

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.07.046

基于三维线框模型的类球体农产品体积和表面积测量

龚爱平¹ 张卫正² 何勇³ 聂鹏程³

(1. 深圳信息职业技术学院机电学院, 深圳 518172; 2. 郑州轻工业学院计算机与通信工程学院, 郑州 450002;
3. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

摘要: 为了快速无损测量不规则类球体形状农产品的体积和表面积,提出了基于三维线框模型的图像处理方法。即以 Android 系统为工作平台,利用 Java 结合 OpenCV 函数库,以三维线框模型为理论指导编写包括图像采集、图像分割、体积和表面积计算的应用软件。用 3 种不同直径的标准球体在 6 个拍摄距离下进行测量,所获测量值与理论值的误差小于 0.3%,表明摄像头自身畸变小,在图像能完整呈现被测物的拍摄距离,被测物轮廓的大小对测量精度的影响在可接受的误差范围之内。用所提方法、排水法和扫描图像处理法对不规则形状的柑橘、苹果、梨各 10 组进行体积和表面积测量,结果显示 3 种测量方法的相关系数大于 0.98,表明该方法可较精确测量类球体农产品的体积和表面积。

关键词: 类球体农产品; 体积; 表面积; 三维线框模型; Android 系统; 图像处理

中图分类号: TP391.41; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)07-0338-07

Measurement of Volume and Surface Area for Spheroid Agricultural Product Based on 3D Wire Frame Model

Gong Aiping¹ Zhang Weizheng² He Yong³ Nie Pengcheng³

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518172, China
2. College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China
3. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This article proposed a new method for fast measurement of the volume and surface area (VSA) of spheroid agricultural products based on 3D wire frame model via image processing using an Android device (AD). The spheroid product counting algorithm software was developed in Java combined with OpenCV library that uses AD to measure the VSA of spheroid agricultural products. The target photos were taken in normal conditions by AD. The image processing was used to get image, segment image, generate binarization image, filter noise, and calculate the VSA according to the coordinate of three-dimensional wireframe model. Using this method to measure the ball with different diameters at six distances that between 100 mm and 350 mm, and the segment spacing was 50 mm, which verified that the camera distortion was less than 0.3%, and the contour size of the measured object had scarcely effect on the measurement accuracy. The proposed method was applied to measure the VSA of 10 different citrus, apple and pear, and then all the fruits were measured by drainage method to get their volume and scanning method to attain their surface area. The test result shows that the correlation coefficient among proposed method, drainage method and scanning method was more than 0.98. The results indicated that the introduced method could be utilized as a rapid and non-destructive method for the AD measurement of different spheroid produces of agricultural products.

Key words: spheroid agricultural product; volume; surface area; 3D wire frame model; Android system; image processing

收稿日期: 2016-03-09 修回日期: 2016-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(61405175)和深圳市战略新兴产业发展专项(JCYJ20150417094158023)

作者简介: 龚爱平(1977—),男,讲师,博士,主要从事农业信息采集与处理技术研究,E-mail: 10913012@zju.edu.cn

通信作者: 聂鹏程(1980—),男,副教授,博士,主要从事农业信息技术研究,E-mail: npc2012@zju.edu.cn

引言

体积和表面积是所有农产品的重要物理特征,准确地获取几何模型是分析农产品快速冷冻、长期存储、收获和加工处理等过程所必需的^[1-4],测量体积和表面积是一项非常有意义的研究^[5-7]。

传统的类球体农产品测量体积的方法是采用基于阿基米德原理的排水法,将被测物完全置于水中,以排出水的体积作为被测物的体积,该方法较为耗时且不够精确^[8]。机器视觉技术可准确无损地测量体积和表面积,国内外学者已经利用该技术测量农产品的直径、周长和投影面积等,也通过设定产品为椭球或轴对称形态来测量其体积^[9-12],但应用于不规则形态的产品时,测量精度受到一定程度的影响。近年来已有多篇文献研究了基于三维信息的不规则形状农产品体积的测量,张建锋等^[13]借助函数库 Visualization Toolkit 研究了基于核磁共振成像的农产品几何模型重构;UYAR 等^[14]采用三维激光扫描仪进行了多种水果的三维建模,并精确测量了体积和表面积。但这些仪器设备昂贵,实验条件要求较高,数据处理过程较繁琐。

为了快速无损测量不规则类球体形状农产品体积和表面积,本文提出基于三维线框模型测量类球体农产品体积和表面积的方法,采用 Android 平台及开源计算机视觉库 OpenCV (Open source computer vision library) 开发系统,实现高精度、低成本的无损测量。

1 测量原理

1.1 三维线框模型的坐标点计算

三维线框模型(3D wire frame model)是三维计算机图形中的物体可视化表示方法,是利用对象形体的棱边和顶点来表示几何形状的一种模型。三维线框模型可以生成、修改、处理三维线框几何体,利用曲面与曲面的求交、曲面的等参数线、曲面边界线、曲线在曲面上的投影、曲面在某一方向的分模线等方法来生成复杂曲线,很多复杂的产品,先用几条线勾勒出基本轮廓,然后逐步细化;线框的存储量小,操作灵活,响应速度快,这种造型方法对硬件的要求不高,容易掌握,处理时间较短^[15]。

要建立被测农产品的三维线框模型,需要在被测农产品旋转的过程中,等时间间隔采集 p 个图像,将每个图像中的被测农产品部分通过图像分割提取出来,并检测被测农产品边缘点的图像坐标。从第 1 个图像起,以后每个时间间隔获取的图像坐标旋转角度依次累加 π/p ,并转为预先设定的以托盘中

心点为原点、托盘的中心轴为 Z 轴的测量坐标系中的坐标,通过坐标点计算出被测农产品的体积和表面积,示意图如图 1 所示。

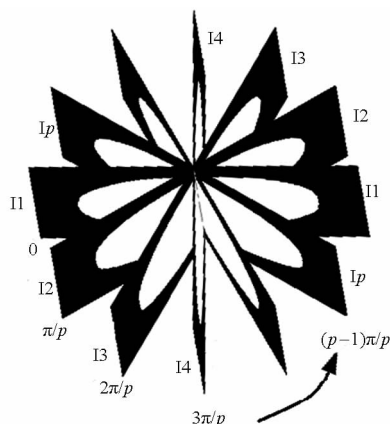


图 1 等间隔采集图像示意图

Fig. 1 Schematic of capturing images at regular intervals

设定图像坐标系是以图像 I 左上角为原点,托盘的中心轴所在的列为 z_h ,将所有图像中被测农产品边缘点的图像坐标中的列坐标值减去 z_h ,并以 z_h 列为轴进行旋转,其中系统采集的第 1 个图像 I1、第 2 个图像 I2、第 3 个图像 I3 及第 p 个图像 Ip 的旋转角分别为 0 、 π/p 、 $2\pi/p$ 及 $(p-1)\pi/p$ 。

图像坐标系中的 z_h 列就是测量坐标系的 Z 轴,以测量坐标系 Z 轴为轴进行旋转的图像中的同一点在旋转前后有关系式

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 (x, y) ——旋转前的图像坐标位置(x 为图像坐标的列值减去 z_h , y 为 0)

α ——所在图像的旋转角,逆时针为正方向

(x', y') ——旋转后的所在测量坐标系坐标

在图像坐标系中检测出被测农产品边缘最大的行值 h_{\max} ,则同一点旋转后在测量坐标系的 z' 为 $h_{\max} - x$ 。由此得到被测农产品三维线框模型在测量坐标系的坐标。

1.2 体积和表面积测量原理

由测量坐标系的坐标点建立被测农产品的三维线框模型如图 2 所示。按图 2b 所示,从底向上等间隔切分为 $n-1$ 个切片,共 n 个层面,如图 2c 所示。分别计算每个切片的体积及侧面面积,所有切片的体积之和即为被测农产品的体积;所有切片的侧面面积与最顶层和最底层的层面面积之和即为被测农产品的表面积。

在图 2c 中选取切片的一个横切面,将该横切面的各个边界点分别依次连接成线,则构成有 $2p$ 个顶点的多边形,在该多边形中任选一点作为起始点,如

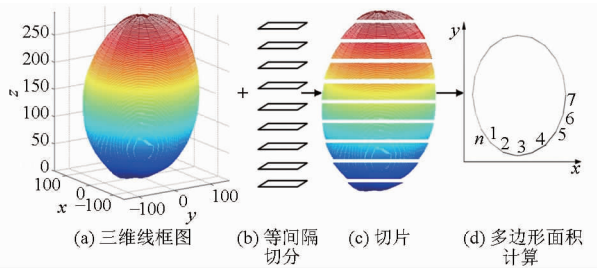


图2 体积和表面积计算

Fig. 2 Calculation of volume and surface area

图2d所示。根据多边形面积计算公式计算多边形的面积^[16],以顶点1为原点,依次计算相邻2点与x轴所组成的梯形面积,所有梯形面积之和的绝对值即为多边形的面积。

$$A = \left| \sum_{i=1}^{2p} \frac{1}{2} (x_{i+1} - x_i) (y_{i+1} + y_i - 2y_1) \right| \quad (2)$$

其中 $x_{2p+1} = x_1$ $y_{2p+1} = y_1$
式中 A ——面积 x, y ——平面坐标系的坐标值

计算被测农产品的表面积时,被测农产品的最顶层和最底层由2个多边形构成,按照式(2)分别计算2个层的面积;最顶层和最底层之间的层,每2层相对应的顶点相连,构成多个四边形,再将所有的四边形分别沿其对角线分为2个三角形,用海伦公式计算三角形的面积。最顶层、最底层及剩余层间的所有三角形的面积之和即为被测农产品的表面积。

将各个切片近似作为台体,采用台体公式法计算每一个切片的体积,累加所有切片的体积得到被测农产品的体积。根据式(2)计算台体的上底和下底的面积,用台体体积公式计算体积^[17]

$$V = \sum_{m=1}^{n-1} \frac{(A_m + \sqrt{A_m A_{m+1}} + A_{m+1})z}{3} \quad (3)$$

式中 n ——层数

A_m, A_{m+1} ——第 $m, m+1$ 层的层面积

z ——切片的高度 V ——总体积

每次采集被测农产品图像时,定位好距离后,换用黑色托盘,用于计算不同距离段中每个像素所代表的面积。托盘直径的总像素数为 N_p ,托盘直径为 90 mm,则单个像素所代表的实际面积 S_p (mm^2) 为 $(90/N_p)^2$,单个像素所代表的实际体积 V_s (mm^3) 为 $(90/N_p)^3$ 。若被测农产品的表面积的总像素数为 S_A ,则 $S_A \times S_p$ 即是该农产品的实际表面积;若被测农产品的体积总像素为 V ,则 $V \times V_s$ 即是该农产品的实际体积。

1.3 图像分割

图像分割的目的是把研究对象从图像中精确地分离出来,然后对提取的结果进行滤波去噪,提高测

量的精度^[18],再对分割的图像进行分析、计算等。面向彩色图像处理的最常用的模型是 HSV 模型,对于彩色来说,饱和度 S 与一定色调的纯度有关,纯光谱色是完全饱和的,随着白光的加入,饱和度逐渐减小。对于任何3个归一化到 $[0, 1]$ 范围内的 R, G, B, S 分量计算式为^[19]

$$S = 1 - \min(R, G, B) / \max(R, G, B) \quad (4)$$

根据式(4)可知,当某像素点为纯色时,如纯蓝色,则 $B = 1, R = G = 0, S = 1$;当某像素点为白色时,则 $R = G = B = 1, S = 0$,即当某像素点为纯黑色时,定义为 $S = 0$ 。本文研究的图像颜色分别是背景板的白色、旋转平台的黑色和被测物的颜色。黑色和白色及它们之间的各种灰色是完全不饱和的颜色,而被测水果的颜色是色调鲜明且色彩成分多,因此,采用式(4)可将三维图像降为只含图像饱和度 S 的一维图像,然后通过 OTSU 阈值分割算法把被测物的轮廓从背景中分割出来^[20]。

以柑橘为例,采用式(4)计算得到柑橘的饱和度图像如图3a所示;通过 OTSU 阈值分割算法,则可以得到柑橘的二值图像如图3b所示。图像中值滤波的基本原理是把图像中一点的值用该点的邻域中各点值的中值代替,从而消除孤立的噪声点。为此采用 3×3 的模板对柑橘的二值化图像进行中值滤波,效果如图3c所示。

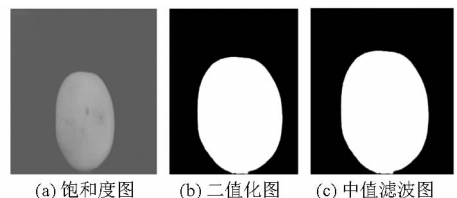


图3 图像分割

Fig. 3 Image segmentation

2 试验材料与装置

试验设备包括高精度旋转平台、支架、白色背景板、30 W LED 线阵光源、米尺、量筒、烧杯、华为 Mate 8 手机(内置兼容 Android OS 6.0 操作系统,其 CPU 为 4 核主频 2.3 GHz,1 600 万像素摄像头,3 GB RAM,32 GB ROM,6 英寸多点触控屏幕)、惠普扫描仪(型号为 HP Laser Jet M1005 MFP)、Photoshop 软件(版本为 CS4)、AutoCAD 2005、计算机、集成开发环境 Android Studio、OpenCV 函数库。

实验室自主开发的高精度旋转平台采用步进电动机(1.8°)为驱动,质量 1.7 kg,可直流和交流供电,自动旋转,有效载荷为 500 g,旋转 360° ,速度 $45^\circ/\text{s}$,分辨率达到 0.01° ,重复定位精度 0.005° ,绝对定位精度 0.01° ,台面直径 90 mm,厚度为 2 mm 且

可选黑色、白色和透光度大于 92% 的亚克力板。图像采集过程中避免待测物品放置在托盘一边而造成托盘平面倾斜。支架角度可调,用于固定手机并确保其平面处于垂直。系统示意图如图 4 所示。

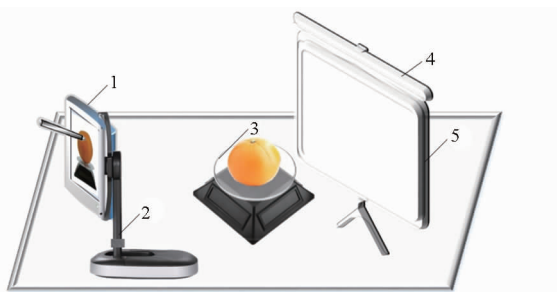


图 4 系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of system

1. 手机 2. 支架 3. 旋转托盘 4. 光源 5. 白色背景板

在采集被测农产品的图像时,打开光源,确保手机摄像头视野内的背景简单,背景板为白色,并将白色 A4 纸放置在背景板与旋转托盘的连接处,从而减小图像分割的难度。试验对象为柑橘、苹果和梨,均购于杭州市西湖区育英路水果超市。

3 应用程序设计

本文设计的不规则形状农产品体积和表面积测量软件的主界面如图 5 所示,利用 Android Studio 布局管理器进行操作界面的控件布局,采用 DrawLine extends Activity 类在屏幕上划 3 条红线,3 条红线的间距刚好是手机平面和被测物平面处于 250 mm 时的旋转平台底座的 3 条棱的间距,以方便图像采集时控制手机平面和被测物平面处于平行状态。图中“定位”控件用于图像拍摄前调整手机平面和被测物平面处于平行状态和锁定被测物的图像最高点边缘。“定位”控件的具体要求是:①第 1 次按该键,在屏幕上出现 3 条红线;调整手机的位置,当 3 条红线与旋转平台底座的 3 条棱重合时,表明手机平面与被测物平面处于平行状态。②第 2 次按该键,底下 2 条红线消失,保留最上面的红线;调整支架的高度,让保留的红线与旋转托盘重合,此时红线即锁定了被测物的图像最高点边缘。③第 3 次按该键,中间红线保留。④第 4 次按该键则最底下红线保留;再按该键,系统软件主界面则回到状态①。动作②~④的目的是为了方便图像分割,即图像分割时只取坐标原点至红线坐标以内的图像,能加快图像处理的速度。

触发图中“拍摄图像”控件,则手机按程序设置要求,自动拍摄图像数量并保存。即使用 OpenCV 捕捉相机输入帧,对获取的帧图像进行预览,根据平台旋转一周的时间 T 和试验中需要采集的图像数

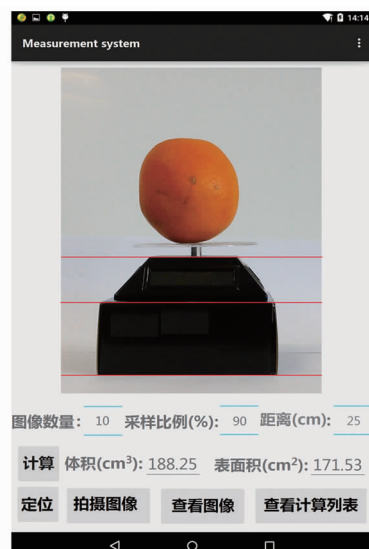


图 5 系统软件的主界面

Fig. 5 System software's main interface

量 N , 利用 `CountDownTimer()` 设置等待时间,软件自动以 T/N 的时间间隔拍摄并保存照片为 JPEG 格式, `CameraActivity` 类可以打开并显示保存后的照片。如设置拍摄 10 幅图片,旋转平台因为 4 s 运转 180°,则 0.4 s 手机自动拍摄 1 幅图像。

点击“查看图像”控件,应用程序将用 OpenCV 提供的 `BaseLoaderCallback` 抽象类,通过该类声明的回调方法激活相机拍摄内容。

图像采集完毕后,点击“计算”控件,应用程序将获取的 RGB 格式图像转换为 HSV 格式图像,采用 OTSU 阈值分割算法将获得的饱和度分量 S 图像进行分割、二值化及中值滤波。根据 `CXCore` 模块提供的矩阵、数组等最基本的数据结构及计算方法,采用 1.1.1 节提供的原理实现三维相框模型的坐标点计算,采用 1.1.2 节提供的原理计算体积和表面积,并将结果显示在图 5 相应的位置。

`AndroidManifest.xml` 清单定义了 Android 应用需求条件和对应内容,“查看计算列表”具有在该文件中开启相机和存储卡的访问功能。

采用该应用程序测量时要求先触发“定位”控件,对被测物定好位后再触发“拍摄图像”控件,然后点击“计算”控件,再按测试需要与否,可选择启动“查看图像”和“查看计算列表”控件。

4 试验结果与分析

4.1 球形体积与表面积测量

为验证系统中拍摄距离和被测物轮廓的大小对测量精度的影响,用直径为 40 mm 的乒乓球及 90 mm 的皮球代表球形被测物体,测试了手机平面和背景板平面之间的距离分别为 100 ~ 350 mm,依

次间隔 50 mm 的 6 个距离段的数据,测量结果如表 1 所示。

表 1 不同球体在不同距离时体积与表面积测量结果

Tab.1 Volume and surface area of different spheres in different distances

| 距离/ mm | 乒乓球表面 积/cm ² | 乒乓球体 积/cm ³ | 皮球表面 积/cm ² | 皮球体积/ cm ³ |
|-----------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 100 | 50.491 6 | 33.907 1 | 255.301 8 | 380.656 2 |
| 150 | 50.245 4 | 33.667 2 | 255.013 6 | 382.432 8 |
| 200 | 50.312 3 | 33.542 5 | 254.525 5 | 381.765 3 |
| 250 | 50.286 3 | 33.303 2 | 254.498 2 | 381.632 1 |
| 300 | 50.116 0 | 32.937 1 | 255.246 3 | 382.182 7 |
| 350 | 50.360 2 | 32.762 8 | 253.797 1 | 380.965 2 |
| 理论值 | 50.265 5 | 33.510 3 | 254.469 0 | 381.703 5 |

从表 1 可以得出,用本文提出的方法在不同距离测量不同直径球体的表面积和体积时的结果与理论值的误差小于 0.3%,说明摄像头的畸变非常小,精度满足系统精准测量的要求。从表 1 的测量结果分析可知,测量距离在 150 mm 至 250 mm 距离段,测量结果相对稳定,在其它距离段测量结果的误差有逐渐加大的趋势,这是因为图像分割时,图像边缘受光照影响而识别相对模糊,容易把被测物的边缘误认为背景,测量时调整好光源能减小这种因边缘误分割而引起的误差。

4.2 与排水法和扫描图像处理法测量结果比较

为了评价体积测量精度,在手机平面与被测物平面 150 mm 至 250 mm 距离段随机选择一测试距离,测试了柑橘、苹果、梨的体积和表面积。被手机测量过体积的柑橘、苹果和梨,再用排水法测量它们的体积和扫描图像处理法测量它们的表面积。本文采用的排水法是:往侧壁开有导水孔的烧杯中注水,等水有溢出后则停止注水,随后将被测物放入烧杯中,收集被测物排出的水,然后用精度 0.001 g 的电子天平测量排出水的质量 m ,用公式 $V_w = m/\rho$ (ρ 为水的密度)计算排出水的体积 V_w 。

本文的扫描图像处理法是将柑橘、苹果和梨表皮用小刀切成小块并剥下,采用扫描仪结合 Photoshop 软件的方法测量表面积。图 6 是以柑橘为例,将表皮小块放置在扫描仪上,并覆盖 A4 纸扫描得到的图像。

根据 A4 纸的尺寸进行像素面积标定,从而得到单个像素的面积。用 Photoshop 魔棒工具提取各个表皮小块,统计所占像素总数为 9 813 023,从而计算出表面积为 176.331 3 cm²。

分别用本文方法、排水法、扫描图像处理法,对柑橘、苹果和梨各 10 个进行测量的结果如表 2~4



图 6 扫描仪得到的柑橘表皮图像

Fig.6 Scanner image of citrus peel

表 2 柑橘的 2 种方法测量结果

Tab.2 Results of citrus measurement

| 编号 | Android 法 的面积/cm ² | Android 法 的体积/cm ³ | 扫描图像法 的面积/cm ² | 排水法的 体积/cm ³ |
|----|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | 193.140 6 | 178.492 5 | 197.174 6 | 181.907 8 |
| 2 | 231.781 2 | 205.479 8 | 233.810 3 | 209.167 7 |
| 3 | 216.995 3 | 191.415 9 | 222.361 7 | 196.386 5 |
| 4 | 207.902 1 | 192.649 9 | 213.396 2 | 197.773 0 |
| 5 | 248.164 4 | 210.571 4 | 253.460 7 | 213.504 4 |
| 6 | 225.178 4 | 197.034 0 | 230.337 3 | 201.013 1 |
| 7 | 218.539 7 | 202.370 3 | 223.483 0 | 206.271 2 |
| 8 | 229.643 8 | 194.712 4 | 233.248 0 | 199.281 2 |
| 9 | 234.336 1 | 205.792 7 | 239.229 3 | 210.893 6 |
| 10 | 223.682 3 | 191.903 1 | 226.227 9 | 196.842 6 |

表 3 苹果的 2 种方法测量结果

Tab.3 Results of apple measurement

| 编号 | Android 法 的面积/cm ² | Android 法 的体积/cm ³ | 扫描图像法 的面积/cm ² | 排水法的 体积/cm ³ |
|----|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1 | 295.280 8 | 241.566 5 | 302.811 3 | 242.541 5 |
| 2 | 287.185 6 | 236.192 2 | 294.708 3 | 238.478 1 |
| 3 | 316.896 2 | 279.392 7 | 320.433 5 | 281.439 7 |
| 4 | 319.191 7 | 277.987 8 | 325.834 7 | 279.931 6 |
| 5 | 298.634 8 | 259.734 2 | 304.342 9 | 261.742 9 |
| 6 | 281.942 6 | 234.189 3 | 286.952 4 | 235.850 2 |
| 7 | 290.680 7 | 255.863 9 | 297.053 9 | 257.042 3 |
| 8 | 296.204 8 | 248.146 5 | 302.853 8 | 250.253 6 |
| 9 | 303.511 6 | 267.103 8 | 308.263 7 | 268.301 8 |
| 10 | 292.472 9 | 244.340 8 | 298.234 3 | 245.921 7 |

所示。

2 种方法测量柑橘的体积的相关系数达到 0.986 6,表面积的相关系数为 0.986 5。

2 种方法测量苹果的体积的相关系数是 0.986 7,表面积的相关系数为 0.986 2。

2 种方法测量梨的体积的相关系数是 0.987 8,表面积的相关系数为 0.987 3。

4.3 采集图像数量与准确率、计算时间的关系

采集图像的数量与测量准确率有直接关系,测量系统分别采集 5~15 个图像,对这 11 种输入情

表4 梨的2种方法测量结果

Tab.4 Results of pear measurement

| 编号 | Android 法的面积/cm ² | Android 法的体积/cm ³ | 扫描图像法的面积/cm ² | 排水法的体积/cm ³ |
|----|------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 254.467 4 | 199.833 9 | 259.423 7 | 202.937 7 |
| 2 | 236.904 8 | 201.327 2 | 243.054 9 | 204.573 9 |
| 3 | 242.117 4 | 193.206 9 | 246.462 8 | 196.859 9 |
| 4 | 252.243 6 | 209.851 7 | 255.687 4 | 211.968 3 |
| 5 | 240.822 1 | 198.271 8 | 247.263 6 | 200.405 4 |
| 6 | 293.097 8 | 244.203 3 | 297.296 3 | 246.504 7 |
| 7 | 277.503 1 | 219.395 8 | 281.650 1 | 222.129 4 |
| 8 | 294.455 0 | 230.489 6 | 298.275 6 | 233.678 2 |
| 9 | 267.598 7 | 221.526 6 | 273.970 7 | 224.065 1 |
| 10 | 269.611 4 | 230.702 3 | 274.612 1 | 235.759 5 |

况,重复测量10次,取平均值,采用本文方法得到的体积和表面积与排水法和扫描图像处理法得到的体积和表面积的结果对比如图7所示。从图7可以看出,测量准确度随采集图像数量的增加而加大,当图像数量大于10幅时,测量精度大于98%,图像数量少于7幅则测量精度下降显著。

图8为测量系统拍摄完图像后,点击“计算”控件所需的时间。从图中可以看出,在拍摄量分别为5~15幅时,测量时间随图像数量的增加而延长,但测量系统能在5s内对被测物体完成体积与表面积的测量。

综合考虑测量精度与测量时间的相互关系,建议选择采集10幅图像来计算被测物的体积与表面积。

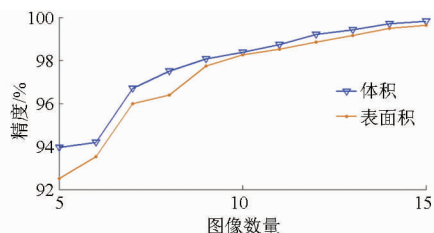


图7 图像数量与精度的关系

Fig.7 Relationship of images and accuracy

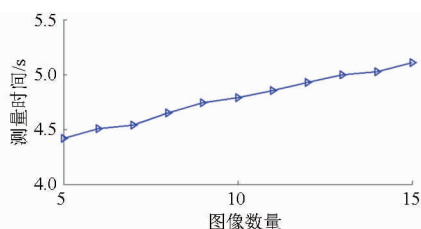


图8 图像数量与测量时间的关系

Fig.8 Relationship of images and measuring time

5 结束语

利用基于 Android 系统的智能手机为工作平台,以三维线框模型理论为基础,结合 OpenCV 图像处理函数,提出了一种快速、精确、无损测量各种不规则球体形态农产品的体积和表面积的方法。用 Java 语言编写的应用软件,分别对柑橘、苹果、梨进行了体积与表面积测量,并与排水法和扫描图像处理法的测量结果进行比较,结果显示3种测量方法的相关性达到0.98,满足实际测量的需求,可应用于类球体形态农产品的体积和表面积测量。

参 考 文 献

- 1 ROGGE S, DEFRAEVE T, HERREMANS E, et al. A 3D contour based geometrical model generator for complex-shaped horticultural products[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 157: 24-32.
- 2 SISWANTORO J, PRABUWONO A S, ABDULAH A. Volume measurement of food product with irregular shape using computer vision and monte carlo method: a framework[J]. Procedia Technology, 2013, 11: 764-770.
- 3 LEE D J, XU X, EIFERT J, et al. Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes[J]. Optical Engineering, 2006, 45(2): 027202-1-027202-11.
- 4 KRIST M. Egg size and offspring quality: a meta-analysis in birds[J]. Biological Reviews, 2011, 86(3): 692-716.
- 5 戴建国, 赖军臣. 基于图像规则与 Android 手机的棉花病虫害诊断系统[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 35-44. DAI Jianguo, LAI Junchen. Image-rule-based diagnostic expert system for cotton diseases and pests based on mobile terminal with Android system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 35-44. (in Chinese)
- 6 ZHAO Z Q, MA L H, CHEUNG Y, et al. ApLeaf: an efficient android-based plant leaf identification system [J]. Neurocomputing, 2015, 151(3): 1112-1119.
- 7 龚爱平, 吴武豪, 裘正军, 等. 基于 Android 系统手机的叶面积测量方法[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 203-208. GONG Aiping, WU Wuhao, QIU Zhengjun, et al. Leaf area measurement using Android OS mobile phone[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(9): 203-208. (in Chinese)
- 8 CASTILLO-CASTANEDA E, TURCHIULI C. Volume estimation of small particles using three-dimensional reconstruction from multiple views[M] // Image and Signal Processing, Vol5099 of the Series Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, 2008: 218-225.
- 9 KOC A B. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(3): 366-371.
- 10 KHOJASTEHNAAZHAND M, OMID M, TABATABAEFAR A. Determination of orange volume and surface area using image

- processing technique[J]. *International Agrophysics*, 2009, 23(3): 237 – 242.
- 11 OMID M, KHOJASTEHNZHAND M, TABATABAEFFAR A. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 100(2): 315 – 321.
- 12 周平, 赵春江, 王纪华, 等. 基于机器视觉的鸡蛋体积与表面积计算方法[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(5): 168 – 171.
ZHOU Ping, ZHAO Chunjiang, WANG Jihua, et al. Egg geometry calculations based on machine vision [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(5): 168 – 171. (in Chinese)
- 13 张建锋, 何勇, 王南飞, 等. 基于核磁共振成像的农产品几何模型重构[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(21): 215 – 220.
ZHANG Jianfeng, HE Yong, WANG Nanfei, et al. Geometry modeling reconstruction of agricultural products by magnetic resonance imaging[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(21): 215 – 220. (in Chinese)
- 14 UYAR R, ERDOGDU F. Potential use of 3-dimensional scanners for food process modeling[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 93(3): 337 – 343.
- 15 何援军. *计算机图形学*[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- 16 裘正军, 应霞芳, 何勇. 基于 GPS 模块的便携式农田面积测量仪[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2005, 31(3): 333 – 336.
QIU Zhengjun, YING Xiafang, HE Yong. A portable instrument for measuring field area based on GPS module[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science*, 2005, 31(3): 333 – 336. (in Chinese)
- 17 徐伟恒, 冯仲科, 苏志芳, 等. 一种基于三维激光点云数据的单木树冠投影面积和树冠体积自动提取算法[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(2): 465 – 471.
XU Weiheng, FENG Zhongke, SU Zhifang, et al. An automatic extraction algorithm for individual tree crown projection area and volume based on 3D point cloud data[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(2): 465 – 471. (in Chinese)
- 18 GAONKAR B, MACYSZYN L, BILELLO M, et al. Automated tumor volumetry using computer-aided image segmentation[J]. *Academic Radiology*, 2015, 22(5): 653 – 661.
- 19 冈萨雷斯, 伍兹. *数字图像处理*[M]. 3 版. 阮秋琦, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- 20 孙燮华. *数字图像处理- Java 编程与实验*[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.