

基于机器视觉的苹果果袋检测方法

赵延军 徐丽明

(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要 针对机械手摘除苹果果袋时的图像识别问题,提出了一种通过转换颜色空间的分割算法:将 RGB 颜色空间的图像转换到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间,进行自适应阈值分割、去噪、面积提取等处理后,获得果袋分割后的图像,并计算出果袋的重心坐标。实验结果表明,当果袋遮挡面积不大于果袋总面积的 25% 时,重心坐标水平方向误差 10.5 mm,垂直方向误差 8.8 mm,满足机械手进行果袋摘除的定位要求。利用该方法进行果袋图像分割可解决光照强度对图像检测影响的问题。

关键词 机器视觉; 苹果果袋; $L^*a^*b^*$ 颜色空间; 图像分割

中图分类号 TP 274

文章编号 1007-4333(2006)01-0087-04

文献标识码 A

Study on the detecting method of apple bag based on machine vision

Zhao Yanjun, Xu Liming

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To the image identification problem of a manipulator picking off the apple bag, a segmentation method which takes advantage of the color space conversion was presented. First, a RGB image was converted to the $L^*a^*b^*$ color space, after making the use of the self-adaptive thresholding, removing noise and picking-up area, the apple bag image can be separated from the background, and the gravity center was able to be calculated. The experiments showed that when the apple bag is sheltered less than 25%, the horizon coordinate error of gravity center is less than 10.58 mm and the vertical coordinate error is less than 8.82 mm. Therefore, this processing method can satisfy the locating requirements during the manipulator picking off the apple bag. Using this method to segment apple bag images can efficiently solve the problem of illuminative influence on the image detecting.

Key words machine vision; apple bag; $L^*a^*b^*$ color space; image segmentation

目前,我国苹果果袋的摘除工作主要由人工借助梯子在 3 m 左右高度的果树上完成,作业中需要不断地移动作业位置,劳动强度和危险性很大;对摘下的果袋多为集中烧毁或直接丢弃在田间,不仅不利于果袋的回收处理,而且果袋内的农药会造成水土污染等负面影响。应用机械手实现苹果果袋的自动摘除具有现实意义。

对苹果果袋图像进行准确识别是实现果袋自动摘除的关键,其实质是图像分割。图像分割时常用的颜色空间为 RGB、HIS 和 $YC_bC_r^{[1]}$ 。由于 RGB 图像可以直接获得,使用时不需要进行颜色空间的转

换,所以利用色差方法处理比较简单;但 RGB 颜色空间无法表达亮度,且 $R、G、B$ 3 个分量的关联性很大,所以光照条件变化较大时,处理效果将受到很大影响。HIS 颜色空间将亮度 (I) 与反映色彩本质特性的 2 参数——色度 (H) 和饱和度 (S) 分开。光照直接影响亮度分量 (I),与彩色信息无关,而 H 和 S 分量与人感受彩色的方式紧密相连。HIS 颜色空间比较直观并符合人的视觉特性,因此常采用此空间进行图像分割,但强光下果实的反光处在处理时常会形成空洞,之后需要选择有效算法填充空洞,算法复杂。 YC_bC_r 颜色空间则常用于人脸的监测。

收稿日期: 2005-05-31

作者简介: 赵延军,硕士研究生;徐丽明,副教授,主要从事生物生产机电一体化和生物生产机器人的研究, E-mail: xlmooffice @

126.com

$L^*a^*b^*$ 颜色空间^[2]下的分割方法, 不仅能克服光照的影响, 而且处理过程简单, 可用于红色果实的分割, 如草莓果实图像的分割^[3]。将 $L^*a^*b^*$ 颜色空间用于苹果果袋图像的分割在国内还未见报道。本研究将果袋图像从 RGB 颜色空间转换到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间, 选择 a^* 通道图像进行处理, 以期获得清晰的果袋图像, 同时对果袋的重心坐标进行标定, 以便摘除机械手能自动定位。

1 颜色空间

$L^*a^*b^*$ 颜色空间建立在对色视觉理论上, 其中, L^* 代表亮度, a^* 和 b^* 分别代表红-绿轴和黄-蓝轴, 其特点是颜色的亮度分量与表达色彩的分量分开, 可以用距离来表示红-绿、黄-蓝 2 组颜色的差别。同时, 该颜色空间具有较好的均匀性, 且与摄像机、计算机、打印机等设备无关。 $L^*a^*b^*$ 与 RGB 颜色空间的转换关系为^[2]

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 & \frac{Y}{Y_0} > 0.008 856 \\ 903.3 \frac{Y}{Y_0} & 0.0 < \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_0} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left[f \left(\frac{X}{X_0} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right] \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.490 186 26 & 0.309 879 54 & 0.199 934 20 \\ 0.177 015 22 & 0.812 324 18 & 0.010 660 60 \\ 0.000 000 00 & 0.010 077 20 & 0.989 922 80 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008 856 \\ 7.787(t) + 0.137 9 & 0.0 < t \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (5)$$

其中: X 、 Y 、 Z 为 XYZ 颜色空间^[2]的 3 种原色, X_0 、 Y_0 、 Z_0 为基准白色的 3 原色值。

果袋图像的主要特点为: 1) 拍摄条件多变复杂, 受光照影响大; 2) 图像颜色的主要成份是红色和绿色, 且分别为果袋和树叶的颜色成分。针对上述特点, 笔者选择 $L^*a^*b^*$ 颜色空间下的 a^* 通道图像进行处理, 不仅可减小光照的影响, 而且可以把握住红色和绿色 2 种主要的颜色成分。

2 $L^*a^*b^*$ 颜色空间下果袋图像分割及重心位置的提取

2.1 果袋图像的阈值分割

应用式 (1) ~ (5), 将果袋图像转换到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间, 进行自适应阈值分割^[4], 其时间复杂度和空间复杂度比较大, 但是抗噪声能力较强。本研究中将果袋图像分成左上、左下、右上、右下 4 个子图像, 分别计算每个子图像中最大灰度值和最小灰度值的均值, 并将该均值设置为阈值, 逐块分割。

为了提高处理速度, 通过实验法选取固定阈值进行图像分割。选取晴天、多云、阴天 3 种光照条件下的 45 幅果袋图像进行分析发现: a^* 通道图像的直方图均有明显的双峰形状, 且谷点的灰度值在 100 ~ 135 之间。试验比较后选择 115 作为固定阈值, 效果较好, 达到要求的分割效果。

自适应阈值和固定阈值 2 种方法对晴天、多云、阴天 3 种光照条件的果袋图像的分割结果见表 1。

2.2 腐蚀与膨胀

阈值分割后图像中存在着大量的噪声, 1 次中值滤波后仍存在着树枝图像噪声, 故用腐蚀和膨胀的方法, 将树枝图像与果袋图像分离。

用函数 b 对函数 f 进行的灰度腐蚀, 可表示为 $f \ominus b$, 定义为^[5]

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{ f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f \cap D_b \}$$

用函数 b 对函数 f 进行的灰度膨胀, 可表示为 $f \oplus b$, 定义为^[5]

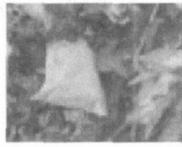
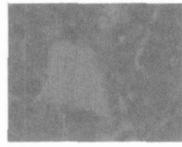
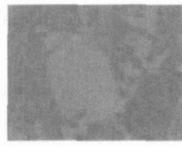
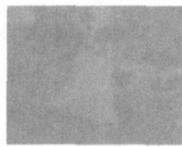
$$(f \oplus b)(s, t) = \max \{ f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f \cap D_b \}$$

其中: $f(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 为数字图像函数, 且 $f(x, y)$ 是输入图像, $b(x, y)$ 是结构元素; (s, t) 为腐蚀或膨胀处理后像素点的坐标; D_f 和 D_b 分别为 f 和 b 的定义域。

若用一般 3×3 的 8 邻域结构单元进行腐蚀, 达到分离目的的同时, 会放大其他位置的噪声, 产生不利影响, 因此选取图 1 所示的 5×5 像素结构单元进行腐蚀, 使得水平和竖直方向的连接元素被腐蚀, 同时避免了噪声的过分扩大。以后选取 3×3 原点在中心的 8 邻域结构单元, 进行膨胀处理, 不仅可减小腐蚀时噪声的放大, 同时可以达到进一步去除噪声的效果 (图 2)。

表 1 自适应阈值和固定阈值对 3 种光照条件下果袋图像的分割

Table 1 Image segmentation of apple bag with self-adaptive thresholding and fixed thresholding in 3 lighting conditions

光照条件	原图像	a* 通道图像	直方图	自适应阈值分割图像	固定阈值分割图像
强 (晴天)					
中 (多云)					
弱 (阴天)					

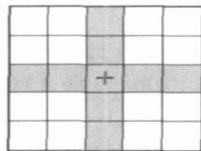


图 1 图像腐蚀处理的 5 × 5 像素结构单元

Fig. 1 5 × 5 Structure unit for erosion of image segmentation



图 2 果袋分割图像经去噪后的图像

Fig. 2 Apple bag image after noise removal processing

2.3 果袋图像的提取

噪声和果袋图像在面积上有很大的差别,可以根据面积的大小提取果袋图像。先对图像中的各个部分进行区域标记^[6],如果一个像素是该连接成分的一部分,取为 1;对于所有的背景像素取为 0。每一连接成分的面积等于在其内部为 1 的像素数量。对于面积 < 15 000 像素的连接成分,就认为是噪声,全部去除,最终获得的图像就是果袋图像。

2.4 果袋重心位置的提取

果袋重心位置坐标 $G(x_0, y_0)$ 即为图像中白色像素坐标的平均值,由式(6)^[7]

$$G(x_0, y_0) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right) \quad (6)$$

求得,最终获得标记重心的图像(图 3)。

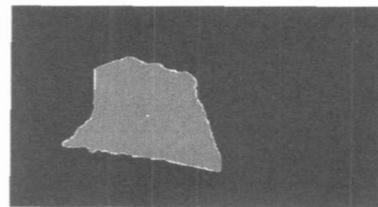


图 3 提取出的果袋图像及其重心位置

Fig. 3 Apple bag image extracted from background and its gravity center

3 果袋检测实验

3.1 实验材料及设备

所用图像为数码相机在实际环境(北京市昌平区中日友好观光园)自然光照条件下拍摄。图像尺寸 141.1 mm × 105.8 mm,分辨率 2.84 像素/mm。使用 PC 机(Intel Pentium4 处理器,CPU 主频 1.7 GHz,内存 256 MB,Windows XP)进行图像处理。

苹果果袋为 18.5 cm × 14.5 cm 的长方形;双层纸袋,外层为褐色毛纹蜡纸,内层为黑色药物纸。套有苹果的套袋在果树上正面呈等腰梯形,其几何尺寸约为:底边 14 cm、顶边 6 cm、高 15 cm。

3.2 实验结果

机械手摘除苹果果袋时,果袋重心坐标的确定是影响摘除效果的主要因素。由于实际环境中果袋周围情况复杂,经常有树叶遮挡,使得提取出的果袋图像不完整,从而造成果袋重心坐标的识别误差。

对3种光照条件(强、中、弱),3个方向(向光、背光、侧向)的9组图像(每组20幅,共180幅)进行检测实验发现:树叶遮挡集中在左上、左下、右上和右下4个位置时,重心坐标的识别误差最大。当果袋被遮挡面积小于果袋面积的25%时,水平坐标误差30像素,即 $30/2.84 = 10.56$ mm;垂直坐标误差25像素,即 $25/2.84 = 8.82$ mm。合理设置果袋摘除机械手作业时的偏移量,可有效克服重心坐标识别误差带来的不利影响。当果袋遮挡面积40%时,则误差过大不能满足要求,需要先对树叶进行修剪。

4 结束语

利用 $L^*a^*b^*$ 颜色空间,选择 a^* 通道进行果袋图像分割的方法,解决了光照强度对图像检测影响的问题。实验结果表明该方法可以对果袋进行有效识别,重心坐标计算的误差能够满足机械手的要求。与RGB颜色空间下利用色差进行图像分割的方法相比,不需要进行大量的比较实验选取权因子,具有较好的稳定性和适应性,但相对于色差方法该算法复杂度较大,处理时间略长。为了缩短处理时间,实际中只需要选取原图像的 R 、 G 两个通道计算出

a^* 通道的图像,而不需要计算 L^* 和 b^* 通道的图像。与HIS颜色空间,选取 H 通道进行图像分割的方法相比,被提取目标上不容易出现空洞,因此后续处理相对简单。此方法在处理大树枝与果袋相接触的图像时,树枝图像与果袋图像不易分割开,有待改进。

参 考 文 献

- [1] 章毓晋. 图像工程[M]. 北京:清华大学出版社,1999:179-182
- [2] Pratt W K. 数字图像处理[M]. 邓鲁华,张延恒,译. 第3版. 北京:机械工业出版社,2005:41-59
- [3] 张铁中,林宝龙,高锐. 水果采摘机器人视觉系统的目标提取[J]. 中国农业大学学报,2004,9(2):68-72
- [4] 杨枝灵,王开. Visual C++数字图像获取处理及实践应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003:535-546
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智,译. 第2版. 北京:电子工业出版社,2003:460-514
- [6] 田村秀行. 计算机图像处理[M]. 金喜子,乔双,译. 北京:科学出版社,2004:121-131
- [7] 陈兵旗,孙明. Visual C++实用图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2004:114-131