

双下肢医学 CT 图像的三维可视化研究是实现

崔 竑

(同济大学 电子与信息工程学院 CAD 研究中心, 上海 201804)

摘 要: 将医院提供的二维断层图像序列转变为直观立体效果的图像, 展现人体双下肢骨骼的三维结构与形态。结合模糊 C-均值聚类算法和区域增长法对 CT 断层图像进行分割, 提取图像中感兴趣的区域 ROI, 即骨骼区域, 再对分割后的图像采用面绘制的方法进行三维重建。两种分割方法的结合使用能使分割结果更加准确, Marching Cubes 算法进行三维重建能获得良好的骨骼观察视觉效果。该方法涉及到了数字图像处理、计算机图形学以及医学领域的相关知识, 可实现医学 CT 图像的三维可视化, 为骨科医学诊断提供了形象直观的技术方法。

关键词: 模糊 C-均值聚类; 区域增长; 分割; Marching Cubes 算法; 三维可视化

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)12-0175-03

Research and Realization on Three-Dimensional Visualization of Leg CT Data

CUI Hong

(CAD Research Center, School of Electronic Information Engineering,
Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The three-dimensional reconstruction of normal leg CT data provided by hospital, display the three dimensional structure and form. Firstly, fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm and region growing algorithm is used to find a region of interesting (ROI) and segment from the CT data. Secondly, reconstruct the segmented images three-dimensionally by surface rendering method. The application of two segment algorithms can help to get more accurate bone segmentation. MC algorithm works well in three-dimensional reconstruction. The method is an important application of computer graphics and image processing in biomedicine engineering. The result indicates that the segmentation algorithms and three-dimensional reconstruction method applied in the experiment can achieve three-dimensional visualization effectively and provide a visualized technology for orthopedics medical diagnosis field.

Key words: fuzzy C-means clustering; region growing; CT segmentation; Marching Cubes algorithm; three-dimensional visualization

0 引 言

CT 为断层图像, 有很好的密度分辨率, 显示了骨关节的细微结构以及周围软组织情况。由于 CT 断面成像缺乏立体感, 可借助计算机对 CT 序列图像进行处理, 获得三维图像。CT 三维重建可实现直观的多角度、多方位观察, 为临床骨科中治疗方法的选择、手术方案的制定以及术后的评估提供了可靠依据, 提高了诊断的准确率^[1]。

文中主要从图像分割和三维重建两个层面出发, 对相关理论和算法进行阐述, 简单介绍基于 MATLAB 编译环境实现图像分割以及三维重建。

1 图像分割

1.1 图像分割概述

图像分割(image segmentation)是指将图像中具有特殊含义的不同区域区分开来, 这些区域是互不交叉的, 每个区域都满足特定区域的一致性^[2]。利用数字图像的各种处理技术将感兴趣区域(ROI)合理正确的分割出来是在二维医学图像处理中的一个难点, 它也是三维重建的一个重要环节, 分割结果会直接影响到三维模型的质量。

根据灰度值的基本特性, 图像分割主要分为两大类: 一是利用区域内灰度相似性的基于区域的技术, 该技术主要根据事先制定的相似性准则将图像分割为相似的区域, 如阈值分割和区域增长; 二是利用区域间灰度不连续性的基于边缘的技术, 该技术根据灰度的不连续变化来分割图像, 比如基于边缘提取的分割法等。目前分割算法有多种, 针对具体问题应采取相应的分

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-08-24

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2010AA122200)

作者简介: 崔 竑(1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为计算机仿真、医学图像处理; 导师: 李光耀, 教授, 研究方向为虚拟现实、计算机辅助设计、仿真与分析。

割策略,综合运用多种分割技术,可以达到最佳的分割效果。由于分割是一个不适定问题,至今仍没有通用的分割方法。因此,只有根据具体的应用和图像的特点,设计各自的分割算法^[3]。

医学图像分割技术发展至今尚未找到适用于多种类型图像的自动分割算法。尽管在传统 MC 算法中已采用了阈值分割法对待重建的图像数据进行处理^[4],但分割效果并不理想,主要由于医学图像与普通图像相比,具有边界模糊和不均匀性的特点,完全由计算机完成自动分割是不可能的,所以采用人机交互式的分割。本研究中,根据分割目的和目标图像的特点,为生成清晰的双下肢模型,需突出图片中的骨骼区域,故先采用模糊 C-均值聚类算法进行初步分割,再利用区域增长法进行精细分割。

1.2 模糊 C-均值聚类

聚类就是按照一定的要求和规律对事物进行区分和分类的过程。模糊 C-均值聚类算法认为每个数据点都是以一定的隶属度隶属于各个不同的类别,这种模糊化的处理能较准确地反映数据的实际分布^[5]。不同类中的对象高度相异,相异度根据描述对象的属性值评估,通常使用距离度量,经典的模糊 C-均值聚类算法使用的距离测度为欧式距离。模糊 C-均值聚类算法是一种非监督的算法,可应用于自动分割。

在将模糊 C-均值聚类算法直接应用于 CT 图像骨的分割时,由于 CT 图像中骨骼的分布存在灰度分布较广、部分骨的灰度与肌肉组织的过于接近的特性,所以单独使用模糊 C-均值聚类算法的分割效果并不十分理想^[6]。为得到更精准的图像分割,可结合其他分割方法一起使用。

1.3 区域增长法

区域增长法的基本思想是将具有相似性质的,且在空间上相互连通的像素集合起来构成一个区域。该方法需要选取种子点(seed point),然后依次将种子点周围的相似像素合并到种子像素所在的区域中,直到再没有满足条件的像素可被包括进来^[2]。分割过程如下:

- 1) 在图像内部选择一个或几个能正确代表所选区域特性的像素作为种子点;
- 2) 根据区域增长准则(阈值)将符合条件的相邻像素聚合进来,使该区域增长扩大;
- 3) 反复进行第二步,并用增长停止条件判断,直到再没有符合条件的像素被聚合进这个区域为止。此时,增长结束。

由此可见,区域增长法需要注意两点:一是种子点的选择;二是区域增长准则(阈值)的确定。

原始种子点的选择很大程度上影响到了最终的分

割结果,为了得到正确的分割结果,往往需要反复试验,人工手动选择种子点,并观察子图像区域是否在空间上连通。

区域增长准则(阈值)的确定也是影响最终分割效果的关键因素之一,同样需要反复试验,找到最合适的阈值,从而达到预期的分割效果。

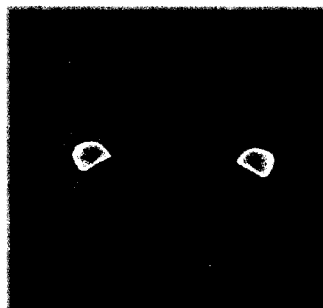
1.4 模糊 C-均值聚类和区域增长结合的分割策略

文中将上述两种分割方法结合起来,采用复合式分割方法,实现过程如下:

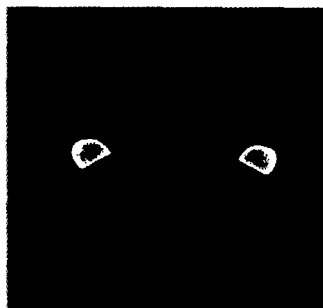
- (1) 用模糊 C-均值聚类算法进行自动分割;
- (2) 区域增长:在上一步的分割结果中,在目标组织的区域内手动选择多个种子点,以种子点为起始点开始区域增长分割运算;
- (3) 观察分割结果,如果不理想,重复第二步;
- (4) 得到满意的分割结果并存储。

1.5 分割结果

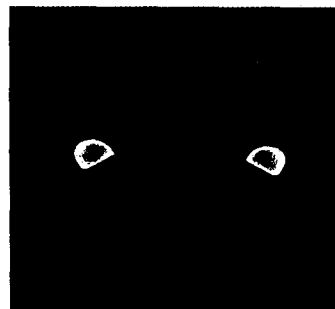
需要处理的数据是 953 层 CT 切片数据,随机选取一幅图像进行分割,采用 MATLAB 编程环境进行两种分割算法的实验,结果如图 1 所示。



(a) 原始单张双下肢 CT 切片



(b) FCM 分割后的双下肢 CT 切片



(c) 基于区域增长法分割后的双下肢 CT 切片

图 1 CT 图像分割

从图 1 中可以看出,图 1(a)为分割前原始图像,图 1(b)为 FCM 分割后的图像,图 1(c)为基于区域增长的分割后的图像(选择了 2 个种子点)。比较图 1(a)和图 1(c),FCM 和区域增长结合的分割方法既滤除了图像中的噪声,又准确地提取出了骨骼区域,符合预处理分割的要求。

2 三维可视化

2.1 三维可视化概述

CT 医学图像经图像分割后可进行三维重建,使用计算机图形学技术,直观地表现为三维效果。医学图像三维重建的方法主要有以下两类:

(1)面绘制(Surface Rendering):通过几何单元拼接拟合物体表面来描述物体的三维结构,即基于三维体数据场构造出等值面。该方法只显示感兴趣结构表面上的体素,运算量小,这种技术经常被用于计算机辅助手术的三维医学模型重建。等值面构造方法主要有 Marching Cube^[7]方法、Dividing Cube 方法^[8]。

(2)体绘制(Volume Rendering):通过模拟光线穿越半透明物体时的能量变化来绘制物体,即采用体光照模型对三维体数据场进行直接显示,因此体绘制比面绘制具有更高的绘制精度,并保存了原始图像体数据值的前后关系。体绘制过程中,所有的信息均参与了运算,计算量大,实时性较低^[9]。

从结果图像的质量上讲,体绘制要优于面绘制。从交互性能和算法效率上讲,面绘制优于体绘制^[10]。文中根据实际需求,采用了面绘制的 MC 算法(Marching Cubes)进行三维建模,并对数据采用平滑和面片精简处理,获得了质量较好的双下肢三维模型。

2.2 Marching Cubes 基本原理

Marching Cubes 算法的本质是从一个三维的数据场中抽取出一个等值面。在数据体中将位于两个相邻切片上各取 4 个体素组成一个立方体的 8 个顶点,用图像灰度界限值将每个体素区分为对象内和对象外两类,以 0 或 1 标号(顶点小于阈值为 0)。8 个体素不全在对象内或对象外必然包含对象的表面,采用插值计算出等值面与立方体各边的交点,然后按一定规则将这些交点连接成相邻的三角形以代表此立方体内对象的表面,通过计算灰度的梯度值得求法表面的方向。理论上,顶点状态有 2 的 8 次方即 256 种,然而从拓扑角度来看,经过翻转和旋转后只有 15 种情况^[11],如图 2 所示。

MC 方法绘制基本过程如下:体素遍历→得到等值面片→拼接拟合等值面^[12]。该方法主要优点是可以采用比较成熟的计算机图形学方法进行显示,具有

计算量小、运行速度快、易实现、图像质量较高等优点。

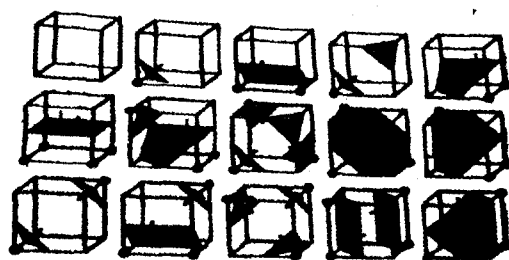


图 2 基本的 15 种构型

2.3 表面平滑处理和面片消减

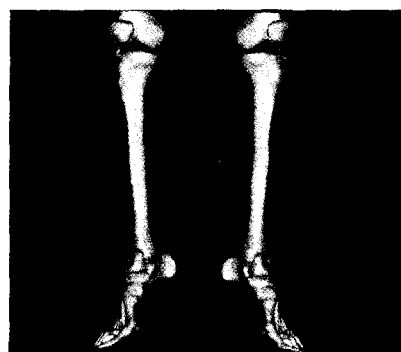
MC 算法存在一个缺点,即三角面片的数量过多,其中,包含了大量冗余信息,从而三维绘制的时间过长^[13],所以分割非常精良,在三维重建的时候,仍然需要对模型在三维空间上进行平滑运算,并对三维模型的表面三角形数量和质量进行优化,得到优化的三角面片模型。平滑操作用来平滑几何体表面,没有减少三角片数量的效果。面片精简是在保证图像质量的前提下,大幅减少 MC 算法产生的三角形的数目,从而对三维重建图像能够实现实时操作^[14]。

2.4 实验结果

将 953 层 CT 切片数据分割后的结果作为 MC 算法的输入,绘制过程中采用了平滑处理和面片消减方法。结果如图 3 所示。



(a) 未优化前的双下肢模型



(b) 表面平滑处理和面片消减优化后的双下肢模型

图 3 双下肢模型重建

(下转第 181 页)

中各车辆的配送情况如下:

车辆 A 的行驶距离为 991.5km,分配货物重量为 698kg,配送城市为长沙-耒阳-郴州-衡阳-岳阳-长沙。

车辆 B 的行驶距离为 1003.9km,分配货物重量为 1179kg,配送城市为长沙-浏阳-株洲-邵阳-怀化-长沙。

车辆 C 的行驶距离为 332.6km,分配货物重量为 470kg,配送城市为长沙-常德-长沙。

5 结束语

文中首先对蚁群算法进行了详细介绍。然后在最优蚂蚁系统的基础上,结合物流配送的特点,对蚂蚁所走路径的信息素进行局部更新。同时改进其全局更新策略,提高了算法的收敛速度和搜索能力,也提高了算法的效率。并在最后将改进算法和实际物流配送系统相结合,有效地解决了物流配送的路径优化问题,证明了改进算法在车辆路径优化问题中的可行性。

参考文献:

- [1] 胡 娟,王常青,韩 伟. 蚁群算法及其实现方法研究[J]. 计算机仿真,2004(7):10-14.
- [2] Dorigo M, Bonabeau E, Theraulaz G. Ant algorithm and stigmergy[J]. Future Generation Computer Systems, 2000, 16

(9):851-871.

- [3] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colonies for the traveling salesman problem[J]. BioSystems, 1997, 43:73-81.
- [4] 龚雨兵,李泉水. 蚂蚁算法在工件排序问题中的应用[J]. 桂林电子工业学院学报,2004(2):68-71.
- [5] 崔雪丽,马 良,范炳全. 车辆路径问题的蚂蚁搜索算法[J]. 系统工程学报,2004(4):418-422.
- [6] Schoonderwoerd R, Holland O, Bruten J. Ant-like agents for load balancing in telecommunications networks[C]//Proc of Agents 97. Marina del Rey, CA:ACM Press, 1997:209-216.
- [7] 张 丽,马 良,石丽娜. 图着色问题的蚂蚁算法研究[J]. 上海工程技术大学学报,2009(4):328-332.
- [8] 赵 虎,李 睿. 蚂蚁算法在车间作业调度问题中的应用[J]. 计算机工程与应用,2003(22):6-8.
- [9] Stutzle T, Hoos H. The MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem[C]//Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC 97). Piscataway, NJ:IEEE Press, 1997.
- [10] Gendreau M, Hertz A, Laporte G. A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem[J]. Management Science, 1994, 40(10):1276-1290.
- [11] Willard J A G. Vehicle routing using P-optimal tabu search [D]. London: The Management School, Imperial College, 1989.
- [12] 段海滨,王道波,朱家强,等. 蚁群算法理论及应用研究的进展[J]. 控制与决策,2004,19(12):1321-1326.

(上接第 177 页)

可见,优化后的模型视觉效果大为改善,更直观清晰。

3 结束语

文中介绍了 CT 断层图像的分割与三维重建过程用到的原理及方法,实验结果也满足了双下肢三维建模的要求。三维重建弥补了 CT 二维成像的不足,能直观、立体、清楚地显示出骨骼立体形态以及空间关系。医务人员可根据重建得到的三维图像进行术前诊断、手术设计等操作。CT 三维重建为数字骨科学奠定了基础,随着该技术的不断成熟与发展,其在医学领域的应用也将更为广泛。

参考文献:

- [1] 裴国献. 数字骨科学[M]. 北京:人民卫生出版社,2009.
- [2] 陈家新. 医学图像处理及三维重建技术研究[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [3] 卫阿盈,杨 磊. 图像分割在医学图像处理中的应用[J]. 医学信息,2005,18(12):1629-1631.
- [4] Tian Jie, Xue Jian, Dai Yakang. A novel software platform for medical image processing and analyzing[J]. IEEE Transac-

tions on Information Technology in Biomedicine, 2008, 12 (6):800-812.

- [5] 王志兵. 基于模糊聚类的图像分割技术研究[D]. 重庆:西南大学,2009.
- [6] 王东明. 模糊聚类在 CT 图像骨骼分割中的应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
- [7] Lorensen W E, Cline H E. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm[J]. ACM Computer Graphics, 1987, 21:38-44.
- [8] Cline H, Lorensen W. Two algorithms for the 3D reconstruction of tomograms[J]. Medical Physics, 1988, 15(3):320-327.
- [9] 姚均营. 医学影像三维立体可视化系统研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.
- [10] 洪 锋,梅 炯,李明禄. 医学图像三维重建技术综述[J]. 中国图象图形学报,2003,8(z1):785-787.
- [11] 唐占红,於时才. 面绘制三维重建原理及其改进算法研究[J]. 计算机工程与设计,2009,30(9):2225-2228.
- [12] 郑 莹. 下颌骨系统模型重建及受力分析的研究[D]. 上海:同济大学,2010.
- [13] 谢小棉,李树祥,江贵平,等. 基于 MC 的医学三维等值面的平滑与归并[J]. 中国图象图形学报,2001,6(8):806-809.
- [14] 李 华,蒙培生,王 乘. 医学图像重建 MC 算法三角片的合并与实现[J]. 计算机应用,2003(6):104-106.