图像形态学在苹果自动分级视觉信息处理中果梗判别与边缘检测中的应用*

徐 娟① 汪懋华
(中国农业大学)

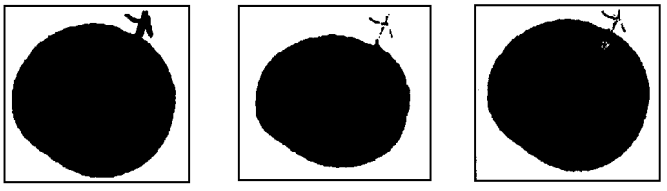
摘 要 首先指出果梗判别在苹果自动分级系统中的研究意义,进而列出到目前为止较有代表性的四种判别果梗的方法,每种方法均有其优缺点,在此基础上提出了利用图像形态学可以更好地进行果梗判别,同时还能检测边缘,最后对该算法进行了系统评估,并为提高处理速度进行了的改进。

关键词 苹果自动分级 果梗判别 边缘检测

1 苹果自动分级系统中果梗判别的研究意义

当前计算机视觉在农业中的应用包括农产品的自动分级[1]。在苹果的自动分级系统中,正确判别果梗的位置具有举足轻重的意义。因为根据中华人民共和国国家的鲜苹果标准[2],果梗的有无是其中一项指标;苹果的方向对于计算机是未知的,如果找出果梗的位置后,就可以确定苹果果轴的方向,这样才能进行下一步的果形及果径的判别工作[3];果梗与坏损在计算机采集的图像中有时很相近,如果将二者混淆,将会影响整个系统的判别精度。但是目前果梗的判别方法还不尽人意。比较有代表性的主要有以下 4 种:

1) 细化法[4] 由于水果实体的点一定多于果梗上的点(图 1a),对边界进行 N 次细化运算(即一层一层去掉边界上的点),使得果梗变成一个架子(图 1b),同时保存被去掉点的坐标,然后再进行反操作,重复 N 次取消先前的细化运算,条件是只有当被去掉点的周围有 8 个点时才恢复该点,这样只有实体中的点被恢复了,而不能恢复果梗上的点(图 1c),再将该图像与原图像比较,就可找出果梗的位置。该算法的缺点是计算量太大。



a b c

图 1 细化法的步骤

Fig. 1 The steps of thinner algorithm

2) 梯度法[5] 计算图像中每个像素的梯度值,梯度的计算可采用下面的公式:

$$\mathrm{grad}(i,j) = [\mathrm{image}(i,j+2) + \mathrm{image}(i,j+1)] - [\mathrm{image}(i,j-2) + \mathrm{image}(i,j-1)] \quad (1)$$

将这些梯度值转换为带有 0, + , - 符号的字符串,较大的正值用 + 表示,较小的负值用- 表示,0 表示变化不大。然后将符号字符串经过特定的分析后(如去掉多余的+ 与-),成为解析字符串,

收稿日期: 1997-06-30 1999-04-12 修订
* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(950801)
①徐 娟,博士,北京市清华东路 17 号 中国农业大学(东校区) 213 信箱, 100083

将解析字符串与系统的每一个指标对应的固定字符串相比, 从而判断是果梗、花萼还是坏损。该算法缺乏灵活性, 判断的准确度不高。

3) CVC 法[6] 计算图像边界每个像素的 k- 曲率。设每个像素 P_i 的坐标为 (X_i, Y_i), 则在点 P_i 的 k- 曲率为

$$k\text{-}\ curvature = \frac{Y_{i+k} - Y_i}{X_{i+k} - X_i} - \frac{Y_i - Y_{i-k}}{X_i - X_{i-k}} \qquad k \geq 1 \tag{2}$$

根据每个点的 k- 曲率决定该点是凹还是凸。大量的实验统计表明果梗处的形状呈凹—凸—凹(concave-convex-concave, 简称 CVC)结构, 以此在水果的边界上寻找 CVC 结构, 从而确定果梗的位置。该算法的计算量很小, 执行速度快, 但有时果梗存在却一个 CVC 结构也找不出来, 而有时却找出多个 CVC 结构来。

4) 条纹光法[7] 苹果表面大致分为两部分—凹面与凸面, 正常实体与大部分坏损部分都是凸的, 而果梗与花萼则通常是凹的, 将一组平行光照射到苹果表面上, 会在图像中的苹果表面上产生间距均匀的条纹光, 这些条纹光在凹面与凸面上会显示出不同的形状。位于凸面的条纹是连续的, 大体平行, 并始终保持曲率方向; 位于凹面的条纹情况比较复杂, 条纹不总是平行的, 由于高度的突变有时可以接触到邻近的条纹, 而有时看起来有断裂。由此根据条纹的不同形状来判断是果梗、花萼还是坏损。该算法可以有效地将果梗、花萼与坏损区分开来, 但由于要分析所有条纹的形状, 计算量也很大, 实时性差。

以上 4 种算法各有其优缺点, 但总的来说还没有一种精度高、速度快的判别方法。若从图像形态学的原理出发, 即可找出一种判别果梗的简易方法, 同时在实现该算法的过程中还能进行边缘检测, 可谓一举两得。

2 利用图像形态学进行果梗判别与边缘检测

2.1 图像形态学原理简介

图像形态学是数学形态学的概括与发展, 是一门综合微分几何、积分几何、泛函分析、随机过程、计算机视觉等多学科的交叉学科[8]。形态和(又叫膨胀)、形态差(又叫腐蚀)是最基本的两种形态变换, 对于给定集合 X, 关于结构元素 B 的形态和、形态差分别定义如下点集

形态和: $$X \oplus B = \{x \mid B_x \cap X \neq \varnothing\} \tag{3}$$

形态差: $$X \ominus B = \{x \mid \overset{\cup}{B}_x \subset X\} \tag{4}$$

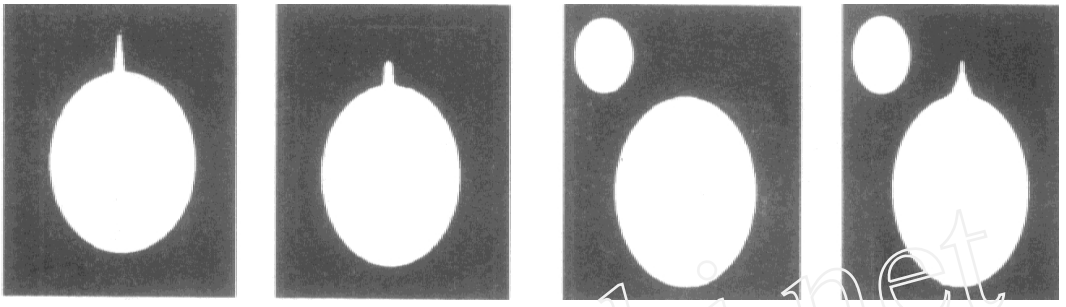
式中, $\overset{\cup}{B}_x = \{y \mid y = x - b, x \in X, b \in B\}$

形态和与形态差的串行复合又可得到常用的形态开与形态闭两种运算:

形态开: $$X_B = (X \ominus B) \oplus B \tag{5}$$

形态闭: $$X^B = (X \oplus B) \ominus B \tag{6}$$

举例解释形态开闭运算。形态开就是结构元素在对象的内部滑动, 所能到达的区域即为开运算的结果。形态闭就是结构运算在对象的外部沿着边界滑动, 不能达到的区域被背景填充。如图 2 所示, 图 2a 中的给定图像 X 是一个顶部带小三角的圆, 图 2b 与图 2c 为开运算。图 2b 中的左上角的小实心圆是结构元素 B, 由于不能到达小三角的顶端, 因而 X_B 的结果中的最顶端被填充了; 图 2c 中的结构元素是左上角的较大的实心圆, 这时 X_B 的结果为图像 X 中的小三角区全被填充了; 图 2d 为闭运算, X^B 的结果为图像 X 的小三角的外部被填充成了光滑曲线。



a　　b　　c　　d

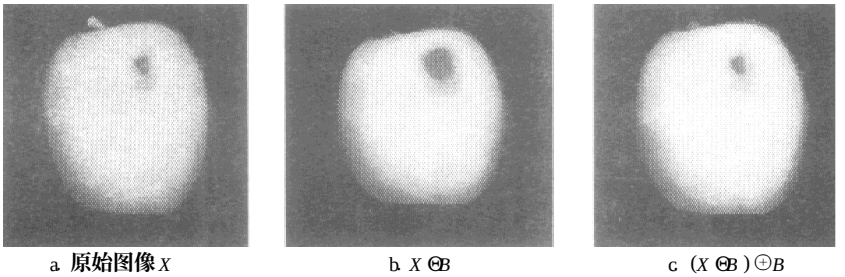
图 2　形态开与形态闭的举例

Fig. 2　Examples of morphological opening and closing

图像形态学不同于大多数传统图像处理之处在于它不严格依赖于模型。一般图像处理是研究从可建模的图像中提取信息的工具, 而图像形态学是提供基于几何模型来提供信息工具。图像形态学是一类位不变的并行局部变换, 因此易于硬件电路实现, 达到图像的实时处理[8]。

2.2　果梗判别

果梗判别的出发点正是源于形态开具有削平尖峰的特性, 与图 2c 所示的例子相似, 用一个直径大于果梗横截面的圆作为结构元素, 与苹果图像进行开运算。将运算的结果与原始图像比较, 若差别不大, 表明被检测的苹果没有果梗; 若差别显著, 即原始图像比结果图像多一小部分闭合区域, 那么该区域就是果梗区。具体实现步骤如下: 1) 构造结构元素 B: 由于离散化, 在数字网格上只能获得对圆的近似, 对此必须构造离散圆来逼近整体结构元素[8]。2) 用结构元素 B 对原始图像 X 进行开运算: $Y=(X\ominus B)\oplus B$, 运算的过程如图 3 所示。3) 将原始图像 X 与开运算的结果进行比较: $Z=X-Y$, 结果如图 4 所示。4) 判别果梗存在与否, 若存在, 找出果梗与苹果边界的邻接点。



a. 原始图像 X　　b. $X\ominus B$　　c. $(X\ominus B)\oplus B$

图 3　$Y=(X\ominus B)\oplus B$

Fig. 3　$Y=(X\ominus B)\oplus B$

2.3　边缘检测

在果梗判别中为了进行开运算, 首先要进行形态差, 然后再进行形态和, 而形态差与形态和还能进行边缘检测, 这是因为 $(X\oplus B)-X$, $X-(X\ominus B)$ 都能够提取边界信息[8]。这样可在果梗判别的过程中, 同时进行边缘检测, 从而提高系统的整体处理速度, 图 5a、5b 即分别采用这两种方法进行的边缘检测。

2.4　算法评估

若图像的大小为 $N\times N$, 则该算法的复杂度为 $O(N^2)$, 针对于图像中的形态和与形态差, 实际上就是极值运算, 因此软件编程比较容易。该算法的准确度比较高, 而且由于只对边界进行计算, 可以不考虑坏损对果梗判别的影响。该算法的缺点是处理速度不够快, 对于 256×256 大小的图像, 在 486DX2/66 兼容机上运行需要 16.36 s。随后对该算法又作了进一步的改进, 即在执行形态开运算时, 结构元素圆沿着原始图像从左上角开始, 自左至右, 自上而下依次滑动, 直至图像扫描完毕为止。而上一次处理窗口的数据与当前处理窗口的数据总是有很多的重

复,也即数据的更新率并不高(如对于本实验中 256×256 的图像,数据更新率仅为 16.9%)。这样在当前处理中可大部分采用上次处理的结果,从而加快算法的处理速度。按此依据改进后的算法执行速度为 4.12 s,提高了近 4 倍。

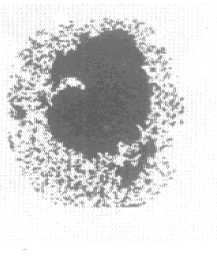
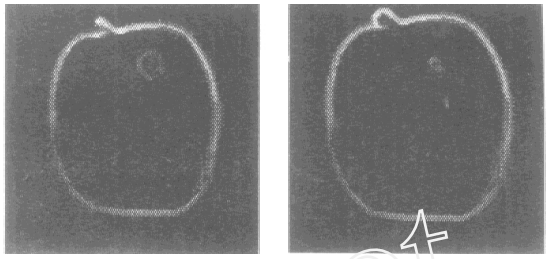


图 4 $Z = X - Y$

Fig. 4 $Z = X - Y$



a. $X \ominus B - X$ b. $X - (X \ominus B)$

图 5 利用图像形态学进行边缘检测

Fig. 5 Edge detection by morphological image processing

3 结 论

通过利用图像形态学的形态开运算,解决了苹果自动分级视觉信息处理中亟待进一步完善的问题——果梗判别,与此同时还能进行边缘检测,算法简单易行,再加上算法本身既适合于并行处理,又适合于硬件电路实现,为苹果自动分级系统的真正实施打下了坚实的基础。

参 考 文 献

1 徐 娟,汪懋华. 并行处理技术及其在水果分级视觉信息实时处理中的应用前景. 见:中国农业工程学会电子技术与计算机应用专业委员会第四次学术年会论文,1995.8

2 商业部济南果品研究所. 中华人民共和国国家标准 鲜苹果 GB 10651-89

3 刘 禾,汪懋华. 水果果形判别人工神经网络专家系统的研究. 农业工程学报,1996,12(1):172~176

4 L A Ruiz, E Molto, F Juste. Location and Characterization of the Stem-Calyx Area on Citrus Fruits by Computer Vision.

5 N Sarkar, R R Wolfe. Feature extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Trans of the ASAE, 1985, 28(3): 970~974

6 R R Wolfe, W E Sandler. An algorithm for detection using digital image analysis. Trans of the ASAE, 1985, 28(2): 641~644

7 Q S Yang. Machine Vision for Fruit Blemish Detection: [Ph D Thesis]. U K: Cranfield Univesity Silsoe Campus, 1995. 65~93

8 吴敏金. 图像形态学. 上海:上海科学技术文献出版社,1991. 1~5, 153~155, 168~169, 297

Application of Morphological Image Processing in Stem Location and Edge Detection of Apple Automatic Grading

Xu Juan Wang Maohua

(*College of Electronic & Power Engineering, China Agricultural University, Beijing*, 100083)

Abstract This paper points out the significance of stem location in apple automatic grading system, lists four representative stem location methods. Every method has its advantage and disadvantage. Then it presents an algorithm using morphological image processing which can detect stem more efficiently, and it also can detect image edge. At last the paper evaluates the algorithm and improves to increase processing speed.

Key words apple automatic grading, stem location, edge detection