



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114419077 B

(45) 授权公告日 2022.07.05

(21) 申请号 202210329877.X

G06T 7/55 (2017.01)

(22) 申请日 2022.03.31

G06T 7/00 (2017.01)

G06T 5/40 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114419077 A

(56) 对比文件

CN 108074229 A, 2018.05.25

CN 107274399 A, 2017.10.20

CN 106097305 A, 2016.11.09

CN 112712540 A, 2021.04.27

US 2016189373 A1, 2016.06.30

CN 102982531 A, 2013.03.20

CN 107392900 A, 2017.11.24

(43) 申请公布日 2022.04.29

(73) 专利权人 深圳市一图智能科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市福田区香蜜湖街道东海社区深南大道7002号财富广场B座B8B

(72) 发明人 张晓东

审查员 王菲

(74) 专利代理机构 北京酷爱智慧知识产权代理有限公司 11514

专利代理师 袁克来

(51) Int. Cl.

G06T 7/11 (2017.01)

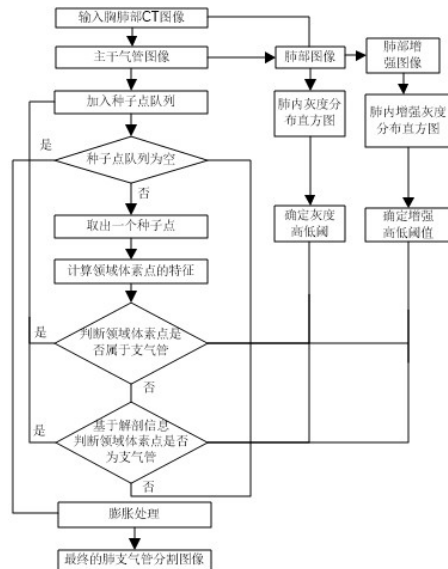
权利要求书3页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统

(57) 摘要

本发明提供了基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统,属于医学图像处理技术领域,方法包括:获取胸肺部CT图像;对所述胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;对所述肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;根据所述主干气管图像构建种子点队列,利用所述灰度阈值和增强灰度阈值执行区域增长,得到肺支气管分割图像。该方法利用灰度实现无需人工交互的肺支气管分割,方便快捷,较大程度上提高了肺支气管建模的速度以及CT图像中肺支气管的分割效率,该方法无需GPU硬件支持,仅使用CPU即可快速实现,易于在不同环境下推广使用。



1. 一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,包括:
  - 获取胸肺部CT图像;
  - 对所述胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;
  - 对所述肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;
  - 根据所述主干气管图像构建种子点队列;
  - 利用所述灰度阈值、增强灰度阈值、局部特征、局部增强特征和解剖信息执行区域增长,以得到肺支气管分割图像;
  - 对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像具体包括:
    - 在所述胸肺部CT图像中,对肺部位置和气管位置的体素进行标记,以得到多个标记点;
    - 利用分水岭分割算法对所述标记点进行分割,根据表征所述主干气管的标记点构建所述主干气管图像,根据表征所述肺部的标记点构建所述肺部图像;
  - 所述区域增长具体包括:
    - 步骤A:定义所述种子点队列中一种子点为当前种子点,在所述种子点队列中删除所述当前种子点;
    - 步骤B:获取所述当前种子点的多个邻域体素点;根据所述灰度阈值、所述增强灰度阈值、局部特征、局部增强特征和解剖信息依次判断所有所述邻域体素点是否属于支气管,将属于支气管的邻域体素点作为种子点加入所述种子点队列;当所述当前种子点的邻域体素点全部判断完后,执行步骤C;
    - 步骤C:判断所述种子点队列是否为空,如果是,区域增长结束,如果不是,执行步骤A。
2. 根据权利要求1所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值具体包括:
  - 对所述肺部图像进行统计,以得到肺内灰度分布直方图;
  - 根据所述肺内灰度分布直方图计算所述灰度阈值;所述灰度阈值包括灰度低阈值 $g_L$ 和灰度高阈值 $g_H$ ;
  - 对所述肺部图像进行多尺度管状增强,以得到肺部增强图像;
  - 对所述肺部增强图像进行统计,以得到肺内增强灰度分布直方图;
  - 根据所述肺内增强灰度分布直方图计算所述增强灰度阈值;所述增强灰度阈值包括增强灰度低阈值 $v_L$ 和增强灰度高阈值 $v_H$ 。
3. 根据权利要求2所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,根据主干气管图像构建种子点队列具体包括:
  - 构建种子点队列,并将所述主干气管图像中的标记点作为种子点加入所述种子点队列。
4. 根据权利要求3所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,
  - 所述局部特征包括局部灰度特征 $f_{g1}$ 和局部灰度标准差 $f_{g2}$ ;所述局部增强特征包括局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 和局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ ;
  - 所述根据所述灰度阈值、所述增强灰度阈值、局部特征、局部增强特征和解剖信息依次判断所有所述邻域体素点是否属于支气管具体包括:
    - 计算所述邻域体素点的局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 和

局部灰度增强标准差 $f_{v_2}$ ;

根据局部灰度特征 $f_{g_1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g_2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v_1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v_2}$ 以及所述邻域体素点的灰度值判断所述邻域体素点是否属于支气管;

如果根据局部灰度特征 $f_{g_1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g_2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v_1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v_2}$ 以及所述邻域体素点的灰度值判断邻域体素点 $p$ 不属于支气管,通过解剖信息判断邻域体素点 $p$ 是否属于支气管。

5. 根据权利要求4所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,根据局部灰度特征 $f_{g_1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g_2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v_1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v_2}$ 以及邻域体素点的灰度值判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:

当所述邻域体素点 $p$ 的灰度值小于所述灰度低阈值 $g_L$ 、且满足 $g(p) < f_{g_1} - w_{g_1} * f_{g_2}$ 和 $v(p) > f_{v_1} + w_{v_1} * f_{v_2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;

当所述邻域体素点 $p$ 的灰度值处于所述灰度低阈值 $g_L$ 与所述灰度高阈值 $g_H$ 之间、且 $g(p) < f_{g_1} - w_{g_2} * f_{g_2}$ 和 $v(p) > f_{v_1} + w_{v_2} * f_{v_2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;

其中, $g(p)$ 为所述肺部图像中邻域体素点 $p$ 的灰度值, $v(p)$ 为所述肺部增强图像中邻域体素点 $p$ 的灰度值; $w_{g_1}$ 、 $w_{g_2}$ 、 $w_{v_1}$ 、 $w_{v_2}$ 均为系数,且 $w_{g_1} < w_{g_2}$ , $w_{v_1} < w_{v_2}$ 。

6. 根据权利要求5所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,通过解剖信息判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:

以所述邻域体素点 $p$ 为中心,向邻域发射射线,记录在距离阈值内满足 $v(p/) = 0$ 和 $g(p/) > g(p)$ 的体素点 $p/$ ;

当体素点 $p/$ 的数量大于数量阈值时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管。

7. 根据权利要求3所述基于CT图像的肺支气管自动分割方法,其特征在于,在所述得到肺支气管分割图像之后,还包括:

对所述肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像。

8. 一种基于CT图像的肺支气管自动分割系统,其特征在于,包括:

采集单元:用于获取胸肺部CT图像;

初次分割单元:用于对所述胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;

直方图统计单元:用于对所述肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;

区域增长单元:用于根据所述主干气管图像构建种子点队列,利用所述灰度阈值、增强灰度阈值、局部特征、局部增强特征和解剖信息执行区域增长,以得到肺支气管分割图像;

后处理单元:对所述肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像;

所述初次分割单元具体用于:

在所述胸肺部CT图像中,对肺部位置和气管位置的体素进行标记,以得到多个标记点;

利用分水岭分割算法对所述标记点进行分割,根据表征所述主干气管的标记点构建所述主干气管图像,根据表征所述肺部的标记点构建所述肺部图像;

所述区域增长单元具体用于:

步骤A:定义所述种子点队列中一种子点为当前种子点,在所述种子点队列中删除所述当前种子点;

步骤B:获取所述当前种子点的多个邻域体素点;根据所述灰度阈值、所述增强灰度阈值、局部特征、局部增强特征和解剖信息依次判断所有所述邻域体素点是否属于支气管,将属于支气管的邻域体素点作为种子点加入所述种子点队列;当所述当前种子点的邻域体素点全部判断完后,执行步骤C;

步骤C:判断所述种子点队列是否为空,如果是,区域增长结束,如果不是,执行步骤A。

## 一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于医学图像处理技术领域,具体涉及一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统。

### 背景技术

[0002] 根据胸部CT分割支气管树是评估支气管病变引发肺部疾病(支气管扩张、支气管壁增厚等)的有效手段,基于分割的支气管树测量管径、壁厚等可以对肺部情况进行评估。由于肺支气管树具有复杂的分支结构和拓扑形态,根据管径大小的不同其分支等级可以多达10级以上,所以如果采用手工分割,将是一项非常费时费力的任务,难以在临床诊断和治疗中进行应用。因此实现胸部CT分割支气管树,是当前肺部疾病诊疗中的一个急需解决的问题。

[0003] 但是现有的肺支气管自动分割方法多为基于机器学习的方法,通过对体素特征进行分类实现分割,该方法需要大量训练数据并且人为设计体素特征,模型泛化性能高度依赖训练数据,特征提取过程慢,难以快速实现分割。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中的缺陷,本发明提供一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统,提高CT图像中肺支气管的分割效率。

[0005] 第一方面,一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法,包括:

[0006] 获取胸肺部CT图像;

[0007] 对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;

[0008] 对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;

[0009] 根据主干气管图像构建种子点队列;

[0010] 利用灰度阈值和增强灰度阈值执行区域增长,以得到肺支气管分割图像。

[0011] 优选地,对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像具体包括:

[0012] 在胸肺部CT图像中,对肺部位置和气管位置的体素进行标记,以得到多个标记点;

[0013] 利用分水岭分割算法对标记点进行分割,根据表征主干气管的标记点构建主干气管图像,根据表征肺部的标记点构建肺部图像。

[0014] 优选地,对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值具体包括:

[0015] 对肺部图像进行统计,以得到肺内灰度分布直方图;

[0016] 根据肺内灰度分布直方图计算灰度阈值;灰度阈值包括灰度低阈值  $S_L$  和灰度高阈值  $S_H$ ;

[0017] 对肺部图像进行多尺度管状增强,以得到肺部增强图像;

- [0018] 对肺部增强图像进行统计,以得到肺内增强灰度分布直方图;
- [0019] 根据肺内增强灰度分布直方图计算增强灰度阈值;增强灰度阈值包括增强灰度低阈值 $V_L$ 和增强灰度高阈值 $V_H$ 。
- [0020] 优选地,根据主干气管图像构建种子点队列具体包括:
- [0021] 构建种子点队列,并将主干气管图像中的标记点作为种子点加入种子点队列。
- [0022] 优选地,区域增长具体包括:
- [0023] 步骤A:定义种子点队列中一种子点为当前种子点,在种子点队列中删除当前种子点;
- [0024] 步骤B:获取当前种子点的多个邻域体素点;根据灰度阈值和增强灰度阈值依次判断所有邻域体素点是否属于支气管,将属于支气管的邻域体素点作为种子点加入种子点队列;当当前种子点的邻域体素点全部判断完后,执行步骤C;
- [0025] 步骤C:判断种子点队列是否为空,如果是,区域增长结束,如果不是,执行步骤A。
- [0026] 优选地,根据灰度阈值和增强灰度阈值判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:
- [0027] 计算邻域体素点的局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 和局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ ;
- [0028] 根据局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ 以及邻域体素点的灰度值判断邻域体素点是否属于支气管;
- [0029] 当邻域体素点不属于支气管时,通过解剖信息判断邻域体素点是否属于支气管。
- [0030] 优选地,根据局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ 以及邻域体素点的灰度值判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:
- [0031] 当邻域体素点p的灰度值小于灰度低阈值 $g_L$ 、且满足 $g(p) < f_{g1} - w_{g1} * f_{g2}$ 和 $v(p) > f_{v1} + w_{v1} * f_{v2}$ 时,判断邻域体素点p属于支气管;
- [0032] 当邻域体素点p的灰度值处于灰度低阈值 $g_L$ 与灰度高阈值 $g_H$ 之间、且 $g(p) < f_{g1} - w_{g2} * f_{g2}$ 和 $v(p) > f_{v1} + w_{v2} * f_{v2}$ 时,判断邻域体素点p属于支气管;
- [0033] 其中, $g(p)$ 为肺部图像中邻域体素点p的灰度值, $v(p)$ 为肺部增强图像中邻域体素点p的灰度值; $w_{g1}$ 、 $w_{g2}$ 、 $w_{v1}$ 、 $w_{v2}$ 均为系数,且 $w_{g1} < w_{g2}$ 、 $w_{v1} < w_{v2}$ 。
- [0034] 优选地,通过解剖信息判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:
- [0035] 以邻域体素点p为中心,向邻域发射射线,记录在距离阈值内满足 $v(p') = 0$ 和 $g(p') > g(p)$ 的体素点 $p'$ ;
- [0036] 当体素点 $p'$ 的数量大于数量阈值时,判断邻域体素点p属于支气管。
- [0037] 优选地,在得到肺支气管分割图像之后,还包括:
- [0038] 对肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像。

- [0039] 第二方面,一种基于CT图像的肺支气管自动分割系统,包括:
- [0040] 采集单元:用于获取胸肺部CT图像;
- [0041] 初次分割单元:用于对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;
- [0042] 直方图统计单元:用于对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;
- [0043] 区域增长单元:用于根据主干气管图像构建种子点队列,利用灰度阈值和增强灰度阈值执行区域增长,以得到肺支气管分割图像;
- [0044] 后处理单元:对肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像。
- [0045] 由上述技术方案可知,本发明提供的基于CT图像的肺支气管自动分割方法及系统,利用灰度实现无需人工交互的肺支气管分割,方便快捷,较大程度上提高了肺支气管建模的速度以及CT图像中肺支气管的分割效率,该方法无需GPU硬件支持,仅使用CPU即可快速实现,易于在不同环境下推广使用。

### 附图说明

- [0046] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。在所有附图中,类似的元件或部分一般由类似的附图标记标识。附图中,各元件或部分并不一定按照实际的比例绘制。
- [0047] 图1为本实施例提供的基于CT图像的肺支气管自动分割方法的流程图。
- [0048] 图2为解剖信息判断支气管内体素点的示意图。
- [0049] 图3a为从横断面方向查看的胸肺部CT图像的示意图。
- [0050] 图3b为从矢状面方向查看的胸肺部CT图像的示意图。
- [0051] 图3c为从冠状面方向查看的胸肺部CT图像的示意图。
- [0052] 图4a为基于标记分水岭算法分割的主干气管图像的示意图。
- [0053] 图4b为基于标记分水岭算法分割的右肺图像的示意图。
- [0054] 图4c为基于标记分水岭算法分割的左肺图像的示意图。
- [0055] 图5a为采用该方法分割出的肺支气管分割图像重建的三维模型。
- [0056] 图5b为主干气管图像对应的三维模型与肺支气管分割图像对应的三维模型融合对比图。
- [0057] 图6a为从横断面方向查看的低剂量胸肺部CT图像。
- [0058] 图6b为从矢状面方向查看的低剂量胸肺部CT图像。
- [0059] 图6c为从冠状面方向查看的低剂量胸肺部CT图像。
- [0060] 图6d为低剂量胸肺部CT图像得到的肺支气管分割图像。
- [0061] 图7为本实施例提供的基于CT图像的肺支气管自动分割系统的模块框图。

### 具体实施方式

- [0062] 下面将结合附图对本发明技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,因此只作为示例,而不能以此来限制本发明的保护范围。需要注意的是,除非另有说明,本申请使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属



领域技术人员所理解的通常意义。

[0063] 应当理解,当在本说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”和“包含”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0064] 还应当理解,在此本发明说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本发明。如在本发明说明书和所附权利要求书中使用的那样,除非上下文清楚地指明其它情况,否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0065] 如在本说明书和所附权利要求书中使用的那样,术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地,短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

[0066] 实施例:

[0067] 一种基于CT图像的肺支气管自动分割方法,参见图1,包括:

[0068] 获取胸肺部CT图像;

[0069] 对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;

[0070] 对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;

[0071] 根据主干气管图像构建种子点队列;

[0072] 利用灰度阈值和增强灰度阈值执行区域增长,以得到肺支气管分割图像。

[0073] 在本实施例中,胸肺部CT图像可以是从小检查设备或PACS(picture archiving and communication system)系统中读取得到,胸肺部CT图像中包含多个体素。该方法首先对胸肺部CT图像进行初次分割,得到初步的主干气管图像和肺部图像,其中主干气管图像包含表征支气管的多个体素,肺部图像包含表征肺部的多个体素。

[0074] 在本实施例中,由于不同设备、不同设备参数得到的胸肺部CT图像存在差异,例如低剂量图像会存在非常大的噪声,所以为了排除肺内血管、气管壁以及噪声对肺部图像的影响,该方法基于灰度分布直方图统计肺部区域内部的灰度分布,该方法可以利用frangi增强算法对两肺内低密度支气管进行多尺度管状增强,得到肺部增强图像V,并将得到肺部增强图像的灰度范围归一至[0,1000]。多尺度管状增强的作用是增强管状结构(支气管)。该方法也可以基于灰度分布直方图确定灰度阈值和增强灰度阈值,实现了自适应阈值的功能。

[0075] 在本实施例中,该方法对种子点队列执行区域增长,得到更精准的肺支气管图像。例如该方法将主干气管图像中的标记点作为种子点构建初始种子点队列。

[0076] 该方法利用灰度实现无需人工交互的肺支气管分割,方便快捷,较大程度上提高了肺支气管建模的速度以及CT图像中肺支气管的分割效率,该方法无需GPU硬件支持,仅使用CPU即可快速实现,易于在不同环境下推广使用。

[0077] 进一步地,在一些实施例中,对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像具体包括:

[0078] 在胸肺部CT图像中,对肺部位置和气管位置的体素进行标记,以得到多个标记点;

[0079] 利用分水岭分割算法对标记点进行分割,根据表征主干气管的标记点构建主干气



管图像,根据表征肺部的标记点构建肺部图像。

[0080] 在本实施例中,该方法利用分水岭分割算法,在胸肺部CT图像的左肺、右肺、气管的空间位置进行标记,得到主干气管图像和肺部图像。该方法可以在胸肺部CT图像中分割出气管空间位置对应的标记点,构成主干气管图像,在胸肺部CT图像中分割出肺部空间位置对应的标记点,构成肺部图像。主干气管图像中的标记点可以作为后续支气管分割的种子点,肺部图像中的标记点可以用于分割掩模排除肺外区域,降低计算量,提高分割效率。该方法无需人工介入标记种子点,可以自动提取肺支气管树的二值分割图像,自动化程度高,使用快捷方便。

[0081] 进一步地,在一些实施例中,对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值具体包括:

[0082] 对肺部图像进行统计,以得到肺内灰度分布直方图;

[0083] 根据肺内灰度分布直方图计算灰度阈值;灰度阈值包括灰度低阈值  $g_L$  和灰度高阈值  $g_H$ ;

[0084] 对肺部图像进行多尺度管状增强,以得到肺部增强图像;

[0085] 对肺部增强图像进行统计,以得到肺内增强灰度分布直方图;

[0086] 根据肺内增强灰度分布直方图计算增强灰度阈值;增强灰度阈值包括增强灰度低阈值  $v_L$  和增强灰度高阈值  $v_H$ 。

[0087] 在本实施例中,该方法统计肺内部体素的灰度值,得到肺内灰度分布直方图H,根据肺支气管体积所占肺体积的比例值  $t_0$  计算灰度低阈值  $g_L$ ;根据血管、支气管壁以及噪声体积所占肺体积的比例值  $t_1$  计算灰度高阈值  $g_H$ :  $H(i)$  为肺内灰度分布直方图H中第i个体素的灰度值;

$$[0088] \quad g_L = \min_i \sum_i H(i) \geq t_0;$$

$$[0089] \quad g_H = \min_i \sum_i H(i) \geq 1 - t_1;$$

[0090] 在本实施例中,该方法对肺部增强图像V进行直方图统计,以得到肺内增强灰度分布直方图  $H_v$ ,并根据支气管体积比例阈值  $v_1$  计算增强灰度高阈值  $v_H$ ,根据背景区域(肺实质、血管以及噪声)所占比例阈值  $v_0$  计算增强灰度低阈值  $v_L$ ,  $H_v(i)$  为肺内增强灰度分布直方图  $H_v$  中第i个体素的灰度值;

$$[0091] \quad v_L = \min_i \sum_i H_v(i) \geq v_0;$$

$$[0092] \quad v_H = \min_i \sum_i H_v(i) \geq 1 - v_1;$$

[0093] 该方法计算肺内灰度分布直方图和肺内增强灰度分布直方图,目的是计算支气管的灰度阈值和增强灰度阈值,灰度阈值和增强灰度阈值主要用于对体素点进行分类判别。

[0094] 在本实施例中,肺部图像中气管中由于存在空气,因此其CT灰度值较低;但是由于部分容积效应,在较细支气管处可能其灰度值变高,与肺实质灰度值相当,所以低于灰度低阈值  $g_L$  的体素属于支气管的概率高,在灰度低阈值  $g_L$  和灰度高阈值  $g_H$  之间的体素则有

可能是支气管也可能是肺实质,高于灰度高阈值一定是非支气管。

[0095] 在本实施例中,在肺部增强图像中,支气管内部具有较高的灰度值,而外部则具有较低的灰度值。但是由于噪声等影响,也可能非支气管的区域得到了增强。因此通过增强灰度阈值来判断,高于增强灰度高阈值 $V_H$ 的体素属于支气管的概率很高,而介于增强灰度低阈值 $V_L$ 和增强灰度高阈值 $V_H$ 之间的体素,其可能属于支气管也可能不是,低于增强灰度低阈值 $V_L$ 的体素则一定不属于支气管。

[0096] 该方法基于灰度直方图统计两肺区域内部灰度分布,并基于支气管体积与肺体积比例先验信息,自适应确定支气管高低阈值,排除血管、以及噪声等影响。同时利用局部灰度信息和气管增强信息,实现肺内支气管体素的正确分割,该方法能够自适应确定灰度阈值,对于低剂量以及含有噪声胸肺CT图像具有一定的鲁棒性,能够较完整的提取肺支气管树。

[0097] 进一步地,在一些实施例中,区域增长具体包括:

[0098] 步骤A:定义种子点队列中一种子点为当前种子点,在种子点队列中删除当前种子点;

[0099] 步骤B:获取当前种子点的多个邻域体素点;根据灰度阈值和增强灰度阈值依次判断所有邻域体素点是否属于支气管,将属于支气管的邻域体素点作为种子点加入种子点队列;当当前种子点的邻域体素点全部判断完后,执行步骤C;

[0100] 步骤C:判断种子点队列是否为空,如果是,区域增长结束,如果不是,执行步骤A。

[0101] 在本实施例中,区域增长在每次迭代时,从种子点队列中取出一个种子点,作为当前种子点 $s$ ,并在种子点队列中删除当前种子点 $s$ 。该方法查找当前种子点 $s$ 的邻域体素点,例如6-邻域体素点 $N_6(s)$ ,6-邻域体素点 $N_6(s)$ 包括当前体素的上、下、左、右、前、后共6个位置的体素。判断每个邻域体素点 $p$ 是否属于支气管, $p \in N_6(s)$ ,如果邻域体素点 $p$ 属于支气管,则将其加入种子点队列中,这样区域增长在后续就可以对邻域体素点 $p$ 进行迭代判断。该方法当种子点队列中所有的种子点都迭代完成后,完成区域增长。

[0102] 在本实施例中,如果一个体素属于支气管(灰度值较低,增强值较高),则需要判断其周围体素灰度值和增强值。例如如果一个体素比其周围体素灰度平均值低,那么说明该体素周围可能存在支气管壁或者血管等灰度较高的组织,导致邻域平均值增加。同理,增强图像中支气管体素值较高,而非支气管体素增强值较低,因此一个体素增强值大于邻域体素增强平均值,说明周围可能存在非支气管组织,导致邻域平均值降低。该方法在判断体素是否属于支气管时,需要同时结合灰度阈值和增强灰度阈值两个特征进行判断,排除不属于支气管的体素,降低计算量,提高精度。

[0103] 进一步地,在一些实施例中,根据灰度阈值和增强灰度阈值判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:

[0104] 计算邻域体素点的局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 和局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ ;

[0105] 根据局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ 以及邻域体素点的灰度值判断邻域体素点是否属于支气管;

[0106] 当邻域体素点不属于支气管时,通过解剖信息判断邻域体素点是否属于支气管。

[0107] 在本实施例中,该方法计算邻域体素点 $p$ 的局部特征和局部增强特征,其中局部特征包括局部灰度特征 $f_{g1}$ 和局部灰度标准差 $f_{g2}$ ,局部增强特征包括局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 和局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ :

$$[0108] \quad f_{g1} = \text{mean}(g_r(P));$$

$$[0109] \quad f_{g2} = \text{std}(g_r(P));$$

$$[0110] \quad f_{v1} = \text{mean}(v_r(P));$$

$$[0111] \quad f_{v2} = \text{std}(v_r(P));$$

[0112] 其中, $g_r(P)$ 表示肺部图像 $g$ 以邻域体素点 $p$ 为中心、半径为 $r$ 的局部区域; $v_r(P)$ 表示肺部增强图像 $v$ 以邻域体素点 $p$ 为中心、半径为 $r$ 的局部区域。

[0113] 该方法在判断邻域体素点 $p$ 是否属于支气管时,首先通过局部特征和局部增强特征判断邻域体素点 $p$ 是否属于支气管,如果通过局部特征和局部增强特征判断邻域体素点 $p$ 属于支气管,将邻域体素点 $p$ 加入种子点队列,返回继续通过局部特征和局部增强特征判断当前种子点 $s$ 的下一个邻域体素点是否属于支气管;如果通过局部特征和局部增强特征判断邻域体素点 $p$ 不属于支气管,通过解剖信息判断邻域体素点 $p$ 是否属于支气管,如果通过解剖信息判断邻域体素点 $p$ 属于支气管,将邻域体素点 $p$ 加入种子点队列,返回继续通过局部特征和局部增强特征判断当前种子点 $s$ 的下一个邻域体素点是否属于支气管;如果通过解剖信息判断邻域体素点 $p$ 不属于支气管,返回继续通过局部特征和局部增强特征判断当前种子点 $s$ 的下一个邻域体素点是否属于支气管。如果当前种子点 $s$ 的所有邻域体素点判断完后,重新从种子点队列中取出一个新的种子点,作为当前种子点,继续迭代判断。

[0114] 进一步地,在一些实施例中,根据局部灰度特征 $f_{g1}$ 、局部灰度标准差 $f_{g2}$ 、局部灰度增强特征 $f_{v1}$ 、局部灰度增强标准差 $f_{v2}$ 以及邻域体素点的灰度值判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:

[0115] 当邻域体素点 $p$ 的灰度值小于灰度低阈值 $g_L$ 、且满足 $g(p) < f_{g1} - w_{g1} * f_{g2}$ 和 $v(p) > f_{v1} + w_{v1} * f_{v2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;

[0116] 当邻域体素点 $p$ 的灰度值处于灰度低阈值 $g_L$ 与灰度高阈值 $g_H$ 之间、且 $g(p) < f_{g1} - w_{g2} * f_{g2}$ 和 $v(p) > f_{v1} + w_{v2} * f_{v2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;

[0117] 其中, $g(p)$ 为肺部图像中邻域体素点 $p$ 的灰度值, $v(p)$ 为肺部增强图像中邻域体素点 $p$ 的灰度值; $w_{g1}$ 、 $w_{g2}$ 、 $w_{v1}$ 、 $w_{v2}$ 均为系数,且 $w_{g1} < w_{g2}$ 、 $w_{v1} < w_{v2}$ 。

[0118] 在本实施例中,由于支气管灰度值通常是肺内最低。所以灰度直方图中低于灰度低阈值 $g_L$ 的体素点属于支气管的概率非常高。而介于灰度低阈值 $g_L$ 与灰度高阈值 $g_H$ 之间的体素点可能属于支气管,也可能属于肺实质。当体素点的灰度值高于灰度高阈值 $g_H$ 时,则一定不是支气管。因此,该方法结合局部灰度特征和增强特征对以上几种情况进行判



断:

[0119] 1) 当邻域体素点 $p$ 的灰度值 $g(p)$ 小于灰度低阈值 $g_L$ 、且满足 $g(p) < f_{E1} - w_{E1} * f_{E2}$ 和 $v(p) > f_{I1} + w_{I1} * f_{I2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;该条件下,体素属于支气管概率较高,因此设置较为宽松的阈值条件:只需要较小的 $w$ 值,即灰度值稍低于邻域平均灰度且增强值稍高于邻域均值即可判定为支气管。

[0120] 2) 当邻域体素点 $p$ 的灰度值 $g(p)$ 处于灰度低阈值 $g_L$ 与灰度高阈值 $g_H$ 之间、且 $g(p) < f_{E1} - w_{E2} * f_{E2}$ 和 $v(p) > f_{I1} + w_{I2} * f_{I2}$ 时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管;该条件下,体素类别不确定性较高,因此设置较为严格的阈值条件:需要较大的 $w$ 值,只有灰度值比邻域均值低很多且增强值比邻域高很多的情况下才可以判定为支气管。

[0121] 该方法通过标准差描述邻域体素灰度的变化情况,如果变化较大,则标准差也较大。该方法基于邻域均值和标准差判断体素点 $p$ 是否属于支气管,根据每个体素的邻域情况进行自适应判断,而不是直接采用固定参数。

[0122] 进一步地,在一些实施例中,通过解剖信息判断邻域体素点是否属于支气管具体包括:

[0123] 以邻域体素点 $p$ 为中心,向邻域发射射线,记录在距离阈值内满足 $v(p') = 0$ 和 $g(p') > g(p)$ 的体素点 $p'$ ;

[0124] 当体素点 $p'$ 的数量大于数量阈值时,判断邻域体素点 $p$ 属于支气管。

[0125] 在本实施例中,射线是指当前体素和邻域的一个体素组成一个向量,为一个有方向的射线。当得到射线后沿着射线的方向,逐个判断该射线在图像上所经过的体素点的灰度值和增强值与当前体素的关系。例如向邻域26个方向发射射线。由于支气管内部为空气,腔内低灰度且被高密度气管腔壁包围,所以该方法通过解剖信息进一步判断邻域体素点 $p$ 是否属于支气管。以邻域体素点 $p$ 为中心,向26-邻域体素点发射射线,参见图2,记录在距离1内是否存在体素点 $p'$ 满足条件 $v(p') = 0$ 和 $g(p') > g(p)$ ,统计26-邻域射线方向上满足条件的体素点 $p'$ 的数量,如果数量大于数量阈值 $t$ 时,则邻域体素点 $p$ 属于支气管。该方法利用先验解剖信息,向邻域发射射线,并统计射线上体素与中心体素的灰度和增强统计信息,提高了含有噪声或者局部容积效应区域的支气管分割精度。

[0126] 进一步地,在一些实施例中,在得到肺支气管分割图像之后,还包括:

[0127] 对肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像。

[0128] 在本实施例中,该方法当执行完区域增长后,就能得到所有属于支气管的种子点,例如将所有属于支气管的体素标记为1,将其他体素标记为0,得到肺支气管分割图像,该方法还可以对肺支气管分割图像进行膨胀,例如膨胀半径可以为1,这样就可以将膨胀后得到的支气管壁加入到肺支气管分割图像中。该方法还可以通过三维重建算法根据肺支气管分割图像重建三维模型。

[0129] 为了进一步地说明该方法分割得到的肺支气管分割图像的准确性,本实施例提供

以下例子进行说明：

[0130] 图3a-3c分别为从横断面、矢状面和冠状面三个方向查看的胸肺部CT图像,图4a-4c为基于标记分水岭算法分割的主干气管图像、右肺图像、左肺图像,右肺图像和左肺图像构成肺部肺部图像。图5a为采用分割出的肺支气管分割图像重建的三维模型,图5b为主干气管图像对应的三维模型与肺支气管分割图像对应的三维模型融合对比图,可以看出,该方法能够分割出更为细致且丰富的肺支气管。图6a-6c分别为从横断面、矢状面和冠状面三个方向查看的低剂量胸肺部CT图像,图6d为该方法分割图6a-6c的低剂量胸肺部CT图像得到的肺支气管分割图像。

[0131] 一种基于CT图像的肺支气管自动分割系统,参见图7,包括:

[0132] 采集单元1:用于获取胸肺部CT图像;

[0133] 初次分割单元2:用于对胸肺部CT图像进行初次分割,以得到主干气管图像和肺部图像;

[0134] 直方图统计单元3:用于对肺部图像进行多尺度管状增强,并统计灰度分布直方图,以得到灰度阈值和增强灰度阈值;

[0135] 区域增长单元4:用于根据主干气管图像构建种子点队列,利用灰度阈值和增强灰度阈值执行区域增长,以得到肺支气管分割图像;

[0136] 后处理单元5:对肺支气管分割图像进行膨胀,以得到最终的肺支气管分割图像。

[0137] 本发明实施例所提供的系统,为简要描述,实施例部分未提及之处,可参考前述实施例中相应内容。

[0138] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围,其均应涵盖在本发明的权利要求和说明书的范围当中。

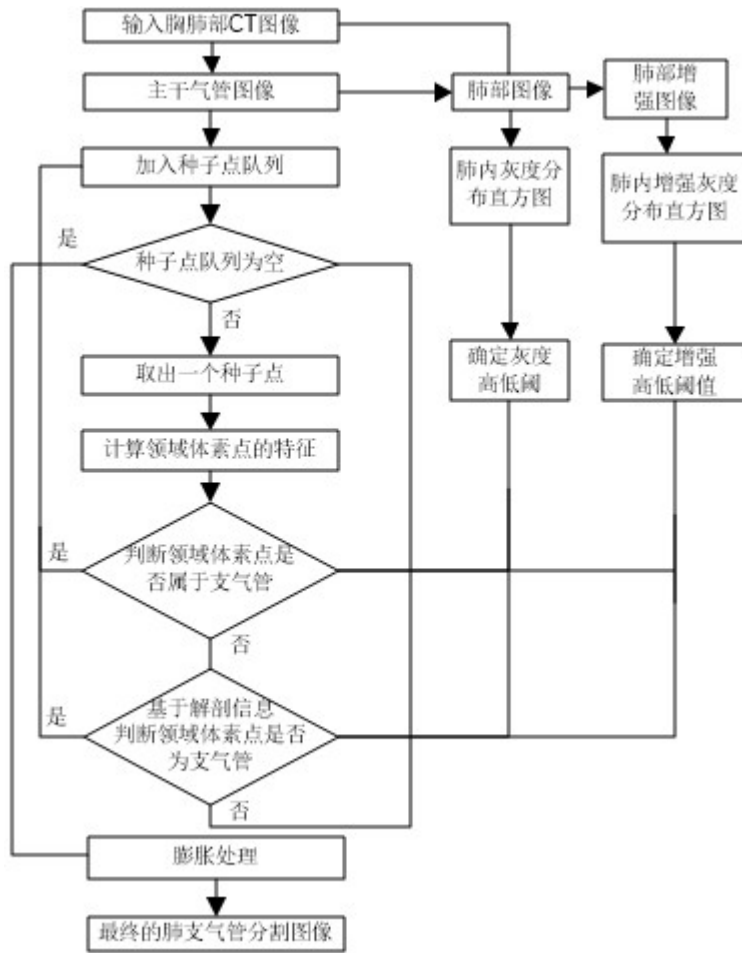


图1

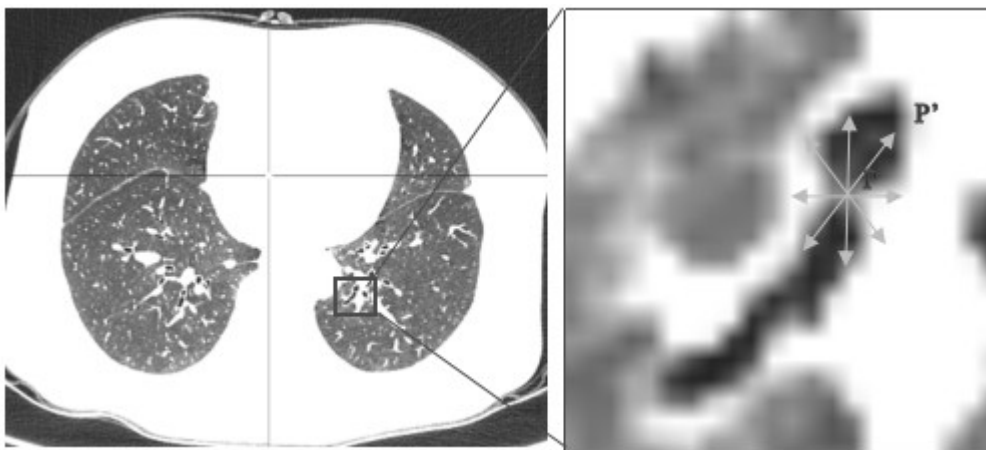


图2

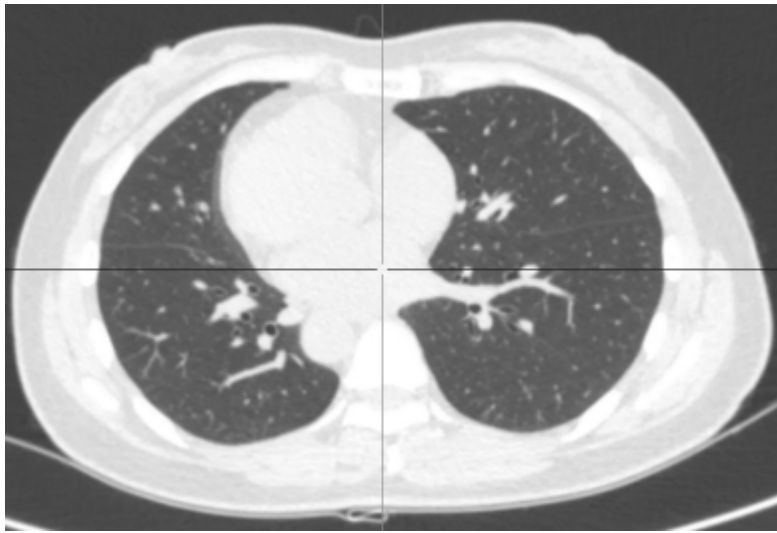


图3a

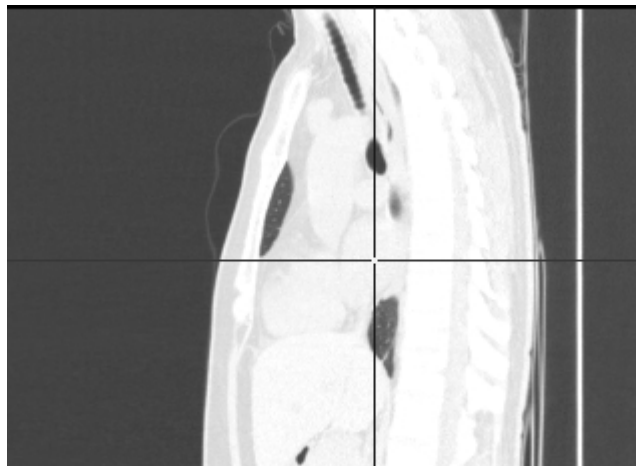


图3b



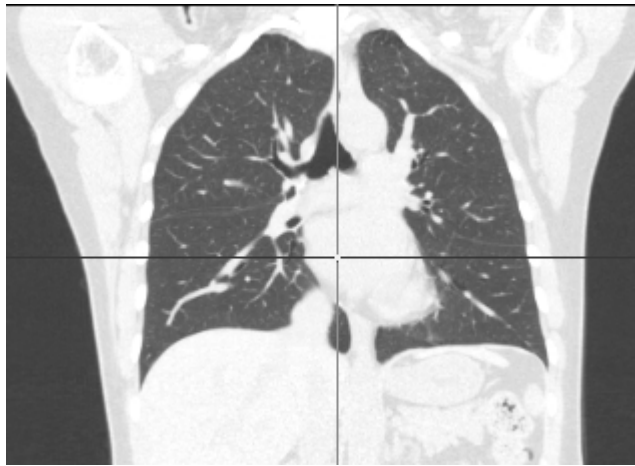


图3c

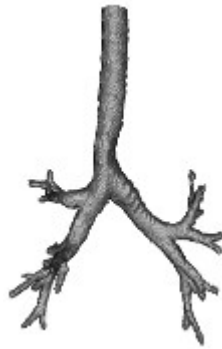


图4a



图4b



图4c

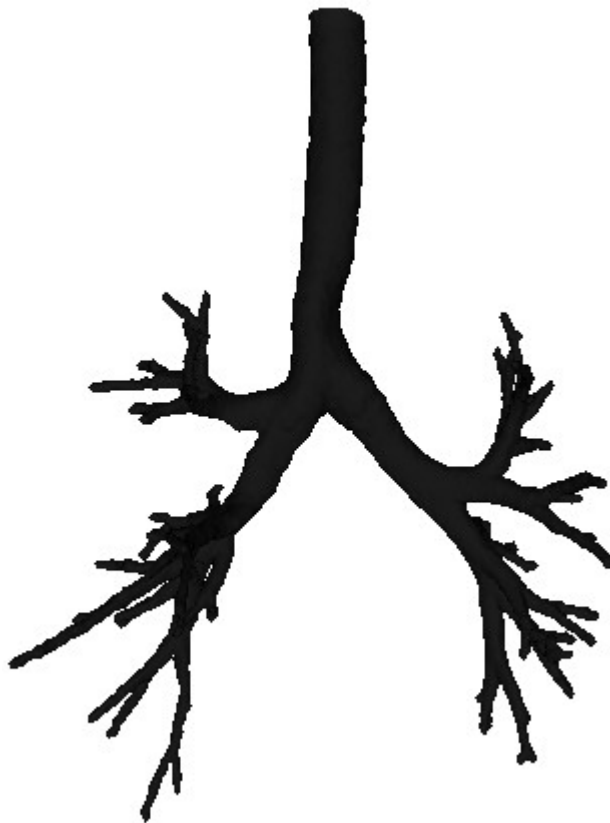


图5a

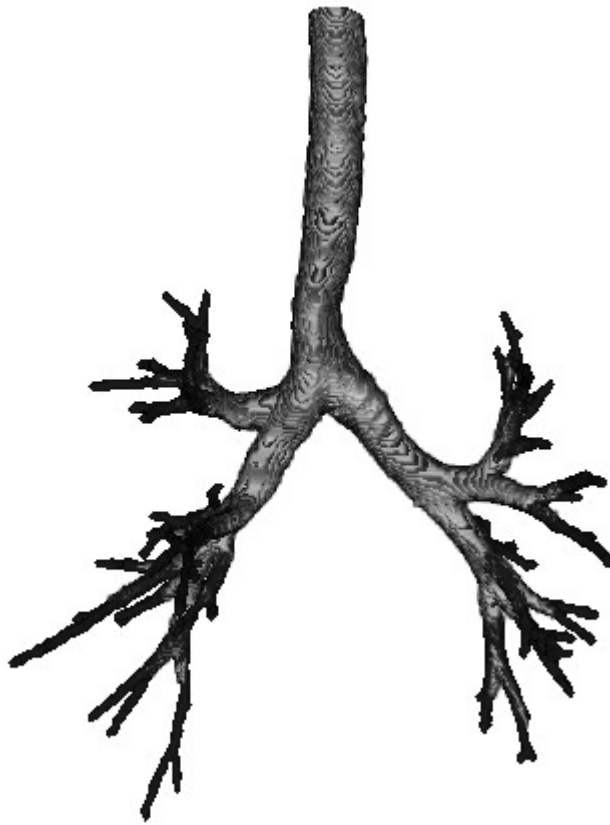


图5b



图6a

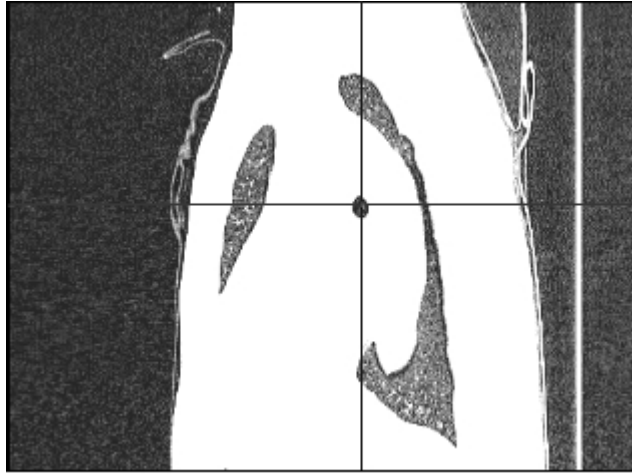


图6b

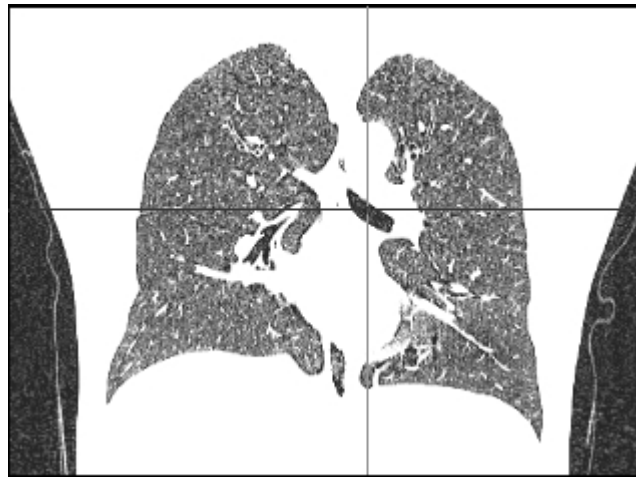


图6c

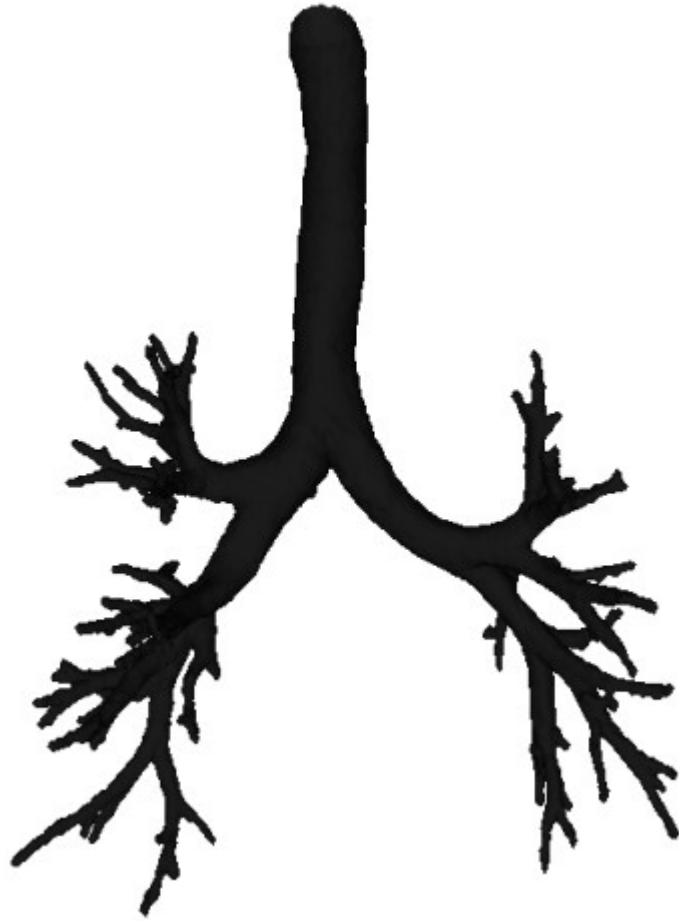


图6d

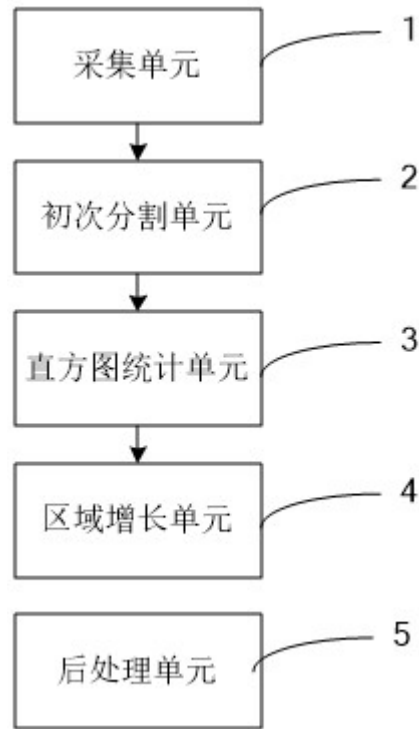


图7