

基于四元数矢量积算法的彩色图像区域生长算法

王建伟 李兴民

(华南师范大学计算机学院 广州 510600)

摘 要 针对传统区域生长大多只应用于灰度图像而且存在对彩色信息不敏感、生长准则单一等问题,新算法采用 LUV 彩色模型,将基于四元数矢量积性质的区域生长算法应用到复杂背景下的彩色图像中。实验结果表明,该方法可以准确地细分区域和对象。

关键词 彩色图像,区域生长,四元数矢量积

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Region Growing in Color Image Based on Quaternion Multiplication Vector Product Properties

WANG Jian-wei LI Xing-min

(School of Computer, South China Normal University, Guangzhou 510600, China)

Abstract The traditional region growing methods are applied to gray scale images and they are insensitive to color information, what's more the growth criteria are scarce. Aiming at these problems, using LUV color space model, the new region growing algorithm is based on quaternion vector product properties and it is applied to color images with complicated background. The experimental results demonstrate that the proposed method can accurately segment regions and objects.

Keywords Color image, Region growing, Quaternion vector product properties

1 引言

传统的区域生长利用图像中目标区域的整体连通性对图像进行分割,它是根据预先定义的生长准则将像素或者子区域组合成更大区域的过程,区域生长最终可以形成连续的区域和边缘,因此广泛应用在图像处理的各个领域^[1]。而对彩色图像的处理中,区域生长算法的文献相对较少^[2-6]。

文献[4]利用纹理特征进行彩色图像区域生长;文献[5]基于 YC_bC_r 颜色空间,使用 3×3 邻域三通道像素标准差统计方式作为生长准则进行区域生长;文献[6]结合分水岭算法,利用传统欧氏距离作为生长准则进行彩色图像区域生长。这些方法都比较成熟,但不能满足复杂图像下更精细化区域生长的需求。因此,寻找新的、有效的区域生长算法一直是人们感兴趣的话题。

若把灰度图像的处理方法直接推广到彩色图像,即将图像的彩色分量单独处理后再合成,会丢失分量间的相关信息^[1];若能把彩色通道各个分量作为整体进行处理,处理结果会更理想。Ell 和 Sangwine 等人把彩色图像 R、G、B 三基色视为四元数的 3 个分量,最早将四元数用于彩色图像的处理,提出了颜色敏感(color-sensitive)滤波器,并将之应用于彩色图像边缘检测中,相比独立考虑 R、G、B 分量的图像分割算法具有更大优越性^[7,8]。但是目前四元数矢量积性质仍是简单

应用于图像滤波器,并没有应用到彩色图像区域生长算法中。

最近,文献[9,10]利用八元数和 Clifford 代数来表示三维数据,利用乘法矢量积点乘性质在 CT 序列图像中进行区域生长,实现了血管的精确分割和三维重建。文献[11]综合使用八元数矢量积点乘和叉乘性质对 CT 序列图像进行区域生长,实现了更高精度的血管分割和三维重建。这些实验都取得了很好的效果,但是这几种方法都是针对 CT 序列图像的区域生长算法,并没有应用到彩色图像中。

本文拟将四元数乘法矢量积算法引入到彩色图像区域生长的生长准则中,将每个像素的各颜色通道分量构成一个整体向量进行运算,综合利用四元数矢量积中点乘和叉乘的性质来描述两个像素构成的向量之间的相似性,通过设置点乘和叉乘双阈值来形成新的生长准则。实验结果表明,本方法的效果比文献[4-6]中的彩色图像区域生长方法更好。

2 LUV 颜色空间

我们一般用到的彩色图像都是基于 RGB 彩色模型的,这样方便显示器显示,但是 RGB 模型中 R、G、B 3 个分量密切相关,图像亮度的变化都会导致 3 个分量的改变,因此并不适合进行数字图像处理。LUV 彩色模型于 1976 年被国际照明委员会采用并广泛应用于计算机彩色图像处理领域^[6]。在 LUV 彩色模型中,L 是亮度,U、V 是色度坐标,LUV 彩色模

本文受国家高技术研究发展计划 863 计划(2012AA021105),国家自然科学基金青年基金项目:多尺度下三维人体服装热湿传递仿真模型(61402185)资助。

王建伟(1988-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理,E-mail: feixing_qingdao@163.com;李兴民(1957-),男,博士,教授,主要研究方向为八元数分析、医学图像可视化等,E-mail: lxmin57@163.com。

型可以由先将 RGB 转换为 CIE XYZ 颜色空间再进行非线性计算得到。

RGB 和 CIE XYZ 颜色空间之间的转换可以表示为:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0 & 0.010 & 0.990 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

从 CIE XYZ 颜色空间到 LUV 颜色空间由目标白色刺激的三基色(X_n, Y_n, Z_n)的关系定义,具体分量由下面公式计算得到:

$$L = 116 \times \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (2)$$

$$U = 13L \times (u_1 - u_2) \quad (3)$$

$$V = 13L \times (v_1 - v_2) \quad (4)$$

其中:

$$\begin{cases} u_1 = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \\ u_2 = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} v_1 = \frac{9X}{X + 15Y + 3Z} \\ v_2 = \frac{9X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \end{cases} \quad (6)$$

3 预备知识

3.1 四元数

四元数又称超复数^[3],它是由爱尔兰数学家威廉·卢云·哈密尔顿(William Rowan Hamilton)在 1843 年发明的。四元数早已被广泛应用于在物理和数学方面。但于 20 世纪 90 年代^[7]才开始用在数字图像方面。

四元数可以看成复数的推广,它包括 1 个实部和 3 个虚部。四元数可表示为:

$$q = a + ib + jc + kd \quad (7)$$

式中, a, b, c, d 为实数; i, j, k 是虚部单位,且有以下关系:

$$\begin{cases} i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1 \\ ij = k, jk = i, ki = j \\ ji = -k, kj = -i, ik = -j \end{cases} \quad (8)$$

四元数的模定义为 $\|q\| = \sqrt{\sum_{i=0}^3 x_i^2}$, 当且仅当 $\|q\| = 1$ 时, q 称为单位四元数^[12]。

3.2 基于四元数的彩色图像表示

如果将基于 LUV 模型^[11]的彩色图像每一点的 L、U、V 分量分别作为四元数的 3 个虚数部分,则一幅彩色图像任意一点 $X(m, n)$ 可以表示为:

$$X(m, n) = 0 + iL(m, n) + jU(m, n) + kV(m, n) \quad (9)$$

其中, (m, n) 就是像素的位置坐标, $L(m, n)$ 、 $U(m, n)$ 、 $V(m, n)$ 分别为这一像素点的 L、U、V 分量值。这样可以充分利用图像的彩色信息结构。

3.3 四元数矢量积

设有两个四元数 q_1 和 q_2 :

$$q_1 = a_0 + ia_1 + ja_2 + ka_3 \triangleq a_0 + \vec{A} \quad (10)$$

$$q_2 = b_0 + ib_1 + jb_2 + kb_3 \triangleq b_0 + \vec{B}$$

则乘法运算定义如下:

$$q_1 q_2 = (a_0 + \vec{A})(b_0 + \vec{B}) \quad (11)$$

$$a_0 b_0 = a_0 \vec{B} + b_0 \vec{A} - \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \times \vec{B}$$

特别地,当引入式(9),也就是四元数的实部都为 0 以后,得到下式:

$$q_1 q_2 = -\vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \times \vec{B} \quad (12)$$

式(12)表明,两个纯四元数(实部为零)做乘法运算,乘积的实部和虚部分别可用三维向量的点乘和叉乘表示。根据文献[11],对于各个分量中非负的两个单位四元数(模为 1) q_1 和 q_2 :

$$q_1 = q_2 \text{ 的充分必要条件是 } \|\vec{A} \times \vec{B}\| = 0 \quad (13)$$

且

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = 1 \quad (14)$$

也就是说,当 q_1, q_2 越相近, $\|\vec{A} \times \vec{B}\|$ 越接近 0, $\vec{A} \cdot \vec{B}$ 越接近 1。我们依据这个性质设置点乘和叉乘的阈值,来判断两个像素是否相似。

4 区域生长算法详述

区域生长是根据特定生长准则,将像素或者子区域聚合成更大区域的过程。基本方法是从一组“种子”点开始,不断将与种子点相似,也就是满足生长准则的邻域像素添加到种子点集合中,从而形成生长区域,达到终止条件就结束一个区域的生长。可以看出采用区域生长算法时需要解决 3 个问题^[10]:(1) 选择一组最能表达该区域的少量种子点;(2) 确定种子点的生长准则;(3) 确定区域生长终止条件,其中最重要的就是第二点。在本算法中,我们通过人工交互选取区域内种子点,并且将最终没有新种子点加入作为区域生长终止条件,因此本文也着重讨论区域生长的生长准则。

4.1 生长准则的确定

利用四元数乘法的矢量积性质,再结合前面讨论的式(13)、式(14),可以分别设定一个接近零的阈值 e_1 、一个接近 1 的阈值 e_2 ,然后在将图像用四元数表示的基础上得到下面的式子:

$$\|\vec{A} \times \vec{B}\| < e_1 \quad (15)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} < e_2 \quad (16)$$

将式(15)、式(16)两个条件作为生长准则。也就是当上面两个不等式同时满足时,我们认为目标像素点与种子点相似,进而归入种子点集合。

4.2 本文算法详细步骤

(1) 采用人工交互方法选取种子点,形成初始的种子类和背景类(非种子类),并借助计算机中的数据结构——栈来将种子类入栈存储。

(2) 将种子栈栈顶元素出栈并作为当前种子点,设置种子标记位,按顺序将其上下左右四邻域像素取出,并分别构成四元数向量与当前种子点向量进行点乘和叉乘。

(3) 将满足 4.1 节中提出的生长准则的当前像素点归为种子点并入栈存储。

(4) 重复执行(2)、(3),直到种子栈为空时,也就是背景类像素点都不满足生长准则,导致没有新种子点入栈时,结束区域生长过程,输出所有种子标记的像素,也就是输出区域生长的区域。

(5) 找出由(4)形成的生长区域的边缘并将其与传统区域生长边缘和区域进行比较。

5 实验结果与比较

图 1(a)是经典 baboon 彩色图像,图 1(b)是将原图像由 RGB 模型转换到 LUV 模型后的图像。图 2(a)是根据文献[4]三通道分别利用纹理特征进行区域生长的结果,图 2(b)是根据文献[5]像素标准差统计信息进行区域生长的结果,图 2(c)是根据文献[6]利用欧氏距离进行区域生长的结果,图 2(d)是本文算法区域生长的结果,其中生长准则中点乘阈值和叉乘阈值通过类间最大方差决定。图 3 是图 2 对应的区域边缘。通过比较分析可知,较其他相似方法本文方法的类间方差更大,能够更完整地提取猩猩图像的鼻子区域和边界。



图 1

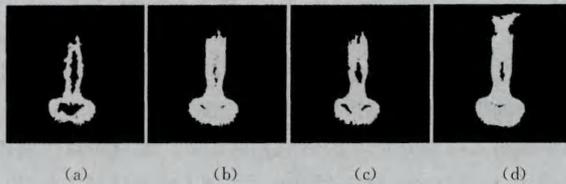


图 2

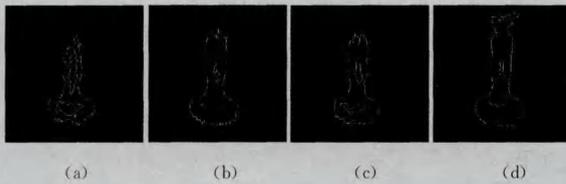


图 3

(上接第 165 页)

方法在 RGB 合成与 HSV 变换以及 RX 异常检测中具有很好的效果,具有明显优势。结果表明本文方法所选波段具有信息量大、相关性好、可分性高的优点,对地物识别的研究工作有重要意义。

参考文献

- [1] 张海涛,梦翔羽. 利于目标识别的高光谱影像波段选择方法[J]. 计算机科学,2013,40(10):305-308
- [2] 谷延峰,张晔. 基于自动子空间划分的高光谱数据特征提取[J]. 遥感技术与应用,2008,18(6):384-387
- [3] 刘春红,赵春晖,张凌雁. 一种新的高光谱图像降维方法[J]. 中国图像图形学报,2005,10(2):218-222
- [4] 苏红军,盛业华,杜培军. 自动子空间划分在高光谱影像波段选择中的应用[J]. 地球信息科学,2007,9(4):123-127
- [5] 于绍慧,张玉均,赵南京,等. 基于矩阵模式的高光谱波段选择方法[J]. 光电工程,2012,39(6):72-75

结束语 本文根据四元数矢量积性质,提出一种新的彩色图像区域生长方法。通过多次实验,结果表明,该方法相比于其他类似区域生长算法,实现更快速,效果更理想。对于该方法的更高维度推广及其应用,我们将在另文中探讨。

参考文献

- [1] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社,2011
- [2] Shih F Y, Cheng Shou-xian. Automatic seeded region growing for color image segmentation[J]. Image and Vision Computing, 2005,23(3):877-886
- [3] 谭洪波,侯志强,刘荣. 基于人类视觉模型的区域生长图像分割[J]. 中国图形图像学报,2010,15(9):1352-1356
- [4] 刘战杰. 一种新的基于区域生长的彩色图像分割算法[D]. 南京:南京航空航天大学,2009
- [5] Kang Chung-Chia, Wang Wen-June, Kang Chung-Hao. Image segmentation with complicated background using seeded region growing[J]. International Journal of Electronics and Communications,2012,66(2):767-771
- [6] Chen L F, Liu Y M, Liu Y. Color image segmentation by combining improved watershed and region growing[J]. Computer Engineering & Science,2013,35(4):92-98
- [7] Ell T A. Hypercomplex spectral transformation [D]. University of Minnesota,1992
- [8] Sangwine S J, Ell T A. The discrete Fourier transform of a colour image[J]. Image Processing II,2000,32(21):430-431
- [9] 黄国恒. 基于八元数、Clifford 代数和二维维诺图的血管分割方法[D]. 广州:华南师范大学,2012
- [10] 高有. 基于 Clifford 代数的三维医学数据血管分割[D]. 广州:华南师范大学,2013
- [11] 武伟. 八元数分析和钱方法在数字图像处理中的应用研究[D]. 广州:华南师范大学,2014
- [12] 李兴民. 八元数分析[D]. 北京:北京大学,1998

- [6] 何元磊,刘代志,易世华. 一种新的高光谱图像波段选择方法[J]. 光电工程,2010,37(9):122-126
- [7] 赵春晖,陈万海,杨雷. 高光谱遥感图像最优波段选择方法的研究进展与分析[J]. 黑龙江大学自然科学学报,2007,24(5):593-601
- [8] 程艺喆,雷武虎,戴胜波. 基于色彩空间变换的目标检测算法研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2014,37(2):149-154
- [9] 刘雪松,葛亮,王斌,等. 基于最大信息量的高光谱遥感图像无监督波段选择方法[J]. 红外与毫米波学报,2012,31(2):166-170
- [10] Du Qian, Yang He. Similarity-based unsupervised band selection for hyperspectral image analysis [J]. IEEE Geosci. Remote Sens., 2008,5(4):564-568
- [11] Du Qian. Band selection and its impact on target detection and classification in hyperspectral image analysis[C]// 2003 IEEE Workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data. 2003:374-377