

文章编号:1007-2780(2014)03-0466-07

基于四元数的彩色图像边缘检测研究

黄 鑫

(武警广东总队司令部,广东 广州 510660)

摘要:为了实现彩色图像边缘检测,建立了彩色图像自动边缘检测算法。对彩色图像基于四元数的表示方法进行描述,针对基于 snake 算子实现彩色图像边缘检测算法进行了研究。首先,根据彩色图像三原色的基本特征,利用四元数的矢量表示方法以及四元数基本运算方法进行描述;其次,介绍了 snake 算子的基本原理,检测过程等。最后,构造了双四元数和 snake 算子的彩色图像边缘检测算法。实验结果表明,利用文中算法获得的彩色图像边缘检测保留了原图像的自身信息,边缘信息完整。该算法基本满足彩色图像边缘检测的稳定可靠、信息完整、抗干扰能力强等要求。

关 键 词:Snake 模型;四元数;彩色图像边缘检测;活动轮廓

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142903.0466

Color image edge detection based on quaternion

HUANG Xin

(CAPF Guangdong, Guangzhou 510660, China)

Abstract: In order to achieve color image edge detection, the paper establishes color image automatic edge detection algorithm. The paper describes the color image representation based on the quaternion, achieves the color image edge detection algorithm based on snake operator. First, the paper describes color image edge detection according to the three primary of color images, the vector quaternion representation and quaternion basic computing methods. Second, the basic principles of snake operators and detection process are introduced. Finally, the paper constructs the dual quaternion operator and snake color image edge detection algorithm. The experimental results show that it can retain its original image information by using the color image edge detection algorithm and the edge information is intake. The color image representation based on the quaternion can basically satisfy stability and reliability, complete information, strong anti-interference ability and other requirements.

Key words: Snake model; quaternion; color image edge detection; active contour

1 引 言

人们感知自然界中的色彩是一种感知现象,即可见光中任意波长的光都对应一种被感知的色

彩,而不是光线本身的物理特征。典型的彩色图像的处理方法有两种,一种是针对彩色图像中各颜色分量进行分别处理,然后再进行合成;另一种方法是对彩色图像的像素进行处理,其中边缘检测是最为经典的方法。图像的边缘通常是图像的

灰度或者颜色发生剧烈变化的地方,而这些变化往往是由物体的形状结构、外部的环境光照和物体的表面对光线反射造成的。图像的边缘能直接反应物体的轮廓和拓扑结构信息。

一般而言,考察每个像素在某个邻域内的亮度差信息时传统的边缘提取算法的实现依据,然而亮度差信息往往忽视了彩色图像的彩色信息。在现实生活中,人眼在观察物体或图像的感受则是颜色和亮度同时刺激视网膜上的神经元,其中颜色往往使人的感受更加强烈。因此,利用传统的边缘检测方法损失了大量的颜色信息,显然会造成检测不准确的问题。事实上,颜色的跳变通常更能反映图像的边缘信息。

彩色图像的边缘检测一般可采用如下3种方法实现:(1)首先将彩色图像转换为灰度图像,利用经典的灰度图像边缘检测方法予以实现边缘检测;(2)对彩色图像中像素的彩色分量分别实施灰度图像的边缘检测,最后在合成出最终的边缘检测结果;(3)利用矢量处理方法,即将彩色图像用一种矢量的方法予以整体处理,如色彩差分、矢量点乘等等^[1-3]。

1987年Kass等人首次提出了主动轮廓模型(active contour model),又称snake模型。Snake模型通过定义一个与轮廓有关的能量函数,来表征轮廓的形状变化和行变化使能量函数值趋向于变小的过程。当该能量函数达到最小值时,轮廓形状才定型、轮廓变化才停止。构造能量函数一般将图像特征、目标特征、边缘特征、纹理特征全面考察,再使snake轮廓收敛于图像中的目标上。

传统的snake检测方法主要存在问题包括,初始位置敏感、检测效果依赖于能量函数模型的优劣等等。另外,这种检测也多见于灰度图像检测,在检测过程中存在信息和能力的损失。本文就彩色图像的边缘检测进行讨论,首先依据彩色图像的四元数表示,从而避免信息和能力的损失,然后利用snake模型实现彩色图像的边缘检测。

2 彩色图像的四元数表示

前文指出,传统的灰度图像边缘检测方法在进行彩色图像边缘检测时经常会失效,其原因在于常规边缘检测方法丢失了彩色图像的彩色信息

或不能正确表达彩色信息。致使在进行边缘检测过程中可依赖的信息残缺不全,最终获得的检测结果与预想差距十分遥远。为此,在进行彩色边缘检测时,首先需要解决的问题是对图像色彩信息的有效表达上。

目前,利用四元数描述彩色图像已经广泛被学术界认同,该方法利用矢量的思想对彩色图像的颜色信息能够全面表示,在最终的处理结果上也获得了良好的效果。四元数最早是由Hamilton在1853年提出的,其形式为: $q = a + ib + jc + kd$,其中 $a, b, c, d \in \mathbb{R}$; i, j, k 满足关系 $i^2 = j^2 = k^2 = -1$, $ij = -ji = k$, $jk = -kj = i$, $ki = -ik = j$,则 q 为四元数,而称 a 为四元数 q 的实部,称 $ib + jc + kd$ 为四元数 q 的虚部。

当实部为零时,称四元数为纯四元数。利用RGB模式表征的彩色图像的四元数表示可以用下式表达:

$$p = ri + gi + bk,$$

其中: r, g, b 分别表示红、绿、蓝3种颜色分量的亮度值,即利用矢量的方法将一幅彩色图像中所有信息都全面表示出来了。从而使得在进行边缘检测时,可依据的信息变得非常全面^[4-6]。

3 Snake模型原理

在Snake模型即活动轮廓模型,是一条能量参数曲线。轮廓跟踪的最小能量函数是外力和内力的加权和来表征的,所谓内力是通过Snake权限的形状计算得到;外力是从图像中获得或从更高级的图像处理中得到。参数化的Snake曲线被定义为 $V(s) = [x(s), y(s)]$,这里 $x(s)$ 和 $y(s)$ 是轮廓的坐标值,其中弧 $s \in [0, 1]$,其最小化能量函数可以定义为

$$\hat{E}_{\text{snake}} = \int_0^1 E_{\text{snake}}(V(s)) ds = \int_0^1 \{ [E_{\text{int}}(V(s))] + [E_{\text{image}}(V(s))] + [E_{\text{cons}}(V(s))] \} ds, \quad (1)$$

其中:Snake曲线因为弯曲产生的内部能力可以表示为

$$E_{\text{int}} = a(s) \left| \frac{dV(s)}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2 V(s)}{ds^2} \right|^2, \quad (2)$$

其中: $a(s) \left| \frac{dV(s)}{ds} \right|^2$ 为Snake曲线内部能力函数的一阶微分,作用是控制轮廓线的长度,使长度

取极小值; $\beta(s) \left| \frac{d^2 V(s)}{ds^2} \right|^2$ 为 Snake 曲线内部能量函数的二阶微分,作用是控制轮廓线曲率,使轮廓线尽可能平滑,而 Snake 曲线外部能量 $E_{\text{ext}} = E_{\text{image}} + E_{\text{cons}}$ 来自图像和外部约束,原因在于 $E_{\text{ext}}(V(s))$ 为外部能量函数,计算图像的梯度获得,用于限制动态轮廓线的收缩,作用在于通过控制轮廓线,使梯度变得区域最大化。可以定义为

$$E_{\text{ext}}(V(s)) = - \left| \nabla I(V(s)) \right|^2. \quad (3)$$

于是通过一阶导数求取最小化能量 E_{snake} 的曲线 $V(s)$ 必须满足:

$$\frac{d}{ds} E_{V_s} - E_V = 0. \quad (4)$$

联立式(2)和式(4)可以简化式(3)得:

$$- \frac{d}{ds} \left[a(s) \frac{dV(s)}{ds} \right] + \frac{d^2}{ds^2} \left[\beta(s) \frac{d^2 V(s)}{ds^2} \right] + \nabla E_{\text{ext}}[V(s)] = 0. \quad (5)$$

曲线的总能量可以用轮廓的弹性势能、轮廓的弯曲势能和图像有关的外部能量三项累加获得。其中外部能量是活动轮廓模型的关键,即描述了用何种数学表达来描述所要分割的物理边缘。Snake 模型是把图像中感兴趣的物体轮廓看作一条连续的、封闭的或开放的链条结构,并设计了一类能量函数,通过求取能量最小值,来获得最优轮廓^[7-8]。

SNAKE 模型在进行图像边缘检测时具有很好的性能,但也有其局限性,主要表现在活动轮廓模型常导致能量函数收敛于局部最小;并且难于收敛到边界的凹陷位置。尤其针对彩色图像,其边缘信息较丰富,存在许多不规则边界凹陷部分。为此,要获得好的彩色图像边缘检测效果,必须在原有的 Snake 模型上进行改进。本文考虑到彩色图像时利用四元数进行描述的,而双四元数通过傅里叶变换可以获得图像局部的显著性特征,利用这一特性来获取图像的粗轮廓,然后采用 3×3 模板构造活动轮廓的能量函数,从 8 个方向上求取梯度实现能量收敛,从而实现边缘逼近^[6-9]。

4 双四元数和 Snake 边缘检测算法

4.1 双四元数傅里叶变换计算轮廓

众所周知,图像的频率是表征图像中色彩变化剧烈程度的指标,是色彩/能量在平面空间上的

梯度。如:广阔的蓝天或草地在图像中是一片色彩变化缓慢的区域,对应的频率值很低;而对于图像中天际线的位置其颜色属性变换相对剧烈,即图像中色彩变化剧烈的区域往往是图像的边缘区域,所对应的频率值也相对较高。利用傅立叶变换可以很好地对图像的边缘和频率进行表征和变换计算。设 f 是一个能量有限的模拟信号,则其傅立叶变换就表示 f 的谱。从纯粹的数学意义上看,傅立叶变换是将一个函数转换为一系列周期函数来处理的。

为此,用双四元数表示彩色图像,通过傅里叶变换获得该图像的谱,边缘区域表征谱值较高的色彩变化剧烈的区域,从而可以获得彩色图像的粗边缘轮廓。

设二维图像表示为 $f(x, y)$,其双四元数的表示形式如下:

$$\begin{aligned} f(x, y) = & f_0(x, y) + f_1(x, y)i + f_2(x, y)j + \\ & f_3(x, y)k = [Q(f_0(x, y)) + Q(f_1(x, y))i + \\ & Q(f_2(x, y))j + Q(f_3(x, y))k] + \\ & I[P(f_0(x, y)) + P(f_1(x, y))i + \\ & P(f_2(x, y))j + P(f_3(x, y))k] \end{aligned}$$

通过线性变换,可将基 i, j, k 变换为复正交基 μ, v, ξ , 其中 $\mu \perp v, v \perp \xi, \mu \perp \xi, \mu v = \xi, \mu v \xi = -1, \mu, v, \xi$ 都是纯双四元数。在新的复正交基系统中, $f(x, y)$ 可描述为:

$$\begin{aligned} f(x, y) = & f_0(x, y) + f'_1(x, y)\mu + f'_2(x, y)v + \\ & f'_3(x, y)\xi = [f_0(x, y) + f'_1(x, y)\mu] + \\ & [f'_2(x, y) + f'_3(x, y)\mu]v \end{aligned}$$

由于彩色图像的 $f_0(x, y) = 0$, 对上式进行快速傅里叶变换可表示为

$$F(u, v) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-2\pi i \left(\frac{um}{M} + \frac{vn}{N} \right)} f(x, y)$$

这里显然 $F(u, v)$ 也是一个四元数,通过对其频谱函数进行分析,即可得到彩色图像的粗轮廓^[8-11]。

4.2 利用 Snake 模型获取最终边缘

前面给出了双四元数傅里叶变换的基本方法,即从频域的角度在保证彩色图像颜色信息的前提下彩色图像粗轮廓,接下来需要利用活动轮廓模型进一步得到最终的彩色图像边缘检测。由于 Snake 模型中定义的能量函数在迭代中可能出现局部极值,并且迭代结果好坏与初始轮廓直接相关,为进一步完成 Snake 迭代,将在梯度向量

场的 8 个方向上进行,从而改进原有模型缺陷。

具体算法可以表述如下:

- (1)读入待处理的彩色图像;
- (2)对待处理的彩色图像进行四元数傅里叶变换后得到的结果作为 Snake 算法模型的初始 $\text{Edge}(V(s))$;
- (3)在梯度矢量场中,使用 8 个方向上分量进行迭代,迭代结果作为 Snake 算法模型中的外力表达;
- (4)在当前邻域内找到能量函数的最小像素点;对能量函数完成迭代直到收敛。

4.3 仿真实验分析

为了对算法进行检验,本文给出了 3 组实验用来验证算法的可行性和检测效果。第一组实验用一幅彩色色带图像,分别对其颜色分量进行检测,通过对比灰度边缘和基于双四元数 Snake 算法的边缘检测的可行性;第二组采用经典的 Lena 图像进行彩色边缘检测和 Sobel 边缘检测,主要检验算法的边缘检测效果;第三组实验利用本文给出算法与高斯

(1)彩色彩带图像的检测实验

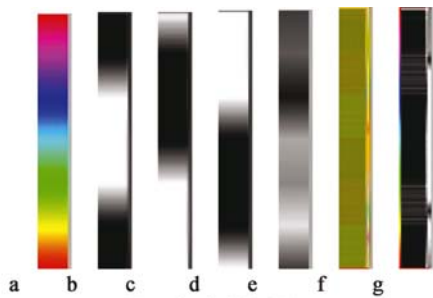


图 1 实验(1)图例
Fig. 1 Experiment (1) legend

在实验(1)中图 a 是人工合成的彩色渐变图,图中从红色到红色实现了颜色的渐变,主要用于测试四元数 snake 彩色边缘检测算法的可行性。图中的 b、c、d 分别是单色颜色分量的检测结果。从单色图像可以看出,在颜色发生改变的位置,刚好是图像的边缘所在位置,这也正是论文采用四元数来表征颜色分量,利用矢量计算方式保留颜色分量用于边缘检测的思想的正确性。

图 e 是彩色渐变图的灰度图像,f、g 分别是实现 snake 边缘检测的中间和最后过程。从图 f 可以看出,彩色渐变图最终的检测结果,能够将颜色发生变化的位置的边缘显示出来。

(2)Lena 图像的边缘检测实验

在第二组实验中,采用经典的 Lena 图像进行实验,如图 2 所示。在这组实验中用了两种方法,其一是用经典的 Sobel 边缘检测算法,首先将彩色图像灰度化,如图 3 所示。在对该图像进行 Sobel 边缘检测,得到如图 4 所示。经典的 Sobel 算法能够较好地获得图像的边缘,但由于 Sobel 算子在处理边缘是丢失了彩色分量信息,使得在



图 2 原始图像 Lena
Fig. 2 Original image Lena



图 3 Lena 的灰度图像
Fig. 3 Gray image of Lena



图 4 Sobel 算子的 Lena 边缘检测
Fig. 4 Sobel operator edge detection of Lena

边缘,如帽子饰品、头发等部位较为粗糙。其二,采用本文给出的算法,首先利用双四元数将彩色图像进行编码处理,如图 5 所示;然后在该图像进行 snake 处理,即在梯度矢量场中,使用 8 个方向上分量进行迭代,当能量函数收敛后,得到图 6 的检测结果。

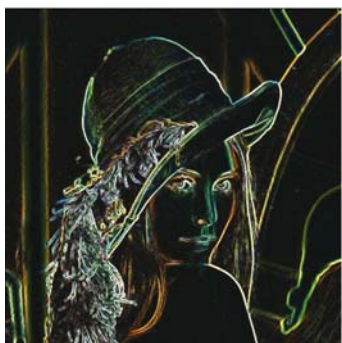


图 5 基于双四元数编码处理

Fig. 5 Encoding process based on dual quaternion



图 6 Snake 算子边缘检测灰度图像

Fig. 6 Snake grayscale image edge detection operator

从上述实验可以看出,算法能够较快速地完成彩色图像的边缘检测,并能获得较好的检测效果。通过对彩色边缘结果进行灰色处理后同 Sobel 算法的结果比较,可以发现彩色边缘检测完整,保留了色彩信息,在处理颜色变化位置的细节上具有明显的优势,图像的边缘较传统的 Sobel 算法的边缘检测要清晰很多。

(3) 算法检测效果和效率

在这组实验中,选取图 7 作为检测图像。分别对该图进行 Sobel、本文算法的彩色边缘检测和第三方图像处理软件 CS4 的边缘检测,并统计处理时间,然后分析处理效果和执行效率。

从上面的处理结果看,本文算法在处理颜色



图 7 待处理图像

Fig. 7 Image to be processed



图 8 Sobel 算子检测效果

Fig. 8 Detection effect of Sobel operator



图 9 本文算法检测结果

Fig. 9 This algorithm test results

变化部位的边缘能力更为突出,CS4 处理软件在颜色变化区域边缘获得的比较平滑。表 1 给出 3 种方式的时间统计,所用的机器是 I5 2400,4G 内存,GT640 的显卡,图像大小 440×658 像素。



图 10 CS4 边缘检测结果
Fig. 10 Edge detection results CS4

表 1 边缘检测算法统计时间对照表

Tab. 1 Edge detection algorithm statistical time table

所用边缘检测方法	时间统计/ms
Soble 方法	37.5
双四元数 Snake 算法	47.5
CS4 处理	12.5

上面的统计中除 CS4 统计的不够精准外,其他两个都是在程序中对系统时钟累计的结果。从执行效率看,本文给出的双四元 Snake 方法略慢,原因在于双四元傅里叶变换以及进行了 8 个方向的梯度分量迭代,然后在进行动态轮廓处理,从而导致耗费时间较多。但前面已经指出,算法处理效果略好于其他两外两种方法。因此,在下一步研究中,需要进一步提高算法的执行效率。

5 结 论

通过理论分析指出,传统的灰色图像边缘检测存在信息损失的问题,故此,对彩色图像进行四元数描述。同时,根据双四元数傅里叶变换可以获得彩色图像显著性特征的这一特性,利用其获得彩色图像的初轮廓提取,以此作为 Snake 算法的初始 $\text{Edge}(V(s))$,然后利用经典的 Snake 算法进行能量函数迭代,通过实验取得了比较好的检测结果。

参 考 文 献:

[1] Pei S C, Cheng C M. Color image processing by using binary quaternion moment preserving thresholding technique [J]. *IEEE Transactions on Imaging Processing*,1999, 8(5): 614-628.

[2] 陶李,王珏,邹永宁,等.改进的 Zernike 矩工业 CT 图像边缘检测[J]. *中国光学*,2012, 5(1): 48-56.
Tao L,Wang J, Zou Y N, *et al.* Improved Zernike moment method for industrial CT image edge detection [J]. *Chinese Optics*,2012, 5(1): 48-56. (in Chinese)

[3] Cai C, Mitra S K. A normalized color difference edge detector based on qua tern ion representation [C]//*Procee- dings of IEEE International Conference on Image Processing Vancouver*,Canada,2000: 816-819.

[4] Ell T A,Sang wine S J. Hyper complex Fourier transforms of color images [J]. *IEEE Transactions on Image Pro- cessing*,2007, 16(1): 22-35.

[5] Koschan A, Abidi M. Detection and classification of edges in color images [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2005, 22(1):64-73.

[6] Naik S K,Murthy C A. Standardization of edge magnitude in color images [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, 15(9): 2588-2595.

[7] 康晓晶,吴谨.基于高斯背景建模的目标检测技术[J]. *液晶与显示*,2010, 25(3): 454-459.
Kang X J, Wu J. Object detecting technology based on gauss background modeling [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*,2010, 25(3): 454-459. (in Chinese)

[8] 同武勤,凌永顺,黄超超,等.数学形态学和小波变换的红外图像处理方法[J]. *光学精密工程*,2007, 15(1): 139-144.
Tong W Q, Ling Y S, Huang C C, *et al.* Processing method of IR image based on mathematical morphology and wavelet transform [J]. *Optics and Precision Engineering*,2007, 15(1): 139-144. (in Chinese)

[9] Christopoulos C, Askelof J, Larsson M. Efficient methods for encoding regions of interest in the upcoming JPEG 2000 still image coding standard [J]. *IEEE Signal Processing Letters*,2000, 7(9): 247-249.

- [10] 赵才荣, 刘金城, 丁铁夫. 基于 LED 图文屏的多灰度图像实现方法[J]. 液晶与显示, 2006, 21(1): 82-86.
Zhao C R, Liu J E, Ding T F. Chinese method of multi-grey image realization based on chart-article led screen [J]. *Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(1): 82-86. (in Chinese)
- [11] Chan T F, Sandberg B Y, Vee L A. Active contours without edges for vector valued images [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2000, 11(2): 130-141.

作者简介: 黄鑫(1979—), 男, 广东湛江人, 硕士, 助理工程师, 主要从事网络管理和信息安全管理工作。E-mail: wjlim1979@126.com

电子薄膜与集成器件国家重点实验室中山分室

电子薄膜与集成器件国家重点实验室中山分室是由电子薄膜与集成器件国家重点实验室与电子科技大学中山学院于 2012 年 3 月 28 日签约共建实验室, 旨在推动作为中山市支柱产业之一的半导体照明产业集群的发展, 为全市半导体照明产业提供公共科技服务平台, 在新技术、新工艺两个方面为企业提供深层次的研发支撑, 并为国家重点实验室科研成果的产业化提供有效的对接。

电子薄膜与集成器件国家重点实验室中山分室以广东省特别是中山市半导体照明产业需求为导向, 快速推进半导体照明核心科技成果向中山市转化; 有效的形成产业共性技术研发支撑平台, 为产业发展提供必要的前沿技术储备和强大的技术支撑; 同时通过具有国际视野和国际水平研发团队的进驻, 为中山市 LED—OLED 产业领域高级技术人才的培养提供直接帮助。目前实验室在薄膜器材照明技术、LED 照明封装核心技术以及 OLED 新型照明显示光源及其产业化技术等方面开展研发工作, 在探索性和前瞻性研究领域开展有机薄膜太阳能器件、FED/FEA、PDP 和大电流阴极的研究。



实验楼



实验设备

地址: 广东省中山市石岐区学院路 1 号电子科技大学中山学院实验楼 A506

邮编: 528402

电话: 0760-88365345(邓春健)

邮箱: dengcj80@126.com