

水果采摘机器人视觉系统的目标提取

张铁中 林宝龙 高锐

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要 在田间对作物的果实图像进行实时、准确地目标识别提取,是采摘机器人视觉系统的关键技术,而目标提取的实质是图像分割。大部分水(蔬)果处于采摘期时,表面颜色与背景颜色存在较大差异,而同一品种果实表面颜色相近,体现为在色彩空间果实表面颜色和背景颜色存在着不同的分布特性。根据这一特性,提出了一种基于色彩空间参照表的适用于水果采摘机器人视觉系统果实目标提取的图像分割算法。该算法先由果实样本图像建立色彩空间参照表,再根据色彩空间参照表采用一种类似于“卷积”的方法进行图像分割。与现有其他方法比较,本方法基于彩色的信息处理,可将背景除去得更干净;对背景不做分割处理、无复杂运算,有利于机器人实时图像处理。采用该算法分别对草莓、橙子、西红柿的图像在 $L^*a^*b^*$, HSV, $YCbCr$ 色彩模型下进行了实验,结果显示该算法在这些色彩模型下均可取得理想的图像分割效果。

关键词 水果采摘;视觉系统;图像分割;色彩空间参照表

中图分类号 TP 274

文章编号 1007-4333(2004)02-0068-05

文献标识码 A

Object extraction for the vision system of fruit picking robot

Zhang Tiezhong, Lin Baolong, Gao Rui

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

Abstract The key technology of the vision system of fruit picking robot is to extract fruit object from images quickly and exactly. The substance of object extraction for the vision system of robot is image segmentation. Among lots of fruits and vegetables, there are a considerable color difference between their ripe fruits and their backgrounds, yet the fruits of the same type are of almost the same color. Then the distribution of color between the ripe fruits and the backgrounds is different in Color Space. Based on these features, an algorithm to extract fruits-object from images, which is based on the approach of color-space reference list, was put forward. A color space reference list was built from fruits swatch images in the algorithm. The fruit object was extracted by using the list. Compared with other image segmentation arithmetic, this arithmetic base on color images, then the background will be more clean when the image is processed. Because of that there is no complex operation, this arithmetic is propitious to real time image process. Experiments on strawberry, orange and tomato were respectively conducted by adopting several color models usually used in image processing. The results of these experiments showed that, by using this algorithm, expected results can be achieved under $L^*a^*b^*$, HSV, $YCbCr$ color models.

Key words fruit picking; vision system; image segmentation; color-space reference list

机器人视觉系统中目标提取的实质是图像分割,图像分割是图像分析的关键步骤。图像分割多年来一直得到人们的高度重视,至今已提出了上千种各种类型的分割算法,而且近年来每年都有上百篇有关研究报道发表^[1]。

以前提出的大多数分割算法是基于灰度图的。

近年来由于电子技术的发展和彩色 CCD 的普及,同时由于彩色图像本身包含大量有利于图像分割的信息,人们对彩色图像分割越来越重视。彩色图像分割主要分为以下几类:特征空间聚类方法、基于随机模型的方法、基于直方图的方法和基于区域的方法^[2]。

收稿日期:2003-09-02

基金项目:国家高技术研究发展计划资助项目(2001AA422300)

作者简介:张铁中,博士生导师,教授,主要从事生物生产自动化和农业机器人研究。

笔者针对水(蔬)果采摘机器人视觉系统中成熟果实与背景颜色在色彩空间中聚集在不同区域的特性,提出一种基于色彩空间参照表的果实目标提取方法。该方法利用成熟果实样本图像建立了色彩空间参照表,每一个色彩空间参照表适用于一个品种果实目标的色彩空间,且参照表的建立方法非常简单。

1 颜色的表示系统

彩色图像处理中常用的颜色模型有: RGB 颜色模型、 HSV 颜色模型、 $YC_b C_r$ 颜色模型和 $L^* a^* b^*$ 颜色模型等。 RGB 模型是根据三基色原理建立起来的,是基本的颜色表示模型,其他的颜色表示模型都可通过 RGB 模型转化得到。 HSV 模型直接采用彩色特性意义上的 3 个量:亮度或明度(V)、色调(H)、饱和度(S)来描述颜色,比较符合人对颜色的描述习惯,但该模型表示的颜色并不全是视觉所感受的颜色。 HSV 模型与 RGB 模型的转化关系为^[1]:

$$V = \frac{1}{3} (R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$

$$H = \arccos \left\{ \frac{[(R - G) + (R - B)]/2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

$YC_b C_r$ 模型被广泛地应用于电视的色彩显示等领域。参数 Y 是图像的亮度信息,它同样具有 HSV 模型中将亮度分量分离的优点,在彩色图像处理中也有应用。 $YC_b C_r$ 模型与 RGB 模型的转化关系为^[4]:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$C_r = (0.500R - 0.4187G - 0.0813B) + 128$$

$$C_b = (-0.1687R - 0.3313G + 0.500B) + 128$$

$L^* a^* b^*$ 模型是国际照明委员会(CIE)为了统一评价色差的方法而推荐的 2 种颜色表示系统(CIE1976 - $L^* u^* v^*$ 和 CIE1976 - $L^* a^* b^*$)之一,其优点为亮度分量分离,可以用距离来表示 2 种颜色的差别。 $L^* a^* b^*$ 模型与 RGB 模型的转化关系为:

$$L^* = 116(0.299R + 0.587G + 0.114B)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500/1.006(0.607R + 0.174G + 0.201B)^{1/3} - (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{1/3}$$

$$b^* = 200[(0.299R + 0.587G + 0.114B)^{1/3} - 0.846(0.066G + 1.117B)^{1/3}]$$

由于水果采摘机器人工作环境光强的变化较大,必须排除图像的明暗对分割效果的影响,因此,对于 HSV , $YC_b C_r$ 和 $L^* a^* b^*$ 3 种模型,分别取其与亮度无关的 2 个分量: H 和 S , C_r 和 C_b , a^* 和 b^* , 它们分别构成了二维色彩空间。

笔者采用上述 3 种颜色模型建立了目标(果实)色彩空间参照表,并以此对实际环境中拍摄的图像进行果实目标的提取,最后对目标提取的效果进行了讨论。

2 果实表面颜色样本的采集

选用草莓、番茄和橙子作为试验对象,采用如下 3 种方式采集果实表面颜色样本:

- 1) 使用数码相机直接从田中拍摄图片,并从这些图片中裁剪出成熟果实(草莓和番茄)的区域。
- 2) 使用数码相机在各种自然光条件下(清晨、中午、傍晚、晴天和阴天)拍摄从市场买回的果实(西红柿和橙子),并拍摄相对应的背景(水泥地面以及树叶、杂草等)。

3) 在可控光强的光箱中用彩色摄像机(使用图像采集卡)采集各种光照条件下果实的图片。光箱内壁为黑色,且内壁表面粗糙(漫反射)。

3 果实表面色彩空间参照表的建立

从某种角度考虑,可将图像分割看作一个聚类问题。目前有很多基于各种聚类理论的分割算法,如平均值位移聚类的彩色图像分割算法^[2]、基于非监督学习动态聚类 ISODATA 算法的彩色图像分割^[3]等。这些分割算法都是利用图像中区域内像素相似的特点,在色彩空间形成各个聚类,然后再进行图像分割。由于聚类算法计算量都相当庞大,很大程度上影响了实时图像处理的效率。本文中针对水果采摘机器人作业对象(果实)图像的特点,提出基于色彩空间参照表的方法进行图像分割,避开了其他算法图像分割时的聚类处理。图像中不同目标在色彩空间的聚类特性是本方法的理论依据之一。

色彩空间参照表标记了色彩空间目标色彩的分布区域,表中元素的坐标(x, y)为色彩模型中各个分量的值(H, S 或 C_b, C_r 或 a^*, b^*),其值为 1 的元素所构成的区域就是目标色彩分布的区域。下面讨论的是建立在二维色彩空间的参照表。

色彩空间参照表的建立过程,实际上就是样本像素在色彩空间的分布聚集过程,其建立方法如下。

第 1 步:建立一个 256×256 的整数数组(对应二维色彩空间),并初始化为零;

第 2 步:将样本像素从 RGB 色彩空间转化到指定的色彩空间(如 HSV 和 $L^*a^*b^*$ 等),并将各个分量均映射到 $0 \sim 255$ 的范围内;

第 3 步:在指定二维色彩空间(如 HS 和 a^*b^* ,即第 1 步建立的数组)统计样本像素,得到二维色彩分布密度图,也是灰度直方图在二维色彩空间的扩展;

第 4 步:将第 3 步得到的二维色彩分布密度图视作一灰度图,取合适的阈值(视样本的多少而定,一般可取 $200 \sim 300$),将其二值化,得到一个二值图像;

第 5 步:采用改进的膨胀、腐蚀算法对第 4 步得到的二值图像进行一系列数学形态学的运算,最后得到的二值图像所对应的二维数组就是所求的色彩空间参照表。

4 数学形态学算法在色彩空间参照表建立过程中的作用

关于色彩空间参照表建立步骤的第 5 步应用了数学形态学运算,下面对其进行说明。

噪声在图像中的普遍存在决定了由第 4 步得到的结果中也包含了样本图的噪声,其在结果中也表现为噪声(远离目标区域的孤立点);同时,由于样本的有限性,由第 4 步得到的结果的样本色彩分布区域是一个稀疏区域,其二值图像中存在众多紧邻的小岛和小孔洞。第 5 步操作的目的是要消除噪声,填充小孔洞并连接紧邻的小岛,形成完整的区域。

膨胀和腐蚀是数学形态学的 2 个基本运算,设 A 为图像集合, B 为结构元素。

4.1 膨胀

1) 膨胀的原始定义。用 B 来膨胀 A 得到的集合是 B (B 的映像)的位移与 A 至少有 1 个非零元素相交时 B 的原点位置的集合^[1]。

2) 改进的膨胀算法。由于样本中可能存在大量噪声,若按照膨胀的原始定义,进行膨胀操作时实际上放大了噪声,因此取结构元素 B 为 3×3 的窗口,结构元素原点在中心(图 1)。膨胀算法改为:用 B 来膨胀 A 得到的集合是 B 的位移与 A 至少有 3 个非零元素相交时 B 的原点位置的集合。

由于噪声一般远离目标区域,周围很少非零元

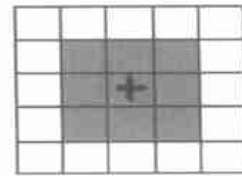


图 1 结构元素 B

Fig. 1 Structure unit B

素,这样就抑制了噪声的放大,而目标区域内部的点得到了膨胀,使稀疏的区域变得紧密。

4.2 腐蚀

1) 腐蚀的原始定义。用 B 来腐蚀 A 得到的集合是 B 完全包括在 A 中时 B 的原点位置的集合^[1]。

2) 改进的腐蚀算法。由于样本的有限性,由第 4 步得到的结果是一个稀疏的区域,若按照腐蚀的原始定义,进行腐蚀操作时可能将所有的分布点都腐蚀掉,因此与膨胀相同,取结构元素 B 为 3×3 的窗口,结构元素原点在中心。将腐蚀算法改为:用 B 来腐蚀 A 得到的集合是 B 的位移与 A 最多有 3 个零元素相交时 B 的原点位置的集合。

同样由于噪声一般远离目标区域,周围大部分为零元素,这样噪声就被腐蚀了(滤波),而目标区域内部的有用点得到了保留。

4.3 膨胀与腐蚀的结合使用

对膨胀和腐蚀算法进行改进之后,目标区域内部膨胀起主导作用,目标区域外部腐蚀起主导作用,区域的边界二者作用互逆;因此合理组合膨胀和腐蚀操作可以得到紧密分布的完整的目标区域,同时消除了噪声,并保留了区域的边界。

5 果实目标的提取

有了果实表面颜色色彩空间参照表之后,很容易判断一个像素点是否为目标像素点。在这里采用一种从统计意义上判断一个像素点是否为目标像素点的方法:在每个像素点(不管它是否为目标像素点)的 5×5 邻域内统计目标像素点的个数,超过半数时则认为该点为目标像素点,否则认为是非目标像素点。对于果实目标区域内部来说,这本身是一种类似“卷积”的滤波;对于果实目标区域外部来说,这种方法能更有效地去除背景。

判断一个像素点是否为目标像素点后实际上就得到了包含果实的二值化的图像。普遍存在的噪声,以及果实表面非常丰富的颜色,使得基于参照模型的判断可能失误,从而使获得的二值图像的果

实目标区域可能存在大量孔洞,类似于本文 2 中建立参照表时第 4 步得到的二值图像;因此也可以利用本文 3 中提及的改进的膨胀和腐蚀算法对果实图像进行处理,填充孔洞。

在对孔洞进行填充之后,就可以用普通的区域标志算法找出各个果实的区域,并得到这些区域的外接矩形,从而完成果实目标的提取。

6 试验结果及讨论

6.1 试验结果

基于上述算法,笔者选用草莓、橙子和番茄在 HSV , YC_bC_r 和 $L^*a^*b^*$ 色彩空间进行了试验,结果见表 1 和 2。表 1 给出水果表面颜色样本分别在 HS , C_bC_r 和 a^*b^* 色度空间的分布,表 2 给出试验

表 1 水果表面颜色样本色彩空间分布

Table 1 The distributing of fruits color in the color space

试验对象	色度空间		
	HS	C_bC_r	a^*b^*
草 莓			
橙 子			
番 茄			

表 2 目标分割试验结果

Table 2 Experiment result of object extraction

试验样本	色彩模型		
	HSV	YC_bC_r	$L^*a^*b^*$

样本在 HSV , $YC_b C_r$ 和 $L^* a^* b^*$ 色彩模型下分割的结果。

6.2 算法的改进

水果采摘机器人工作环境的背景虽然复杂,但基本相似,其背景图像的像素在色彩空间也有一定的分布。为了更好地去除背景,按照色彩空间参照表的建立方法建立背景的色彩空间参照表,从果实色彩空间参照表中减去其和背景色彩空间参照表的共同部分,即可得到分割效果更好的果实色彩空间参照表。对西红柿的试验结果显示这种改进是有必要的。

6.3 噪声对目标提取的影响

笔者对存在大量椒盐噪声和随机噪声的图像进行了试验,结果表明,在目标提取之前不进行滤波处理也能取得同样好的效果,因为本文中所述方法在整个图像处理过程中都对噪声进行了特别处理,说明本方法是快速、简单的。

6.4 与其他分割方法的比较

1) 与灰度直方图分割法相比,由于本方法是基于彩色的,利用了图像中更多的信息,能够将背景去除得更干净,从而有利于进一步的图像分析。

2) 聚类分割算法和基于随机模型的算法大多基于较复杂的数学公式,本方法通过查表的方式对当前图像进行分割,没有复杂的数学运算,时间复杂度为线性,据此编制的程序有利于机器人控制中的实时图像处理。

3) 基于区域的方法如区域增长算法,在背景部分也进行分割运算,同时区域增长算法是一种递归算法,时间复杂度较高;而本方法只对果实目标(有时包括果梗)进行处理,对背景不作处理,节省计算时间,利于机器人高效作业。

6.5 果实表面颜色分布模型与果实表面颜色参照表

得到果实表面颜色分布区域后,可通过拟合区域边界得到果实表面颜色分布模型。与基于参照表的方法相比,这种方法节省内存空间(参照表需要 $256 \times 256 \times 2$ B 的空间,若对参照表使用游程编码,实际使用内存也很少),但如果边界复杂,则分割图像时计算也变得复杂。虽可采用椭圆来拟合边界,以简化分割图像时的计算,但颜色分布接近椭圆的假设并不合理,特别是有些处于采摘期的果实并不完全成熟,其表面颜色可能分布在多个分离的区域(表 1)。因此,与基于分布模型的方法相比,基于参照表的方法不仅更为简单,而且误分割率也更低。

7 结 论

对草莓、橙子和番茄的图像进行的试验结果表明,基于果实色彩空间参照表的算法在 HSV , $YC_b C_r$ 和 $L^* a^* b^*$ 颜色模型下均能在复杂的背景中快速地将果实目标提取出来,且提取效果良好,证明这种算法是可行、高效的。

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] 黄敦,游志胜. 对彩色和亮度通道进行各向异性扩散的彩色图像分割[J]. 计算机工程, 2002, 28(6): 166~170
- [3] 万建,王续成. 基于 ISODATA 算法的彩色图像分割[J]. 计算机工程, 2002, 28(5): 135~138
- [4] 林福宗. 多媒体技术基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2002. 115~119