conducted with fractal dimension using perimeter-area method. Test sample sets are 20 Wenzhou mandarin oranges, 17 Mayang bingtang oranges and 18 red fuji apples. Threshold values of red or blue component of fruit calyx and profile image are used to convert the image to binary image. Red, green and blue components within/out of fruit region are set to 0/1. After boundary thinning, pixel numbers of boundary and fruit region are treated as perimeter and area of fruit region. Fractal dimensions of calyx and profile of three kinds of fruits are calculated with perimeter-area method. Test results show fractal dimension of calyx images is smallest among three kinds of fruits in two directions, and deviation of calyx is not significant between different fruits; fractal dimension varies significantly in profile images. In conclusion, the shape feature of paraspherical fruit can be described by fractal dimension especially fractal dimension of profile.

Key words: paraspherical fruit; image processing; fractal dimension; perimeter-area method

橘、橙和苹果等水果虽外形都呈仿球形, 但量化的形状特征值有所不同, 即使是同一种水果, 这种差异同样存在, 描述这种差异对品种的自动识别与同品种的等级规格判定十分重要. 人们很早就发现许多不规则图形的面积与周长间存在某种对应关系^[1-6]. 曹乐平等^[7-9]以分形维数为指标, 对柑橘形状与光滑度进行机器视觉分级, 效果较好; 以周长、面积和分形维数为柑橘品种的特征值, 利用小

波神经网络识别宫川温州蜜柑、脐橙朋娜和泸溪无核椪柑, 正确识别率分别为 95%、95%、97.5%, 总正确识别率为 95.83%; 将柑橘色调进行分区, 提取各区域色调分形维数, 以 BP 神经网络为映射器, 无损检测宫川温州蜜柑糖度及有效酸度, 在 $\pm 1.5^\circ\text{Brix}$ 内, 糖度的正确识别率为 66.617 5%, 在 $\pm 0.5^\circ\text{Brix}$ 内, 有效酸度的正确识别率为 73.927 5%. 笔者对橘、橙和苹果的数字图像进行分析与处理, 计算其侧面与

收稿日期: 2010-03-12

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2007JJ6129); 湖南省农业厅重点项目(200704A)

作者简介: 温芝元(1964—), 女, 湖南益阳人, 副教授, 主要从事生物数学研究, wenzhiyuan6629@163.com

花萼面的分形维数，研究这 3 种仿球形水果的自相似性，旨在为水果品种的识别及外形质量等级分级提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

温州蜜柑 20 个，麻阳冰糖橙 17 个，红富士苹果 18 个，均购自长沙红星水果市场。

1.2 机器视觉系统与数据分析软件

机器视觉系统：光箱(500 mm×500 mm×500 mm，白色背景)、光源(在光箱顶部，关于相机镜头对称，安装 4 盏 11 W 节能灯)、相机(Olympus C-5000Z 500 万有效像素，分辨率 TIF_F2 560×1 920，镜头 7.8~23.4 mm，焦距 0.5 m~∞，快门速度 1/1000~16 s，光圈 F/2.8~F/4.8，镜头距光箱底距离 468 mm)、计算机(Lenovo PIV2.13 G，内存 512 M，Windows Xp 操作系统)。

数据分析软件为 Matlab 7.1。

1.3 方 法

1.3.1 图像处理

将水果依次置于光箱中，每果采集花萼面和侧面图像各 1 幅。

(1) 图像裁切。一幅 M×N 的 RGB 图像可以用 M×N×3 的矩阵描述。图像中的每一个像素点对应于红(R)、绿(G)、蓝(B)3 个分量组成的 3 元组。定义图像裁切窗口：

$$f(x, y) = M(L_i^{(1)} - L_i^{(1)}) \times N(L_i^{(2)} - L_i^{(2)}) \times 3 \quad (1)$$

式中，L_i⁽¹⁾ 和 L_i⁽¹⁾ 分别为裁切窗口行的起点与终点，L_i⁽²⁾ 和 L_i⁽²⁾ 分别为裁切窗口列的起点与终点。通过式(1)裁切水果图像，保留 ML_i⁽¹⁾ 至 ML_i⁽¹⁾ 和 NL_i⁽²⁾ 至 NL_i⁽²⁾ 的像素点，去除窗口外像素，使处理图像信息量少，以便提高处理速度。柑橘的裁切窗口为 774×794×3，橙和苹果的裁切窗口为 1 024×1 024×3。

(2) 图像二值化。将水果的 RGB 图像转换为 double 类型，分别作柑橘图像蓝色(B)分量直方图(图 1-a)，橙和苹果红色(R)分量直方图(图 1-b、图 1-c)。由图 1 可见，3 个直方图均呈明显的双峰分布，分别对应水果区域和背景。

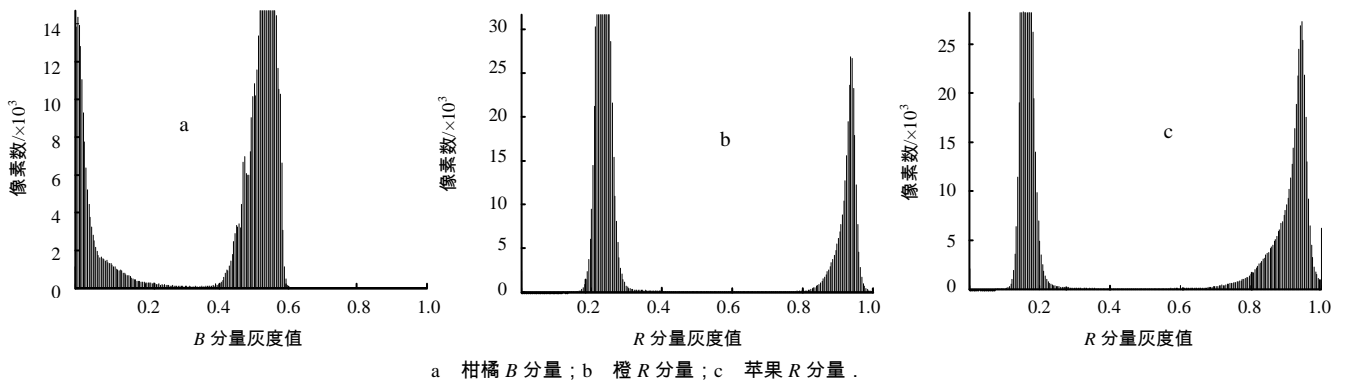


图 1 颜色分量直方图

Fig.1 Colour component histogram

由图 2 确定 3 种水果颜色分量阈值 T，并对柑 图像作如下变换：

$$f(3, R, G, B) = \begin{cases} R, G, B = 1, B > T_1 \\ R, G, B = 0, B \leq T_1 \end{cases};$$

$$f(3, R, G, B) = \begin{cases} R, G, B = 1, R < T_2 \\ R, G, B = 0, R \geq T_2 \end{cases}.$$

式中，T₁ 为柑橘图像的颜色分量阈值，T₂ 为橙

和苹果图像的颜色分量阈值。通过以上变换，图像 中，水果区域 R、G、B 均为 1，水果区域外 R、G、 B 均为 0，图像转化成黑、白两级灰度图像。设置 0 与 1 间的任意阈值，将灰度图像转化成黑、白二 值化图像(图 2-d)。与迭代法二值化图像(图 2-b)和 Otsu 法二值化图像(图 2-c)相比，用这种方法得到图像的 边界清晰、精确，水果区域内不存在孔眼，去背景 彻底。

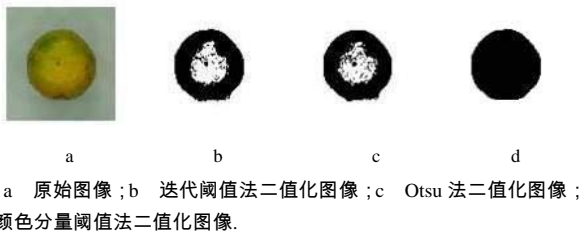


图2 二值化图像

Fig.2 Binary image comparison

通过四连通法边界跟踪,将二值化后的水果图像形成封闭的水果轮廓边界,但多像素的边界线影响图像中水果区域周长的计算,所以,再将边界线细化为单像素,并保持原边界的连通性,从而提高周长计量的精度。

(3) 编写3种水果分形维数 Matlab 计算程序。图3为柑橘分形维数计算程序框图,橙和苹果的分形维数计算程序框图与之类似。

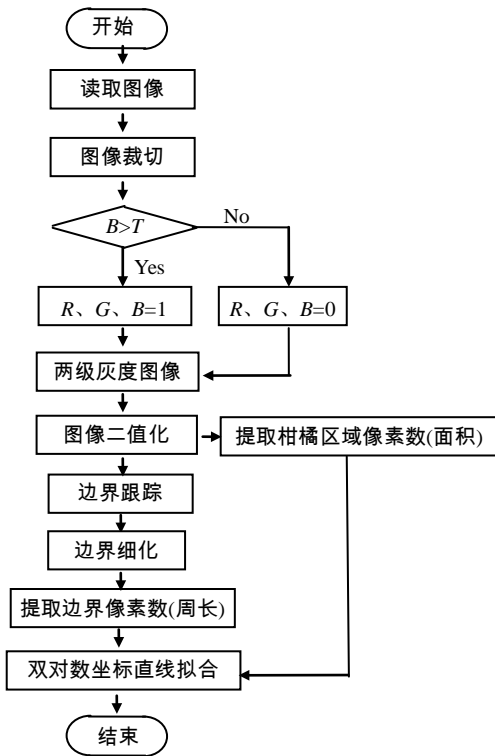


图3 柑橘分形维数计算程序框图

Fig.3 Citrus block diagram of fractal dimension calculation

1.3.2 分形维数的计算

对于自然界中岛屿等非规则图形, Hentschel 等^[10]证明了其周长 P 与面积 A 的关系: $P \propto A^{0.5D}$ 。式中, D 为分形维数。对于水果数字图像,

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

根据以上方法,以像素数计量周长与面积的水果分形维数为:

$$D = 2 \frac{\ln \sum_{(x,y) \in C} pixel(x, y) - \ln \alpha}{\ln \sum_{(x,y) \in \Omega} pixel(x, y)} \quad (2)$$

式中, C 为水果边界, Ω 为水果区域。 α 为水果形状因子。由(2)式可见,水果分形维数为 $2 \ln \sum_{(x,y) \in C} pixel(x, y)$ 与 $\ln \sum_{(x,y) \in \Omega} pixel(x, y)$ 拟合直线的斜率。

2 结果与分析

2.1 同一种水果的分形维数(以柑橘为例)

根据式(2),计算出3种水果2个方向的分形维数如表1。

表1 3种水果花萼面和侧面的分形维数

位置	水果	分形维数	标准差	最小值	最大值
花萼面	柑橘	1.000 7	$5.529 6 \times 10^{-4}$	1.000 1	1.001 7
	橙	1.001 1	$9.172 8 \times 10^{-4}$	1.000 1	1.003 2
	苹果	1.001 0	$9.690 1 \times 10^{-4}$	1.000 0	1.002 8
侧面	柑橘	1.025 4	$1.200 1 \times 10^{-3}$	1.023 3	1.028 3
	橙	1.008 4	$1.000 2 \times 10^{-3}$	1.007 1	1.010 5
	苹果	1.018 6	$4.565 1 \times 10^{-4}$	1.017 8	1.019 5

从表1可知,柑橘花萼面分形维数的标准差小,说明柑橘花萼面分形维数差异不明显;图4中柑橘花萼面周长-面积双对数坐标拟合直线的拟合度较高,这主要是因为柑橘花萼面图像都呈准圆形。

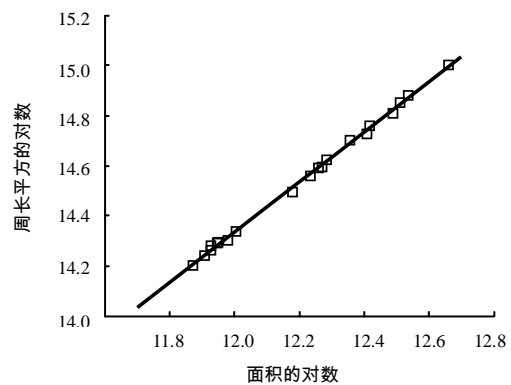


图4 柑橘花萼面周长-面积双对数拟合直线

Fig.4 Citrus calyx fitting line based on perimeter-area logarithm

从表 1 可知,柑橘侧面分形维数的标准差较大;由图 5 可知,柑橘侧面周长-面积双对数拟合直线的拟合度较低,说明柑橘侧面分形维数差异明显。

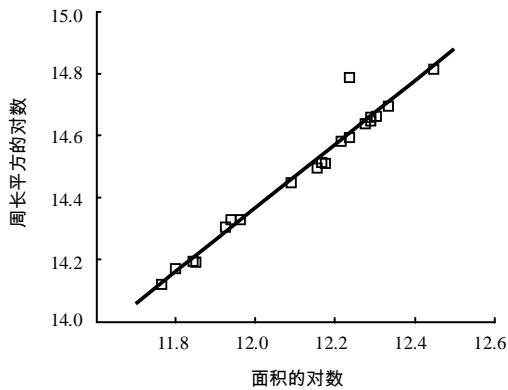


图 5 柑橘侧面周长-面积双对数坐标拟合直线

Fig.5 Citrus profile fitting line based on perimeter-area logarithm

比较柑橘花萼面和侧面 2 个方向的分形维数,花萼面的分形维数比侧面的分形维数小。

橙和苹果的情况与柑橘类似。

2.2 同一种水果分形维数的方差分析(以橙为例)

橙的花萼面和侧面 2 个方向分形维数的 3 种方差列于表 2。表 2 中, F 值远大于临界值,表明橙在 2 个方向的分形维数差异明显,不能用一个方向的分形维数代替另一个方向的分形维数,评判仿球形水果分形维数至少要从含侧面在内的 2 个方向度量。

柑橘和苹果的情况与橙类似。

表 2 橙花萼面和侧面分形维数的方差分析

Table 2 Anova of calyx/profile fractal dimension of orange

方差来源	离差平方和	自由度	均方和	F 值	临界值
SSA	$5.000 0 \times 10^{-4}$	1	$4.252 5 \times 10^{-4}$		
SSE	$4.252 5 \times 10^{-4}$	38	$1.967 1 \times 10^{-6}$	216.181 2	4.17
SST	$7.475 0 \times 10^{-5}$	39			

SSA 为组间离差平方和, SSE 为组内离差平方和或误差平方和, SST 为总离差平方和。下同。

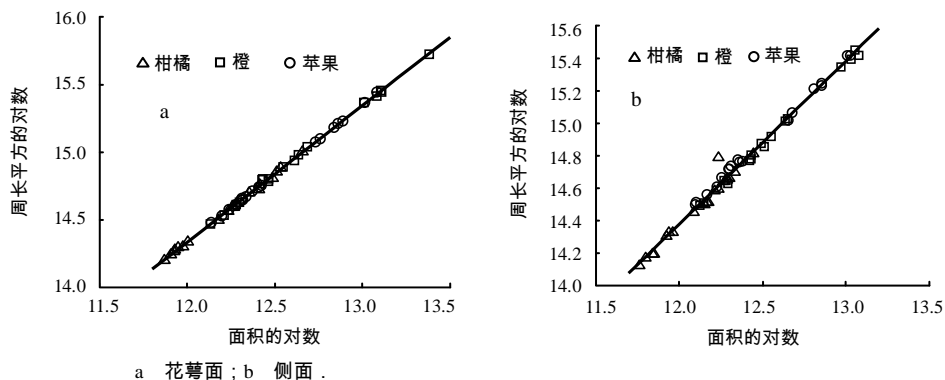
2.3 3 种水果分形维数的方差分析

由表 3 可见,3 种水果花萼面分形维数的 F 值小于临界值,侧面分形维数的 F 值远大于临界值;由图 6 可知,图 6-a 数据点拟合度较高,图 6-b 数据点拟合度较低,这表明柑橘、橙及苹果花萼面的分形维数差异不明显,但侧面分形维数差异明显,故可用其中任一种水果花萼面的分形维数近似代替另外 2 种水果在该方向上的分形维数;用其中某一种水果侧面的分形维数代替另外 2 种水果该方向上的分形维数,则是一种粗略的估计,因此,水果侧面的分形维数是识别仿球形水果种类的关键,也是判定同一种水果表面轮廓是否圆整、光滑等外形质量等级的重要参数。这一点有别于王艳平等^[11]对番茄生理病害果的识别。

表 3 3 种水果分形维数的方差分析

Table 3 Anova of fractal dimension of 3 kinds of fruits

位置	方差来源	离差平方和	自由度	均方和	F 值	临界值
花萼面	SSA	$2.302 5 \times 10^{-6}$	2	$1.151 2 \times 10^{-6}$		
	SSE	$3.523 5 \times 10^{-5}$	52	$6.775 9 \times 10^{-7}$	1.669 0	3.32
	SST	$3.753 7 \times 10^{-5}$	54			
侧面	SSA	$2.700 0 \times 10^{-3}$	2	$1.300 0 \times 10^{-3}$		
	SSE	$4.778 8 \times 10^{-5}$	52	$9.190 1 \times 10^{-7}$	$1.414 6 \times 10^3$	3.32
	SST	$2.700 0 \times 10^{-3}$	54			



a 花萼面; b 侧面。

图 6 3 种水果周长-面积双对数拟合直线

Fig.6 Fitting line of 3 kinds of fruits based on perimeter-area logarithm

3 结论与讨论

用本研究中设计的程序进行仿球形水果图像分析与处理,不仅水果轮廓清晰,无孔眼,而且用周长-面积法计算出的水果的分形维数精度较高.大小不一的同种水果,其同一方向的分形维数差异较小,一方面表明水果具有明显的自相似性,可以通过计算机来模拟其生长过程.利用水果花萼面与侧面2个方向分形维数的差异,以水果花萼面与侧面2个方向的分形维数为参数,可对水果外形、质量等级等进行机器分级.因本试验以色泽鲜艳的成熟水果为对象,在特定的光箱中进行图像采集,光箱背景与水果色差明显,用基于颜色分量的阈值方法,去除图像背景后提取的水果区域轮廓清晰、光滑,但生长中水果色泽与树叶接近,通过颜色分量去背景会存在误检与漏检,所以,所提取的分形维数误差大.以自然场景中的挂果为对象,找出生长过程中水果的分形维数特征分布,将是后续研究的重点.

参考文献:

- [1] Attila R Imre . Artificial fractal dimension obtained by using perimeter-area relationship on digitalized images [J] . Applied Mathematics and Computation , 2006 , 173 : 902-915 .
- [2] Andreas Krein ,Ellen Petticrew ,Thomas Udelhoven .The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed [J] . Catena , 2003 , 53 : 165-179 .
- [3] Jin-Ju Park ,Su-II Pyun .Pit formation and growth of alloy 600 in Cl⁻ ion-containing thiosulphate solution at temperatures 298~573 K using fractal geometry [J] . Corrosion Science , 2003 , 45 : 995-1010 .
- [4] Gyoung-Ja Lee , Su-II Pyun , Chang-Kyu Rhee . A study on electrophoretic deposition of Ni nanoparticles on pitted Ni alloy 600 with surface fractality[J] . Journal of Colloid and Interface Science , 2007 , 308 : 413-420 .
- [5] Seung-Bok Lee , Su-II Pyun . Determination of the morphology of surface groups formed and PVDF-binder materials dispersed on graphite composite electrodes in terms of fractal geometry[J] . Journal of Electroanalytical Chemistry , 2003 , 556 : 75-82 .
- [6] Su-II Pyun , Chang-Kyu Rhee . An investigation of fractal characteristics of mesoporous carbon electrodes with various pore structures[J] . Electrochimica Acta , 2004 , 49 : 4171-4180 .
- [7] 曹乐平,温芝元,陈理渊.基于分形维数的柑橘形状与光滑度的机器视觉分级[J].测试技术学报,2009,23(5):407-411.
- [8] 曹乐平.基于周长面积分形维数的柑橘品种机器识别[J].农业工程学报,2010,26(2):351-355.
- [9] 曹乐平,温芝元,沈陆民.基于色调分形维数的柑橘糖度和有效酸度检测[J].农业机械学报,2010,41(3):143-148.
- [10] H G E Hentschel ,Itamar Procaccia .The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractors[J] . Nonlinear Phenomena : Physica D ,1983 , 8(3) : 435-444 .
- [11] 王艳平,戴小鹏,黄璜.基于数学形态学和神经网络对番茄生理病害果的识别[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2006,32(3):344-346.

责任编辑:王赛群
英文编辑:罗文翠