

基于自定义颜色空间的快速图像分割算法

曹宇 赵杰 闫继宏

(哈尔滨工业大学机器人研究所 哈尔滨 150001)

摘要 为实现视觉伺服中对图像的实时处理,针对由RGB颜色空间模型转换到HSV颜色空间模型过程计算量大、时延明显的问题,提出了一种基于自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间模型的快速变换方法,减小了计算量,提高了处理速度;并采用一种对不同颜色分量进行序列分割的彩色图像分割方法,在自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间中实现了彩色图像的快速分割。实验证明了这种方法的有效性。

关键词 彩色图像分割,颜色空间,视觉伺服,腐蚀,膨胀

Image Segmentation Method Based on Custom Color Space Model

CAO Yu ZHAO Jie YAN Ji-hong

(Robot Research Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract In order to realize the real-time image processing in visual servoing, a fast transforming method based on a custom color space model named $\tilde{H}SV$ was presented to solve the problem of a large amount of computation and time delay caused by transforming from RGB to HSV color space model. By using this method the computation was reduced and the calculation speed was improved. Further more, a color image segmentation method which segments in sequence by different color-individual-parameter was adopted to achieve color image fast segmentation in the custom $\tilde{H}SV$ color space model. The experiments verify it.

Keywords Color image segmentation, Color space, Visual servoing, Erosion, Dilation

1 引言

图像分割是图像分析和模式识别的首要问题,是图像分析和模式识别系统的重要组成部分,也是视觉伺服(visual servoing)中实现目标检测的重要方法。所谓图像分割是指将图像中具有特殊意义的不同区域分离开,并使这些区域互不相交,且每个区域应满足特定区域的一致性条件^[1]。由于彩色图像提供了比灰度图像更加丰富的信息,因此随着计算机处理能力的快速提高,彩色图像处理正受到越来越广泛的应用。视觉伺服不仅要求图像分割的准确程度,而且对图像分割的快速性提出了更高的要求。本文针对传统的由RGB颜色空间模型转换到HSV颜色空间模型过程计算量大、时延明显的现象,提出了一种基于自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间模型的快速变换方法,并采用一种对不同颜色分量进行序列分割的彩色图像分割方法,在自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间中进行彩色图像的分割,大大地提高了处理速度。实验证明了这种方法的有效性。

2 RGB和HSV颜色空间模型

在众多的颜色空间模型当中,以色光三原色红(red)、绿(green)、蓝(blue)为基色定义的RGB颜色空间模型最为著名。根据这个定义,各种颜色的色光都可以由红、绿和蓝三种

基色加权混合而成。图1给出了RGB三维颜色立体空间。

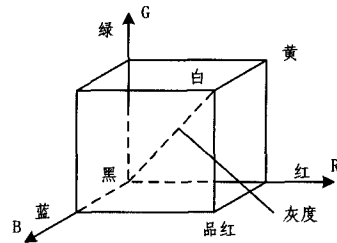


图1 RGB颜色空间模型

RGB适合于显示系统,但不适合于图像分割和分析,因为R,G,B 3个分量是高度相关的,即只要亮度改变,3个分量都会相应改变。例如对于同一种颜色,只要深浅、亮度略有不同,R,G,B分量都会发生剧烈的变化,这很不利于彩色图像的快速处理。因而,通常将RGB颜色空间变换为其他颜色空间。目前存在多种颜色空间用于彩色图像处理,其中应用广泛的是一种基于色调(hue)、色饱和度(saturation)和明度值(value)建立的HSV颜色空间模型^[2]。因其与人眼的色彩感知相吻合,在一些照明不均的场合,因色调与高亮、阴影无关,色调对区分不同颜色的物体非常有效。有的文献用光强(intensity)代替明度值,这种模型也称HSI颜色空间模型。

图2给出了HSV颜色空间模型与RGB颜色空间模型直

收稿日期:2008-03-20 本文受国家高技术研究发展计划资助项目(2006AA04Z245)资助。

曹宇(1981—),男,博士研究生,主要研究方向为机器人视觉伺服、计算机辅助图形图像处理;赵杰(1968—),男,教授,博士生导师;闫继宏(1974—),女,讲师。

接的关系,两模型之间可以相互转化,RGB 颜色空间到 HSV 颜色空间的转化公式如下^[3]:

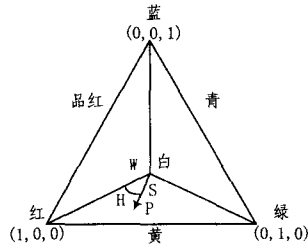


图2 HSV 颜色空间模型

$$H = \arccos \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \quad (2)$$

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

式中 H, S, V 与 R, G, B 分别代表各颜色分量的值,后同。

3 $\tilde{H}SV$ 颜色空间模型

由式(1)可以看到,在 HSV 颜色空间里,对于 H 的计算较为复杂,涉及反余弦和开平方运算,计算机进行处理时,需要较长的计算时间。为了减小处理时间,提高计算速度,本文在 HSV 颜色空间的基础上,建立了一个自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间。

$\tilde{H}SV$ 颜色空间中 S 和 V 仍然使用 HSV 空间的 S 和 V 不变。对 $\tilde{H}$ 做如下变换:

当 $2R - G - B < 0$ 时,令

$$\tilde{H} = (1 - \cos^2 H) = (1 - \frac{(2R - G - B)^2}{4[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]}) \quad (4)$$

当 $2R - G - B > 0$ 时,令

$$\tilde{H} = (1 + \cos^2 H) = (1 + \frac{(2R - G - B)^2}{4[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]}) \quad (5)$$

综合式(4)、(5),有

$$\tilde{H} = (1 + |\cos H| \cos H) = (1 + \frac{|2R - G - B| * (2R - G - B)}{4[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]}) \quad (6)$$

所以 RGB 颜色空间到 $\tilde{H}SV$ 颜色空间的转化公式为

$$\tilde{H} = (1 + \frac{|2R - G - B| * (2R - G - B)}{4[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]}) \quad (7)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (9)$$

比较式(1)和式(7)可知,把彩色图像从 RGB 空间转换到 $\tilde{H}SV$ 空间,与转换到 HSV 空间相比,对色调分量 $\tilde{H}$ 的计算避免了反余弦和开平方的运算,极大地减少了计算量,有效提高了彩色图像分割的处理速度。通过图像分割实验比较,节省了一半以上的计算时间,使处理速度提高一倍。

4 彩色图像分割

分割一幅彩色图像,首先要选好合适的颜色空间;其次要

采用适合于此空间的分割策略和方法。目前存在的分割方法有聚类法、区域生长法、边缘检测法、模糊方法、神经网络等^[4],不同的方法适用于不同的颜色空间。视觉伺服系统要求有实时性,所以对视觉处理算法的快速性提出了很高的要求。本文选择了在自己定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间中,采用一种对不同颜色分量进行序列分割的彩色图像阈值分割方法进行彩色图像的分割^[6],在保证分割效果的前提下,提高了分割处理的速度。

在 $\tilde{H}SV$ 颜色空间中,对不同颜色分量进行序列分割的方法其分割过程主要分为以下几个步骤:

- 1) 利用 S 来区分高饱和区和低饱和区;
- 2) 利用 $\tilde{H}$ 对高饱和区进行分割,由于在高饱和区 S 值比较大, $\tilde{H}$ 值量化细,可采用 $\tilde{H}$ 的阈值来进行分割;
- 3) 利用 V 对低饱和区进行分割,在低饱和彩色区 $\tilde{H}$ 值量化粗,无法直接用来分割,但由于比较接近灰度区域,因而可采用 V 来进行分割。
- 4) 后期处理,去除图像中的噪声,实现图像的区域分割。

图3给出了对不同颜色分量进行序列分割的算法流程图。

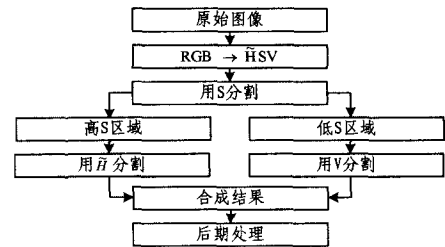


图3 对不同颜色分量进行序列分割的算法流程图

4.1 分割阈值的选取

显然,选取合适的阈值是实现上述算法的前提。阈值的选取是阈值分割技术的关键。如果阈值选取过高,则过多的目标点被误认为背景;阈值选得过低,则会出现相反的情况。从20世纪60年代开始,国内外学者针对这一课题进行了广泛深入的研究和大量的试验,已提出了数十种阈值选取方法,但至今还未能找到一种对所有图像都能有效分割的阈值选取方法,某种阈值方法只能适用于某一类图像,而对其他图像分割效果并不理想。考虑到视觉伺服系统实时性的要求,一般采用基于先验知识的方法和模板求取法。

本文采用模板求取法,从与目标物体具有同样颜色特征的图像上选取一定大小的区域作为颜色模板,将这个模板图像转换到 $\tilde{H}SV$ 颜色空间,比较模板图像中的各个像素的 $\tilde{H}$, S 和 V 的值,分别搜索到 $\tilde{H}$, S 和 V 颜色分量值最大和最小的3个像素点,标记它们各自的 $\tilde{H}$, S 和 V 颜色分量值。为了减少随机噪声的影响,忽略分量值最大和最小的两个点。

4.2 噪声的去除

从图3可以看到,由于各种原因在目标周围还存在很多的孤立噪声点,分析噪声来源主要是摄像机的采集过程噪声和目标运动过程中光线变化引起的噪声,噪声类型主要是比较密集的孤立点。根据噪声的这个特点,我们在图像分割的后期处理中,选用了数学形态学上提出的腐蚀(Erosion)和膨胀(Dilation)相结合的方法去噪^[6]。

腐蚀在数学形态学运算中的作用是消除物体的边界点。

腐蚀可以把小于结构元素的物体去除,同时使大于结构元素的物体缩减。本文选取结构元素为 3×3 的黑块点,即可有效去除图像中的噪声,同时使目标物体的边界沿周边减少一个像素。为了不影响目标物体的分割效果,可以在腐蚀后用同样大小的结构元素对图像实施膨胀处理,其效果是缩减的目标物体沿周边增长出一个像素,使其与初始分割后的目标大小一致。而原来的噪声点由于已经消除,则不会再出现新的噪声。

5 实验

实验系统由一台 CCD 摄像机、标准图像采集卡和一台奔腾 1.7G, 256M 内存的 PC 机组成,在 VC 环境下用 C++ 编写图像分割程序,对不同颜色的目标物体进行彩色图像的实时分割实验。图 4(a)显示了以绿色的网球作为分割目标的前期分割效果。图 4(b)显示了以黄色的积木块作为分割目标的前期分割效果。

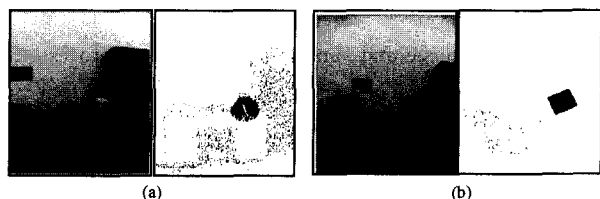


图 4 彩色图像前期分割效果

由图 4 的分割效果可以看出图像中除目标物体外还有很多的噪声点,为了去除这些噪声点我们采用腐蚀和膨胀相结合的方法对分割图像进行后期处理。图 5(a)显示了以绿色的网球作为分割目标去除噪声后的分割效果。图 5(b)显示了以黄色的积木块作为分割目标去除噪声后的分割效果。可以看到通过腐蚀和膨胀处理,在去除噪声点的同时,比较完好地保持了目标物体的分割效果。

实验结果显示在 HSV 颜色空间用上述分割算法对一幅大小为 384×288 像素的彩色图像进行分割,耗时约 70ms,而

在本文定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间中耗时平均不到 30ms,节省计算时间 40ms 以上。

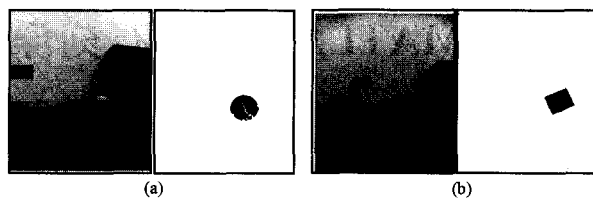


图 5 去除噪声后的分割效果

结束语 针对视觉伺服中对图像处理快速性的要求,在原有 HSV 颜色空间模型的基础上,提出了一种自定义的 $\tilde{H}SV$ 颜色空间模型,实现了 RGB 到 $\tilde{H}SV$ 的快速变换,大大减小了计算量,提高了处理速度。并针对 $\tilde{H}SV$ 颜色模型采用一种对不同颜色分量进行序列分割的彩色图像分割方法,实现了彩色图像的快速分割,对视觉伺服研究具有重要的参考意义和实用价值。实验验证了这种方法的有效性。

参考文献

- [1] 林开颜,吴军辉,徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(1): 1-10
- [2] Cardani D. Adventures in HSV Space, 2001. <http://www.buena.com/articles/hsvspace.pdf>, accessed 28 Sep. 2004
- [3] 贾云得. 机器视觉[M]. 科学出版社, 2000: 150-155
- [4] Deshmukh K S, Shinde G N. An Adaptive Color Image Segmentation [A]. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis [C]. Spain: Barcelona, 2005, 5(4): 12-23
- [5] Zhang Chi, Wang P. A New Method of Color Image Segmentation Based on Intensity and Hue Clustering [A]// International Conference on Pattern Recognition [C]. Spain: Barcelona, 2000: 3617-3620
- [6] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing Second Edition [M]. Publishing House of Electronics Industry, 2002: 519-566
- [7] 徐蔚鸿,陈国平,杨静宇,等. 规则摄动时模糊蕴涵算子对模糊推理的鲁棒性的影响[J]. 计算机学报, 2005, 28(10): 1700-1707
- [8] Wang Li-Xin. A Course in Fuzzy Systems and Control. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997
- [9] Cai Kai-Yuan. Robustness of Fuzzy Reasoning and δ Equations of Fuzzy Sets. Trans. on Fuzzy Systems, 2001, 9: 738-750
- [10] Stamou G B, Tzafestas S G. Resolution of composite fuzzy relation equations based on Archimedean triangular norms. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 120: 395-407
- [11] Zhang Lei, Cai Kai-Yuan. Optimal Fuzzy Reasoning and Its Robustness Analysis. Int. J. of Intelligent Systems, 2004, 19: 1033-1049
- [12] Li Yongming, Li Dechao, Pedycz W, et al. An Approach to Measure the Robustness of Fuzzy Reasoning. Int. J. of Intelligent Systems, 2005, 20: 393-413
- [13] 徐蔚鸿,宋鸾姣,李爱华,等. 训练模式对的摄动对模糊双向联想记忆网络的影响及其控制. 计算机学报, 2006, 25(2): 153-157
- [14] 曾水玲,徐蔚鸿,杨静宇. 训练模式对的摄动对最大-乘积型模糊联想记忆网络的影响. 计算机应用, 2007, 27(2): 346-348

(上接第 240 页)

- [3] Liu Puyin. Max-min fuzzy Hopfield neural networks and an efficient learning algorithm. Fuzzy Sets and System, 2000, 112: 41-49
- [4] Stamou G B, Tzafestas S G. Neural fuzzy relational systems with a new learning algorithm. Mathematics and Computers in Simulation, 2000, 51: 301-314
- [5] 李换琴,万百五. 大规模前馈神经网络的一种有效学习算法及其应用[J]. 信息与控制, 2003, 32(5): 403-407
- [6] 曾水玲,徐蔚鸿. 基于 Lukasiewicz t-模的模糊双向联想记忆网络的有效学习算法. 计算机应用, 2006, 26(12): 2988-2990
- [7] Cheng Qiansheng, Fan Zhou - Tian. The stability problem for fuzzy bi-directional associative memories. Fuzzy sets and systems, 2002, 132: 83-90
- [8] 范周田,钟义信. 模糊双向联想记忆网络的收敛性[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 127-130
- [9] McEliece R J, Posner E C, Rodemich E R, et al. The capacity of the Hopfield associative memory. IEEE Transaction on Information Theory, 1987, IT-1(1): 33-45