

彩色空间及空间上的彩色图像边缘检测*

计润生^{1,2} 高 隽^{1,3} 范之国³ 郑 飞¹ 孔 斌¹

¹(中国科学院合肥智能机械研究所仿生感知与控制研究中心 合肥 230031)

²(中国科学技术大学 合肥 230026)

³(合肥工业大学计算机与信息学院图像信息处理研究室 合肥 230009)

摘 要 彩色图像提供了比灰度图像更丰富的信息,彩色图像的边缘检测日益受到人们的重视。本文对各种彩色图像边缘检测方法,从它们所采用的彩色空间出发进行综述,详细介绍了几种常用的彩色空间及其特点,归纳总结了近年来出现的彩色图像边缘检测方法。

关键词 彩色空间 彩色图像 边缘检测 色差 变换

Color space and color image edge detection in them

Ji Runsheng^{1,2} Gao Jun^{1,3} Fan Zhiguo³ Zheng Fei¹ Kong Bin¹

¹(Center for Biomimetic Sensing and Control Research, Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

²(University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

³(Lab. of Image Information Processing, School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract Color images provide more information than monochrome images, and color image edge detection has being paid more and more attentions. In this paper, all the typical color image edge detection methods are surveyed from the viewpoint of color spaces they used. We will go into particulars some color spaces in common use and their characteristics, and summarize color image edge detection approaches arising in recent years.

Key words color space color image edge detection color difference transformation

1 引 言

图像边缘检测是数字图像处理的重要内容,是进行图像分析、模式识别等深层次处理的关键步骤。边缘反映了景物局部区域内特征的差别,它表示图像信息的某种不连续性。在灰度图像中,图像的边缘是由灰度不连续造成的。检测灰度图像边缘最简便的方法就是利用各种微分算子^[1]。

相对于灰度图像,在彩色图像中用于边缘检测的信息更加丰富,如具有相同亮度、不同色调的边缘同样可以被检测出来。相应的,彩色图像边缘的定义也是基于 3 维颜色空间的不连续性。而要检测出一副彩色

图像的边缘,选择合适的彩色空间至关重要。本文就将从边缘检测所采用的不同彩色空间出发,对近年来出现的彩色图像边缘检测方法进行综述。

2 基于各种彩色空间的彩色边缘检测

表达颜色的彩色空间有许多种,它们常是根据不同的应用目的而提出的。下面围绕边缘检测,介绍几种常用的彩色空间及其特点,并对近年来出现的彩色边缘检测方法进行归纳。

2.1 基于 RGB 彩色空间的彩色边缘检测

RGB 空间是最常见的彩色空间,它是一种矩形直角空间结构的模型,空间立方体内任一点的三个坐标

* 基金项目:国家自然科学基金(60375011,60575028),安徽省自然科学基金(04042044),新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0560)

值分别对应 R、G、B 三个基本颜色分量,通过对它们进行加运算完成颜色综合。

RGB 空间面向硬件设备(如 CRT),物理意义明确但是缺乏直感^[1]。它很不均匀,其 3 个分量高度相关,但由于大多数的图像都是用它来表示的,而且它不需要经过空间转换,计算量相对较小。所以,RGB 空间是应用于彩色图像边缘检测最多的空间。

Scharcanski 等^[2]提出了一种在 RGB 空间中检测图像边缘的方向算子。用该算子可分别计算出图像中每个像素点在 R、G、B 3 个子空间中的梯度,再综合它们得到总的梯度,最后通过非最大值抑制、双阈值和边缘连接等操作检测出图像边缘。另外,他们还提出了一种检测彩色边缘的向量次序统计量算子^[3]。

Russo 等^[4]则针对受高斯噪声污染的彩色图像进行了研究。他们首先利用非线性预滤波器对图像在 R、G、B 3 个子空间中滤波,再利用模糊模型对得到的去噪图像进行边缘检测。

彩色图像的每个像素点可看作是 RGB 空间中的一个向量,Cheng 等^[5]利用向量主轴的概念对 RGB 向量进行排序,然后根据矩不变原理抽取图像的边缘特征。这种方法耗时少,不需要特殊的硬件设备,十分适合于快速的实际应用。

基于 RGB 空间的彩色图像边缘检测的文章还有很多,可参阅文献[6-8]。

2.2 基于 HSI 彩色空间的彩色边缘检测

HSI 即色度(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Intensity),其中 H 和 S 分量与人感受彩色的方式紧密相连,而 I 分量与彩色信息无关。从 RGB 到 HSI 的转换关系可参阅文献[1]。

经过变换,H、S、I 三分量之间的相关性比 R、G、B 三分量之间要小得多,因此人眼对前者变化的区分能力要比对后者变化的区分能力强。HSI 空间对颜色的描述比较符合人类对颜色的视觉理解,亮度和色度的分离也更有利于图像处理。因此,HSI 空间广泛的应用于图像处理领域。

李文举等^[9]给出了一种新的彩色边缘的定义,提出一种在 HSI 空间使用的基于彩色图像方向区域距离测度的彩色边缘检测方法。该方法定义的方向区域距离测度充分考虑了边缘的方向性和滤波尺度对边缘检测的影响,通过选择不同的权重,可分别求取色调边缘、色度边缘、饱和度边缘、亮度边缘以及它们的组合边缘,获得用于不同用途的方向区域距离测度。实验表明,该方法能提取更多的彩色边缘信息并具有很好

的抗噪性能。

在成像过程中,镜面反射通常会引起图像的边缘模糊。Tsang^[10]就提出了一种减小由镜面反射引起的彩色边缘误检测的方法。该方法基于 Shafer 的二色性反射模型,并分析了 HSI 空间中图像场景的物理特性,利用给出的算法可较为准确的得到图像的边缘。

研究发现,色调与高亮、阴影无关,因此色调对区分不同颜色的物体非常有效。HSI 空间中亮度和色度分离恰好适用于边缘检测,尤其是在一些照明不均的场合,HSI 空间特别有用。

2.3 基于 CIE L* a* b* 彩色空间的彩色边缘检测

CIE L* a* b* 彩色空间是一种均匀的彩色空间。在此空间中,点与点之间的距离与色差(由(1)式定义)成正比,色彩的亮度、灰阶和饱和度可以单独修正。从 RGB 到 L* a* b* 的转换可参阅文献[11]。

$$\Delta C = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

根据(1)式的色差定义,文献[12]和[13]提出了两种相似的彩色边缘检测方法,所不同的是二者采用的算子模板不同。两种方法对小的色差边缘的检测效果均较好,这也正是 L* a* b* 空间用于边缘检测的优势。

2.4 基于基本反射模型的彩色空间的彩色边缘检测

基本反射模型的概念可参阅文献[14]。目前已经提出的基于基本反射模型的彩色空间共有 4 种^[14-15]:

$$c_1 = \arctan\left(\frac{R}{B}\right), c_2 = \arctan\left(\frac{G}{B}\right) \quad (2)$$

$$o_1 = \frac{R-G}{2}, o_2 = \frac{2B-R-G}{4} \quad (3)$$

$$c_1^1 = \arctan\left(\frac{R}{B+128}\right), c_2^1 = \arctan\left(\frac{G}{B+128}\right) \quad (4)$$

$$c_1^2 = e^{(R-G)}, c_2^2 = e^{(G-B)}, c_3^2 = e^{(B-R)} \quad (5)$$

它们均具有所谓的光度测量不变性^[14],对不同类型的彩色边缘具有不同的敏感性,因此常常用于彩色边缘的分类以及特殊类型边缘的检测。Gevers 等^[15]首先利用 Prewitt 算子和阈值化处理得到图像的边缘图,然后根据敏感性将边缘分为 4 种类型。

由式(2)可以看出, $c_1 c_2$ 空间在 $R=G=B=0$ 附近会变得不稳定。而 Yang 等^[15]提出的 $c_1^1 c_2^1$ 和 $c_1^2 c_2^2 c_3^2$ 空间则解决了这一问题。基于这两个空间的综合算子可以有效检测高亮、阴影等不同环境下得到的图像边缘。

除了以上介绍的 4 种彩色空间以外,还有 YUV、YIQ、 $I_1 I_2 I_3$ 等彩色空间,由于在边缘检测领域应用较少,在此不予赘述。

3 总 结

以上介绍的各种彩色空间都具有各自不同的特点。其中,RGB空间简单常用,易于理解,但它很不均匀。HSI空间与人眼的色彩感知相吻合,在一些照明不均的场合特别有用。而在CIE L* a* b*空间中,能够直接用彩色空间的几何距离进行不同颜色的比较,因此可有效的用于测量小的色差。HSI空间和CIE L* a* b*空间都是由RGB空间经过非线性变换得到的,这样做消除了3个颜色分量间的相关性,适合于图像处理。但由于其是非线性变换,因此计算量较大,且颜色空间存在奇异点问题。基于基本反射模型的彩色空间,其空间变换过程简单快速,且它们均具有光度测量不变性,对不同类型的彩色边缘具有不同的敏感度。

对于彩色图像边缘检测而言,正是由于以上介绍的各种彩色空间的不同特点,选择合适的彩色空间就显得至关重要了,必须根据具体的图像和检测方法而定,而目前还没有一种彩色空间可以替代其他的空间而适用于所有彩色图像边缘检测。对于常规的检测而言,RGB空间仍将是最常用的;而基于基本反射模型的彩色空间由于其自身的特点,必将会在一些诸如由高亮、阴影等特殊条件生成的彩色边缘检测中拥有更广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [2] J. Scharcanski, A. N. Venetsanopoulos. Edge detection of color images using directional operators [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1997, 7(2): 397-401.
- [3] P. E. Trahanias, A. N. Venetsanopoulos. Vector Order Statistics Operators as Color Edge Detectors [J]. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., 1996, 26: 135-143.
- [4] F. Russo, A. Lazzari. Color edge detection in presence of Gaussian noise using nonlinear prefiltering [J]. IEEE Trans. Instrumentation and Measurement. 2005, 54(1): 352-98.
- [5] S. C. Cheng, Y. L. Wu. Subpixel edge detection of color images by principal axis analysis and moment-preserving principle[J]. Pattern Recognition, 2005, 38: 527-537.
- [6] T. Hai, S. T. Thomas. Color image edge detection using cluster analysis[C]. ICIP, 1997, 1: 834-836.
- [7] R. D. Dony, S. Wesolkowski. Edge detection on color images using RGB vector angle [C]. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1999: 687-692.
- [8] J. Weijer, T. Gevers, J. Geusebroek. Color edge detection by photometric quasi-invariants[C]. ICCV. 2003, 2: 1520-1525.
- [9] 李文举, 梁德群, 张旗, 等. 基于方向区域距离测度的彩色边缘检测方法[J]. 计算机应用, 2003, 23(1): 23-25.
- [10] P. W. M. Tsang, W. H. Tsang. Edge detection on object color[C]. ICIP, 1996, 3: 1049-1052.
- [11] G. Wyszecki, W. Stiles. Color science: concepts and methods quantitative data and formulae [M]. New York: Wiley, 1982.
- [12] 吕明忠, 罗鹏, 高敦岳. 一种基于色差的彩色图像的边缘检测方法[J]. 华东理工大学学报, 2001, 27(5): 561-564.
- [13] H. C. Chen, W. J. Chien, S. J. Wang. Contrast-based color image segmentation[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2004, 11(7): 641-644.
- [14] T. Gevers, H. Stokman. Classifying color edges in video into shadow-geometry, highlight, or material transitions[J]. IEEE Trans. Multimedia, 2003, 5(2): 237-243.
- [15] X. H. Yang, H. Takahashi, M. Nakajima. Investigation of robust color model for edge detection on text extraction from scenery images [C]. IEEE TENCON 2004, 2004, (2): 85-88.