



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102881021 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201210414494. 9

(22) 申请日 2012. 10. 25

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 顾力栩 聂媛媛 罗哲

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵志远

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2006. 01)

A61B 8/08 (2006. 01)

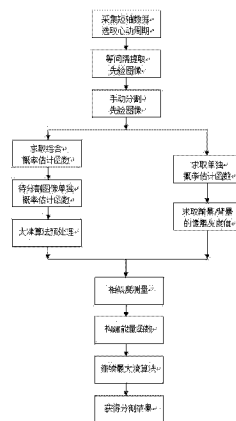
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,包括以下几个步骤:第一步,采集人体主动脉瓣短轴的医学超声图像数据,等间隔地提取五帧先验图像;第二步,分割五帧先验图像;第三步,构建二维灰度-距离直方图;第四步,由二维灰度-距离直方图计算获得综合概率估计函数;第五步,分别计算其各自单独的概率估计函数;第六步,对五帧先验图像,分别计算其各自最能代表前景和背景的像素灰度值;第七步,对于当前待分割图像,求取其独立的概率估计图;第八步,对上述前景区域和五帧先验图像的手动分割结果分别进行相似度测量;第九步,获得分割结果。与现有技术相比,本发明具有稳定可靠、实现方便、适用于实际临床等优点。



1. 一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,包括以下几个步骤:

第一步,采集人体主动脉瓣短轴的医学超声图像数据,选择一个连续完整的心动周期,等间隔地提取五帧先验图像,其中每帧先验图像会代表一个心动周期内的不同相位;

第二步,手动分割上述五帧先验图像,并计算每帧分割结果的包围盒,取其中最大的包围盒为后续过程使用;

第三步,根据先验图像分割结果各自的独立中心点,计算得到先验图像的一个综合中心点,以像素点的灰度值为横轴、以像素点与综合中心点的距离为纵轴,由上述五帧先验图像的分割结果构建一个二维灰度-距离直方图;

第四步,由上述二维灰度-距离直方图计算获得综合概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与综合中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

第五步,对上述五帧先验图像,分别计算其各自单独的概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与自身独立中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,同样,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

第六步,根据上一步已获得的单独概率估计函数,对五帧先验图像,分别计算其各自最能代表前景和背景的像素灰度值;

第七步,对于当前待分割图像,利用综合概率估计函数求取其独立的概率估计图,并采用大津算法对概率估计图进行预处理,保留前景区域;

第八步,对上述前景区域和五帧先验图像的手动分割结果分别进行相似度测量,找到先验图像中与当前待分割图像相似度测量值最高的图像,记该图像为  $I_{SM}$ ;

第九步,根据  $I_{SM}$  在第六步中已经获得的最能代表前景和背景的像素灰度值构建能量方程,确立能量方程中的数据项和平滑项,采用连续最大流算法进行图像分割,获得主动脉瓣短轴在一个心动周期内所有帧图像的分割结果。

2. 根据权利要求1所述的一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,所述的第四步中的综合概率估计函数为:

$$P(x) = P(F(x) | R(x), I(x)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P(F_i \cap R(x), I(x))}{P(R(x), I(x))}$$

其中,  $P(F_i)$  是像素点属于前景的概率,  $P(R, I)$  是灰度值为  $I$ 、与综合中心点距离为  $R$  的像素点属于前景的概率,  $n$  是先验图像的个数,此处  $n = 5$ ,  $F$  代表图像前景区域。

3. 根据权利要求2所述的一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,所述的第五步中的单独的概率估计函数为:

$$P_i(x) = P(F(x) | R(x), I(x)) = \frac{P(F \cap R(x), I(x))}{P(R(x), I(x))}$$

其中,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ , 分别代表上述五帧先验图像。

4. 根据权利要求1所述的一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,所述的第六步中的最能代表各先验图像的前景和背景的像素灰度值:

$$I_F^i = \sum_{p \in F} I(p) * P_{I(p)}^F$$

$$I_B^i = \sum_{p \in B} I(p) * P_{I(p)}^B$$

其中,F 代表图像前景区域,B 代表图像背景区域, $I(p)$  是像素点  $p$  的灰度值, $P_{I(p)}^F$  为灰度值是  $I$  的点属于前景的概率, $P_{I(p)}^B$  为灰度值是  $I$  的点属于背景的概率。

5. 根据权利要求 1 所述的一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,所述的第八步中的相似度测量  $SM_i$  :

$$SM_i = -\sum_{p \in A} \sqrt{(D_p - D_p^i)^2 + (I_p - I_p^i)^2}$$

其中, $p$  代表像素点的位置, $A$  代表第二步中所求出的最大包围盒的区域, $D_p$  和  $I_p$  代表待分割图像像素点与独立中心点的距离和其灰度值, $D_p^i$  和  $I_p^i$  代表先验图像  $i$  中对应像素点与独立中心点的距离和其灰度值, $SM_i$  越大,则相似度越高。

6. 根据权利要求 1 所述的一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,所述的第九步中的能量方程为 :

$$C_s(x) = |I_x - I_F| ;$$

$$C_f(x) = |I_x - I_B| ;$$

$$C_p(x) = 0.5 ;$$

其中, $x$  代表像素点的位置, $I_x$  代表该处像素点的灰度值, $C_s$  和  $C_f$  分别代表前景和背景的数据项, $C_p$  是平滑项, $I_F$  和  $I_B$  是第八步中寻找到的图像  $I_{SM}$  所对应的在第六步中求得的最能代表其前景和背景的像素灰度值。

## 基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种图像处理技术领域,尤其是涉及一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法。

### 背景技术

[0002] 医学超声成像由于其特有的优点,如实时性、无损伤性、可重复性、灵敏度高、成本低,而受到广泛的关注。在基于医学超声图像的主动脉瓣的临床诊断和治疗中,根据病人不同的病理情况,需要提取主动脉瓣的信息,其重要的一项手段就是图像分割。图像分割结果的好坏直接影响病变组织结构的定位、定量、定性分析,三维重建等后续操作以及图像引导手术、肿瘤放射治疗等所采取治疗规划的准确性。但是,由于主动脉瓣的医学超声图像存在以下特征,使得其分割成为一个困难棘手的问题:1) 超声图像分辨率、对比度低;2) 超声图像固有的斑点噪声的影响;3) 超声图像回波纹理特性;4) 主动脉瓣开放和闭合时造成的三个瓣叶的移动;5) 瓣叶和瓣环严重钙化造成的伪影。

[0003] 在传统的医学图像分割领域里,基于像素灰度的不连续性和相似性,其可以分为基于边缘检测的分割方法和基于区域的分割方法。前者在处理超声图像获取边缘信息时容易产生间断或者伪边缘,不能形成理想的闭合曲线,需要进一步处理以获得目标轮廓。后者中基于区域生长的方法,其分割结果与种子点的选择有很大关系,同时对噪声很敏感,容易形成孔状或不连续的区域。

[0004] 近年来,随着新技术的发展,医学超声图像也相继出现了新的方法,如动态规划模型、主动轮廓模型、水平集方法等。动态规划模型是为解决多节段决策问题最优化而提出的。它是将边缘检测问题看成一个优化问题,通过求解全局最优解获得最终的分割结果。但其运算量较大,同时因噪声影响会产生较多的伪边缘,从而难以得到较好的结果。主动轮廓模型即 snake 模型,通过构建合适的内部能量函数和外部能量函数来约束目标轮廓线的运动。其缺点是分割结果对初始曲线的位置和形状较为敏感,难以分割凹陷区域处的目标,同时容易陷入局部最优解,而无法获得理想的目标轮廓。水平集方法的核心是把  $n$  维曲线描述为  $(n+1)$  维的水平集,主要理论基础是曲线演化理论和零水平集的思想。大部分水平集模型都是通过求解偏微分方程进行数值实现的,这就造成了一个计算量较大的问题,另外难以确定合适的速度函数。

[0005] 目前,在临床诊断和治疗中,应用较为广泛的分割方法是基于阈值的分割方法和基于医生手动分割的方法。阈值分割方法原理简单、操作方便,但是由于上述的超声图像中固有的斑点噪声和纹理特性的影响,其分割结果十分不佳,难以为临床治疗提供精确有效的指导信息。基于医生手动分割的方法,由于医生具有长期的临床实践经验,所分割出来的结果是可以进一步用于临床诊断治疗的,但因其工作量大、耗费时间长,也不具有较好的应用价值。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种稳定可靠,且实现方便,适用于实际临床的基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法,其特征在于,包括以下几个步骤:

[0009] 第一步,采集人体主动脉瓣短轴的医学超声图像数据,选择一个连续完整的心动周期,等间隔地提取五帧先验图像,其中每帧先验图像会代表一个心动周期内的不同相位;

[0010] 第二步,手动分割上述五帧先验图像,并计算每帧分割结果的包围盒,取其中最大的包围盒为后续过程使用;

[0011] 第三步,根据先验图像分割结果各自的独立中心点,计算得到先验图像的一个综合中心点,以像素点的灰度值为横轴、以像素点与综合中心点的距离为纵轴,由上述五帧先验图像的分割结果构建一个二维灰度-距离直方图;

[0012] 第四步,由上述二维灰度-距离直方图计算获得综合概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与综合中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

[0013] 第五步,对上述五帧先验图像,分别计算其各自单独的概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与自身独立中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,同样,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

[0014] 第六步,根据上一步已获得的单独概率估计函数,对五帧先验图像,分别计算其各自最能代表前景和背景的像素灰度值;

[0015] 第七步,对于当前待分割图像,利用综合概率估计函数求取其独立的概率估计图,并采用大津算法对概率估计图进行预处理,保留前景区域;

[0016] 第八步,对上述前景区域和五帧先验图像的手动分割结果分别进行相似度测量,找到先验图像中与当前待分割图像相似度测量值最高的图像,记该图像为  $I_{SM}$ ;

[0017] 第九步,根据  $I_{SM}$  在第六步中已经获得的最能代表前景和背景的像素灰度值构建能量方程,确立能量方程中的数据项和平滑项,采用连续最大流算法进行图像分割,获得主动脉瓣短轴在一个心动周期内所有帧图像的分割结果。

[0018] 所述的第四步中的综合概率估计函数为:

$$[0019] \quad P(x) = P(F(x) | R(x), I(x)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P(F_i \cap R(x), I(x))}{P(R(x), I(x))}$$

[0020] 其中,  $P(F_i)$  是像素点属于前景的概率,  $P(R, I)$  是灰度值为  $I$ 、与综合中心点距离为  $R$  的像素点属于前景的概率,  $n$  是先验图像的个数,此处  $n = 5$ ,  $F$  代表图像前景区域。

[0021] 所述的第五步中的单独的概率估计函数为:

$$[0022] \quad P_i(x) = P(F(x) | R(x), I(x)) = \frac{P(F \cap R(x), I(x))}{P(R(x), I(x))}$$

[0023] 其中,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ , 分别代表上述五帧先验图像。

[0024] 所述的第六步中的最能代表各先验图像的前景和背景的像素灰度值：

$$[0025] \quad I'_F = \sum_{p \in F} I(p) * P_{I(p)}^F$$

$$[0026] \quad I'_B = \sum_{p \in B} I(p) * P_{I(p)}^B$$

[0027] 其中,F 代表图像前景区域,B 代表图像背景区域,I(p) 是像素点 p 的灰度值, $P_I^F$  为灰度值是 I 的点属于前景的概率, $P_I^B$  为灰度值是 I 的点属于背景的概率。

[0028] 所述的第八步中的相似度测量 SM：

$$[0029] \quad SM_i = -\sum_{p \in A} \sqrt{(D_p - D'_p)^2 + (I_p - I'_p)^2}$$

[0030] 其中,p 代表像素点的位置,A 代表第二步中所求出的最大包围盒的区域, $D_p$  和  $I_p$  代表待分割图像像素点与独立中心点的距离和其灰度值, $D'_p$  和  $I'_p$  代表先验图像 i 中对应像素点与独立中心点的距离和其灰度值, $SM_i$  越大,则相似度越高。

[0031] 所述的第九步中的能量方程为：

$$[0032] \quad C_s(x) = |I_x - I_F|;$$

$$[0033] \quad C_f(x) = |I_x - I_B|;$$

$$[0034] \quad C_p(x) = 0.5;$$

[0035] 其中,x 代表像素点的位置, $I_x$  代表该处像素点的灰度值, $C_s$  和  $C_f$  分别代表前景和背景的数据项, $C_p$  是平滑项, $I_F$  和  $I_B$  是第八步中寻找到的图像  $I_{SM}$  所对应的在第六步中求得的最能代表其前景和背景的像素灰度值。

[0036] 与现有技术相比,本发明具有以下优点：

[0037] (1) 将统计学知识与图论中的最大流知识有效地结合起来,提出了一种新颖的基于概率分布的连续最大流分割算法,能够较好地捕捉到主动脉瓣在一个完整心动周期中的形态；

[0038] (2) 在获取先验图像时,等间隔地提取五帧图像,而不是简单地采用一个完整心动周期的前几帧图像,这样能够尽可能地包含整个心动周期中主动脉瓣在开放闭合时的不同形态,可为后续分割提供更有效准确的先验信息,以便提高分割结果的准确性；

[0039] (3) 用计算机实现的半自动分割方法,相比于全自动分割方法,有效地提高了分割结果的精度,相比于全手动分割方法,有效地降低了工作量,在保证分割结果精度的情况下提高了分割速度。

## 附图说明

[0040] 图 1 为本发明的流程图。

## 具体实施方式

[0041] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0042] 实施例

[0043] 本实施例在 CPU 为 Pentium IV 2.6GHz,显卡为 NVIDIA GeForce GTX 460,内存为 2.0GB 的计算机中实现,编程语言为 C++。

[0044] 本实施例的实施流程如图 1 所示。

[0045] 第一步,采集人体主动脉瓣短轴的医学超声图像数据,选择一个连续完整的心动周期,等间隔地提取五帧先验图像,此时每帧先验图像会代表一个心动周期内的不同相位;

[0046] 第二步,手动分割上述五帧先验图像,并计算每帧分割结果的包围盒,取其中最大的包围盒为后续过程使用;

[0047] 第三步,根据先验图像分割结果各自的独立中心点,计算得到先验图像的一个综合中心点,以像素点的灰度值为横轴、以像素点与综合中心点的距离为纵轴,由上述五帧先验图像的分割结果构建一个二维灰度-距离直方图;

[0048] 第四步,由上述二维灰度-距离直方图计算获得综合概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与综合中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

[0049] 第五步,对上述五帧先验图像,分别计算其各自单独的概率估计函数,即计算每个像素点在一定的灰度以及与自身独立中心点一定的距离条件下属于前景的条件概率,同样,拥有高灰度值并且距离综合中心点较近的像素点属于前景的概率高,反之,拥有高灰度值但距离综合中心点较远的像素点属于背景区域的概率高;

[0050] 第六步,根据上一步已获得的单独概率估计函数,对五帧先验图像,分别计算其各自最能代表前景和背景的像素灰度值;

[0051] 第七步,对于当前待分割图像,利用综合概率估计函数求取其独立的概率估计图,并采用大津算法对概率估计图进行预处理,保留前景区域;

[0052] 第八步,对上述前景区域和五帧先验图像的手动分割结果分别进行相似度测量(SM),找到先验图像中与当前待分割图像相似度测量值最高的图像,记为  $I_{SM}$ ;

[0053] 第九步,根据  $I_{SM}$  在第六步中已经获得的最能代表前景和背景的像素灰度值构建能量方程,确立能量方程中的数据项和平滑项,采用连续最大流算法进行图像分割,获得主动脉瓣短轴在一个心动周期内所有帧图像的分割结果。

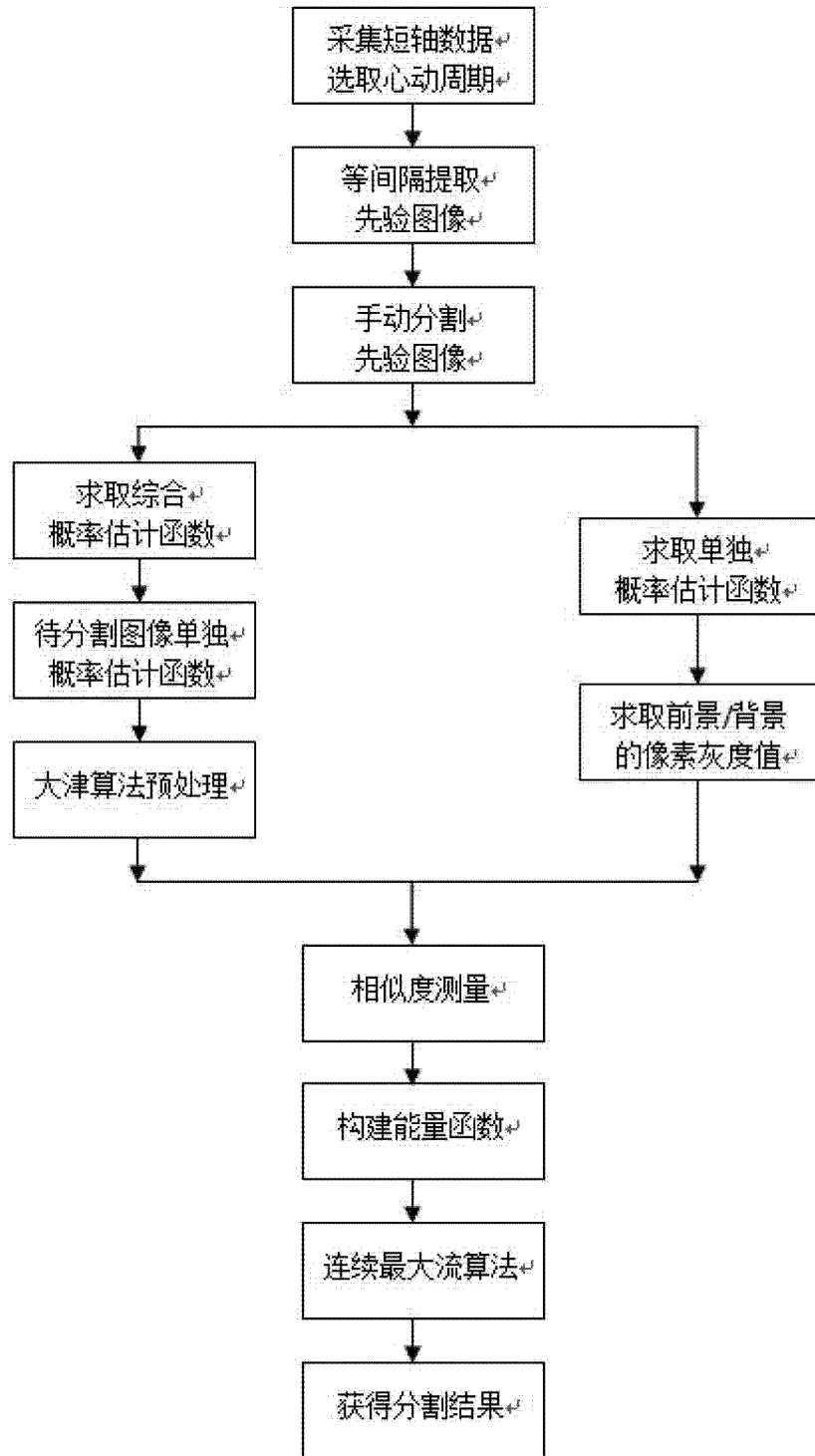


图 1

专利名称(译)	基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN102881021A</a>	公开(公告)日	2013-01-16
申请号	CN201210414494.9	申请日	2012-10-25
[标]申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
当前申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
[标]发明人	顾力栩 聂媛媛 罗哲		
发明人	顾力栩 聂媛媛 罗哲		
IPC分类号	G06T7/00 A61B8/08		
代理人(译)	赵志远		
其他公开文献	CN102881021B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明涉及一种基于概率分布和连续最大流的主动脉瓣超声图像分割方法，包括以下几个步骤：第一步，采集人体主动脉瓣短轴的医学超声图像数据，等间隔地提取五帧先验图像；第二步，分割五帧先验图像；第三步，构建二维灰度-距离直方图；第四步，由二维灰度-距离直方图计算获得综合概率估计函数；第五步，分别计算其各自单独的概率估计函数；第六步，对五帧先验图像，分别计算其各自最能代表前景和背景的像素灰度值；第七步，对于当前待分割图像，求取其独立的概率估计图；第八步，对上述前景区域和五帧先验图像的手动分割结果分别进行相似度测量；第九步，获得分割结果。与现有技术相比，本发明具有稳定可靠、实现方便、适用于实际临床等优点。

