

文章编号:1002-2082(2010)04-0593-04

改进的live-wire交互式胸片图像分割

张 微, 陈树越, 李全栋

(中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原, 030051)

摘 要: 肺部轮廓提取是计算机辅助诊断 (computer-aided detection, CAD) 的关键之一, 并且能为医生提供可靠的诊断数据。提出了一种交互式肺部分割方法, 用优化的Gabor 奇滤波器对胸片图像进行滤波得到边缘响应能量图, 然后用此边缘响应能量值来构造Live-wire 代价函数进行肺部分割。实验表明该算法能正确区分强弱边缘, 快速有效地提取出肺部轮廓, 与传统算法相比, 能减少人机交互次数, 更具鲁棒性和效率性的优点。

关键词: 医学图像分割; 胸片图像; live-wire 算法; Gabor 奇部滤波器

中图分类号: TN911.73; TP391

文献标志码: A

Improved live-wire algorithm for interactive medical image segmentation

ZHANG Wei, CHEN Shu-yue, LI Quan-dong

(School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Lung extract is very important for computer-aided diagnosis, and it provides reliable diagnostic data for doctors. This paper presents an interactive lung segmentation method. Firstly, using optimized Gabor odd filter to filter chest X-ray image, and we can get a map of edge response energy. Then, using the edge response energy values to construct live-wire cost function, which can segment chest image. Test shows that this algorithm could correctly distinguish strong and weak edge, and extract the lung's contour quickly and effectively. Compared with the traditional algorithm, it reduces the number of human-computer interactions, which is more robust and efficient.

Key words: medical image segmentation; chest radiograph; live-wire algorithm; odd Gabor filter

引言

图像分割是指把图像中感兴趣区域提取出来。医学图像分割的研究具有重要的意义。图像引导手术、肿瘤放射治疗、治疗评估和CAD等应用研究都是以图像分割作为基础的。同时它也是组织的三维重建后续工作的基础。医学图像分割从发展到现在主要分为3种:一是手动分割;二是完全依赖计算机的自动分割;三是人机结合的交互式分割。手动分割耗费时间,且受主观影响较大;由于人体结构

组织不同,计算机自主分割的结果不能令人满意,准确性不能满足医学图像的应用要求。因此,自动分割虽然也在研究发展,但是对于交互式分割方法的研究确是医学图像分割的研究重点。

肺部图像分割也是CAD的关键之一^[1]。根据国内外这方面的研究,现有的肺区分割主要分为以下两类:一是基于规则的推理^[2],如阈值方法、区域增长、边缘检测、形态算子、几何模型或函数匹配及动态规划。二是像素分类,如神经网络、马尔可夫随

收稿日期:2009-12-25; 修回日期:2010-01-26

基金项目:山西省自然科学基金项目(2009011020-2)

作者简介:张微(1984—),女,四川都江堰人,硕士研究生,主要研究方向是医学图像处理。E-mail:zwdjy.123@tom.com

机场模型等等。

live-wire^[3]是典型的交互式分割方法, 具有高精度和重复性, 在减少人工干预的情况下, 一方面弥补了自动分割的不足, 另一方面增加了手动分割的准确性。传统的 live-wire 对噪声敏感, 受图像弯曲程度影响。本文中提出一个改进的 live-wire 算法, 与实际的医学图像相结合, 提高算法的性能。

1 live-wire 算法

live-wire 算法基于动态规划图搜索算法, 图搜索算法是在全图范围内寻找优化的边界。Mortensen 等人在文献中对 live-wire 算法作了详尽的介绍。对于一幅图像, 图像中的像素被描述成一个正方形, 相邻像素有一条公共边, 称为元边。每个元边都被赋予了权值, 当该元边为边缘像素时, 其权值较小; 当该元边不为边缘元素时, 其权值较大。这样, 该图像可确定一个赋权图 $G=(V, E)$ 。此处, V 为像素集合, E 为元边集合。

若已知 2 个像素在同一条闭合的边缘曲线上, 求取两点间的边缘曲线即为求取最佳路径, 图像中目标物体的边缘跟踪问题被转化成赋权图的最优路径搜索问题。该算法主要分为 2 大部分, 初始化部分和动态规划部分。

1.1 初始化-构造代价函数

设 p, q 是两个相邻像素, 传统的代价函数为^[4]

$$l(p, q) = w_G \times f_G(q) + w_z + f_z(q) + w_D \times f_D(q) \quad (1)$$

式中: $l(p, q)$ 为代表 p 到其邻接像素 q 的局部代价; w_G, w_z, w_D 代表加权系数; $f_G(q), f_z(q), f_D(q)$ 代表对应像素 q 处梯度特征函数、laplace 过零点特征函数和光滑度约束函数。

$$f_G(q) = 1 - G(q) / \max(G) \quad (2)$$

$$f_z(q) = \begin{cases} 0 & \text{if } L(q) = 0 \\ 1 & \text{if } L(q) \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$f_D(q) = 2 / (3\pi) |\cos [D(p) \times |p - q|]^{-1} + \cos [D(q) \times |p - q|]^{-1}| \quad (4)$$

式中: $G(q)$ 和 $L(q)$ 分别给出了像素 q 处梯度的幅值和 laplace 值; $D(p)$ 和 $D(q)$ 分别代表图像中 p, q 两点梯度的单位法向量。这里, 有 $\forall p, q$, 有 $0 \leq l(p, q) \leq 1$ 。

1.2 动态规划—寻找最佳路径

对于图中任意两点的所有路径中, 寻找累计代

价值最小的路径作为最佳路径^[5]。其中, 路径的积累代价值为构成路径的连续元边的代价值之和。使用 Dijkstra 算法用来解决最短路径, 首先按路径长度递增的次序产生起始点到目标点的最短路径。将图中顶点集合 V 分成两组: 1) 已经求出的最短路径的顶点集合 (用 S 表示); 2) 其余未确定的最短路径的顶点集合 (用 U 表示)。按最短路径长度递增次序依次将 2) 中的顶点加入 S 中。在此过程中, 总保持原点 V 到 S 中的各顶点的最短路径不大于 v 到 U 中各顶点的最短路径长度。

求两节点间 (起始点 v_s , 终点 v_e) 的最优路径的算法实现步骤描述如下:

1) v_s 的累积代价值 $\infty(v_s)$ 设为 0, 其余节点的累积代价值为 ∞ ; 累积代价值的判决门限为 T_{cc} ;

2) 初始化队列 Q , 把初始节点 v_s 置入待处理的节点队列 Q 中;

3) 从 Q 中移出一个累积代价值最小的节点 v , 并将 v 置入队列 L ; 对于 v 的每一个 4 邻节点 $v', v' \in L$, 计算 $cc(v) + c(b')$, 则使 $cc(v') = cc(v) + c(b')$, 并将节点 v 的方向信息保存在 $dir(v')$ 中; 如果 $v' \in Q$ 则将 v' 插入到 Q 中; 如果 v' 点为终点, 则跳出循环。记录 $dir(v')$, 找到最优路径。

1.3 不足之处

首先, 传统的代价函数中使用图像梯度图和 laplace 算子对噪声相对敏感, 所以如果图像有噪声干扰时, 得到的结果就可能错误。

其次, 我们知道 laplace 算子平滑图像由参数 δ 决定, 当 δ 过大时, 噪声的滤波效果较好, 但是却丢失了图像的细节, 处理图像时不能正确区分强弱边缘; 反之, 当 δ 过小时, 由于平滑程度不够, 而无法抑制噪声。

当然如果用传统的算法处理图像时, 选取很多种子点会提高实验的精确程度, 但是我们的目的是快速、准确、有效地提取轮廓, 这样就无法体现出交互式算法的优点。

2 改进的 live-wire 算法

本文中提出用 Gabor 滤波器边缘检测算子来构造代价函数。Gabor 变换^[6], 又称短时傅里叶变换, 它能很好地兼顾信号在时域和频域的分辨率。而且人类的视觉对这种函数有非常好的匹配性。在二维情况下, 对于阶跃边缘, 在 Gabor 滤波器的频

率和空间常数乘积接近于 1.8 时可以得到最佳的边缘检测效果^[7]。

2.1 Gabor 滤波器边缘检测原理

Gabor 函数是一个被高斯函数调制的, 具有特定方向和频率的正弦平面波。它的表达式为

$$G(x, y) = g(x, y) \exp[w(x \cos \theta + y \sin \theta)] \quad (5)$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x+y}{\sigma}\right)^2\right] \quad (6)$$

式中: σ 是 Gaussian 的方差; ω 表示调制频率; θ 是梯度方向角。

Gabor 函数实现是复数形式的函数, 可以分解成实部和虚部。虚部正是我们所需要的边缘检测算子

$$I(x, y) = g(x, y) \sin(\omega(x \cos \theta + y \sin \theta)) \quad (7)$$

一般是尽可能多地使用 Gabor 滤波器进行边缘检测, 不同方向的滤波器对输入图像滤波, 然后选取最大响应作为边缘输出, 但是这样做计算量大, 耗费大量时间。这里使用一种有效的、定方位的、鲁棒的滤波器边缘检测^[8]。

在边缘检测中, 滤波器的平滑性能对去除噪声有着很重要的作用, 对于 canny 边缘算子的第一步就是高斯平滑滤波, 对于奇 Gabor 滤波器来说, 它也具有这一性质^[8]。

$$I(x, y, \sigma, \omega, \theta) * g(x, y, \sigma) = c * I(x, y, \sqrt{2}\sigma, \frac{\omega}{2}, \theta) \quad (8)$$

这里, c 是一个常数。由公式(8)可以看出奇 Gabor 滤波器也具有平滑性。另外传统的 Gabor 滤波器需要对图像中每个像素对应不同的模板, 使得时间花费很长, 这里我们仅考虑^[9] $\theta_i = \frac{(i-1)\pi}{2}, i = 1, 2$, 此时有

$$I_i(x, y, \omega, \theta) = g(x, y, \sigma) * \sin[\omega(x \cos(\theta_i) + y \sin(\theta_i))] \quad (9)$$

输入一个图像 $f(x, y)$, 滤波后的边缘响应能量

$$E(x, y, \sigma, \omega) = \sqrt{\sum_i [I_i(x, y, \sigma, \omega, \theta_i) * f(x, y)]^2} \quad (10)$$

方向角定义为

$$A(x, y, \sigma, \omega) = \arctan\left[\frac{I_2(x, y, \sigma, \omega, \theta_2) * f(x, y)}{I_1(x, y, \sigma, \omega, \theta_1) * f(x, y)}\right] + \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

可以利用 FFT 来实现模板与输入图像的快速卷积。

2.2 改进的代价函数

由上面的理论我们得到改进后的局部代价函数

$$l(p, q) = \tau_c \times f_c(q) + \tau_g \times f_g(q) + \tau_D \times f_D(q) \quad (12)$$

式中: $f_c(q)$ 是 canny 算子边缘检测特征^[10]; $f_g(q)$ 是 Gabor 奇滤波边缘能量特征值, $f_g(q) = 1 - g(q)/\max(g)$, 这里 $g(q)$ 就是上面提到的滤波后边缘响应能量。

3 实验结果及分析

为了验证本文中提出的改进算法的有效性, 我们使用 Matlab 7.0 编写算法程序, 并使用了大量的医学图像进行实验, 通过鼠标选择种子点, 在强拐弯处或尖点处我们再指定种子点, 这样我们仅需要 3~4 个种子点就可得到比较理想的轮廓图, 减少了人机交互次数。结果如图 1 所示。

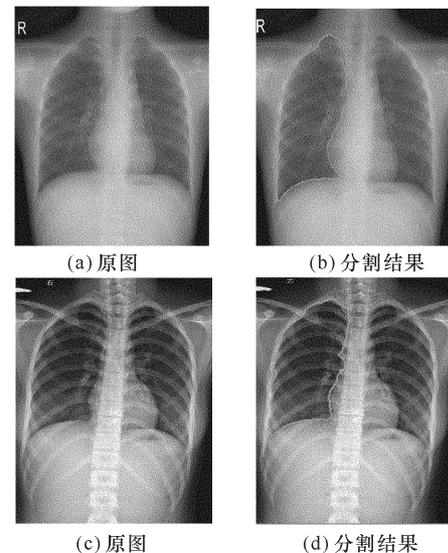


图 1 肺部分割结果

Fig. 1 Lung segmentation results

图 1 中, (a) 和 (c) 是 CR 胸片图, (b) 和 (d) 是分别使用本算法得到的肺部轮廓图, 都准确地提取出了我们需要的肺部轮廓。

图 2 是将传统的算法与本文算法相比较, 我们在这里选取了同一拐弯处的 3 个种子点得到的轮廓图, 可以很明显地看出使用传统分割时由于肺部组织的干扰而出现了过分割的现象, 而使用本算法能很准确地提取出肺部轮廓。当然如果在组织干扰处使用很多种子点也可获取比较精确的轮廓, 但是这样会浪费大量的时间。实验表明改进的算法能正

确区分强弱边缘,在图像质量好或者不好的情况下,都能比较好地提取我们所感兴趣的区域。在没有改变传统代价函数复杂度的情况下,图像分割的性能和精确度都有所提高。

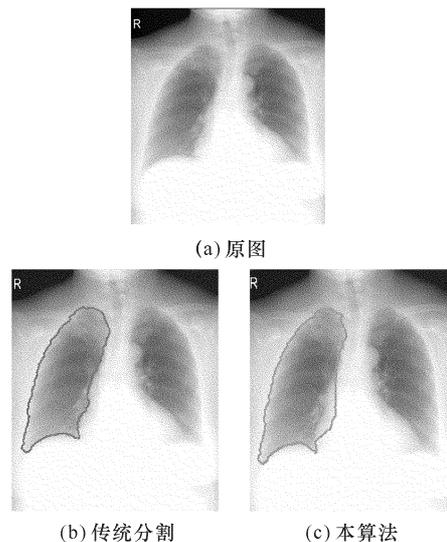


图 2 改进前后算法的对比

Fig. 2 Comparison of before and after improvement algorithm

4 结论

本文针对传统 Live-wire 算法的不足提出了改进方法,通过分析代价函数提出了用优化的 Gabor 奇滤波代替梯度算子。该算法能正确区分图像的强弱边缘,得到了较好的肺部分割效果,为下一步的肺部识别或者医学图像序列的自动分割等等提供了一种比较有效的方法。

参考文献:

[1] COPPINI G, DICIOTTI, FALCHINI M, et al. Neural network for computer-aid diagnosis: detection of lung nodules in chest radiograph[J]. IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine, 2003,7(4):344-357.

[2] VAN GINNEKEN B, TER HAAR ROMENY BM, VIERGEVER MA. Computer-aided diagnosis in ch-

est radiography: a survey[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2001,20(12):1228-1241.

[3] FALCAO AX, UDAPA JK, SAMARASEKERA S, et al. User-steered image boundary segmentation [J]. SPIE, 1996,2710:278-288.

[4] BARRETT WILLIAM A, MORTENSEN ERIC N. FAST accurate and reproducible live-wire boundary extraction [C]. Hamburg: Proceeding of the 4th International Conference on Visualization in Biomedical Computing, Germany, 1996.

[5] 田捷. 医学影像处理与分析[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

TIAN Jie. Medical image process and analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. (in Chinese)

[6] GABOR D. Theory of communication [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1991,93(3):429-457.

[7] MEHROTRA R, NAMUDRURI KR, RANGANATHAN N. Odd gabor filter based edge detection [J]. Pattern Recognition, 1992,25(12):1479-1494.

[8] MEHROTRA R, NAMUDURI KR, RANGANATHAN N. Odd gabor filter-based edge detection [J]. Patten Recognition, 1992,25(12):1479-1494.

[9] 李志明,冯成德,张慧. 一种基于 Gabor 滤波器的超声图像边缘检测方法[J]. 中国测试技术, 2006,32(6):75-77.

LI Zhi-ming, FENG Cheng-de, ZHANG Hui. Edge detection in ultrasonic images based on odd gabor filters[J]. China Measurement Technology, 2006,32(6):75-77. (in Chinese with an English abstract)

[10] 党建武,张芳,胡铁钧,等. 基于 Live-wire 交互式医学图像分割算法研究及实现[J]. 计算机应用研究, 2008,25(10):3048-3050.

DANG Jian-wu, ZHANG Fang, HU Tie-jun et al. Research and improvement of Live-wire interactive algorithm for medical image segmentation [J]. Application Research of Computers, 2008,25(10):3048-3050. (in Chinese with an English abstract)