

文章编号:1001-9081(2009)12-3400-03

基于 GVF 模型与光流场的左心室容积计算

魏宇, 杨晓梅, 黄山

(四川大学 电气信息学院, 成都 610065)

(weiyu.scu@live.cn)

摘要: 针对目前利用心脏核磁共振图像计算左心室容积存在的分割困难和计算量大的问题, 提出了一种新的计算左心室容积的方法。首先采用基于梯度向量流的主动轮廓模型(GVF-snake)对左心室内膜进行分割获取初始轮廓线, 再采用光流法跟踪得到心脏序列中后续帧图像的心腔内膜轮廓线, 最后采用 Simpson 方法计算得到左心室容积。运用该方法得到的结果和用手工勾画心脏内膜轮廓得到的结果比较表明: GVF-snake 与光流运动跟踪相结合的方法用于左心室容积的计算是可行的。

关键词: 左心室容积; 主动轮廓模型; 梯度向量流; 光流; 运动跟踪

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Calculation of left ventricular volume based on GVF model and optical flow field

WEI Yu, YANG Xiao-mei, HUANG Shan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: Concerning the problems of difficult segmentation and large computation in calculating the Left Ventricular (LV) volume using tagged cardiac magnetic resonance image, a new method of calculating the LV volume was proposed. First an advanced snake model based on the gradient vector field (GVF-snake) was used to segment the contour of the left ventricular and an initial snake line of the contour was got, then optical flow method was used to track the contour of the LV in the successive images. Finally, the Simpson method was applied to calculate the volume of the LV. The comparison of the result by this method with the result got manually shows that the combination of the GVF-snake model and optical flow method is feasible to calculate the volume of the LV.

Key words: Left Ventricular (LV) volume; active contour model; gradient vector field; optical flow; motion tracking

0 引言

左心室容积是衡量左心室功能的重要指标之一, 通过比较舒张末期和收缩末期容积还可计算射血分数、每搏输出量等指标, 对于充血性心力衰竭、瓣膜返流性疾病和冠心病等患者的功能评价、疗效观察和预后判断具有非常重要的意义。

医学领域的成像技术比较多, 核磁共振图像由于对软组织具有很高的分辨率且图像质量受目标运动影响较小, 因而在医学领域的应用越来越广。在磁共振图像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)的基础上给心脏图像加上标记线, 称之为加标记线的心脏磁共振图像(Tagged Cardiac MRI)。Tagged Cardiac MRI 提供了一种非介入性的技术来研究心脏的运动, 标记线提供了心脏运动的丰富信息。

计算左心室容积的前提是分割得到心腔内膜的轮廓, 因此图像分割是本研究的基础也是关键所在。文献[1]使用 level set 理论对心脏 MRI 图像进行分析, 提出了一种半自动的计算左心室容积的方法, 指出这样可以节省大量的手动勾画轮廓的时间。文献[2]则使用主动轮廓模型方法对心脏 MRI 图像进行分割得到心腔边缘, 然后再构造出左心室的 3D 模型进而计算出左心室容积。文献[3]也比较了 snake 和 GVF-snake 方法用于心脏 MRI 的有效性, 指出 GVF-snake 方

法更适合用于计算左心室容积。对加标记线的左心室 MRI 图像, 由于一个完整的心动周期图像有一百多张, 每张都手工勾画心脏内膜轮廓的话是非常繁琐的, 将耗费很多的时间, 因此本文探索将 GVF-snake 和光流跟踪法相结合进行自动分割以获得全部左心室心腔内膜边界, 计算出心腔的面积和容积。

1 原理和方法

文献[4]提出的 snake 方法被广泛应用于图像的分割, 但 snake 方法不能得到凹陷内部的轮廓, 且力场作用范围较小, 对轮廓线的初始化比较敏感。文献[5]在 snake 模型中引入梯度向量流(Gradient Vector Flow, GVF)作为外力, 扩大了力场范围, 解决了传统 snake 方法的缺点, 因此采用 GVF-snake 模型进行边界分割。

标记线的存在使得应用 GVF-snake 方法分割心脏内膜轮廓时遇到了困难。分析图像的频谱图发现标记线的能量主要集中在几个谐波分量区域, 因此采用低通的方法将图像的主要能量提取出来。在此基础上利用 GVF-snake 方法进行分割, 得到一条初始的心腔轮廓线。

由于在心脏 MRI 的成像过程中, 随着时间的推移磁性逐渐衰减, 左心室内膜边缘也逐渐变得模糊, 因此对后续图像(收缩末期和舒张期间)直接采用 GVF-snake 方法进行分割

收稿日期: 2009-06-09; 修回日期: 2009-08-13。 基金项目: 四川大学青年基金资助项目(07008)。

作者简介: 魏宇(1986-), 男, 四川长宁人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理; 杨晓梅(1973-), 女, 四川成都人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 医学图像处理; 黄山(1969-), 男, 四川成都人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 图像识别、智能交通。

很困难。基于这一考虑,我们对后续图像进行轮廓的光流跟踪,以期得到同一序列中后续图像的心脏内膜轮廓。文献[6]指出带标记线的心脏 MRI 频谱图像的相位信息能够比较真实地反映心脏的运动,因此采用相位图像来计算光流。得到内膜轮廓线后,就可计算出每个序列内的每张图像的心腔内部轮廓面积。在得到了心腔内部轮廓面积后,使用 Simpson 法计算心腔的体积。

1.1 GVF-snake 模型

Snake 模型的基本思想是以一些控制点构成初始轮廓线,这条曲线在内部力和外部力的作用下,主动地向轮廓边界移动,进而实现对图像的分割。

Snake 曲线用 $X(s) = [x(s), y(s)]$, $s \in [0, 1]$ 来表示,通过求解如下能量函数 E 的最小值可以得到 snake 曲线的解:

$$E = \int_0^1 \left[\frac{1}{2} E_{\text{int}}(X(s)) + E_{\text{ext}}(X(s)) \right] ds \quad (1)$$

其中: $E_{\text{int}}(X(s))$ 称作为内部能量项,它控制着蛇形曲线的收缩舒张以及曲线的弯曲程度; $E_{\text{ext}}(X(s))$ 是外部能量项,它通常包含图像本身能量和潜在的约束能量两个部分。

GVF 模型使用 GVF 矢量场 $V(x, y)$ 替换传统 snake 模型的外力场,从而达到较好的分割效果。

1.2 光流跟踪

光流是观察者和被观察物体之间物体运动或光源发生变化产生的亮度变化。光流场是物体表面各点运动形成的速度场,它包含了物体表面的运动信息。光流法适合于检测连续、缓慢变化的运动,如肺部呼吸运动、心脏运动等,因此在本研究中探索用光流法对心脏内部轮廓线进行跟踪。

文献[7]推导出光流场运动分析的经典方法,但是他们提出的方法需要进行迭代计算,耗费时间较多。从减少时间开销的角度出发,我们采用的是 Lucas-Kanade 光流法^[8]。这种方法是非迭代的,它假设光流场在一个小的窗口 ($m \times m$) 内是恒值。将 (x, y) 作为中心点,下标从 1 到 n ($n = m \times m$)。得到一个矩阵方程组:

$$\begin{bmatrix} I_{x1} & I_{y1} \\ I_{x2} & I_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ I_{xn} & I_{yn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -I_{t1} \\ -I_{t2} \\ \vdots \\ -I_{tn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: V_x, V_y 是光流场在 x, y 方向的分量, I_x, I_y 和 I_t 分别是图像在 x, y, t 方向的微分。

一个更简洁的形式如下:

$$A\vec{V} = \vec{I}_t \quad (3)$$

作变换可以得到光流场计算公式:

$$\vec{V} = (A^T A)^{-1} A^T (-\vec{I}_t) \quad (4)$$

上述计算光流的方法称为基于梯度的方法。基于梯度的方法具有效率高,易于实现的优点。从光流的计算表达式可以看出,梯度的计算将大大影响到光流估计的最终结果。常用的梯度算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子等^[9]。本文中使用的是 Sobel 算子。

1.3 左心室体积计算

Simpson 法计算体积的主要原理为:将心腔看作是沿长轴均匀排列的若干个立体的柱状结构,将这些柱状结构体积加在一起,就是整个心腔的近似体积。而每个柱状结构的体积

等于心脏内膜的面积乘以柱状结构的高度。在得到了心脏内膜轮廓线之后就可以计算出心脏内膜面积,这里采用的是轮廓线中的像素点的数目来代表面积,而柱状结构的高度是由 MRI 扫描技术决定的,可以从图像信息中得到。这样就可以计算出左心室容积。

在计算心腔体积时将每个柱状结构作为均匀结构来处理,实际上柱状结构并不是完全均匀的,但我们认为这并不会影响我们对结果的评价。

2 实验步骤和结果

2.1 主要实验步骤

- 1) 用 GVF-snake 方法进行轮廓分割,得到序列图像中的一条初始轮廓线。
- 2) 获取相邻两幅图像的相位图像,计算光流场,利用光流跟踪的办法,得到下一帧图像的轮廓线。
- 3) 计算闭合轮廓内部的面积。
- 4) 循环处理直到所有的图片都处理完。
- 5) 计算心腔体积。

2.2 分割与跟踪的结果

图 1~2 是手动勾画和用光流跟踪得到的心脏内膜的分割图。

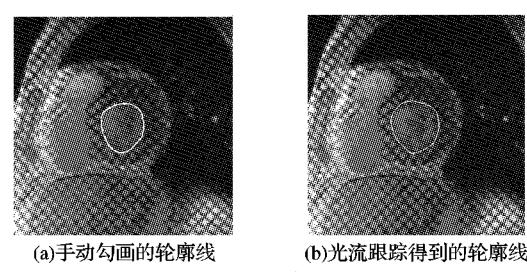


图 1 心脏内膜轮廓图(收缩期)
(a) 手动勾画的轮廓线 (b) 光流跟踪得到的轮廓线

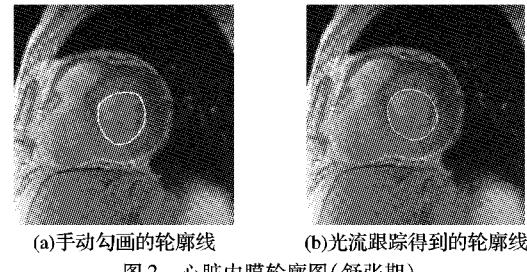


图 2 心脏内膜轮廓图(舒张期)
(a) 手动勾画的轮廓线 (b) 光流跟踪得到的轮廓线

从图 1~2 中可以看到用光流跟踪法能够大致地得到心脏内膜的真实轮廓,但是在一些边缘区域光流跟踪得到的曲线不能很好地逼近真实的轮廓。这主要是由于有的图片之间心脏变化幅度较大,光流不能很好地进行跟踪,这也是 Lucas-Kanade 方法本身存在的不足。另外,图像本身的成像质量也会导致得到的光流场存在不足,从而不能很好地进行跟踪。

2.3 体积计算的结果

表 1 是本文方法得到的实验结果和用手工勾画心脏内膜轮廓得到的结果。从中可以看出,用本文方法得到的心脏容积和用手工方法得到的心脏容积之间的误差大致在 5% 以内。误差存在的原因在于:在心脏收缩前期心脏变化幅度有点大,导致光流法跟踪得到的轮廓线和手动勾画的轮廓线存在较大的差异;另一方面,有的心脏内膜轮廓本身并不清晰,导致我们手动勾画的轮廓线与实际的内膜轮廓线也是存在误差的,这就进一步地导致本文方法与手动勾画法之间产生误差。

3 结语

本文在应用 GVF-snake 模型对左心室内膜进行分割得到初始轮廓线的基础上采用光流跟踪的方法对心脏内膜轮廓进行运动跟踪, 得到整个心动周期的心脏内膜轮廓线。将这种方法应用到实际的心脏 MRI 中计算左心室容积, 实验结果证明了这一方法的可行性和有效性。

光流跟踪采用的是 Lucas-Kanade 光流法, 具有计算量相对小、实现容易的优点, 但当图像之间运动较大时不能很好地进行跟踪。这个问题可以通过金字塔模型的光流估计加以改进, 这有待进一步的实验研究。

表 1 体积结果及误差

组别	本文方法 得到的体积 V_1	用手动方法 得到的体积 V_2	误差 $r/\%$
1	20 650	20 860	1.0
2	21 350	22 090	3.3
3	21 460	22 690	5.4
4	21 290	22 060	3.5
5	21 260	22 240	4.4
6	21 310	22 110	3.6

$$\text{注: 误差 } r = \frac{|V_1 - V_2|}{V_2} \times 100\%.$$

参考文献:

- [1] CORSI C, LAMBERTI C, CATALANO O, et al. Semi - automated

quantification of left ventricular volumes and mass from cardiac magnetic resonance images by level set models [C]// Computers in Cardiology. Chicago: IEEE, 2004: 149 - 152.

- [2] de PABLO M M G, MALPICA N, LEDESMA-CARBAYO M J, et al. Semi automatic estimation and visualization of left ventricle volumes in cardiac MRI [C]// Computers in Cardiology. Lyon, France: IEEE, 2005: 339 - 402.
- [3] 杨晓梅, 村赖研也. Snake-GVF 法和 Snake 法计算左心室容积的比较研究[J]. 数理医药学杂志, 2008, 21(4): 389 - 391.
- [4] KASS M, WITKIN A, TERZOPoulos D. Snakes: Active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321 - 331.
- [5] XU C, PRINCE J L. Snakes, shapes, and gradient vector flow [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(3): 359 - 369.
- [6] OSMAN N F, McVEIGH E R, PRINCE J L. Imaging heart motion using harmonic phase MRI [J] IEEE Transactions on Medical Imaging, 2000, 19(3): 186 - 202.
- [7] HORN B K P, SCHUNCK B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligence, 1981, 17(1): 185 - 203.
- [8] LUCAS B D, KANADE T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision [C]// Proceedings of Imaging Understanding Workshop. Vancouver, BC, Canada: [s. n.], 1981: 674 - 679.
- [9] 陈邦忠, 涂建平, 王秀坛, 等. 基于梯度的光流计算方法中梯度计算对性能的影响 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(2): 75 - 76.

(上接第 3399 页)

子节点的方向查找就能验证路径的合法性。路径树将孩子节点用循环链表连接起来, 孩子节点之间无先后顺序, 因此可以动态调整父亲节点保存的指向其孩子节点的指针。利用局部性原理, 在每次查找过程中, 将父亲节点中指向孩子节点的指针调整为最近一次查找的结果, 可以提高下一次查找的效率。

4 测试结果

在不同版本的 Windows 平台上创建进程的过程大同小异, 因而都可以使用本文所提到的方法来验证所创建的进程的合法性。本文的验证方法是在软件驱动中实现, 必须将该驱动加载进系统才能产生作用。加载驱动的方法有多种: 可以在注册表 HKLM\SYSTEM\services 项中添加驱动信息, 使系统在启动过程中加载驱动; 也可以使用 Osrloader 软件在系统运行过程中加载驱动。Osrloder 能动态加载并卸载系统驱动, 并不需要重启系统, 使测试过程更方便。

在 Windows Server 2003、Windows XP、Windows Vista 等系统上的测试结果显示, 本验证驱动能成功拦截进程的创建过程, 并根据验证规则验证所创建进程的合法性。不仅如此, 本验证驱动在 Windows 最新的操作系统 Windows 7 测试版上也能运行完好。图 3 是使用图 2 中所提到的路径树验证规则, 并通过 Osrloder 在 Windows 7 测试版系统上动态加载验证驱动后, 双击运行 VS 竞技游戏平台时, 系统所提示的信息。



图 3 Windows 7 上验证结果示例

如图 3 所示, 根据验证树规则, 安装在 E 盘的程序

VSClient 成功被验证驱动拦截并杀死, 系统提醒该进程已被杀死。由此可见, 只要设计好详细的验证规则, 就能使用本验证驱动来拦截并杀死恶意进程, 从而避免系统资源遭到破坏。

5 结语

通过在进程创建完成之前对其合法性进行验证并杀死恶意进程, 能够避免恶意进程破坏系统资源。本文描述的验证方法在 Windows 内核态对进程创建的过程进行拦截, 并验证进程的合法性。与前言中所提到的其他技术相比, 由于本文所提到的验证方法运行在系统底层的内核态空间中, 因此验证过程更安全。

本文不仅分析了 Windows 源代码来说明本验证方法的理论基础, 并且详细地说明了实现细节。安全系统的进程监控以及商业防火墙等软件可以利用本验证方法来提高系统的安全性。

参考文献:

- [1] Taking a snapshot and viewing processes [DB/OL]. [2009-04-10]. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms686701\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms686701(VS.85).aspx).
- [2] RICHTER J, NASARRE C. Windows 核心编程[M]. 5 版. 葛子昂, 周靖, 廖敏, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 14 - 17, 572 - 618.
- [3] RUSSINOVICH M E, SOLOMON D A. Microsoft Windows Internals, Third Edition: Inside Microsoft 2000[M]. Redmond, Washington, USA: Microsoft Press, 2001: 9 - 13, 72, 304 - 340.
- [4] MmGetSystemRoutineAddress[DB/OL]. [2009-04-10]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms801995.aspx>.
- [5] CORMEN T H, LEISERSON C E, RIVEST R L, et al. Introduction to algorithms [M]. 2nd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 2001: 214 - 216.