

基于CT三视图的肝脏自动分割方法

宋晓¹, 黄晓阳²

(1. 南阳师范学院计算机与信息技术学院, 南阳 473061; 2. 厦门大学信息科学与技术学院, 厦门 361005)



摘要: 针对肝脏分割结果中出现的误分割问题, 在分析腹部CT图像序列中肝脏结构特性和成像特点的基础上, 充分利用肝脏灰度特性和结构特性的互补信息, 提出一种组合三视图分割结果的置信连接肝脏自动分割方法。从各视图的最佳角度提取肝脏轮廓线, 将其合并得到最终的肝脏轮廓, 有效减少了肝脏与相邻器官灰度相似性造成的误分割现象, 进一步提高了肝脏自动分割的准确率。对10套腹部CT数据集的实验结果表明, 该方法能够快速、准确的提取肝脏轮廓, 为临床肝病诊断和手术计划制定提供有效的个性化信息。

关键词: 肝脏分割; CT图像; 三视图; 置信连接

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2014)09-1980-04

Automatic Liver Segmentation Method Based on Three Views of CT Image

SONG Xiao¹, HUANG Xiao-yang²

(1. College of Computer and Information Technology, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

2. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to solve the problem of misclassification in liver segmentation process, an automatic confidence connected liver segmentation method with a combination of the liver segmentation results of three views was proposed. Based on the analysis of liver structure and its imaging features on CT images, this method took full advantage of the liver intensity specialty and shape specialty. *The final liver boundary is the combination of the contours extract from best angle of each view. The misclassifications caused by the gray similarity of liver and adjacent organs were reduced. The accuracy of automatic liver segmentation was improved.* Clinical validation was performed on 10 abdominal CT data-sets. The results show that the proposed method can extract liver contour quickly and accurately. And it is useful for clinical liver diagnosis and surgery planning.

Key words: liver segmentation; CT image; three views; confidence connected

引言

肝脏分割作为医学图像分割中的一个重要研究课题, 尤其是肝脏自动分割算法, 吸引着众多研究人员去探索。虽然研究人员提出了越来越多的肝脏分割算法, 但至今还不能满足临床上对效率和准确率的需求。一方面是受自动分割算法本身的限制; 另一方面, 是因为肝脏结构复杂、个体存在差异性, 加上邻接组织的灰度相似性, 致使肝脏

自动分割算法难上加难。

肝脏分割作为数字化肝脏技术的基础和关键问题, 其结果的准确度直接影响肝脏三维模型的精准度, 同时也会影响肝脏体积测算^[1]、肝病诊断^[2]、微创治疗监测^[3]及手术切除方案的制定^[4]。国内外已有的用于医学图像分割的算法有区域生长^[5,6]、活动轮廓模型^[7,8]、图割和水平集等^[9-11], 但在实际肝脏分割应用中, 需要对这些算法进行改进或结合, 以达到更高的分割精确度。Li等^[9,10]提出的改进的水平集分割方法, 减少了水平集演化时间, 但对于常规的512×512像素的CT图像来说, 其分割效率仍不能满足临床需求, 且需手工初始化零水平集; Chen等^[11]提出了一种将图割与定向活动外观模型相结合的肝脏分割方法, 该方法经过模型建立、目标识别和轮廓勾画三步完成肝脏分割, 取得了较好的分割准

收稿日期: 2014-05-18

修回日期: 2014-07-11

基金项目: 国家自然科学基金(61102137, 61327001); 河南省科技厅重点科技攻关计划项目(142102310298); 河南省教育厅科学技术研究重点项目基础研究(14A520056); 南阳师范学院专项项目(ZX2013012)

作者简介: 宋晓(1985-), 女, 河南南阳, 博士, 讲师, 研究方向为医学图像处理; 黄晓阳(1978-), 男, 福建厦门, 博士, 讲师, 研究方向为医学图像处理。

<http://www.china-simulation.com>

• 1980 •

确率和较高的时间效率, 但也需要一些手工标记点; Suzuki 等^[1]将几何活动轮廓模型与水平集方法相结合, 通过人工交互选择种子点及快速行进法获取初始轮廓, 可以高效的获取肝脏分割结果。Lee 等^[2]将区域生长法与水平集方法相结合, 该方法通过两步种子区域生长法获取用于水平集演化的初始轮廓, 充分利用水平集的拓扑改变能力, 将复杂形状的轮廓边缘提取出来, 但速度较慢。这些算法各有优缺点, 但都存在手工交互需求和误分割现象。

本文在分析 CT 图像中肝脏的结构特性及其成像特点的基础上, 充分利用肝脏灰度特性和结构特性的互补信息, 提出了一种基于三视图的肝脏分割方法。该方法是在置信连接肝脏自动分割方法^[6]的基础上组合三视图分割结果的分割方法, 无需用户交互, 且有效降低了由肝脏与相邻器官灰度相似性造成的误分割现象, 进一步提高了肝脏自动分割的准确率。

1 基于 CT 三视图的肝脏分割方法

临床上获取的肝脏 CT 图像序列多为横断面切片, 为了多角度观察肝脏部位的病变情况, 特别是对断层间距较大的 CT 图像序列, 就需要通过对已有的横断面数据进行重构, 从而获得肝脏冠状面、矢状面和其它斜截面的图像。这里, 将肝脏 CT 图像三视图的概念引入到肝脏分割领域, 最大限度利用肝脏的结构特性, 分割出精准的肝脏轮廓。

1.1 肝脏 CT 三视图概念

由肝脏 CT 图像序列形成三维数据场后, 体数据是各项同性的, 即在三维空间各方向上具有相同的灰度值。根据此特性, 我们可以利用平面方程:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \tag{1}$$

进行体数据的各截面提取, 从而获得各截面上的肝脏体素分布图像。如指定截面方程为 $Ax+D=0$, 则可以获得肝脏的冠状面图像, 如图 1(a)所示; 指定截面方程为 $By+D=0$, 则可以获得肝脏的矢状面图像, 如图 1(b)所示; 指定截面方程为 $Cz+D=0$, 则可以获得肝脏的横断面图像, 即原始断层图像, 如图 1(c)所示。

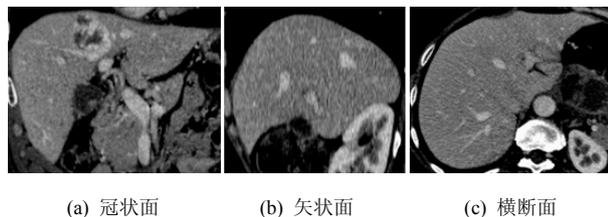


图 1 肝脏 CT 图像三视图

1.2 置信连接的肝脏分割方法

本文采用置信连接算法实现肝脏自动分割^[6]。

首先, 利用改进的曲率各向异性扩散滤波对 CT 图像进行平滑预处理, 以便在去除噪声的同时保存边缘信息, 结果如图 2(a)所示。

然后, 通过对肝脏 CT 图像序列的灰度统计获取肝脏特征灰度值 h , 进而在每幅 CT 图像上统计出灰度值属于 $[h-10, h+10]$ 的像素点数最多的行列号: x_{max} 和 y_{max} , 并判断点 (x_{max}, y_{max}) 的灰度值是否在肝脏特征灰度范围 $[h-10, h+10]$ 内, 若是, 则将此点作为种子点, 如图 2(b)所示; 若不是, 则舍弃此点, 选取相邻 CT 图像上的种子点做为种子点。

接着, 使用置信连接的区域生长算法对肝脏进行分割。置信连接算法是基于对当前区域灰度统计的区域生长方法。通过计算种子点周围的一个小邻域内所有像素点灰度的平均值 m 和标准差 σ , 再由一个给定系数 l 乘以标准差 σ 来定义相似灰度的范围:

$$I(X) \in [m - l\sigma, m + l\sigma] \tag{2}$$

其中, X 是图像 I 中的像素点。进而判断相邻像素点的灰度值是否在这个相似灰度范围内, 若是, 则将其归类为当前区域内的点。对包含在当前区域内的像素点再次计算其灰度平均值和标准差, 定义新的相似灰度范围, 再次判断邻域像素点的灰度值是否落在新的相似灰度范围内, 若是, 则将其包含进当前区域。重复此过程直到没有新的像素点增加进来或达到已定的迭代次数, 结果如图 2(c)所示。

最后, 采用空洞填充法填补置信连接中产生的空洞, 改善分割效果, 得到平滑的肝脏轮廓如图 2(d)所示。

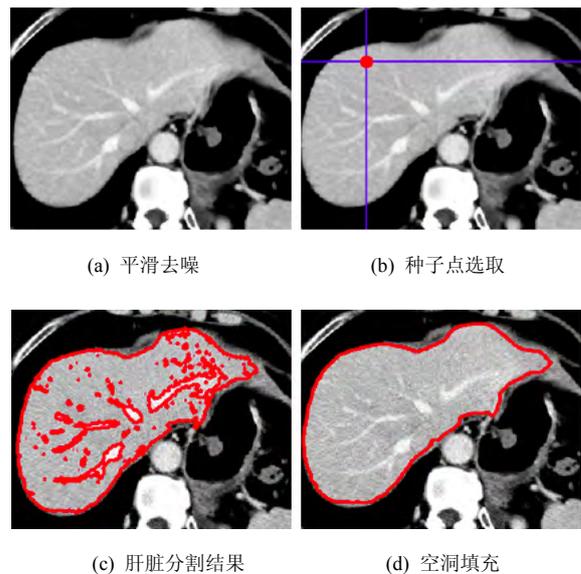


图 2 置信连接肝脏分割方法

1.3 基于三视图的肝脏分割方法

由于肝脏结构复杂,传统的单一在横断面上的肝脏分割方法很容易把肝脏邻接的相似灰度的器官组织误分为肝脏,若直接将横断面的分割结果映射到冠状面和矢状面上,其结果如图 3 所示。本根据肝脏 CT 图像三视图成像原理,将三视图引入肝脏分割,有利于从各视图获取最佳的肝脏轮廓,并能有效避免单一视图上连接组织的误分现象。由于斜截面的计算复杂,其时间效率会限制临床应用,所以这里只引入了基于冠状面、矢状面和横断面三视图的肝脏分割方法。

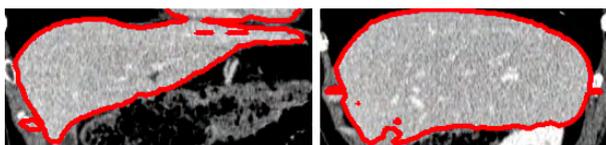


图 3 横断面肝脏分割结果在冠状面和矢状面上的映射

假定 A 为基于横断面的肝脏 CT 图像序列分割结果,即一个三维的肝脏轮廓, B 为基于冠状面的肝脏分割结果, C 为基于矢状面上的肝脏分割结果,则基于三视图的肝脏分割结果 S 为

$$S = A \cap B \cap C \quad (3)$$

多视图肝脏分割方法,有利于减少单一截面上邻接组织的干扰,提高肝脏自动分割的准确率。同时,为降低误判率,这里引入投票机制,取三视图分割结果的交集为:只要某一体素点 X 同时属于三视图分割结果中的两个,则认为该体素点属于肝脏,即

$$S(X) = \{X | X \in (A \cap B) \cup X \in (A \cap C) \cup X \in (B \cap C)\} \quad (4)$$

本文基于 CT 三视图的肝脏分割算法流程图如图 4 所示。

2 实验结果与分析

为测试文中所述肝脏分割方法的准确性和时效性,这里选用不同 CT 机(GE Medical Systems, Siemens, Toshiba)上获取的 10 套临床数据集做为测试源。每套 CT 图像序列中,CT 张数为 100~320 幅不等,层厚为 0.6~2mm,图像大小为 512×512。实验系统配置为 Intel Core2 Duo E8200 2.66GHz, 4GB RAM,操作系统是 Windows XP,软件环境为 Matlab 7.0。利用置信连接肝脏分割方法,在不同临床数据集中,冠状面、矢状面和横断面上的分割结果如图 5 所示。

其中,第一行为冠状面上的肝脏分割结果,第二行为矢状面上的肝脏分割结果,第三行为常见的横断面上的肝脏分割结果。从分割结果可以看出,该方法有效解决了肝脏与肋骨、肾脏邻接部分的边缘误分割问题。

为评价文中所述肝脏分割方法,这里采用 TPR、FPR 和 FNR 来分析其分割结果优劣。假定 G 为专家勾画的实际肝脏轮廓, M 为肝脏分割算法所得分割结果,则

$$\begin{aligned} TPR &= (M \cap G) / G \\ FPR &= (M - (M \cap G)) / (G + M - (M \cap G)) \\ FNR &= (G - (M \cap G)) / (G + M - (M \cap G)) \end{aligned} \quad (5)$$

其中,TPR 越接近 1、FPR 和 FNR 越接近 0,代表肝脏分割结果准确率越高。对 10 套临床 CT 数据集的实验结果表明,其平均 TPR 为 96.82%,FPR 为 1.63%,FNR 为 2.61%。与仅在横断面上进行置信连接肝脏分割结果^[6]对比,基于三视图的肝脏分割结果 TPR 提高了 3.22%,FPR 降低了 4.17%,但相应 FNR 增加了 0.09%。其中,本文基于三视图肝脏分割方法和基于横断面上的肝脏分割方法的 TPR 结果分析如图 6(a)所示,本文三视图肝脏分割方法的 FPR 和 FNR 结果如图 6(b)所示。

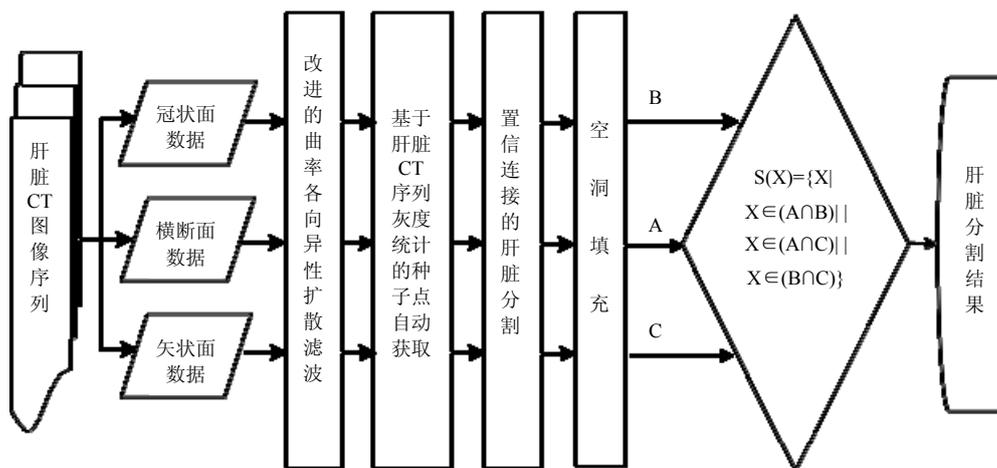


图 4 基于三视图的肝脏分割算法流程

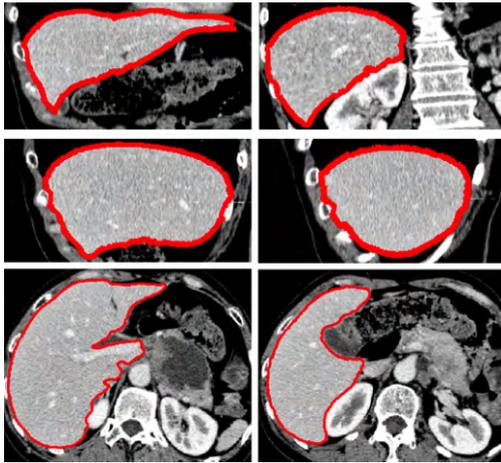
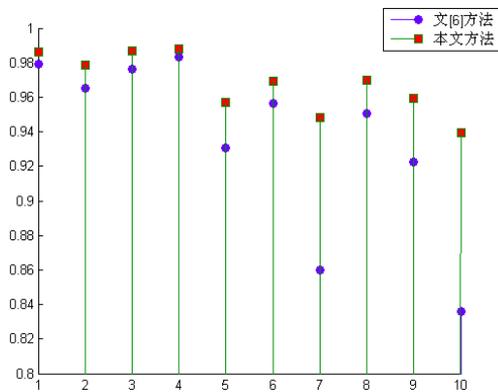
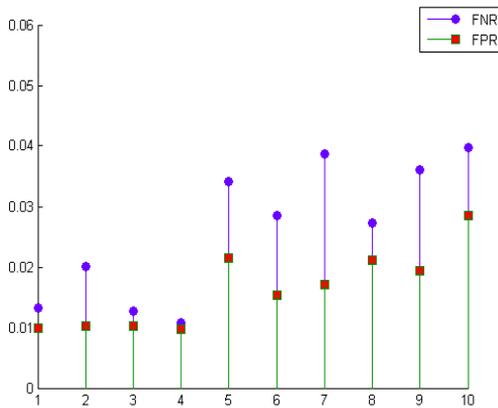


图 5 基于三视图的肝脏分割结果



(a) 本文方法和文献[6]方法的 TPR 结果



(b) FPR 和 FNR 结果

图 6 10 套肝脏 CT 数据集的 TPR、FPR 和 FNR 结果

3 结论

针对肝脏分割结果中的误分割和漏分割问题,文中将三视图的概念引入到肝脏分割领域,在重构的 CT 三视图图像

基础上,充分利用了肝脏灰度特性和形状特性互补的信息,提出了一种组合三视图分割结果的置信连接肝脏分割方法。该方法结合了置信连接算法的准确性和全自动处理的时间效率,无需用户选取种子点或勾画初始轮廓,易于医护人员操作该方法,有效减少了肝脏与相邻器官的灰度相似性造成的误分割和漏分割现象,进一步提高了肝脏自动分割的准确率。

参考文献:

- [1] Suzuki K, Kohlbrenner R, Epstein M L, *et al.* Computer-aided measurement of liver volumes in CT by means of geodesic active contour segmentation coupled with level-set algorithms [J]. *Medical Physics* (S0094-2405), 2010, 37(5): 2159-2166.
- [2] Gletsos M, Mougiakakou S G, Matsopoulos G K, *et al.* A computer-aided diagnostic system to characterize CT focal liver lesions: Design and optimization of a neural network classifier [J]. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedical* (S1089-7771), 2003, 7(3): 153-162.
- [3] Feuerstein M, Mussack T, Heining S M, Navab N. Intraoperative laparoscope augmentation for port placement and resection planning in minimally invasive liver resection [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging* (S0278-0062), 2008, 27(3): 355-369.
- [4] Song X, Cheng M, Wang B, *et al.* Preoperative Planning for Liver Surgery based on CT Images [J]. *Advances in Information Sciences and Service Sciences* (S1976-3700), 2012, 4(11): 54-60.
- [5] 程明, 黄晓阳, 黄绍辉, 等. 定向区域生长算法及其在血管分割中的应用 [J]. *中国图象图形学报*, 2011, 16(1): 44-49.
- [6] 宋晓, 程明, 王博亮, 等. 置信连接的自动肝脏分割方法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2012, 24(9): 1188-1192.
- [7] Lee M, Cho W, Kim S, *et al.* Segmentation of interest region in medical volume images using geometric deformable model [J]. *Computers in Biology and Medicine* (S0010-4825), 2012, 42(5): 523-537.
- [8] 白雪飞, 王文剑, 梁吉业. 基于区域显著性的活动轮廓分割模型 [J]. *计算机研究与发展*, 2012, 49(12): 2686-2695.
- [9] Linguraru M G, Pura J A, Pamulapati V, Summers R M. Statistical 4D graphs for multi-organ abdominal segmentation from multiphase CT [J]. *Medical Image Analysis* (S1361-8415), 2012, 16(4): 904-914.
- [10] 卢振泰, 郑倩, 冯衍秋, 等. 基于熵和局部邻域信息的高斯约束 CV 模型 [J]. *计算机学报*, 2013, 36(5): 1076-1085.
- [11] Heimann T, van Ginneken B, Styner M A, *et al.* Comparison and evaluation of methods for liver segmentation from CT datasets [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging* (S0278-0062), 2009, 28(8): 1251-1265.
- [12] Li C, Huang R, Ding Z, *et al.* A level set method for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities with application to MRI [J]. *IEEE Transaction on Image Processing* (S1057-7149), 2011, 20 (7): 2007-2016.
- [13] Li C, Xu C, Gui C, Fox M D. Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation [J]. *IEEE Transaction on Image Processing* (S1057-7149), 2010, 19(12): 3243-3254.
- [14] Chen X, Udupa J K, Bagci U, *et al.* Medical image segmentation by combining graph cuts and oriented active appearance models [J]. *IEEE Transaction on Image Processing* (S1057-7149), 2012, 21(4): 2035-2046.
- [15] Lee J, Kim N, Lee H, *et al.* Efficient liver segmentation using a level-set method with optimal detection of the initial liver boundary from level-set speed images [J]. *Computer Methods Programs in Biomedicine* (S0169-2607), 2007, 88(1): 26-38.