

一种基于 HSI 的距离联合 RGB 3 维场边缘探测方法

郎文辉 冯焕清

(中国科学技术大学生物医学工程研究所,合肥 230027)

周荷琴 袁非牛 诸葛斌

(中国科学技术大学自动化系,合肥 230027)

摘要 在彩色图像边缘检测中,欧氏距离方法虽对亮度变化敏感,但对色度和饱和度的差异不太敏感,而矢量角方法又仅能探测色彩差异。为了在 RGB 3 维彩色场中获取精确的边缘信息,提出了一种基于 HIS(色度、饱和度和亮度)的距离联合边缘检测方法。该方法在高亮和色差大的区域主要利用矢量角对色彩差异来进行检测,而在低亮和色差小的区域则主要利用欧氏距离的亮度差异来进行边缘检测。实验表明,该方法可有效地解决矢量角存在的问题,其与 LUV 欧氏距离检测方法相比,则可以避免复杂的色彩空间变换计算,其检测效果也更佳。

关键词 欧氏距离 矢量角 彩色边缘探测 体绘制

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)03-0301-04

A Color Edge Detection Method Using Distance Combination Based on HSI in 3D RGB Color Field

LANG Wen-hui¹⁾, FENG Huan-qing¹⁾, ZHOU He-qin²⁾, YUAN Fei-niu²⁾, ZHUGE Bin²⁾

¹⁾ (University of Science & Technology of China, Bio-Medical Engineering Institute, Hefei 230027)

²⁾ (University of Science & Technology of China, Department of Automation, Hefei 230027)

Abstract The Euclidean method is sensitive to variations in intensity, but not very sensitive to variations in hue and saturation whereas the vector angle method detects only chromatic differences in color edge detection. The paper presents a distance combination scheme based on HSI (hue, saturation and intensity) so as to capture more accurate edge data in RGB color field. The approach is a metric that the chromaticity difference information in the form of the vector angle is mainly used in edge detection of high intensity and color difference regions, whereas the intensity difference information in the form of Euclidean distance is mainly used in edge detection of areas of low intensity and color difference. Experiments show that our method effectively solves the problems of unstable angle calculation for vectors with small RGB values, insensitive to intensity differences for vector angle and not very sensitive to chromatic differences for Euclidean in RGB space. Compared to the LUV-based measure which has already been used successfully in the LUV space, the method avoids the complexity of the color space transformation and enhances the edge detection over the LUV-based results for Visible Man dataset.

Keywords Euclidean distance, vector angle, color edge detection, volume rendering

1 引言

在灰度场中边缘被定义为亮度的不连续区域。而在 3 维彩色场中,色彩和亮度值都对边缘的测定起作

用。Kniss 等人 RGB 空间中采用欧氏距离方法-探测多值场的边缘^[1],这种方法虽简便易行,但由于欧氏距离方法在 RGB 空间中过于注重亮度区域变化,对色彩差异信息不太敏感^[2],为此 Ebert 等人把 RGB 彩色空间转换为感知均匀的 CIE LUV 色彩空间^[3],即根据

基金项目:安徽省自然科学基金(01042202)

收稿日期:2003-11-24;改回日期:2004-09-16

第一作者简介:郎文辉(1965 -),男,1993 年获合肥工业大学信号与信息处理专业硕士学位,现为中国科学技术大学生物医学工程研究所博士生。主要研究方向为医学影像图像处理、3 维可视化、计算机网络等。E-mail: langwh@ustc.edu.cn

LUV 色彩差异梯度幅值来检测边缘,并取得了较好的效果,但由于 RGB 到 CIE LUV 的转换非常复杂,且计算量大,因而不利于快速检测边缘信息。

为了在 RGB 空间中得到较好的检测效果, Dony 等人提出了矢量角测量法^[2], 矢量角方法是对两个相邻体素的矢量角进行计算, 其与 RGB 空间中的欧氏距离不同, 矢量角不仅可区分色彩上的差异, 而且对色度和饱和度的差异较敏感, 还可以捕捉更多的边缘数据, 但该方法有如下一些问题, 如在零值点 ($R = G = B = 0$) 处无定义; 当矢量模 (或亮度) 之一很小时, 则矢量角的计算接近随机行为; 此外, 矢量角测量法对亮度差异并不敏感, 特别是当两个色彩矢量位于同一直线时 (即色度和饱和度都相同), 检测不到边缘信息。为克服上述缺点本文提出了一种距离联合的方法, 它是基于色度、饱和度和亮度, 把矢量角和欧氏距离结合在一起, 因此可以在 RGB 空间中, 对包含大量零值点的可视人体 3 维数据场的边缘进行快速检测, 其优点是, 在高亮和色差大的区域主要利用矢量角来对色彩差异信息进行检测, 而在低亮和色差小的区域则主要利用欧氏距离的亮度差异信息来进行边缘检测。

2 距离联合

下面将描述两种距离测量体制及其差异, 并给出把两种体制结合在一起的方法。

在彩色 3 维场中, 矢量角定义为两个相邻体素的矢量夹角^[2]:

$$\theta = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x}_j}{|\mathbf{x}_i| |\mathbf{x}_j|} \right) \quad (1)$$

其中, θ 是归一化后的矢量角; $\mathbf{x}_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}]$ 是一彩色三元组。

两矢量的模差, 即规格化后的欧氏距离定义为

$$D_E = \frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|}{\sqrt{3 \cdot 255^2}} \quad (2)$$

其中, E 代表 Euclidean, $\|\cdot\|$ 是 L2 矢量范数, 在 RGB 彩色空间记为

$\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| = \sqrt{(x_{i,1} - x_{j,1})^2 + (x_{i,2} - x_{j,2})^2 + (x_{i,3} - x_{j,3})^2}$
 因为最大矢量差异是 (255, 255, 255), 故取规格化因子为 $\sqrt{3 \cdot 255^2}$ 。

D_E 对亮度上的变化敏感, 而对色度和饱和度的变化不是非常敏感。矢量角的一个缺点是, 矢量角虽可

以很好地量化色度和饱和度差异, 但对亮度差异不敏感, 特别是当两个色彩矢量位于同一方向时 (即色度和饱和度都相同), 则检测不到任何边缘信息; 为此, 本文通过构造式(3)来把两种体制的优点结合起来:

$$C = 1 - [1 - \theta] \cdot [1 - D_E] \quad (3)$$

其中, C 是联合距离, 图 1 表明, 随着 θ 的减小, D_E 的作用越大。

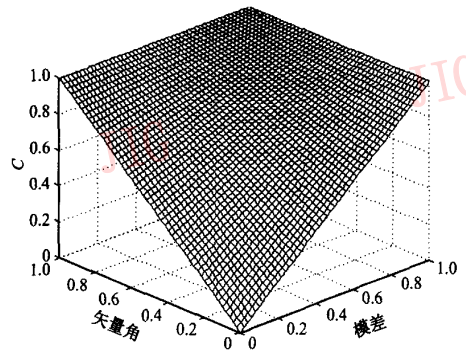


图 1 公式(3)的 3 维图形
 Fig. 1 3D graphics for formula(3)

矢量角的另一个缺点是 θ 在零点 ($R = G = B = 0$) 处无定义, 如直接用该式对包含大量零值点的 3 维彩色场进行检测将会丢失大量边缘信息; 此外在 R 、 G 、 B 值较低处, 由于 R 、 G 、 B 3 个值中任一值的微小变化都可以在两个色彩间的角度上产生大的变化, 因而会产生较大的感知差异; 相反, 低亮度区域对 D_E 并不是问题, 因此选择合适的权重值把两者结合起来应该能取得更好的边缘检测效果。

权重值可由 Carron 定义的折中参数函数来计算^[5], 其形式 (见图 2) 为

$$p(Y_1, Y_2) = \sqrt{t(Y_1) \cdot t(Y_2)} \quad (4)$$

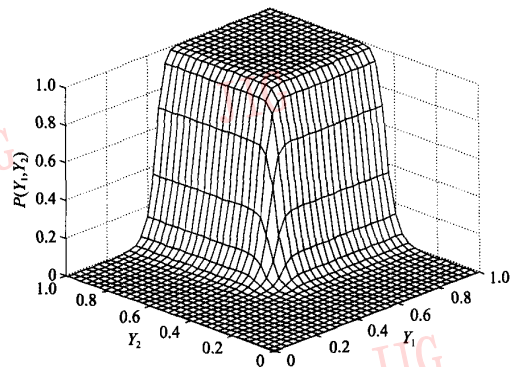


图 2 $p(Y_1, Y_2)$ 的变化结果
 Fig. 2 Variation result of the $p(Y_1, Y_2)$

其中 $t(Y_i)$ 是 S 型函数(见图 3),在本文中定义为

$$t(Y_i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(Y_i - M)}} \quad (5)$$

这里, M 定义为过渡中点, β 描述了该点的斜率。 Y_i 是被比较的两个体素的归一化后的亮度值, $i = 1, 2$, 本文选用的 YIQ 空间中的亮度分量^[4] 如式(6)所示。

$$Y_i = \frac{R \times 0.229 + G \times 0.587 + B \times 0.114}{255} \quad (6)$$

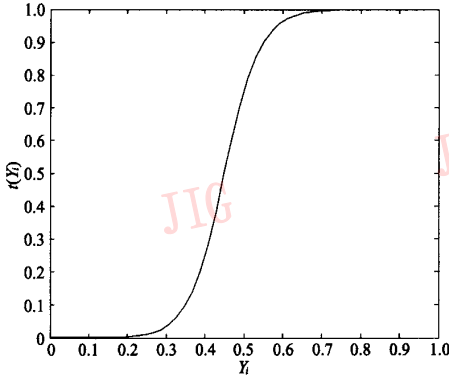


图 3 S 型函数, $\beta = 22, M = 0.45$

Fig. 3 Sigmoid function, $\beta = 22, M = 0.45$

因此把两种距离结合在一起的探测公式可以记为

$$C = 1 - [1 - p(Y_1, Y_2)\theta] \cdot [1 - (1 - p(Y_1, Y_2))D_E] \quad (7)$$

此式表明,只有当被比较的两个体素的亮度和矢量角都较大时, θ 才起主要作用,而其他情况下,则 D_E 起主要作用。

3 彩色 3 维边缘探测算子

本文只讨论矢量梯度算子。

Sapiro 在文献[6]中提出了 2 维矢量图像分割的理论,本文把它延伸到 3 维彩色体数据场。假设: $\Phi(u_1, u_2, u_3): \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}^m$ 是一多值 3 维场,分量记为 $\Phi_i(u_1, u_2, u_3): \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}, i = 1, 2, \dots, m; u_1, u_2$ 和 u_3 分别表示体素沿体数据场 x, y 和 z 轴向的坐标;由于是 RGB 空间,故 $m = 3$ 。由于彩色 3 维场在给定点 (u_1^0, u_2^0, u_3^0) 处的值是一矢量,因此 $P(u_1^0, u_2^0, u_3^0)$ 和 $Q(u_1^1, u_2^1, u_3^1)$ 两点之间的差异也是矢量,可表示为 $\Delta\Phi = \Phi(P) - \Phi(Q)$ 。当 P 和 Q 趋近于零时,差异矢量为 $d\Phi = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial\Phi}{\partial u_i} du_i$ 。它的均方范数是一个标量,可用如下二次型表示:

$$d\Phi^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial\Phi}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial u_j} du_i du_j$$

对点积进行如下代换,令

$$c_{i,j} = \frac{\partial\Phi}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial u_j}$$

$$\begin{aligned} d\Phi^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 c_{i,j} du_i du_j \\ &= \begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \\ du_3 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & c_{1,3} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & c_{2,3} \\ c_{3,1} & c_{3,2} & c_{3,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \\ du_3 \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{n}^T \mathbf{G} \mathbf{n} \end{aligned} \quad (8)$$

其中, \mathbf{n} 是方向矢量, $\mathbf{n} = \begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \\ du_3 \end{bmatrix}$, $\mathbf{G} =$

$$\begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & c_{1,3} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & c_{2,3} \\ c_{3,1} & c_{3,2} & c_{3,3} \end{bmatrix}$$

是一 3×3 的张量, \mathbf{G} 的特征向量

和特征值决定了某点的最大变换方向和色彩差异梯度模 $\|\mathbf{G}\|$ 。为了计算简单,本文仅取 \mathbf{G} 的 L2 范数作为色彩差异梯度模 $\|\mathbf{G}\|$,它是各矩阵元素平方和的开方。

4 边界增强

Levoy 最早把基于梯度的光照和阻光度增强引入人体绘制^[7]。在文献[7]中,每个体素的阻光度都通过体素的梯度模拉伸,以突出不同密度数据(例如组织)之间的边界,并使得连续密度区域透明(例如器官内部)。为了得到更好的边缘增强效果,本文采用了非真实感绘制(non-photorealistic rendering, NPR)中的边缘增强技术^[8],其对应的阻光度变换函数为

$$\gamma_{\text{opacity}} = V_{\text{origin}} (k_{gc} + k_{gs} \times (\|\mathbf{G}\|)^{k_{gs}}) \quad (9)$$

这里 V_{origin} 是原始阻光度(即一个标量色彩分量,按式(5)取亮度值), k_{gc} 、 k_{gs} 和 k_{gs} 是用户定义的变量,其可以增减边缘或非边缘处的阻光度值。 $\|\mathbf{G}\|$ 是物体在某个体素处的梯度模。与传统的体绘制一样,该方程允许用户选择的作用范围从没有梯度增强($k_{gs} = 1; k_{gs} = 0$)到完全的梯度增强($k_{gs} \geq 1$)到仅仅显示大梯度的区域($k_{gs} = 0$)。由于使用幂函数,用户可以调整阻光度曲线的斜率,从而可更好地突出

数据集。

5 实验结果和讨论

实验数据来自 VHP(visible human project)男人数据集。图版 I 图 1 是一组实验结果,由 3 幅连续胸腔切片绘制而成。图版 I 图 1(a)是一原始胸腔切片,背景由大量零值点组成,且在背景与皮肤交界处有一些低值点,为了突出式(7)在色度、饱和度相同而亮度不同处的作用效果,本文在左下角给出了一个测试图像,包括亮绿($R = 178, G = 254, B = 178$)、暗绿($R = 148, G = 212, B = 148$)、亮褐($R = 236, G = 220, B = 154$)和暗褐($R = 197, G = 183, B = 128$)等色块。图版 I 图 2 是男性上半身($256 \times 256 \times 188$)的体绘制结果。图版 I 图 1(b)~图 1(e)和图版 I 图 2(a)~图 2(d)的参数设置为 $k_{gc} = 0.6, k_{gs} = 0, k_{gv} = 0.5$ 。

图版 I 图 1(b)反映了欧氏距离在 RGB 空间中对亮度变化比较敏感,因此所得的轮廓具有较好的聚类性。图版 I 图 1(c)提供了更多的色彩差异信息,但由于矢量角在低值处是不可靠的,故存在一些锐点;另外由于矢量角在零值点无定义,因此也丢失了许多边缘信息。图版 I 图 1(d)把两种距离体制结合在一起,不仅可以检测到色彩差异信息和消除锐点,还可以检测到色度、饱和度相同但亮度不同的区域边界。VHP 男人数据集的实验结果还表明,在相同的参数设置条件下,基于 LUV 空间的欧氏距离方法,其边缘检测和增强能力并不优于基于 RGB 的距离联合方法,如在左肩处图版 I 图 2(c)就比图 2(d)捕捉了更多的边缘信息。

6 结论

本文提出了一种基于色度、饱和度和亮度的距离联合边缘检测方法,并在 3 维场中采用梯度算子

将本方法与 RGB 矢量角、RGB 欧氏距离和 LUV 欧氏距离方法进行了比较。实验结果表明,本方法可以有效地解决矢量角在低值点处不稳定、对亮度差异不敏感以及欧氏距离对色彩差异不太敏感等问题;即使与目前最成功的 LUV 欧氏距离检测方法相比,本方法也具有一些优点,本方法可以避免复杂的色彩空间变换计算,就 VHP 男人数据集而言,其检测效果也要优于后者。实践证明本方法在彩色图像边缘探测、分割等领域具有重要的实际应用价值。

参考文献 (References)

- 1 Kniss J, Kindlmann G, Hansen C. Multidimensional Transfer functions for interactive volume rendering[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(3): 270 ~ 285.
- 2 Dony R D, Wesolkowski S. Edge detection on color images using RGB vector angle [A]. In: Proceedings of IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C], Edmonton, Canada, 1999: 687 ~ 692.
- 3 Ebert D, Morris C, Rheingans P, et al. Designing effective transfer functions for volume rendering from photographic volumes[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(2): 183 ~ 197.
- 4 PENG Qun-sheng, BAO Hu-jun, JING Xiao-gang. Fundamental algorithms for realistic image synthesis[M]. Beijing: Science Press, 1999. [彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- 5 Carron T, Lambert P. Color edge detector using jointly hue, saturation and intensity[A]. In: Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing[C], Austin, Texas, USA, 1994: 977 ~ 981.
- 6 Sapiro G. Color snakes [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1997, 68(2): 247 ~ 253.
- 7 Levoy M. Display of surfaces from volume data[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1988, 8(3): 29 ~ 37.
- 8 Ebert D, Rheingans P. Volume Illustration: Non-photorealistic rendering of volume models [A]. In: Proceedings of IEEE Visualization'00[C], Salt Lake City, Utah, USA, 2000: 195 ~ 202.

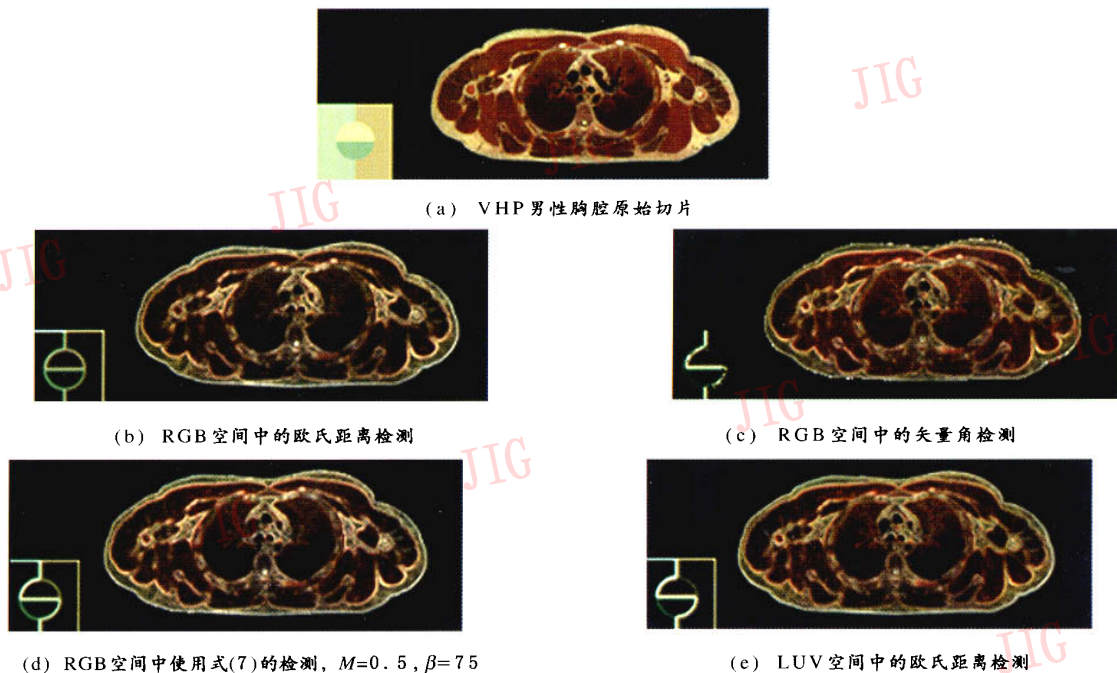


图1 3幅连续胸腔切片的实验结果

Fig.1 Experimental results of three consecutive thorax slices



图2 男性上半身的绘制结果

Fig.2 Volume rendered images of Man upper torso