

# 基于Fast Marching Method的肝脏CT图像序列自动分割

侯晓丽<sup>①</sup> 王博亮<sup>①</sup> 黄绍辉<sup>①</sup> 宋晓<sup>①</sup>

**摘要** 快速行进法 (fast marching method, FMM) 已被证明在图像分割方面具有优势, 在此基础上提出了一个混合分割的算法。这个方法加入了图像分割后处理步骤, 成功解决了活体肝脏CT系列图像自动分割问题。首先是通过滤波去噪等处理得到速率系数图像, 然后根据CT图像相邻层间的相似特点计算FMM所需的参数进行图像分割, 最后使用开运算修正肝脏边缘。整个序列分割过程只需用户定义一个种子点, 减少了人工干预, 从而提高了效率和准确性。

**关键词** 快速行进法 肝脏 CT图像 图像分割

Doi:10.3969/j.issn.1673-7571.2009.02.011

Automatic Segmentation of Serial CT Liver Images Based on Fast Marching Method/HOU Xiao-li, WANG Bo-liang, HUANG Shao-hui, etc//China Digital Medicine.-2009 4(2): 32 to 35

**Abstract** It has been proved that Fast marching method (FMM) has advantage in image segmentation. Based on this method, a hybrid segmentation method is proposed. Added with an image segmentation post-processing, the segmentation of liver slices has been solved successfully. In this method, first, a speed image is produced after pretreatment such as filtering and noise reduction and etc. According to the characteristics of serial CT liver images, FMM parameters are attained from contiguous slice outcome to segment the CT image. Finally, boundary is corrected by open operation fitting liver. In the whole process, only a seed point is need, so, in certain degree, it has reduced the manual participation, and the precision of recommendation is raised.

**Keywords** fast marching method, liver, CT image, image segmentation

**Fund project** National Natural Science Foundation of China (No. 30770561, 60701022) the Ministry of Health Scientific Research Foundation—United Fujian Provincial Health and Education Project for Tackling the Key Research, P.R.C. (No. WKJ2005-2-001)

**Corresponding author** Computer Science Department of Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province P.R.C.

## 1 引言

肝癌是全球常见的恶性肿瘤之一, 死亡率非常高, 在我国的恶性肿瘤死亡顺位中居第二位。手术在肝癌治疗中的作用极其重要, 以前是由手工描绘肝CT序列中每一张的肝脏边界来计算肝脏体积, 这种方法费时费力, 效率很低。近年来, 随着计算机辅助设计 (computer aided diagnosis, CAD) 的发展, 肝癌的诊断和体积计算变得更加准确和方便。肝脏CAD需要准确的分割肝实质, 但由于人体解剖结构复杂、肝脏形状不规则, 加上CT序列中相隔较远的层中肝脏形状位置差别很大, 且CT图像存在部分容积效应 (partial volume artifacts), 导致邻接组织边缘分界不清, 与肝邻接的组织也与其有着相似的灰度分布, 大大增加了肝脏序列自动分割的难度。因此, 传统的分割方法不能直接用于临床实践, 需要寻求一种有效的肝脏CT序列自动分割方法。

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 30770561, 60701022);

卫生部科学研究基金-福建省卫生教育联合攻关计划资助项目 (编号: WKJ2005-2-001)

①厦门大学计算机科学系, 361005, 福建省厦门市思明南路422号

传统的图像分割方法可分为基于灰度、基于变形模型和基于统计模型三种。对于基于灰度的分割方法，Lim<sup>[1]</sup>等人提出用多级阈值和形态滤波提取一个初始的轮廓，然后通过分析边界附近的梯度信息和灰度分布来优化初始结果，这种方法虽然能得到精确的肝脏边界，但需要手工设置每一步的参数。对于基于变形模型的分割方法，Shaohui Huang<sup>[2]</sup>等人提出一种基于GVF Snake的分割算法，虽然弥补了传统Snake不能收敛到凹形区域的缺点，但仍需要大量的处理时间。闵小平<sup>[3]</sup>等人介绍的基于主动形变模型的分割方法，需要每间隔几幅抽取一幅图像手工分割，对分割结果使用主成份分析方法生成可变形轮廓模板，再用这个模板去变形、配准、分割其他图像。这种方法需要大量手工操作，且输入手工分割的层间间隔对精度也有一定影响。对于基于统计模型的分割方法，Lamecker<sup>[4]</sup>等人通过对43组肝脏数据的主成份分析得到一个统计模型，通过增加形状模型使当前层的肝脏边界与模型的最小加权二乘误差最小来优化统计模型，这种方法需要的时间和精力过多，且对肝脏形状变化不敏感，有一定的局限性。

Osher和Sethian<sup>[5]</sup>提出用level set方法来模拟动态曲线和曲面，事实证明Level set法在解决曲线进化方程问题时是一个相当有力的工具。Level set法的优点是：可以处理尖锐的角落，并具有很强的改变拓扑的能力。它可以把复杂形状的物体边界分割出来，特别是在处理具有复杂外形的医学图像时，优势更加明显。这种方法的一个最大缺点是速度慢，Sethina<sup>[6]</sup>根据Eikonal方程中曲线演化速度恒为非负或非正的特点，从另外的角度进一步

提出了快速行进法（FMM）来求解传播时间T，大大提高了运行速度。

本研究将Fast Marching法应用到肝脏CT序列分割，提出一种实现活体肝脏CT图像序列的自动分割方法。该方法参数的设置对分割结果有一定的影响，若对每张图像都手工设置参数，工作量大且效率不高。通过实验，发现相邻的层间肝脏具有相似性，根据这一特性对相邻层的分割结果进行计算，获得各个参数。整个过程只需要用户输入一个种子点，尽量减少人工干预，提高了分割的效率和准确性。

## 2 分割方法基本原理

2.1 Level set method Osher和Sethian最先将水平集(level set)方法用于实现曲线的演化<sup>[5]</sup>。水平集方法的主要思想是将移动的界面作为零水平集嵌入高一维的水平集函数中，这样由闭超曲面的演化方程可得到水平集函数的演化方程，而嵌入的闭超曲面总是零水平集，最终只要确定零水平集即可确定移动界面演化的结果。这个演化依赖于曲率的速度。

具体来讲，在水平集方法中，所有在零水平集上的点 $x(t)$ 的水平集的演化函数值为零：

$$\phi(x(t), t) = 0 \quad (1)$$

由求导的链式法则有：

$$\phi_t + \nabla\phi(x(t), t) \cdot x'(t) = 0 \quad (2)$$

函数F表示曲面在法量向上的运动速度，则有：

$$\phi_t + F|\nabla\phi| = 0 \quad (3)$$

因此，演化的边界可以通过下式计算出来：

$$\Gamma(t) = \{(x, y) | \phi(x, y, t) = 0\} \quad (4)$$

这里速度函数F与零水平集曲线

的曲率K成反比，K可通过曲线的法向量的散度计算得出如下：

$$K = \nabla \cdot \frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|} = \frac{\phi_{xx}\phi_y^2 - 2\phi_x\phi_y\phi_{xy} + \phi_{yy}\phi_x^2}{(\phi_x^2 + \phi_y^2)^{3/2}} \quad (5)$$

## 2.2 Fast Marching Method (FMM)

上述思想存在一个很大的缺点就是运算量大，因为level set method对所有的水平集都要进行计算，而不只是针对与传播前沿相关的零水平集。Sethina<sup>[6]</sup>等人根据Eikonal方程中曲线演化速度恒为非负或非正的特点，提出求每个Level set到达时间的方法，即FMM。该方法中速度项F始终是单向的，因此可大大提高运算速度。

问题可变为求解方程：

$$\nabla T \cdot \nu(x) = \phi(x), \quad \text{这是一个表示曲线随时间进化的Eikonal方程，还可表示为如下形式：假设} T(x, y) \text{为曲线穿越点}(x, y) \text{的时间，曲面} T(x, y) \text{满足方程：} |\nabla T| F = 1 \quad (6)$$

从方程（6）可以看出：到达时间的梯度与传播前沿的速度成反比。

## 3 序列分割的实现

序列分割分为三步，首先用改进的曲率扩散滤波对图像进行平滑去噪，然后计算梯度强度值并用sigmoid滤波得到速率系数图像，最后用FMM分割肝脏。

3.1 滤波去噪 由于机器等因素，图像上存在一定的噪声干扰，给分割带来困难，因此在分割前要先对图像进行平滑处理（处理前图像见图1a）。一般传统的滤波会导致边缘模糊，所以这里用一个改进的曲率扩散滤波来平滑图像。与传统的滤波相比，改进的曲率扩散滤波具有更低的敏感度，并且更好地保留了图像中的细节，能够保护图像边缘(见图1b)。

改进的曲率扩散方程为:

$$f_t = |\nabla f| \nabla \cdot c(|\nabla f|) \frac{\nabla f}{|\nabla f|} \quad (7)$$

其中电导改进曲率系数为:  $\nabla \cdot \frac{\nabla f}{|\nabla f|}$  (8)

3.2 计算梯度强度并生成速率系数图像 先将上步得到的图像和一个高斯核卷积, 然后用一个差分操作得到图像的梯度强度(见图1c)。利用sigmoids函数将梯度强度映射到一个范围内, 作为下一步FMM的速率系数(见图1d)。

函数: 
$$I' = (Max - Min) \cdot \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{I - \beta}{\alpha}\right)}} + Min \quad (9)$$

其中I是输入像素的值, I'是输出像素的值, Max和Min是输出图像的最大值和最小值,  $\alpha$ 定义了输入像素值范围的宽度,  $\beta$ 定义了围绕在范围中心的像素值。为了得到一个最佳的速率参数, 取Max=1.0, Min=0.0, 则(9)可表达

为: 
$$I' = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{I - \beta}{\alpha}\right)}} \quad (10)$$

通过实验选取适当的 $\alpha$ 和 $\beta$ 值, 达到效果最好, 此时速率参数图像的值在低梯度强度的均匀区域接近1, 而在高梯度强度的边缘则迅速降至0。

3.3 用FMM分割肝脏 将sigmoids图像的像素值作为水平集运动和微分方程中的速率系数来计算水平集运动的速度, 由方程(6)可知到达时间和传播速率成反比, 也就是说接近梯度强度高的区域传播速率很慢, 而在梯度强度很低的区域传播速率很快。这种方式轮廓不断传播直至到达边缘, 并在边缘前将速率降低下来。输出是一个时间交叉图, 每个像素的值也就是到达这个像素所用的时间, 然后对输出图像作门限处理, 即在这个时刻对轮廓取一个快照, 得到的二值图像即为肝脏的区域(见图1d)。

FMM需一个种子点, 在这个种子点的基础上沿轴线另外设置几个种子点以得到一个种子点集供轮廓扩张。一个好的种子点集可以减少访问整个对象所需的时间, 同时可减少访问漏洞的风险。种子点的选取对分割效果有很大影响, 最好选在要分割的对象中间位置。根据相邻层间肝脏形状、位置的相似性可知, 相邻两层肝脏范围的中心位置也很相近, 因此可以选用相邻的上一层分割结果的几何中心作为种子点。若种子点位于肝内血管的边缘, 则有可能分割不足, 遇到这种情况应给种子点一个向左上方的偏移。

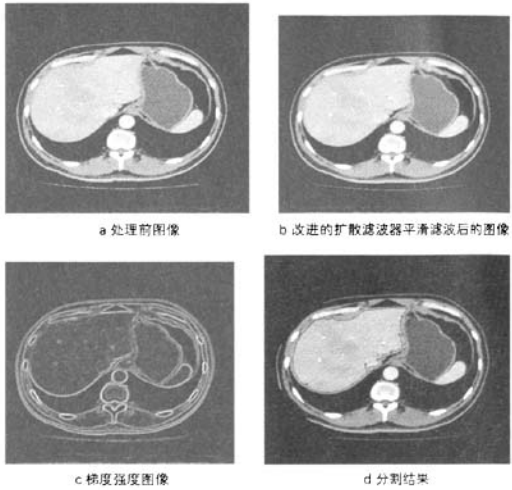


图1 分割过程

由于序列中间一层CT图像的肝脏面积比较大, 容易辨认, 因此取这一层作为第一张分割, 用户只需在能观察到的肝脏区域接近中心的位置设置一个种子点即可。这一层分割的结果作为前一层和后一层确定参数的依据, 然后分别向前和后分割各层, 直至序列分割结束。向前分割的流程见图2, 向后分割与此类似。

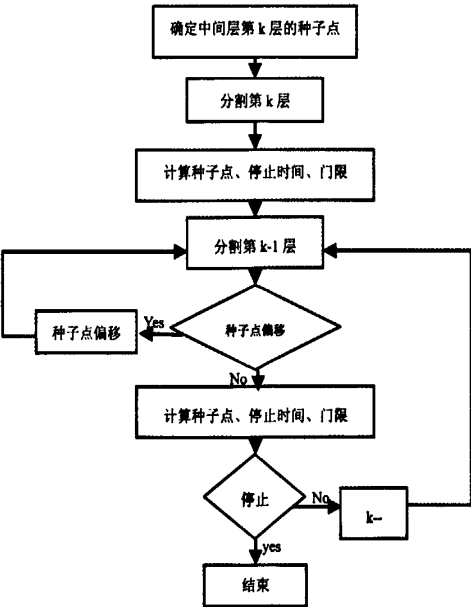


图2 序列分割流程图

## 4 修正边缘

在序列中有一部分图像中的肝脏与腹部肌肉或其他器官接触, 而二者的灰度值非常相似, 有可能会造成分割超

出边界（见图3a），为解决这个问题对结果图像作一次开运算，即对图像先进行腐蚀运算，再进行膨胀运算，可消除图像中的散点和毛刺。经过开运算处理，可除去大部分超出边界的部分（见图3b），最后得到较为精确的分割结果。

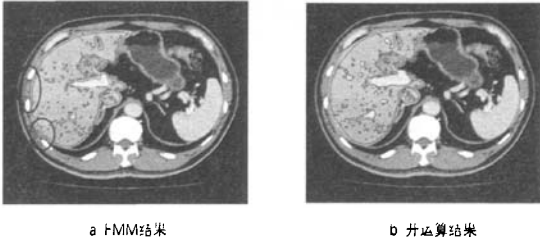


图3 开运算

## 5 结论

通过对4组约830张CT图像序列进行实验，证实上述方法对不同患者的CT图像进行分割，基本都能得到理想的结果。该方法由于考虑了导致水平集效率低下的主要因素，大大减少了对水平集函数值的求解，在很大程度上提高了算法的分割效率。与以往的方法相比，只需用户手工输入一个种子点，而不是肝脏轮廓，且FMM所需的参数可以直接在分割过程中计算得到，减少了人工参与，因此具

有更强的适用性和更高的自动化程度，可用于肝脏手术计划的制定。

## 参考文献

- [1] Lim Seong-Jae, Jeong Yong-Yeon, Ho Yo-Sung. Automatic liver segmentation for volume measurement in ct images[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(4): 860-875.
- [2] Huang Shao-hui, Wang Bo-liang, Huang Xiao-yang. Using GVF Snake to Segment Liver from CT Images. Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors MIT, Boston, USA: 2006: 145-148.
- [3] 闵小平, 王博亮, 戴培山, 等. 基于主动形变模型的医学序列图像的分割[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(22): 5331-5335.
- [4] Lamecker H, Lange T, Seebass M. Segmentation of the live using a 3D statistical shape model. ZIB-Report, 2004, (4-9): 1-25.
- [5] Osher S, Sethian JA. Fronts Propagating with Curvature Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulation[J]. Journal of Computational Physics, 1988, 79(1): 12-491.
- [6] Sethian JA. Fast Marching Methods[J]. SIAM Rev., 1999, 41: 199-235.

【收稿日期：2008-12-23】

（责任编辑：赵士洁）

## 中国国际医疗器械博览会首次划分CMEF IT展区

本刊特约通讯员王宇辉、孙恒报道 在2009年4月18至21日深圳举行的第61届中国国际医疗器械博览会上，CMEF IT展区将作为一个新的展区出现在大众面前。参展企业包括诸如英特尔医疗领域合作伙伴研华科技等一大批医疗IT类供应商。这些企业将与GE、西门子、新华、东软等传统医疗器械领军企业一起，共同展示在临床医疗信息化方面的最新技术和产品，借助CMEF平台更好地推进中国医疗信息化的发展。

作为中国国际医疗器械博览会（以下简称CMEF）的一个新的专业分区，CMEF IT展区浓缩了医院信息化产业的发展进程，展示医院信息化领域使用的最新技术，为医院信息化产品采购与更新提供了便捷的途径，也帮助众多的医院信息化供应商开拓国内外医疗领域市场。与医院信息化相关的一系列论坛与会议也将在展会现场与CMEF IT展区同期推出，研发人员、供应商、医院终端三方的智慧在此碰撞，必定能为医院信息化产业发展提供最前沿的理论支持与最有价值的市场信息。

CMEF IT展区迎合了当前医疗信息化发展的趋势，在CMEF这个亚太区最大的医疗器械商业平台上设立。目前，医院信息系

统(HIS)已在国内医院大范围普及，中国医院开始迈入信息化的第二阶段——临床信息化阶段，这也为医院信息化供应商提供了巨大的商机。以医学影像存档与通信系统(PACS)为例，2008年中国PACS市场的总需求达211.7亿元。如果考虑到由PACS衍生出的高档影像设备以及其他一些附属设备市场，其总市场容量将达到300亿元以上。

在CMEF IT展区，医院信息化企业能够展示最新技术和产品，了解行业最新发展趋势，直接面对医院终端和高质量经销商，并开拓广阔的世界医疗市场。

CMEF IT展区不仅包括了与医院临床信息化直接相关的病人监护信息系统、麻醉监护信息系统、医嘱处理系统、医生工作站系统及各类辅助科室与病人信息有关的检验信息系统、放射信息及PACS系统、心电信息系统、临床药房系统，还包括了诸如语音识别技术、条码技术、无线网络应用、数据安全技术及平板电脑（Tablet PC）、掌上电脑PDA或手持设备、服务器、存储、终端设备等新技术和硬件产品。