

Clinical applications of medical image segmentation techniques in vascular images

WANG Xiao-yan, XU Jian-rong*

(Department of Radiology, the Affiliated Renji Hospital of Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China)

[Abstract] Image segmentation is an important technique and the foundation for further image analysis and processing. Vasculature imaging plays significant role in clinical medicine. Clinicians could choose proper methods based on the image features and requirements of segmentation to enhance image quality and make correct diagnosis if they understand basic medical image segmentation techniques. In this paper, the clinical applications of medical image segmentation techniques in vasculature imaging were reviewed.

[Key words] Medical image; Image segmentation techniques; Brain vessel; Coronary artery; Retina

图像分割技术在血管图像中的应用

王小燕, 许建荣*

(上海交通大学医学院附属仁济医院放射科, 上海 200127)

[摘要] 图像分割是一种重要的图像技术,是进一步图像分析和处理的基础。血管系统成像在临床医疗过程中发挥着重要的作用。临床医生了解一些常用的医学图像分割方法,有利于其在临床工作中根据图像特征和分割要求来选择适合的方法,提高图像质量,做出正确的诊断。本文综述图像分割技术在血管图像方面的应用。

[关键词] 医学图像;图像分割技术;脑血管;冠状动脉;视网膜

[中图分类号] TP391.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2009)01-0091-04

医学图像分割是图像分割技术在医学领域的重要应用,在临床医疗过程中发挥着重要的作用。医学图像往往包含多个对象,例如,一幅医学图像能显示正常或病变的各种器官和组织,而医生往往只对图像中特定的器官或组织感兴趣。为达到识别和理解的目的,需要按照一定的规则把原始图像分割成区域,每个区域代表一个被成像的物体或部分,区分目标物体和背景图像,把感兴趣的区域分割出来进行后处理和临床诊断^[1]。临床医生了解一些常用的医学图像分割方法有利于其在临床工作中根据图像特征和分割要求来选择适合的分割方法,提高图像质量,做出正确的诊断。

1 脑血管图像的分割技术

现代影像学技术的发展为中枢神经系统疾病提供了可靠、无创的诊断途径。常见的脑血管成像方法有CT、MRI、DSA等,针对脑血管图像主要分割技术有传统的阈值法、基于区域的方法,结合特定理论还有数学形态学的方法。

1.1 基于阈值(threshold)的分割方法 是传统的分割方法,其基本原理是利用图像中目标物体和背景图像在灰度上的差异,把图像视为有不同灰度的两个或多个区域的组合,通过选取合适的阈值来区分图像中的不同区域,实现目标物体的分割,具有计算简单、运算效率高的优点。但这种方法很大程度上依赖于阈值的选择,而没有考虑空间特性,对噪声和灰度多样性敏感,在实际应用中,阈值法不适用于MRI和超声数据,而通常作为一种最基本的分割技术,与其他图像分割技术配合使用,方能取得好的效果。

[作者简介] 王小燕(1983-),女,广东韶关人,在读博士。研究方向:医学图像分割。E-mail: xywangsw@gmail.com

[通讯作者] 许建荣,上海交通大学医学院附属仁济医院放射科,200127。E-mail: xujianr@hotmail.com

[收稿日期] 2008-06-25 **[修回日期]** 2008-08-26

阈值法适用于目标物体和背景图像灰度差异明显、噪声较小的医学图像。通过数字减影血管造影(DSA),脑血管显示明显增强,并能去除其他组织的影响,在此基础上使用阈值法能较好地提取脑血管图像。Lee等^[2]采用全局阈值和局部阈值相结合的方法,通过进一步平滑等后处理实现脑血管的三维重建,其中局部阈值能增强小血管的对比度,在此基础上使用全局阈值可将目标血管从背景中提取出来。

1.2 基于区域生长(region growing)的分割方法 区域生长法从满足检测准则的种子点开始,在各个方向上生长区域,当其相邻点满足特定检测准则就并入小块区域中。当新的点被合并后再用新的区域重复这一过程,直到没有可接受的邻近点时生成过程终止,性质的相似性和空间的相邻性是其重要准则。区域生长算法假定灰度相近、性质上相似、空间上相邻的像素属于同一物体,除将阈值作为判定条件外,还考虑到目标区域的空间相邻性,其优点在于计算简单,对于均匀的连通目标有很好的分割效果。其主要缺点是需要用户放置种子点,并反复调试阈值直到获得满意的结果,耗时较长,所获结果在很大程度上依赖于用户对阈值的选择。由于图像密度和噪声不一,区域生长法往往产生孔洞和过度分割,所以需要后处理。Tuduki等^[3]改进了传统的区域生长法先利用阈值法处理MRA数据,再通过基于欧几里德变换的算法提取血管中轴线,以此为种子点进行区域生长,自动分割提取了脑血管,实现了血管三维成像。

1.3 基于数学形态学(mathematical morphology)的分割方法 其基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量 and 提取图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学是由一组形态学的代数运算子组成的,有4个基本运算:膨胀、腐蚀、开启和闭合。数学形态学的应用可以简化图像数据、保持其基本形状特征并除去不相干的结构。这些基本运算在二值图像中和灰度图像中各有特点,还可据此推导和组合成各种数学形态学实用算法,用以进行图像形状和结构的分析及处理,包括图像分割、特征抽取、边界检测、图像滤波、图像增强和恢复等,但耗时过长,需与节约时间的措施结合起来。Passat等^[4]利用基于数学形态学的新算法分割30例脑血管相位对比MRI,并将分割结果和区域生长法分割所得结果相比,新算法的假阴性率为23%,而假阳性率仅为1%。

1.4 基于统计学(stastical model)的分割方法 基于阈值的传统图像分割方法不能反映空间邻域的信息和

图像统计学分布信息,对灰度差异小的图像效果很差。对存在噪声影像的图像可通过形态学滤波、中值滤波等方法,但对于噪声很强的图片,滤波不能有效地解决问题,并且会损失图像边缘信息。从统计学出发的图像分割方法把图像中各个像素点的灰度值看作是具有一定概率分布的随机变量,要正确分割图像,就是要找出以最大的概率得到该图像的物体组合,从而将分割问题转化为最优化问题,同时很好地克服噪声和解决低对比度图像分割问题。Chung^[5]基于马尔可夫随机场(Markov random field)方法提出了一种分割相对比MRI的方法,不仅能提取正常血管,还能有效提取血液流速较低或信噪比较低的血管区域。

2 冠状动脉的图像分割技术

目前临床常规依赖于直接分析X线冠脉造影图像的二维测量值,但二维成像往往与成像投影的角度有关。三维成像和测量是现在医学图像的研究热点,可更准确地评估病灶,确定球囊或支架的长度、直径等^[6-7]。CT被认为是具有吸引力的另外一项冠脉成像方法,能提供具有高分辨率的三维体数据,通过使用造影剂突出显示冠脉,为提取冠脉提供了可能。

2.1 基于变形模型(deformable models)的分割方法 在血管分割的模型中使用最多的是椭圆模型,血管由一系列相互重叠的椭圆曲线组成,血管模型的参数根据血管图像估计给定^[8]。Kitamura等^[9]利用参数模型构建了一个圆柱形来描述冠状动脉,它由一个三维中心轴和沿着这个轴的一套连续的椭圆曲线组成。Pellot等^[10]改进了椭圆模型,结合Markov随机场模型,实现了准确分割有病理改变、横断面不规则的血管。

2.2 基于水平集(level set)理论的分割方法 Osher和Sethian将水平集方法用于实现曲线的演化^[11],首先提出依赖于时间的运动界面的水平集描述,与传统的形变模型相比,具有很大的灵活性,可以很容易地描述复杂的表面模型,如空洞、裂缝和重叠或者是合并其他对象为更简单的结构;这些模型可以合并许多(上百万)的自由度,提供复杂的外形,因此在水平集方法中,模型在重大的形变后不用重新设置参数。Brieva等^[12]使用水平集理论来提取冠状动脉DSA图像,其中基于边界的方法准确率达到88.38%,而基于区域的方法准确率达到94.3%,获得了满意的结果。

2.3 基于知识(knowledge-based)的分割方法 解剖知识是分析医学图像的基础。传统的医学图像分割方法使用隐含的知识来进行图像的半自动分割。人体某

些组织结构往往具有一定独特的规律性,通过建立知识模型,利用人体先验解剖知识来对传统的分割方法进行指导,给出分割对象的期望特征值,如体积、大小、位置等,可以大大提高分割过程的自动化程度和效率。Yang 等^[13]使用基于先验知识的活动轮廓线模型的方法分割左冠脉 CT 图像,实现了左前降支和左回旋支的分割和三维重建。

3 视网膜血管图像的分割技术

视网膜血管是人体唯一可以在活体使用非创伤性手段直接观察到的血管,许多全身性血管病以及代谢性疾病均可使眼底血管受到不同程度的侵犯,特别是心、脑、肾等与血管有关的器官发生病变,眼底血管的改变在一定程度上可反映病变的程度^[14]。

3.1 基于聚类分割(clustering)的分割方法 聚类分割法是最为直接和最实用的图像分割方法。阈值法实际上是聚类法的一个特例。为了弥补不使用训练数据所造成的缺陷,聚类算法在分割图像和确定每一类特征之间进行迭代计算。从这个角度而言,聚类算法是在用已存在的数据对自身进行训练。目前常用的聚类算法有 K 均值(或 ISODATA)算法、模糊 C 均值算法和最大期望值(expectation maximization, EM)算法等。尽管聚类算法不要求训练数据,但需要预分割(或初始参数)。由于聚类算法不需要直接包含空间建模,所以对初始化参数敏感、噪声和灰度不均匀性均比较敏感;但这种缺乏空间模型的算法却带来了计算的快捷。Ayala 等^[15]提出 2 种新的模糊集均值算法并应用于视网膜血管的自动分割。Thanapong 等^[16]利用 FCM 算法分割 20 套眼底视网膜血管图像,FCM 算法敏感性,与目前临床应用的传统的分割方法相比较,特异性分别达到 78.16% 和 95.75%。

3.2 基于小波变换(wavelet transform)的分割方法 小波变换是近年来得到广泛应用的数学工具。用小波进行医学图像分割,是利用二进制小波变换将图像直方图分解为不同层次的小波系数,依照给定的分割准则和小波系数选择阈值门限,由粗到细,由尺度进行控制。小波变换能把图像中不同尺度大小的结构提取出来,并有效地控制分割过程,提取出目标的特征,其计算复杂度较低,抗噪声能力强,适用于图像噪声较多的超声数据^[17]。

4 其他应用

4.1 基于追踪(tracking)的分割方法 此法由血管图像边界上的一个点出发,依次搜索并连接相邻边界点从而逐步检测出整个血管边界。主要包括如下步骤:

搜索起点的确定,搜索机制的选取,搜索结束的判定。根据算法的不同,搜索起点可有一个或数个。方法的缺点在于它不是全自动的,需要操作者给出初始点和结束条件^[8]。Menegaz 等^[18]提出一种结合了先验知识的血管追踪算法,即利用血管位置、走向和宽度的连续性特点,在人工设定种子点和搜索方向之后利用追踪算法寻找血管中心线实现血管分割。

4.2 基于模糊理论(fuzzy set theory)的分割方法 从某种意义上看,以概率形式提供的信息更接近于事物的真实情况在医学成像中,通过医疗仪器扫描得到的图像由于受到各种时间、空间以及物理仪器等限制,本身就是模糊的,医学图像中有些组织之间并没有清晰的界限,因此从图像中提取物体信息也应该尽可能地保留模糊性。Udupa 等^[19]提出的模糊连接分割法可以较好地吧 CTA 和 MRA 图像中的血管部分从周围组织中提取出来,其主要思想是计算图像中任意两个像素之间的连接强度,再根据连接强度的大小将血管从周围组织中分割出来。

图像分割存在两个主要问题:一是没有一种普遍通用的分割方法,二是没有一个好的通用的分割评价标准。现有的任何一种单独的图像分割算法都难以对一般图像取得令人满意的分割效果,应该根据不同的临床要求和图像性质,把各种方法综合起来运用。在临床工作中,放射科医生应该在熟练掌握影像学技术的同时,了解一些基本算法的原理和特点,具体问题具体分析,采用最适合的方法来进行医学图像处理,提高分割图像质量,做出正确的诊断。

[参考文献]

- [1] Bai Y, Sun Y, Hu YP, et al. Application of ant colony algorithm in the segmentation of MRI. Chin J Med Imaging Technol, 2007, 23(9): 1402-1404.
白杨,孙跃,胡银萍,等.蚁群算法在磁共振图像分割中的应用.中国医学影像技术,2007,23(9): 1402-1404.
- [2] Lee JY, Chen CH, Tasai JM, et al. 3-D image reconstruction of brain vessels from angiogram. IEEE TENCON-Digital Signal Processing Applications, 1996, 2(2): 547-552.
- [3] Tuduki Y, Murase K, Izumida M, et al. Automated seeded region growing algorithm for extraction of cerebral blood vessels from magnetic resonance angiographic data. Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference, 2000, (3): 1756-1759.
- [4] Passat N, Ronse C, Baruthio J, et al. Automatic parameterization of Grey-Level Hit-or-Miss Operators for brain vessel segmen-

- tation. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005, 2: 737-740.
- [5] Chung ACS, Noble JA, Summers P. Vascular segmentation of phase contrast magnetic resonance angiograms based on statistical mixture modeling and local phase coherence. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2004, 23(12): 1490-1507.
- [6] Mackay J, Mensah GA. The atlas of heart disease and stroke. World Health Organization, 2004, [Online]. Available: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/resources/atlas/en/.
- [7] Blondel C, Malandain G, Vaillant R, et al. Reconstruction of coronary arteries from a single rotational X-ray projection sequence. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, 25(5): 653-663.
- [8] Zhu HW, Liu YJ, Zeng YJ. Advances in vessel image segmentation technology. Beijing Biomedical Engineering, 2005, 24(2): 155-159.
- 主海文, 刘有军, 曾衍钧. 血管图像分割技术的研究进展. 北京生物医学工程, 2005, 24(2): 155-159.
- [9] Kitamura K, Tobis JM, Sklansky J. Estimating the 3D skeletons and transverse areas of coronary arteries from biplane angiograms. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1988, 7: 173-187.
- [10] Pellot C, Herment A, Sigelle M, et al. A 3D reconstruction of vascular structures from two X-ray angiograms using an adapted simulated annealing algorithm. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1994, 13(1): 48-60.
- [11] Dehmshki J, Amin H, Valdivieso M, et al. Segmentation of pulmonary nodules in thoracic CT scans: a region growing approach. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2008, 27(4): 467-480.
- [12] Brieva J, Gonzalez E, Gonzalez F, et al. A level set method for vessel segmentation in coronary angiography. 27th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society, 2005: 6348-6351.
- [13] Yang Y, Tannenbaum A, Giddens D. Knowledge-based 3D segmentation and reconstruction of coronary arteries using CT images. 26th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society, 2004, 1: 1664-1666.
- [14] Witt N, Wong TY, Hughes AD, et al. Abnormalities of retinal microvascular structure and risk of mortality from ischemic heart disease and stroke. Hypertension, 2006, 47(5): 975-981.
- [15] Ayala G, Leon T, Zapater V. Different averages of a fuzzy set with an application to vessel segmentation. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2005, 13(3): 384-393.
- [16] Thanapong C, Watcharachai W, Somporn R, et al. Extraction blood vessels from retinal fundus image based on fuzzy G-Median clustering algorithm. Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007, 2: 144-148.
- [17] Zhu HQ, Shu HZ, Luo LM. Blood vessels segmentation in retina via wavelet transforms using steerable filters. Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems 2004, 2004: 316-321.
- [18] Menegaz G, Lancini R. Semantic segmentation of angiographic images. 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Amsterdam 1996, 3. 1. 4: Cardiovascular Imaging and Image Processing.
- [19] Udupa JK, Samarasekera S. Fuzzy connectedness and object definition: theory, algorithms, and applications in image segmentation. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(3): 246-261.