

神经切片染色图像边缘的二次提取方法研究

唐 铖¹, 唐 平¹, 张 毅², 陈松龄², 胡智魁¹

(1. 广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510006;

2. 中山大学附属第一医院, 广东 广州 510080)

摘 要:针对神经切片染色图像的边缘模糊不连续、色泽不均匀、区域不规则的特点,提出了一种效果良好的神经切片染色图像边缘提取方法。通过改进的均值漂移滤波改善图像质量,获得第一次的连续边缘;考虑到切片图像的复杂性,对提取得到的连续边缘运用区域填充及数学形态学的方法处理后进行第二次边缘提取,从而提取到最终的较为准确、光滑的边缘;最后在人体周围神经组织切片图像上的实验证明,该方法具有提取效果好、抗噪声能力强等特点。

关键词:边缘提取;改进的均值漂移;神经染色切片图像

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)08-0089-04

Research of Twice Edge Extraction for Section Staining Image of Nerve

TANG Cheng¹, TANG Ping¹, ZHANG Yi², CHEN Song-ling², HU Zhi-kui¹

(1. Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. First Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of section staining image of nerve such as: edges fuzzy discontinuous, color and luster is uneven, regional irregular characteristics, a good effect edge extraction method is proposed. Image quality is improved by the improved mean shift filtering. By using filtered edge extraction of Canny operators, preliminary continuous edge can be got. Thus extract the final relatively accurate, smooth edge by extracting image obtained using the preliminary continuous edge area filling and mathematical morphology method processing, and again for Canny edge extraction considering the complexity of slice. Finally the result of the experiment in section staining image of human peripheral nerve shows that this method has good extraction effect and anti-noise ability.

Key words: edge extraction; improved mean shift; section staining image of nerve

0 引言

数字图像处理技术的应用已经深入到了各个领域,特别是在医学三维可视化研究中,通过提取一系列的二维切片图像的信息重建三维模型并进行定性定量分析,弥补了影像成像设备在成像上的不足,为用户提供了具有真实感的三维医学图像,在阐明生物体组织结构与生理功能之间的关系以及在形态学、比较解剖学等领域的研究中有着重要的意义^[1]。在国内现有的研究成果中,利用X线、CT及MRI的序列切片的三维重建技术的研究取得了较好的成果,也比较成熟。然而,这些技术只能对生物的骨骼、肌肉及软组织等部分

成像,对生物体中一些透明的组织如血管、神经等难以成像,通常它们的三维重建是由它们的序列切片染色图像来获得。

神经的三维可视化技术主要由切片序列图像配准、神经切片染色图像边缘提取、神经内部功能束类型识别和神经内部功能束三维重建等步骤组成。其中边缘提取是三维可视化的重点和难点,边缘提取算法的好坏可以说决定三维重建的效果。神经切片染色图像是基于生物组织切片上的不同组织区域受染色的程度差异而获得的,由于生物组织介质的复杂性,致使神经切片染色图像内容较为复杂,具有边缘模糊不连续、色泽不均匀、区域不规则等特点。同时由于在制片过程中或多或少会受到外界因素的干扰,致使图像中不可避免会掺入过多的噪声。这些因素导致了传统的边缘提取算法效果不够好,大多数的研究人员在进行神经三维可视化研究时还是倾向于利用通用的图像处理软件进行交互式提取,然而,这样提取得到的边缘精度不

收稿日期:2011-01-14;修回日期:2011-04-20

基金项目:广东省自然科学基金项目(9151008901000006);广东省医学科研基金项目(A2009173)

作者简介:唐 铖(1987-),男,江西宜春人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理;唐 平,博士,教授,主要研究领域为人工智能与机器人进化算法、生物医学图形图像处理。

高,并且需要花费大量的时间。

在切片染色边缘的自动提取方面,王琴等对桉树茎切片图像的纤维细胞区域提取进行了研究,通过将彩色图像转换到 $L * a * b$ 彩色空间,用模糊 C 均值聚类算法对 a, b 通道进行模糊聚类分析,提取出了纤维细胞区域,然而该方法对染色不均匀图像的提取效果不好,而且需要事先确定聚类分析的种类,不易于实现自动处理^[2];谢水生等提出对神经切片采用 OTSU 的方法进行边缘提取,但是由于图像的复杂性,大多数情况下需要交互式的手段完成提取^[3];张军等对肾组织切片图像中的细胞核区域提取进行了研究,提出了基于多通道特征量反馈的动态阈值处理方法,较好地解决了肾组织切片图像的色泽不均匀问题,但对边缘模糊不连续等问题不能很好地处理^[4]。

文中旨在针对神经切片染色图像的边缘模糊不连续性、色泽不均匀性、区域不规则性的特点提出一种效果良好、抗干扰能力强的自动边缘提取算法。理论及实验表明,使用改进的均值漂移对神经切片染色图像进行滤波后,图像变得边缘较为连续、色泽较为均匀,结合 Canny 算子进行边缘提取,可以得到较为连续准确的初始边缘;为了提高边缘提取的效果,对初始边缘使用区域填充及数学形态学等方法处理后再进行二次边缘提取,可以得到较为理想的边缘提取效果。

1 均值漂移滤波

均值漂移算法是一种无监督、非参数的统计迭代算法,它不需要先验知识,对任意的分布都有效,收敛性也得到了证明。

其基本思想是:通过计算密度函数梯度估计反复迭代搜索点附近一定区域内特征空间中的最密集区域,使搜索点沿着样本密度变大的方向漂移到局部密度极大值点。

对给定 R^d 空间中的 n 个采样 $\{x_i, 1 \leq i \leq n\}$, 利用核函数 $K(x)$ 及正定的 $d \times d$ 带宽矩阵 H_i , 则采样点的密度函数梯度估计可用密度函数估计的梯度表示为式(1)^[5]:

$$\begin{aligned} \nabla f(x) = & \sum_{i=1}^n 2c_k w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} k'(|x - x_i|_{H_i}^2) H_i^{-1}(x - x_i) = \\ & 2c_k \left(\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(|x - x_i|_{H_i}^2) \right) (m_H(x) - x) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $w(x_i) \geq 0$ 是采样点 x_i 的权重,满足 $\sum w(x_i) = 1$, 简记为 w_i 。

公式(1)中的第 2 个等式中的第 2 个括号记为 $M_H(x) = m_H(x) - x$, 称为均值漂移向量,则 $m_H(x)$ 为

均值漂移迭代公式,即

$$m_H(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(|x - x_i|_{H_i}^2) x_i}{\sum_{i=1}^n w_i |H_i|^{-\frac{1}{2}} H_i^{-1} g(|x - x_i|_{H_i}^2)} \quad (2)$$

它表示采样点的加权平均值,类似于“重心”的概念。一般 $m_H(x)$ 处的密度大于 x 处的密度,因此均值漂移向量 $M_H(x)$ 总是指向密度大的方向,即密度梯度增加的方向,使得均值漂移算法的收敛点为局部密度极大值点。

由于图像中像素点排列可以看成是一个二维数组,对于二维的特征空间中的采样点,给定核函数和容许误差,则可设计均值漂移滤波的步骤如下^[6]:

- 1) 在特征空间中任意选择初始搜索区域 O , 其半径为带宽 H ;
- 2) 根据式(2)计算圆 O 中采样点的均值 $m_H(x)$;
- 3) 计算圆心 O 与均值 $m_H(x)$ 之差,它表示均值漂移向量 $M_H(x)$, 该向量总是指向密度增加的方向;
- 4) 如果均值漂移向量的模小于容许误差, $\|M_H(x)\| < \varepsilon$, 迭代算法结束;否则执行步 5);
- 5) 将均值 $m_H(x)$ 赋给圆心 O , 执行步 2)。

最后均值漂移算法搜索到局部密度极大值点,并将局部均值赋给了每个搜索区域内的元素,从而达到了平滑图像并有效保留了边缘信息的效果。

2 改进的均值漂移滤波

采用均值漂移对图像进行滤波需要以图像中的每个元素为搜索圆心进行一次局部极大值点的搜索,随着图像分辨率的增大,算法所消耗的时间也成倍的增长^[7];而且,均值漂移寻找局部极大值的特性也决定了它受噪声等干扰的影响比较大,如何减少需要搜索的元素特别是那些受噪声污染却往往形成局部极大值点的元素的计算量,是提高均值漂移的效率及抗干扰性的一种可行的方法。

通常图像金字塔中的低分辨率图像(顶层图像)用于分析大的结构或图像的整体内容,而高分辨率图像(底层图像)用于分析单个物体的特性^[8]。这样的由粗糙到精细的分析策略在图像滤波中特别适用:把图像滤波首先应用于低分辨率的图像,不仅可以获得图像中主要区域的位置,为在高分辨率下的滤波提供参考,提高图像滤波速度,而且还可以降低图像中微小杂质及噪声的干扰,提高滤波算法的抗干扰性^[9]。

对图像进行滤波之前,首先对其进行金字塔分层,并从金字塔的顶层开始的每一层运用均值漂移滤波进行处理,对每一层处理前,计算其上一层滤波结果中对应点像素与其 8 邻域像素之间的相似度决定是否对该

点像素进行均值漂移滤波。如果相似度都小于预定值,则认为该点属于平滑区域内的点,其像素值可以直接由金字塔中上层图像进行向下采样获得;否则,则以该点为均值漂移搜索窗中心点进行均值漂移迭代,找到局部极值点,并把极值点处的像素值代替搜索窗中心的像素值。处理完后的金字塔的底层图像即图像分层滤波的结果。

综上所述,设计分层均值漂移滤波的算法流程如图 1 所示。

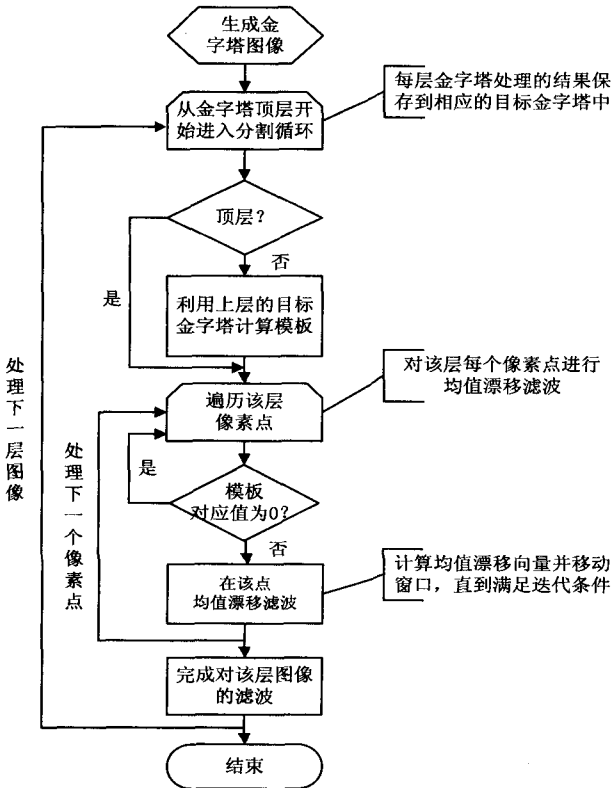


图 1 分层均值漂移滤波流程图

对图 1 中的算法流程使用 C 语言进行程序实现,并在 VS2005 下编译通过,在操作系统为 Windows XP SP2,处理器为 AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual 的环境下运行,对经典的大小为 512 × 512 的 lenna 图片进行处理,结果如表 1 所示,表中对不同参数下有无使用分层滤波及层数不同的情况下的运行时间进行了对比。

表 1 不同滤波参数及分层数下的滤波算法的运行时间

滤波参数 (空域,值域)	(10, 10)	(10, 20)	(20, 10)	(20, 20)
分层数				
未改进滤波	2125 ms	8468 ms	1500 ms	6219 ms
两层滤波	1984 ms	8047 ms	1406 ms	5610 ms
三层滤波	1968 ms	7938 ms	1375 ms	5359 ms

表 1 中的数据表明,在相同的滤波参数下,利用金字塔分层对各层分别处理,并利用上层滤波后的图像对下层图像的滤波提供参考,可以很好地减小滤波处

理时间。
本方法所使用的神经切片染色图像是由中山大学附属第一医院提供对人体周围神经切片染色图像,分辨率为 1280 × 1024,对其中任意一张(如图 2 所示)分别采用均值漂移滤波(设定空域为 25,值域为 20)和改进的均值漂移滤波(设定空域为 25,值域为 20,分层数采用 4 层)进行处理,与上面测试运行环境相同的情况下,均值漂移滤波用时 23188ms,改进后的均值漂移滤波用时 14578ms,时间效率上有较大的提升。

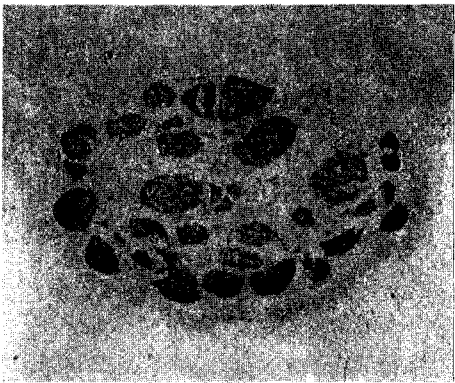


图 2 处理前的神经切片染色图像

从图 2 可以看到,神经切片染色图像中成像的被染色区域(即神经内部功能束)边缘模糊不连续、色泽不均匀,为了更好地进行图像边缘提取,需要对图像进行滤波处理,使图像色泽均匀的同时,保留图像的边缘信息。

3 切片染色图像边缘二次提取

通过改进的均值漂移滤波,较好地解决了神经切片染色图像的边缘模糊不连续、色泽不均匀的问题,接下来要提取出连续光滑的边缘就比较简单了。

边缘提取算法有很多,常见的有梯度算子、方向算子、拉普拉斯算子和 Canny 算子等,对于组织切片图像,直接使用这些算子很难取得较好的提取效果^[10]。由于神经切片染色图像内容的复杂性,往往存在由于小范围内的局部极值之间存在较大的差异,导致边缘提取时容易产生边缘断裂的现象。

Canny 算子边缘检测方法是使用两个阈值来分别检测强边缘和弱边缘,而且仅当强边缘和弱边缘相连时,弱边缘才会包含在输出中。因此,理论上此方法可以在准确地提取出图像边缘时,保持边缘的连续性。对使用了改进的均值漂移处理的图像运用 Canny 算子进行第一次边缘提取的效果如图 3 所示。

对神经切片染色图像的边缘提取往往只需要提取出较大的感兴趣区域的外部轮廓,由于组织切片图像的色泽不均匀性,单纯利用 Canny 算子提取出来的边缘往往过于精细,包含了很多的区域内部的假轮廓。

为了得到感兴趣区域的外部轮廓,需要在第一次提取的基础上进行二次提取,结合数学形态学与区域填充处理,使得外部轮廓所包围的整个闭合区域都填充成实心区域(如图4所示),采用 Canny 算子进行第二次边缘提取并与原图(图2)叠加,如图5所示。



图3 第一次边缘提取效果

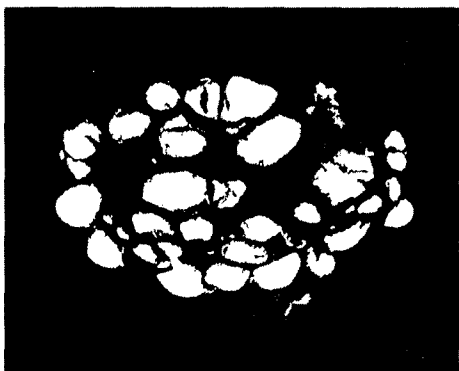


图4 对初始边缘进行填充

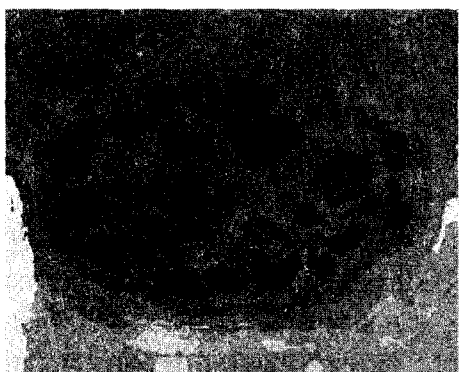


图5 二次提取的边缘与原图叠加

可以很直观地发现,提取处理的边缘与原图很吻合,达到了边缘提取的效果。中山大学附属第一医院总共提供了343张人体周围神经切片染色图像,运用本算法成功地进行了自动边缘提取的图片有312张,成功率为90.9%。造成其余图片不能成功自动进行边缘提取的原因是神经切片染色图像中受染色区域之间,也就是神经内部功能束之间间隔比较小,靠计算机难以自动区分出功能束内部的间隙和外部的间隙^[11,12],这种情况下,只有通过经验进行手工的边缘提取。

4 结束语

为了对内容复杂的神经切片染色图像进行边缘提取,文中提出了一种神经切片染色图像边缘二次提取算法,通过改进的均值漂移滤波改善图像的边缘模糊不连续性及受染色区域色泽不均匀性,完成图像边缘的第一次提取,再采用数学形态学及区域填充结合的方法,对第一次提取出的边缘进行内部填充,形成实心区域,从而使在第二次提取边缘时可以得到比较准确光滑的边缘。在人体周围神经切片染色图像上的实验表明,该算法提取效果较好。

实验中同时发现均值漂移算法对空域和值域参数的设置要求比较严格,良好的参数才能达到较好的效果,现阶段是通过手工进行实验来检验参数的效果的,如何让算法自动进行参数的调节以达到较好的提取效果是下一步将要解决的问题。

参考文献:

- [1] 陈 菁, 楚燕飞, 朱 刚. 大鼠坐骨神经损伤后再生过程结构形态三维重建研究[J]. 第三军医大学学报, 2002, 24(5): 591-593.
- [2] 王 琴, 王卫星, 张少翊. 基于模糊 C 均值的桉树茎切片图像纤维细胞区域提取技术[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(3): 122-124.
- [3] 谢水生, 李 华, 林宗楷. 基于连续组织切片的神经三维可视化研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(6): 170-172.
- [4] 张 军. 肾小球提取及球内细胞核的统计分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- [5] 薛志东, 隋卫平, 李利军. 一种 SVM 与区域生长相结合的图像分割方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 57-62.
- [6] 陈增淦, 张 键, 陈统一, 等. 臂丛神经下干连续组织切片计算机三维重建研究[J]. 中国临床医学, 2003, 10(2): 133-135.
- [7] Wang Shaorong, Liu Liyan. A Robust Algorithm for Nerve Slice Contours Correspondence[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2004, 3015: 286-293.
- [8] 李德军, 赵文杰, 谭海峰, 等. 一种基于双边滤波的图像边缘检测方法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(4): 161-163.
- [9] Mayer A, Greenspan H. An Adaptive Mean-Shift Framework for MRI Brain Segmentation[J]. IEEE Trans. Med. Imaging, 2009, 28(8): 1238-1250.
- [10] Lee C, Huh S, Ketter T A, et al. Unsupervised connectivity-based thresholding segmentation of midsagittal brain MR images[J]. Computers in biology and medicine, 1998, 28(3): 309-338.
- [11] 丁西明, 段汉根, 吴长勤. 一种简单的块匹配图像修复算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 80-83.
- [12] 吴 亚, 汪继文. 水平集图像分割中重新初始化规避的探索[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 69-71.