

苹果自动分级中的图像分割

刘 禾^①

汪懋华

(华北电力大学(北京)) (电子电力工程学院)

摘 要 为了提高苹果自动分级中图像处理的速度和可靠性,就有关苹果图像分割问题进行了探讨。提出了苹果图像处理窗口的快速确定方法、阈值计算方法以及用最小二乘法与搜索点所在的区域相结合确定搜索方向的方法。试验表明,用上述方法能可靠、有效、快速地进行图像分割。

关键词 图像分割; 苹果分级; 计算机

中图分类号 TP391.41; S661.109.2

Image Segmentation in Apple Automatic Grading

Liu He

(North China Electric Power University (Beijing))

Wang Maohua

(College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU)

Abstract To speed up the image processing and raise its reliability, apple image segmentation in apple automatic grading is discussed. The way to quickly determine the processing window, the method of calculating threshold, and a comprehensive approach based on least square method and pixels zone to estimate and determine the searching direction are put forward. Test result shows that the methods above are reliable, effective and quick in image segmentation processing.

Key words image segmentation; apple grading; computer

目前,国内外普遍采用2种比较成熟的苹果分级方法:重量分级和大小分级^[1]。这2种分级方法虽部分实现了自动分级,但是形状和果面损坏检测与分级依然靠人工进行。这样分选效率低,分选差异大,很难满足要求。

用计算机图像系统进行苹果分级能排除人的主观因素的干扰,可完成人或机械式和光电式分选机难以胜任的工作,如损坏面积计算、着色面积计算等,同时可一次性地自动完成苹果形状、大小、色泽、果面缺陷等几个方面的检测与判定,提高分选精度。

用计算机图像系统进行苹果自动分级时,首先遇到的问题是:如何可靠、有效、快速地进行图像分割。本文中就此进行讨论。计算机图像系统的组成见文[2]。

收稿日期:1996-04-29

①刘 禾,北京清华华北电力大学热工自动化教研室,100085

1 阈值与处理窗口

图 1 为有无苹果时图像的直方图。由图可知背景与苹果图像灰度直方图呈双峰形，因此可选一阈值对苹果图像的边缘点进行判别。

为了避免光照强度变化对阈值产生影响，采用自调整阈值方法，即在无苹果进入摄像场景时求出背景的最大灰度值，再加上估计标准方差 σ 即得阈值。估计标准方差 σ 可据下式^[3]求得：

$$\sigma^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (F_{i,j} - \bar{F})^2 \tag{1}$$

式中： $F_{i,j}$ 为像素点的灰度值； \bar{F} 为像素点灰度值的估计均值； m 为整个图像的像素点数。

采用这种阈值算法还可消除随机噪声对像素点灰度值的影响，将苹果图像与背景可靠分割。试验证明即使光照强度变化，系统依然能正常工作。

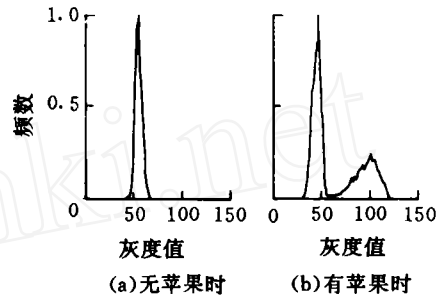


图 1 图像的直方图

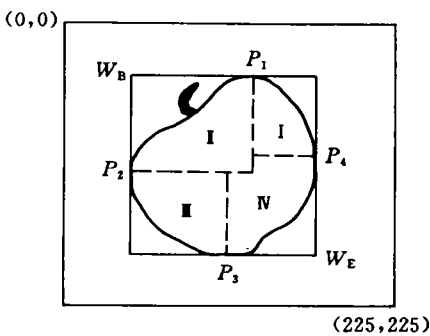


图 2 图像的窗口与 4 个区域

由于苹果大小不同，其图像并不占据整个数据采集区域，如图 2 所示；因此可以缩小处理窗口。这可以减少以后的图像处理工作量，提高整个系统的运行速度。

缩小窗口时首先要找出图 2 中苹果图像的边缘点 $P_1(i_1, j_1)$, $P_2(i_2, j_2)$, $P_3(i_3, j_3)$ 和 $P_4(i_4, j_4)$ 这 4 个点，这样构成顶点为 $W_B(i_1, j_2)$, $W_E(i_3, j_4)$ 的新处理窗口。本系统中使用快速寻找方法，寻找次序依次为 $P_1(i_1, j_1)$, $P_3(i_3, j_3)$, $P_2(i_2, j_2)$, $P_4(i_4, j_4)$ 。

在寻找点 P_1 时，在 x 方向上隔行寻找，初始值为 0；在列方向上由小到大逐点寻找。

寻找点 P_3 时，考虑到苹果分级标准(GB 10651—89)中二等品的小型果对应的最大横切面直径必须大于 50 mm，该值对应 x 轴上的 150 行，故寻找时取 x 的初始值 $i_{31} = i_1 + 150 - c_1$ ， c_1 为一常数。 c_1 的选择影响着寻找速度，一般来说 c_1 大寻找的时间长， c_1 小则可能有寻不到苹果图像的内点。如寻不到则退出本过程，苹果作三等品处理。寻找点 P_3 也是隔行寻找苹果图像边缘点。

寻找点 P_2 采用对分寻找法， y 方向寻找的初始值为 $j_{21}/2 = \min\{j_1, j_3\}/2$ ，寻找按 y 不大于 $\min\{j_1, j_3\}$ 的方向进行。在 x 方向上寻找范围为 $\{i_1, i_3\}$ 。

寻找点 P_4 也采用对分寻找法， y 方向寻找的初始值为 $j_{41}/2 = \max\{j_1, j_3\}/2 + 128$ ，寻找按 y 不小于 $\max\{j_1, j_3\}$ 的方向进行。在 x 方向上寻找范围为 $\{i_1, i_3\}$ 。

2 区域划分与搜索方向

将苹果图像窗口分解成如图 2 所示的 4 个区域 I, II, III, IV。搜索可在 8 个方向进行，如

图 3 所示。搜索出发点为苹果图像边缘点 P_4 。边缘搜索沿逆时针方向,按照总使苹果图像在搜索左边的规则进行。

由于苹果呈圆形或圆锥形,依据在两像素之间存在一定程度的连续性这一性质,在第 U 个苹果边缘像素点,可利用已经搜索过的一段苹果像素点的方向信息向前作线性预测,确定下一步的搜索方向。方法如下。

设在第 U 个苹果边缘像素点处预测方向为 $D_p(U)$,根据下一个苹果边缘像素点的实际位置,实际编码方向

应是 $D_r(U)$ 。记 $a_p(U)$ 为 $D_p(U)$ 和 $D_r(U-1)$ 的差,即从前一个实际编码方向到下一步预测方向的角度增量;实际的角度增量记为 $a_r(U)$,故有以下关系式:

$$D_p(U) = D_r(U-1) + a_p(U) \tag{2}$$

$$a_p(U) = \sum_{V=1}^L a_V a_r(U-V) \tag{3}$$

$$a_r(W) = a_p(W) + e(W) \tag{4}$$

式中: $\{a_V; V=1, 2, \dots, L\}$ 是权系数; L 是预测所需的以前实际角度增量的个数; $e(W)$ 表示角度增量的预测值与实际值的误差, $W=U-1, U-2, \dots, U-M$ 。

下面求权系数 $\{a_V; V=1, 2, \dots, L\}$,使得 $a_p(W)$ 与 $a_r(W)$ 的均方差达到极小。将式(3)代入(4),并令 W 从 $U-1$ 到 $U-M$ 变化,得到

$$a_r(W) = \sum_{V=1}^L a_V a_r(W-V) + e(W) \tag{5}$$

$W=U-1, U-2, \dots, U-M$

写成矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} a_r(U-1) \\ a_r(U-2) \\ \vdots \\ a_r(U-M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_r(U-2) & a_r(U-3) & \cdots & a_r(U-1-L) \\ a_r(U-3) & a_r(U-4) & \cdots & a_r(U-2-L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_r(U-M-1) & a_r(U-M-2) & \cdots & a_r(U-M-L) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e(U-1) \\ e(U-2) \\ \vdots \\ e(U-M) \end{bmatrix} \tag{6}$$

记 $Y = [a_r(U-1), a_r(U-2), \dots, a_r(U-M)]^T$

$a = [a_1, a_2, \dots, a_L]^T$

$e = [e(U-1), e(U-2), \dots, e(U-M)]^T$

$$H = \begin{bmatrix} a_r(U-2) & a_r(U-3) & \cdots & a_r(U-1-L) \\ a_r(U-3) & a_r(U-4) & \cdots & a_r(U-2-L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_r(U-M-1) & a_r(U-M-2) & \cdots & a_r(U-M-L) \end{bmatrix}$$

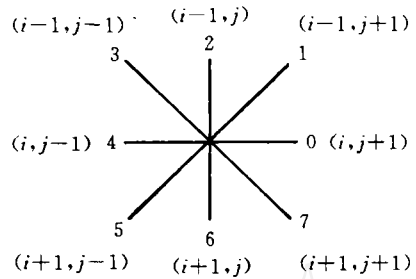


图 3 搜索方向与坐标的关系

得式(6)的向量形式

$$Y = Ha + e$$

a 的最小二乘估计 \hat{a} 的计算公式^[4]为

$$\hat{a} = (H^T H)^{-1} H^T Y$$

其中 $\hat{a} = [a_1, a_2, \dots, a_L]^T$ 。

得到 \hat{a} 以后, 在第 U 个苹果图像边缘像素点作预测搜索, 相对于第 $U-1$ 点的角度增量

$$\hat{a}_p(U) = \sum_{v=1}^L \hat{a}_v a_r(U-v) \tag{7}$$

预测搜索方向由式(2)得到

$$D_p(U) = D_r(U-1) + \hat{a}_p(U)$$

注意到链码的取值范围, 式(7)可改写成

$$\hat{a}_p(U) = \text{INT} \left[\sum_{v=1}^L \hat{a}_v a_r(U-v) \right]$$

式中: $a_r(\cdot)$ 的范围为 $\{0, 1, 2, \dots, 7\}$; $\text{INT}(\cdot)$ 为取整。在实际使用时, $L=M=3$ 。

3 边缘搜索

图像与背景分割和搜索的具体规则见图 4。

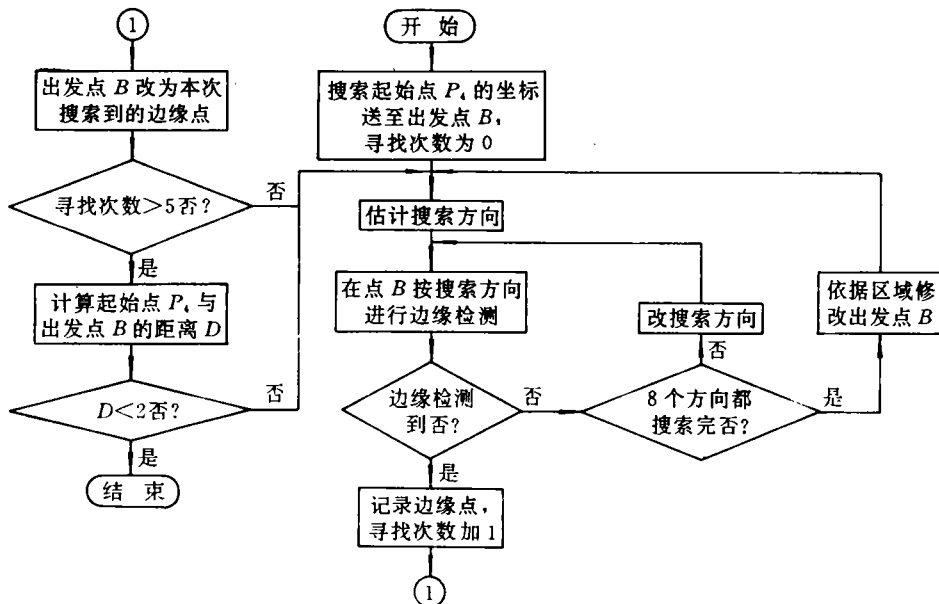


图 4 边缘检测流程图

在寻找边缘的过程中, 如出发点是苹果图像像素点, 且寻找一周未找到图像边缘点, 则依据所在的寻找区域确定下一步寻找的出发点。在 I 和 IV 区域时下一步的出发点为 $(i, j+1)$; 在 II 和 III 区域时下一步的出发点为 $(i, j-1)$ 。如出发点不是苹果图像像素点, 且寻找一周未找到图像边缘点, 则在 I 和 IV 区域时下一步出发点为 $(i, j-1)$; 在 II 和 III 区域时下一步出发点为

$(i, j+1)$ 。

图 5 为一苹果边缘检测图像。

4 结束语

为了减少处理计算量,提高系统处理速度,提出了确定图像处理窗口的快速方法。为了可靠地分割图像,提出了自调整分割阈值的方法。

经验表明,为了更好地分割图像,有关图像的先验知识和先验信息是很有用的。本文中根据苹果图像的特点,提出用最小二乘法并依据所在搜索区域来确定边缘跟踪方向,避免边缘跟踪处理中的盲目搜索以及搜索方向迷失。试验表明,该方法比一般图像分割方法快 1~2 倍,且无搜索方向迷失,同时光照变化对图像分割结果无影响。

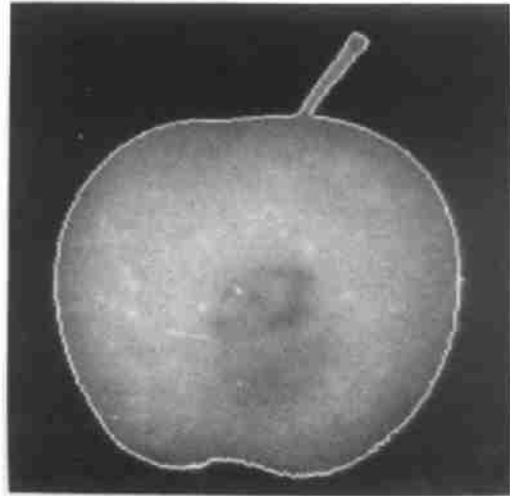


图 5 苹果边缘图像

参 考 文 献

- 1 日本农业机械学会. 农业机械手册. 北京:机械工业出版社,1991. 15~40
- 2 刘 禾,汪懋华. 用计算机图像处理技术判别苹果果形的对称性. 北京农业工程大学学报,1995,15(3):101~106
- 3 刘 禾. 计算机视觉在水果自动分级中的应用研究:[学位论文]. 北京:北京农业工程大学,1995. 20~39
- 4 方崇智,萧德云. 过程辨识. 北京:清华大学出版社,1988. 121~150