

基于四元数描述的彩色图象边缘检测器

李葆青

(六盘水师范高等专科学校, 贵州六盘水市 553004)

摘要 为了对彩色图象进行有效的边缘检测, 提出了一种彩色图象边缘检测的新方法, 该方法先是采用基于四元数的滤波器来确定当前像点是否在同质区域边缘, 进而检测出边缘像点. 实验表明, 该方法对合成及自然彩色图象均有较好效果, 能够方便快捷地得到图象的边缘.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 边缘检测 彩色图象处理 图象的四元数表示

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)07-0774-04

A Color Image Edge Detector Based on Quaternion Representation

LI Bao-qing

(Liupanshui Teacher's College, Guizhou 553004)

Abstract This paper proposes a new color image edge detection method, which utilizes quaternion-based representation of color images and is based on a locally-defined convolution filter that directly operates on the quaternion domain. The filter, which is a convolving kernel as a function of the pixel under consideration, is applied only to a pre-defined neighborhood of the current pixel. Based on the properties of vector dot product and vector cross product between color pixels in quaternion domain, the convolution results are used to determine if the current pixel lies inside a locally homogenous region. A pixel that does not lie inside a locally homogenous region is classified as an edge pixel. Experiments with both synthetic and real color images are presented, along with comparisons with some other existing methods, illustrating the advantages of the proposed method.

Keywords Edge detection, Color image processing, Quaternion representation of images

0 引言

近年来, 由于数字彩色图象的广泛运用, 使彩色数字图象处理技术日益受到关注, 而计算机成本的日愈低廉和性能的日愈增强也使运用计算机有效地迅速处理大量彩色图象成为可能. 彩色图象边缘检测是众多的彩色图象处理任务中极为基本的一个, 这是因为图象分割、识别等大量的高层次彩色图象处理任务均建立在低层次边缘检测之基础上. 现有的一些彩色图象边缘检测方法中^[1~6], 有相当部分是基于灰度图象边缘检测的推广, 也即首先基于某一彩色分量红(R)、绿(G)或蓝(B)的图象进行灰度图象边缘检测, 然后再将每一独立分量的边缘图

联合形成彩色图象的边缘. 另外, 也有其他所谓基于矢量的方法(例如文献[7,8]), 即将每个像素当作一个三维矢量来运算的方法.

最近, 基于四元数的图象表示及其应用在彩色图象处理领域中已引起了人们广泛的兴趣(例如文献[2]~[6]), 然而, 大多数的方法都是基于色彩敏感滤波的, 即某个颜色(或某组颜色)必须人为指定, 以便使那些由该颜色(或该组颜色)引发的边缘得以检测. 但这一限制使此类方法变得不够现实, 因为从理论上讲, 一幅自然图象包含了几乎无限种色彩, 更何况, 一个实际物体常常有多种颜色, 而每一颜色又有着非常丰富的变化, 所以, 仅仅用单一色彩(或有限种色彩)来检测边缘的方法必然难以奏效.

为此提出一种局域定义的卷积滤波器. 该滤波

基金项目: 贵州省教育厅资助项目(2002-333)

收稿日期: 2002-12-10; 改回日期: 2003-03-27

器实质上是一个以给定像素为参数的卷积函数. 该滤波器仅用于任一给定像素的一个预定义的邻域. 根据由四元数表示彩色像素之间矢量的点积和叉积属性, 即可将其卷积结果用于确定当前像素是否处于局域同质区域之内, 以便确定该像素是否为边缘像素. 若一个像素不处于一局域同质区域之内, 则该像素即被确定为一个边缘像素. 实践表明, 该方法完全避免了需要人为指定一个或一组颜色的条件.

1 彩色图象的四元数描述

大家知道, 由于一个四元数有4个自由度, 即一个实数部分和3个虚数部分, 因此它需要4个实数变量来定义

$$Q = a_0 + a_1i + a_2j + a_3k \quad (1)$$

可以简单表示为 $Q = (a_0, a_1, a_2, a_3)$, 其中 i, j, k 为四元数基矢, 运算满足右手系法则.

定义两个四元数 $Q_1 = (a_0, a_1, a_2, a_3)$ 和 $Q_2 = (b_0, b_1, b_2, b_3)$ 的乘积为

$$\begin{aligned} Q_1 \otimes Q_2 &= (a_0 + a_1i + a_2j + a_3k) \times (b_0 + b_1i + b_2j + b_3k) \\ &= (a_0b_0 - a_1b_1 - a_2b_2 - a_3b_3, \\ &\quad a_0b_1 + a_1b_0 + a_2b_3 - a_3b_2, \\ &\quad a_0b_2 - a_1b_3 + a_2b_0 + a_3b_1, \\ &\quad a_0b_3 + a_1b_2 - a_2b_1 + a_3b_0) \end{aligned} \quad (2)$$

若简写四元数为 $Q = (a_0, q)$, 其中

$$q = a_1i + a_2j + a_3k$$

式中, a_0 为 Q 的标量部分, q 为 Q 的矢量部分, 则 $Q_1 \otimes Q_2$ 可写为

$$Q_1 \otimes Q_2 = (a_0b_0 - q_1 \cdot q_2, a_0q_2 + b_0q_1 + q_1 \times q_2) \quad (3)$$

如果四元数中 a_0 为零, 则称其为纯四元数, 通常记为 μ . 从式(3)可知, 两个纯四元数 μ_1 和 μ_2 相乘表示为: $\mu_1 \otimes \mu_2 = (-\mu_1 \cdot \mu_2, \mu_1 \times \mu_2)$.

一个四元数 Q 的模为:

$$|Q| = \sqrt{a_0^2 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2} \quad (4)$$

四元数 Q 可以通过 $|Q|$ 归一化(或标准化)为 $v_q = Q/|Q|$.

当 a_0 等于零时, 一幅 RGB 彩色图象可以用如下给定的一个四元数的矢量部分表示为

$$q = ri + gj + bk$$

其中, r, g, b 分别表示红、绿、蓝3种成分的亮度值, 该表示形式已在许多图象变换中得到具体运用.

2 原理和方法

对于灰度图象, 其边缘模型一般定义为亮度的不连续跳变. 其边缘检测的流行方法是使用梯度算法或差分算子来进行检测; 对于彩色图象, 用于边缘检测的现有方法中包括处理单个分量的方法^[9]及基于矢量处理的方法^[7,8]. 下面, 提出一种基于四元数表示的新方法.

对于彩色图象, 其边界像素点可与灰度图象的情况相类似, 其边缘首先应该反映亮度(即使边界的两侧有相同的色彩), 另外, 彩色图象的边缘还应该反映出不同的颜色区域之间的界限(即使它们亮度相同), 因此, 为了检测出彩色边缘, 必须确定出满足以上两条件的边界像素点. 为了方便检测该边缘像素点, 可定义该类边界像素为不在局部同质区域的像素(相应地, 局域同质区域即不含亮度或色度跳变的局部区域). 于是, 边缘检测的问题就成为怎样检测出这样像素的问题, 即, 不在一个局部同质区域之中心, 而又与一个在局部同质区域中心的像素相连的像素(“相连”可定义为所采用的等近邻关系, 例如, 8-邻域相连).

为了确定一像素 $p(i, j) = ri + gj + bk$ 是否为一局域同质区域的中心, 可用其形成 3×3 卷积模板(或 5×5 等等). 若先将像点 $p(i, j)$ 归一化为 $u_p = p/|p|$, 则模板可表示为

$$M = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} u_p & u_p & u_p \\ u_p & u_p & u_p \\ u_p & u_p & u_p \end{bmatrix} \quad (5)$$

用该模板与图象 P 作卷积, 得

$$M * P = \frac{1}{9} \sum_{\substack{x+1 \\ y+1 \\ i=x-1 \\ j=y-1}}^{x+1} u_p \otimes p(i, j) \quad (6)$$

该卷积结果的标量和矢量部分分别记为 S 和 V . 依式(1), 如果像素 $p(i, j)$ 完全在一个同质区域内, 其卷积结果 (S, V) 就是一个具有负的标量部分及零矢量部分的四元数. 事实上, 由于两个相同矢量的叉积为零, 且其点积等于其自身模的平方, 因此, 以上结果可准确地表示为 $(-|p|, 0)$; 若该像素并非 3×3 同质区域的中心, 则其结果将与 $(-|p|, 0)$ 有差别. 若在用模板 M 与图象进行卷积之前, 先使图象归一化, 那么, 完全处于同质区域中心的像素的卷积结果应为 $(-1, 0)$. 通过检测所有的卷积结果, 便

可得到所有的边缘像素。

对于自然图象,如果使用同样的限制,则大多数像素将因被当作在同质区域之外,而得出无意义的边缘检测结果。因此,对自然图象而言,可首先使用高斯型滤波器对噪声信号进行预处理(仍然保留强边缘信息);然后为了得到有意义的结果,可适当放宽同质条件——比如,不要求 3×3 区域内有精确的相同颜色的9个像素,并降低阈值。由于注意到,若邻近的9个像素看起来越相像,则卷积结果 $S/\sqrt{|S|^2+|V|^2}$ 将越接近于-1,因而,若采取不同阈值划分卷积结果,则将能得到不同细节的边缘图形。

或许有人认为,采用简单的比较任一给定像素与它的邻近像素的 r 、 g 、 b 值的方法也可决定该像素是否处于同质区域的中心,然而,对于自然彩色图象而言,要想对 r 、 g 、 b 都通用的阈值来区分两个像素“相像”或者“不像”,这是非常困难的(当然,若 r 、 g 、 b 值绝对相等,则这两个像素是相同的除外,但这是一个并无代表性的特例)。基于四元数描述的方法,是利用近邻像素的四元数卷积来判断边缘特征的,像素值越接近,则其结果越逼近于-1,通过改变阈值就能够检测不同细节的边缘。这样,确定一个像素是否位于同质区域内,就只需一个阈值而不必考虑3个彩色分量,故而算法变得相当简单。

3 实验结果

3.1 合成图象结果

3.1.1 与 Sobel 边缘检测器的比较

当对一幅彩色图象使用 Sobel 边缘检测器检测边缘时,把它运用于所有的3个R、G和B子图象,然后分别通过R、G和B子图的边缘综合来得到最终的边缘。用 Sobel 边缘检测器检测图版 I 图 1(a),其得到的边缘检测结果如图版 I 图 1(c)所示。同样,对图版 I 图 2(a)运用 Sobel 边缘检测器进行检测,其得到的检测结果如图版 I 图 2(c)所示。

应用本文的方法,对图版 I 图 1(a)采用一个 3×3 的滤波模板进行滤波,可得到如图版 I 图 1(b)的图象。图版 I 图 2(b)与此类似,是用本文方法对图版 I 图 2(a)进行边缘检测的结果。

上面两例表明,本文提出的方法能够准确检测出合成图象的边缘。

3.1.2 与色彩敏感方法的比较

图版 I 图 1(d)是使用色彩敏感方法对选定图版 I 图 1(a)的颜色亮度值为(132,231,156)进行检测得到的边缘。图版 I 图 2(d)是使用色彩敏感方法在选定图版 I 图 2(a)的颜色亮度值为(0,255,0)后检测得到的边缘。

需要指出的是,如图版 I 图 1(b)和图版 I 图 2(b)所示,为了检测所有的边缘,利用色彩敏感方法滤波必须人为地指定不同的输入“种子”色,这在上面的实验已做过了说明(指定的颜色亮度值为(132,231,156)和(0,255,0))。由于本文方法完全避免了对颜色进行人为指定的要求,因此,在类似的计算量下,与色彩敏感方法相比,本文方法更简便。

至此,简单地讲,可得出以下结论:本文提出的方法能够很好地检测出合成图象的边缘,且不需人工干预。

3.2 对真实图象的检测结果

3.2.1 与 Sobel 边缘检测器的比较

如前所述,一般在运用本文提出的方法做边缘检测之前,需要用一个小高斯型滤波器来预先平滑处理输入的自然图象。

图版 I 图 3(b)显示了用 5×5 子模板对图版 I 图 3(a)运用本文方法进行边缘检测的结果。图版 I 图 4(b)显示了用类似方法对图版 I 图 4(a)进行边缘检测的结果。

用 Sobel 边缘检测器对图版 I 图 3(a)和图版 I 图 4(a)进行处理,其边缘检测结果分别显示于图版 I 图 3(c)和图 4(c)。

3.2.2 与色彩敏感方法的比较

图版 I 图 4(d)是选定色彩(240,47,42)后,再用色彩滤波法得到的边缘检测结果,图版 I 图 5(d)是选定色彩(84,73,55)之后,再用色彩滤波法得到的边缘。

这再一次证明了本文方法能够完全避免对颜色进行人为指定的要求,而且在同样的计算量下,色彩敏感方法则不能检测出大多数彩色边缘(见图版 I 图 4(d),其中蓝色的花瓣和绿色的叶子,其边缘信息已经丢失。)

3.3 使用不同阈值的效果

综上所述,显然,如果选择的阈值接近-1,例如,-0.99,将会有更多的像素被看成是同质区域的外部而作为边缘点对待;另一方面,如果选择的阈值远离-1,例如,-0.85,那么,将有更多的像素被看成是同质区域的内部而丢掉边缘细节。图版 I

图6(b)、(c)、和(d)详细说明了不同阈值运用于原始图象(图版I图6(a))的边缘检测结果。

4 结 论

实验结果表明,采用基于四元数卷积的彩色图象边缘检测器和运用矢量的点积及叉积属性,由于该方法能够较为容易地鉴别一个给定像素是否位于局部同质区域之内,因此可达到较好地检测图象边缘的目的。实验结果证明,该边缘检测器不仅可以运用于合成图象和自然图象,并具有很多优点。

另外尚需指出,本文的方法与Sobel边缘检测器一样,其仅仅依赖于对滤波结果取阈值,即可进行边缘检测,因为滤波结果在某种程度上反映了像素点间彩色跳变的程度。若加上进一步的处理,例如跟踪链接可能的边缘像素,则可获得更加精细的边缘图象。这将是下一步的工作。

参 考 文 献

- 1 Evans C J. Sangwine S J. Ell T A. Hypercomplex color-sensitive smoothing filters [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C], Vancouver, Canada, 2000; 541~544.
- 2 Pei S C. Cheng C M. Color image processing by using binary quaternion moment-perserving thresholding technique[J]. IEEE Transactions on Imaging Processing, 1999, 8(5): 614~628.

- 3 Cai C. Mitra S K. A normalized color difference edge detector based on quaternion representation[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C], Vancouver, Canada, 2000; 816~819.
- 4 Sangwine S J. Colour image edge detector based on quaternion convolution [J]. Electronic Letters, 1998, 34(10): 969~971.
- 5 Sangwine S J. Fourier transforms of colour images using quaternion, or hypercomplex, numbers[J]. Electronic Letters, 1996, 32(21):1979~1980.
- 6 McCabe A. West G. Caelli T. Filter techniques for complex spatio-chromatic image processing[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Chicago, Illinois, USA, 1998;742~745.
- 7 Dony R D. Wesolkowski S. Edge detection on color images using RGB vector angle[A]. In:Proceedings of IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering [C], Edmonton, Canada, 1999; 289~292.
- 8 Trahanias P. Venetsanopoulos A N. Color edge detection using vector statistics[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(4): 259~264.
- 9 Hedley M. Yan H. Segmentation of color images using spatial and color space information[J]. Journal of Electronic Imaging, 1992, 1(4):374~380.



李葆青 1966年生,1987年毕业于西南师范大学物理系,现为六盘水师范高等专科学校副教授、副校长。主要研究方向为光学图象处理、图象处理和人工神经网络。