

# 计算机视觉技术识别水果缺陷的一种新方法

冯 斌 汪懋华

(中国农业大学电气信息学院)

**摘 要** 利用计算机视觉技术识别水果表面缺陷,提出了分割缺陷和识别缺陷的新方法。该方法考虑了水果的形状特点,使不同灰度级的缺陷一次分割成功。在识别过程中利用水果的三维空间特征,实现了缺陷与果梗、花萼的区分。试验结果表明,该方法检测速度快,正确率高,能够满足计算机视觉进行在线检测的要求。

**关键词** 计算机视觉; 分割; 缺陷

**中图分类号** TP 391.41

## Study on Identifying Measurement About Default of Fruit in Computer Vision

Feng Bin, Wang Maohua

(College of Electricity and Information, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The default on fruit face was identified by computer vision information. A new method to divide up and to identify default was presented. The character of fruit was considered. The division of default about different gray degree was successful at one time. The three-dimensional character of fruit was utilized during identifying. The difference among default, stem-end and calyces was found. By experiment, the speed of detection was very fast, and the accurate rate of detection is very high. The requirements of detection on line of computer vision.

**Key words** computer vision; identify; default

近年来,国外在利用计算机视觉技术进行水果品质检测方面做了大量研究,并获得了许多重要成果<sup>[1,2]</sup>;在我国也有许多研究报导,但到目前为止都处于试验阶段,而且分析方法距实际应用还有一段距离。特别是在缺陷检测方面,目前采用的方法处理速度很慢,在实际在线工作时无法使用。国外学者(Cheng X 等)在识别缺陷时获得成功<sup>[1]</sup>,但需要同时使用近红外和中红外摄像设备,这2种设备造价之昂贵,使得该方法的应用受到限制,无法在农业分级设备中广泛应用。因此,研究适合于生产的分级检测方法有重要意义。针对上述现状,笔者提出了一种新的检测识别方法,在多次试验中获得较好的结果。

### 1 试验系统

试验系统包括联想奔月 2800 计算机;德国产 CCV-931 彩色 CCD 摄像机,其水平分辨率

收稿日期: 2001-11-23

博士点学科专项基金项目

冯 斌,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)213 信箱, 100083

为 576 线, 加拿大 MATROX Meteor-II 型图像卡, 具有外触发功能, 可以动态地捕获目标图像, 矩形果盘, 120mm × 250mm, 为增强图像反差, 上面以黑布垫衬。水果输送采用皮带传动, 皮带轮直径 450mm, 输送带为琴键式结构。

## 2 图像处理

### 2.1 图像获取

试验中首先捕获目标物体的图像, 对于缺陷检测需要同时获取 3 幅图像, 1 幅正面, 2 幅侧面, 这样可以保证大部分水果表面缺陷得到检测。侧面图像用 2 面平面镜反射获取(图 1)。平面镜与果盘夹角都为 45°; 摄像头处于水果正上方, 1 次捕获即可获得 3 幅图像, 再经过剪裁, 可以得到所需的 3 幅图像。

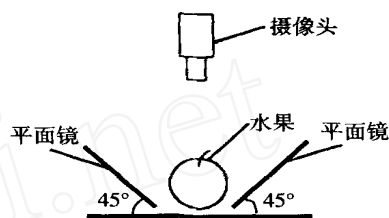


图 1 图像的获取

### 2.2 图像分割

由于水果为球状, 反映在两维图像平面上, 其中部灰度远远高于边缘。从试验中可知, 图像中部即使是缺陷图像灰度也远高于边缘灰度, 因此采用单阈值分割方法不能把中部缺陷分割开来。为此有人提出多阈值分割方案, 但多阈值分割方案又容易在各阈值边缘产生接缝。

设想存在一个标准球体, 其灰度水平高于水果的灰度。从灰度空间看, 标准球体的灰度曲面完全掩盖水果灰度曲面, 且灰度差在各点基本接近, 但如果水果表面存在缺陷点, 则产生较大的灰度差。因此在给定阈值的条件下, 可以把缺陷分割出来。

设果盘面与镜头平面平行, 镜头中心为坐标系原点, 光轴  $z$  垂直镜头平面且过镜头中心  $O$ ,  $x$  轴过镜头中心与运动方向平行,  $y$  轴垂直  $xOz$  平面, 则球面方程为

$$\left. \begin{aligned} z &= z_0 + \sqrt{r^2 - (x^2 + y^2)} \\ x^2 + y^2 &= r^2 - z^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中:  $r$  为球体半径,  $z_0$  为球心到镜头中心距离。

令  $p = \frac{\partial z}{\partial x}$ ,  $q = \frac{\partial z}{\partial y}$ , 则

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{-2x}{\sqrt{r^2 - (x^2 + y^2)}} \\ q &= \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{1}{2} \frac{-2y}{\sqrt{r^2 - (x^2 + y^2)}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

将  $z - z_0 = \sqrt{r^2 - (x^2 + y^2)}$  代入式(2), 得

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{-x}{z - z_0} \\ q &= \frac{-y}{z - z_0} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

设光源来自摄像头背后, 且为平行光线; 球体具有朗伯散射表面特性<sup>[3,4]</sup>, 即表面反射强度不因观察位置变化而变化。则反射光强可写成

$$E(x, y) = \rho I(x, y) \cos e \tag{4}$$

其中  $E(x, y)$  为反射光强,  $\rho$  为反射系数,  $I(x, y)$  为入射光强度,  $e$  为观察方向与表面法线夹角。

$$\cos e = \frac{1}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \tag{5}$$

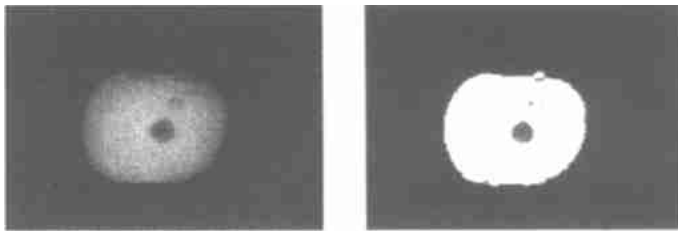
将式(3)和(5)代入式(4), 得

$$E(x, y) = \rho I(x, y) \frac{z - z_0}{\sqrt{x^2 + y^2 + (z - z_0)^2}} \tag{6}$$

式(6)即为标准球体的灰度曲面方程。在表面特性均一、入射光强均匀的情况下,  $\rho I(x, y)$  为常数, 所以灰度大小只随  $x, y, z$  变化。

$\rho I(x, y)$  可通过试验确定, 也可以在已知水果图像时, 取水果表面灰度点灰度和  $x, y, z$  坐标, 代入式(6)进行估算。

由标准球面灰度和水果灰度可进行缺陷分割: 如果  $E(x, y) - E_a(x, y)$  不小于阈值, 为缺陷点, 如果  $E(x, y) - E_a(x, y)$  小于阈值, 则为非缺陷点;  $E(x, y)$  为标准球面灰度,  $E_a(x, y)$  为水果灰度, 阈值通过试验确定。图 2 为一苹果缺陷图像及分割结果。

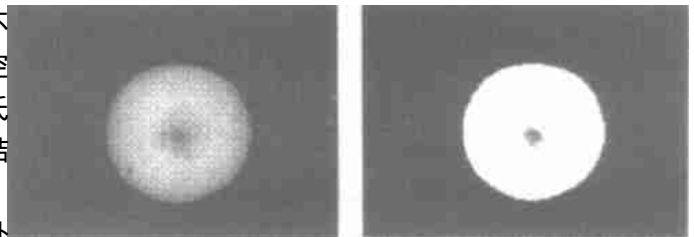


(a) 原图像 (b) 分割后图像

图 2 苹果缺陷图像及分割结果

### 3 缺陷识别

对于原图像(图 2(a)), 如存在缺陷, 则产生缺陷斑块, 经滤波处理滤去噪音点, 即可判别水果有缺陷(图 2(b))。然而由于水果果梗部和花萼部往往颜色较暗, 其斑块外形、结构及颜色与缺陷斑块非常相似(图 3), 因此不能简单判别。笔者考虑了水果三维空间结构特征对灰度的影响, 采用傅氏变换方法进行识别, 获得较满意的结果。



(a) 果梗图像 (b) 分割结果

图 3 果梗图像及分割结果

从水果形状看, 在果梗和花萼处都呈现较大面积的内陷结构, 且内陷较深。根据照度方程可知, 在其他条件一定的情况下, 果梗和花萼处图像灰度受其内陷结构的影响, 灰度曲面也呈内陷形状; 而缺陷一般多产生在水果较凸出(易碰、易压)的表面, 在凸出面灰度曲面呈外凸形状。缺陷处和果梗处的灰度剖面图见图 4。

缺陷处和果梗处的灰度剖面图见图 4。

为消除缺陷斑块和局部形状的影响,取分割后需要识别的斑块边缘上、下、左、右4个方向的灰度剖面曲线,以斑块为中心,进行叠加,并且平均,生成平均灰度线。

以红富士苹果为例进行试验分析。由于果梗与花萼内陷宽度一般小于0.5倍果宽,因此以斑块中心点开始,左右各取灰度线上1/5灰度点,得到序列 $g(i), i=0, \dots, n-1$ 。对 $g(i)$ 进行傅氏变换:

$$G(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} g(k) \cdot \exp(-2\pi j \omega k/n) \quad \omega=0, \dots, n-1 \quad (7)$$

得到傅氏系数 $G(\omega), \omega=0, \dots, n-1$ 。

傅氏变换的高频分量反映水果表面的细小结构,低频分量对应总体形状,而识别时只希望了解总体形状,因此为消除高频成分的影响,仅取低频系数,进行反变换:

$$g(k) = \sum_{\omega=0}^{m-1} G(\omega) \exp(2\pi j \omega k/n), \quad k=0, \dots, n-1 \quad (8)$$

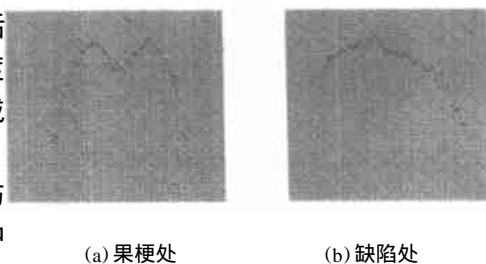
其中: $k$ 仍为 $n$ 项,即灰度线点数不变; $m$ 为有限项个数, $m < n$ 。实际操作时,为提高速度,仅取 $m=0, 1$ 时的低频形状作为识别的依据,即可正确判别。对于果梗边或花萼边灰度剖面线,变换后的形状都呈倒V型,缺陷边灰度线多呈倒S形或一字形(图5)。利用此特征可以进行缺陷识别。

## 4 结论

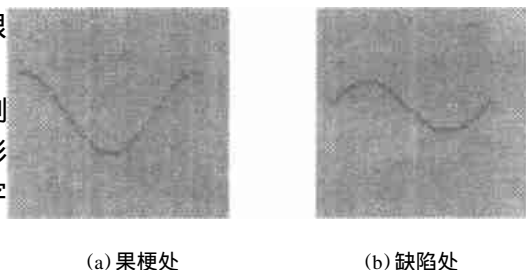
通过所建立的标准球体灰度模型,实现了对水果缺陷的分割,在分割中仅使用单个阈值,不需要考虑阈值边界问题。对于果梗、花萼与缺陷识别的问题,充分利用其空间形状对灰度的影响特征,采用傅氏变换法确定灰度线形状,取得满意的识别结果。对50个果梗和50个花萼进行识别,识别正确率均高于90%。该方法计算量小,识别速度快,满足计算机视觉在线检测水果的要求。

## 参 考 文 献

- 1 Wen Z, Tao Y. Dual-camera NIR/MIR imaging for stem-end/calyx identification in apple defect sorting. Transaction of A SAE, 2000, 43(2): 446-452
- 2 Tao Y, Morrow C T, Heinemann P. Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision. Transaction of A SEA, 1995, 38(3): 949-957
- 3 章毓晋. 图像理解与计算机视觉. 北京: 清华大学出版社, 2000. 108~136
- 4 阮秋琦. 数字图像处理学. 北京: 电子工业出版社, 2001. 390~399



(a) 果梗处 (b) 缺陷处  
图4 缺陷处和果梗处的灰度剖面图



(a) 果梗处 (b) 缺陷处  
图5 变换后灰度线