

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101366638 B

(45) 授权公告日 2011.01.26

(21) 申请号 200710141622.6

社, 2005, 第 93 页 -96 页.

(22) 申请日 2007.08.17

审查员 杨德智

(73) 专利权人 上海西门子医疗器械有限公司

地址 201318 上海市南汇区周祝公路 278 号

(72) 发明人 张颖

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 张亮

(51) Int. Cl.

A61B 6/03(2006.01)

G06T 11/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1889125 A, 全文.

CN 1892696 A, 2007.01.10, 全文.

朱虹. 数字图像处理基础. 科学出版

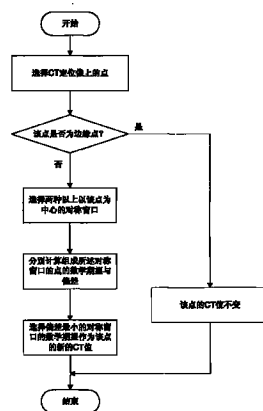
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种改善图像质量的方法

(57) 摘要

本发明提出一种改善图像质量的方法,该方法包含以下步骤:(1)对于图像上的每一个像素点,判断所述点是否为边缘点;(2)若所述点为边缘点,则仍以所述点的图像值作为所述点的新的图像值;(3)若所述像素点为非边缘点,则首先选择两个以上以所述像素点为中心的对称窗口;然后分别计算组成所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差;最后选择所述偏差最小的对称窗口的数学期望作为所述像素点的新的图像值。该方法对 CT 定位像中包含的噪声,尤其是各种随机噪声、在人体内部的金属部件和其他嵌入式部件所引起的噪声进行了平滑,并且不会对定位像的轮廓产生大的影响,从而更加便于 FOV 的分析、识别以及最后的确定。



1. 一种改善图像质量的方法,其特征在于该方法包含以下步骤:

(1) 对于图像上的每一个像素点,判断所述像素点是否为边缘点;

(2) 若所述像素点为边缘点,则仍以所述像素点的图像值作为所述像素点的新的图像值;

(3) 若所述像素点为非边缘点,则首先选择两种以上以所述像素点为中心的对称窗口;然后分别计算组成所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差;最后选择所述偏差最小的对称窗口的数学期望作为所述像素点的新的图像值;

其中,所述每种以所述像素点为中心的对称窗口包括至少两个对称子窗口;计算每种所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成每种所述对称窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差;或者是计算组成每种所述对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

2. 根据权利要求1所述的改善图像质量的方法,其特征在于,所述每种以所述像素点为中心的对称窗口包括4个对称子窗口。

3. 根据权利要求1所述的改善图像质量的方法,其特征在于,所述对称子窗口分别为以所述像素点为顶点或边点的四边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的五边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的六边形子窗口中的至少两种子窗口。

4. 根据权利要求3所述的改善图像质量的方法,其特征在于,所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的六边形子窗口。

5. 根据权利要求3所述的改善图像质量的方法,其特征在于,所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的六边形子窗口。

6. 根据权利要求1所述的改善图像质量的方法,其特征在于,所述图像上所述像素点的图像值为所述像素点的CT值。

一种改善图像质量的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种改善图像质量的方法,尤其是一种在计算机断层扫描(Computed Tomography,以下简称CT)的定位像(Topogram,也称Topo像)上改善图像质量的方法。

背景技术

[0002] 一般在CT设备开始系列扫描或者螺旋扫描之前,需要对病人扫一幅定位像,以通过该定位像来确定扫描范围以及进行图像重建(ImageReconstruction)的定位。然后利用X射线源对病人的被检查部位进行扫描得到投影数据来进行图像重建从而产生医学图像。

[0003] 得到CT定位像后,会在其上面设置扫描的范围以及重建视野(Field ofView,以下简称FOV),在定位像上的FOV通常用一矩形表示,在一些特殊的情况下,也可以采用平行四边形表示。其中,沿病人身体高度方向的边(即矩形的上下边)用于确定扫描范围,利用这个扫描范围,感兴趣的检查部位被包括在扫描和重建图像中,病人的其他部位免于扫描;而沿病人身体宽度方向的边(即矩形的左右边)用于确定FOV,该FOV用于规定图像显示范围,即被检查部位在图像中的显示位置和大小。CT设备将根据上述矩形设定的范围进行随后的系列扫描或者螺旋扫描以及进行图像重建。目前已有多种在定位像上沿身体边界自动确定和设置FOV的方法。

[0004] 在定位像扫描时,所得到的定位像中可能会包含一些噪声,例如各种随机噪声、在人体内部的金属部件和其他嵌入式部件所引起的噪声、以及其他各类噪声。这些噪声的存在将会对FOV的分析、识别以及最后的确定带来不利影响。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的是提供一种改善图像质量的方法,通过该方法一方面能够平滑定位像中包含的噪声,另一方面不会对定位像的轮廓产生大的影响,从而更加便于确定定位像的重建视野。

[0006] 为达到上述目的,本发明的技术方案具体是这样实现的:一种改善图像质量的方法,该方法包含以下步骤:

[0007] (1) 对于图像上的每一个像素点,判断所述像素点是否为边缘点;

[0008] (2) 若所述像素点为边缘点,则仍以所述像素点的图像值作为所述像素点的新的图像值;

[0009] (3) 若所述像素点为非边缘点,则首先选择两种以上以所述像素点为中心的对称窗口;然后分别计算组成所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差;最后选择所述偏差最小的对称窗口的数学期望作为所述像素点的新的图像值。

[0010] 其中,所述每种以所述像素点为中心的对称窗口包括至少两个对称子窗口。优选地,所述每种以所述像素点为中心的对称窗口包括4个对称子窗口。

[0011] 其中,所述对称子窗口分别为以所述像素点为顶点或边点的四边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的五边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的六边形子窗口中的

至少两种子窗口。

[0012] 其中,计算每种所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成每种所述对称窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差;或者是计算组成每种所述对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

[0013] 作为本发明的一个优选方案,所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的六边形子窗口。

[0014] 作为本发明的另一个优选方案,所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的六边形子窗口。

[0015] 其中,所述图像上所述像素点的图像值为所述像素点的CT值。

[0016] 采用了上述方法后,对CT定位像中包含的噪声,尤其是各种随机噪声、在人体内部的金属部件和其他嵌入式部件所引起的噪声进行了平滑。同时该方法不会对定位像的轮廓产生大的影响,从而更加便于FOV的分析、识别以及最后的确定。

附图说明

[0017] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细的描述,其中:

[0018] 图1是本发明中采用的改善定位像质量的方法流程图。

[0019] 图2是本发明实施例一,其中,图2a表示要计算的定位像像素点是非边缘点P(3,3),图2b、图2c、图2d分别是采用四边形、五边形、六边形子窗口组成三种对称窗口进行计算的过程说明示意图。

[0020] 图3是本发明实施例二,其中,图3a表示要计算的定位像像素点是非边缘点P(3,3),图3b、图3c、图3d分别是采用与图2中不同的四边形、五边形、六边形子窗口组成三种对称窗口进行计算的过程说明示意图。

具体实施方式

[0021] 图1是本发明中采用的改善定位像质量的方法流程图。一般来说,一幅CT定位像通常由 $512*512$ 个像素点组成,每个像素点具有一个图像值,称为CT值。根据本发明方法,首先判断图像上的每一个像素点是否为边缘点。这里所谓的边缘点,即不能采用本发明下面提及的对称窗口来计算其数学期望的像素点。通常在图像的前两行、最后两行、前两列、最后两列上的像素点均属于边缘点。

[0022] 若CT定位像上的一个像素点属于上述所说的边缘点,则仍以该像素点的CT值作为所述像素点的新的CT值;

[0023] 若CT定位像上的一个像素点不属于上述所说的边缘点,则首先选择两种以上以所述像素点为中心的对称窗口,然后分别计算组成所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差;最后选择所述偏差最小的对称窗口的数学期望作为所述像素点的新的图像值。

[0024] 每种以所述像素点为中心的对称窗口包括至少两个对称子窗口,本发明实施例中

包括 4 个对称子窗口。

[0025] 对称子窗口分别为以所述像素点为顶点或边点的四边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的五边形子窗口、以所述像素点为顶点或边点的六边形子窗口中的至少两种子窗口。

[0026] 其中,计算每种所述对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成每种所述对称窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差;或者是计算组成每种所述对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

[0027] 所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的六边形子窗口。

[0028] 所述四边形子窗口为以所述像素点为顶点的正方形子窗口;所述五边形子窗口为分别沿该像素点的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称的五边形子窗口;所述六边形子窗口为分别沿该像素点的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称的六边形子窗口。

[0029] 经过上述计算后,选择偏差最小的方向上所述像素点的数学期望作为所述像素点的新的 CT 值。

[0030] 图 2 是本发明实施例一,其中,图 2a 表示要计算的定位像像素点是非边缘点 $P(3, 3)$,图 2b、图 2c、图 2d 分别是采用四边形、五边形、六边形子窗口组成三种对称窗口进行计算的过程说明示意图。在图 2 中,首先选择 3 种以所述像素点 $P(3, 3)$ 为中心的对称窗口。每种对称窗口包括 4 个对称子窗口。第一种对称窗口包括 4 个正方形子窗口,其中每个正方形子窗口都以像素点 $P(3, 3)$ 为一个顶点,第二种对称窗口包括 4 个以像素点 $P(3, 3)$ 为顶点的五边形子窗口,这 4 个五边形子窗口分别沿该像素点 $P(3, 3)$ 的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向对称,第三种对称窗口包括 4 个以像素点 $P(3, 3)$ 为顶点的六边形子窗口,这 4 个六边形子窗口分别沿该像素点 $P(3, 3)$ 的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向对称。

[0031] 本实施例中,计算第一种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成第一种对称窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差;而计算第二种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成第二种对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。计算第三种对称窗口的像素点的数学期望与偏差,采用的方法与第二种对称窗口的计算方法相同,即计算组成第三种对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

[0032] 图 2 中像素点的坐标表示为:

[0033] $P(1, 1)P(1, 2)P(1, 3)P(1, 4)P(1, 5)$

[0034] $P(2, 1)P(2, 2)P(2, 3)P(2, 4)P(2, 5)$

[0035] $P(3, 1)P(3, 2)P(3, 3)P(3, 4)P(3, 5)$

[0036] $P(4, 1)P(4, 2)P(4, 3)P(4, 4)P(4, 5)$

[0037] $P(5, 1)P(5, 2)P(5, 3)P(5, 4)P(5, 5)$

[0038] 在图 2b 中,计算第一种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,以要计算的像素点 $P(3, 3)$ 为中心,沿该像素点的 0° 方向至 360° 方向上用该对称窗口的轮廓线上的像素点计算像素点 $P(3, 3)$ 的 CT 值的数学期望与偏差:

$$[0039] \quad Ave_{ir} = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \\ k=1 \dots n}} rect_{ik}$$

[0040] (公式 1)

$$[0041] \quad Diff_{ir} = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{i=1 \\ k=1 \dots n}} |Ave_{ir} - rect_{ik}|$$

[0042] (公式 2)

[0043] 在公式 1 和公式 2 中, $rect$ 表示矩形窗口, 下标 r 也表示矩形窗口, i 表示矩形的个数, 此处 $i = 1$, n 表示组成矩形的像素点数, 此处 $n = 8$ 。

[0044] 根据上述公式 1 可知, 计算中间像素点 $P(3,3)$ 的数学期望即计算组成该对称窗口的轮廓线上的 8 个像素点的 CT 值的数学期望, 也就是说计算像素点 $P(2,2)$ 、 $P(2,3)$ 、 $P(2,4)$ 、 $P(3,2)$ 、 $P(3,4)$ 、 $P(4,2)$ 、 $P(4,3)$ 、 $P(4,4)$ 的 CT 值的数学期望。得到中间像素点 $P(3,3)$ 的 CT 值的数学期望之后, 根据公式 2 可以计算出所述数学期望与组成对称窗口的轮廓线上的每一个像素点的 CT 值之差, 对所述差值的绝对值进行求和, 再进行平均 (除以 $(n-1)$), 即可得到用矩形窗口计算的 CT 值的偏差。

[0045] 而计算第二种和第三种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时, 是分别计算组成第二种对称窗口和第三种对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

[0046] 在图 2c 中, 计算第二种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时, 以要计算的像素点 $P(3,3)$ 为中心, 计算组成该对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。更具体地说, 即计算沿该像素点 $P(3,3)$ 的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向的所有四个五边形对称子窗口轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。图 2c 中的虚线表示沿该像素点 $P(3,3)$ 的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向, 对每一个方向上分别有一个加粗的实线表示相应的五边形子窗口。计算数学期望与偏差的公式如下:

$$[0047] \quad Ave_{ip} = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \dots 4 \\ k=1 \dots n}} pentagon_{ik}$$

[0048] (公式 3)

$$[0049] \quad Diff_{ip} = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{i=1 \dots 4 \\ k=1 \dots n}} |Ave_{ip} - pentagon_{ik}|$$

[0050] (公式 4)

[0051] 在公式 3 和公式 4 中, $pentagon$ 表示五边形子窗口, 下标 p 也表示五边形子窗口, i 表示五边形子窗口的个数, 此处 $i = 4$, n 表示组成第 i 个五边形子窗口的像素点数, 此处 $n = 6$ 。

[0052] 根据上述公式 3 可知, 计算中间像素点 $P(3,3)$ 的数学期望即计算组成四个五边形子窗口的所有像素点的 CT 值的数学期望。也就是说, 当 $i = 1$ 时, 是对位于像素点 $P(3,3)$ 0° 方向的五边形而言, 此时 $n = 1, 2, \dots, 6$, 组成五边形的像素点即 $P(3,3)$ 、 $P(2,4)$ 、 $P(2,5)$ 、 $P(3,5)$ 、 $P(4,4)$ 、 $P(4,5)$ 。当 $i = 2$ 时, 是对位于像素点 $P(3,3)$ 90° 方向的五边形而言, 此时 $n = 1, 2, \dots, 6$, 组成五边形的像素点即像素点 $P(3,3)$ 、 $P(2,2)$ 、 $P(1,2)$ 、 $P(1,3)$ 、 $P(1,4)$ 、 $P(2,4)$ 。当 $i = 3$ 时, 是对位于像素点 $P(3,3)$ 180° 方向的五边形而言, 此时 $n = 1$,

2, …6, 组成五边形的像素点即像素点 P(3, 3)、P(4, 2)、P(4, 1)、P(3, 1)、P(2, 1)、P(2, 2)。当 i = 4 时, 是对位于像素点 P(3, 3) 270° 方向的五边形而言, 此时 n = 1, 2, …6, 组成五边形的像素点即像素点 P(3, 3)、P(4, 2)、P(5, 2)、P(5, 3)、P(5, 4)、P(4, 4)。计算上述 24 个像素点的 CT 值的和, 再进行平均 (除以 n), 即可得到沿该像素点 P(3, 3) 的 0°、90°、180°、270° 方向的所有四个五边形对称子窗口轮廓线上的像素点的数学期望。

[0053] 得到像素点 P(3, 3) 的 CT 值的数学期望之后, 根据公式 4 可以首先计算出所述数学期望与组成五边形子窗口的每一个像素点的 CT 值之差, 对所述差值的绝对值进行求和, 再进行平均 (除以 (n-1)), 即可得到沿该像素点 P(3, 3) 的 0°、90°、180°、270° 方向的所有四个五边形对称子窗口轮廓线上的像素点的偏差。

[0054] 在图 2d 中, 计算第三种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时, 以要计算的像素点 P(3, 3) 为中心, 计算组成该对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。更具体地说, 即计算沿该像素点 P(3, 3) 的 45°、135°、225°、315° 方向的所有四个六边形对称子窗口轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。图 2d 中的虚线表示沿该像素点 P(3, 3) 的 45°、135°、225°、315° 方向, 对每一个方向上分别有一个加粗的实线表示相应的六边形子窗口。计算数学期望与偏差的公式如下:

$$[0055] \quad Ave_{ih} = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \dots 4 \\ k=1 \dots n}} hexagon_{ik}$$

[0056] (公式 5)

$$[0057] \quad Diff_{ih} = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{i=1 \dots 4 \\ k=1 \dots n}} |Ave_{ih} - hexagon_{ik}|$$

[0058] (公式 6)

[0059] 在公式 5 和公式 6 中, hexagon 表示六边形子窗口, 下标 h 也表示六边形子窗口, i 表示六边形子窗口的个数, 此处 i = 4, n 表示组成第 i 个六边形子窗口的像素点数, 此处 n = 6。

[0060] 根据上述公式 5 可知, 计算中间像素点 P(3, 3) 的数学期望即计算组成四个六边形子窗口的所有像素点的 CT 值的数学期望。也就是说, 当 i = 1 时, 是对于位于像素点 P(3, 3) 45° 方向的六边形而言, 此时 n = 1, 2, …6, 组成六边形的像素点即 P(3, 3)、P(3, 4)、P(2, 5)、P(1, 5)、P(1, 4)、P(2, 3)。当 i = 2 时, 是对于位于像素点 P(3, 3) 135° 方向的六边形而言, 此时 n = 1, 2, …6, 组成六边形的像素点即 P(3, 3)、P(2, 3)、P(1, 2)、P(1, 1)、P(2, 1)、P(3, 2)。当 i = 3 时, 是对于位于像素点 P(3, 3) 225° 方向的六边形而言, 此时 n = 1, 2, …6, 组成六边形的像素点即 P(3, 3)、P(3, 2)、P(4, 1)、P(5, 1)、P(5, 2)、P(4, 3)。当 i = 4 时, 是对于位于像素点 P(3, 3) 315° 方向的六边形而言, 此时 n = 1, 2, …6, 组成六边形的像素点即 P(3, 3)、P(4, 3)、P(5, 4)、P(5, 5)、P(4, 5)、P(3, 4)。计算上述 24 个像素点的 CT 值的和, 再进行平均 (除以 n), 即可得到沿该像素点 P(3, 3) 的 45°、135°、225°、315° 方向的所有四个六边形对称子窗口轮廓线上的像素点的数学期望。

[0061] 得到像素点 P(3, 3) 的 CT 值的数学期望之后, 根据公式 6 可以首先计算出所述数学期望与组成六边形子窗口的每一个像素点的 CT 值之差, 对所述差值的绝对值进行求和, 再进行平均 (除以 (n-1)), 即可得到沿该像素点 P(3, 3) 的 45°、135°、225°、315° 方向的所有四个六边形对称子窗口轮廓线上的像素点的偏差。

[0062] 经过上述计算后,将计算得到的组成三个对称窗口的像素点的 CT 值的偏差进行比较。选择其中偏差最小的对称窗口的数学期望作为像素点 P(3,3) 的新的 CT 值。

[0063] 图 3 是本发明实施例二,其中,图 3a 表示要计算的定位像像素点是非边缘点 P(3,3),图 3b、图 3c、图 3d 分别是采用与图 2 中不同的四边形、五边形、六边形子窗口组成三种对称窗口进行计算的过程说明示意图。与图 2 中相同的是,首先也选择 3 种以所述像素点 P(3,3) 为中心的对称窗口。每种对称窗口也包括 4 个对称子窗口。

[0064] 与图 2 相同,第一种对称窗口包括 4 个以像素点 P(3,3) 为顶点的正方形子窗口,第二种对称窗口包括 4 个以像素点 P(3,3) 为顶点的五边形子窗口、第三种对称窗口包括 4 个以像素点 P(3,3) 为顶点的六边形子窗口。与图 2 中不同的是,所述五边形子窗口为沿该像素点 P(3,3) 的 45° 、 135° 、 225° 、 315° 方向的 4 个五边形子窗口;所述六边形窗口为沿该像素点 P(3,3) 的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向的 4 个六边形子窗口。

[0065] 其计算过程则与实施例一类似。例如,计算第一种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是计算组成该对称窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差;而计算第二种和第三种对称窗口的像素点的数学期望与偏差时,是分别计算组成第二种和第三种对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点的数学期望与偏差。

[0066] 除上述实施例一和实施例二所列举的情况之外,在计算这三种对称窗口的数学期望和偏差时,还可以分别计算组成三种对称窗口的轮廓线上的像素点来计算数学期望与偏差。或者,分别计算组成三种对称窗口的所有对称子窗口的轮廓线上的像素点来计算数学期望与偏差。

[0067] 采用了上述方法后,CT 定位像上的所有像素点的 CT 值都已经更新为新的 CT 值。具有新的 CT 值的定位像已经对其中的噪声,尤其是各种随机噪声、在人体内部的金属部件和其他嵌入式部件所引起的噪声进行了平滑。如果需要,可以按照上述方法对具有新的 CT 值的定位像上的像素点再进行一次或者多次计算。该方法不会对定位像的轮廓产生大的影响,从而更加便于 FOV 的分析、识别以及最后的确定。

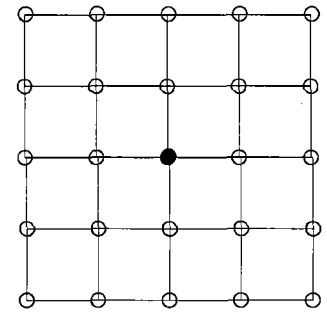
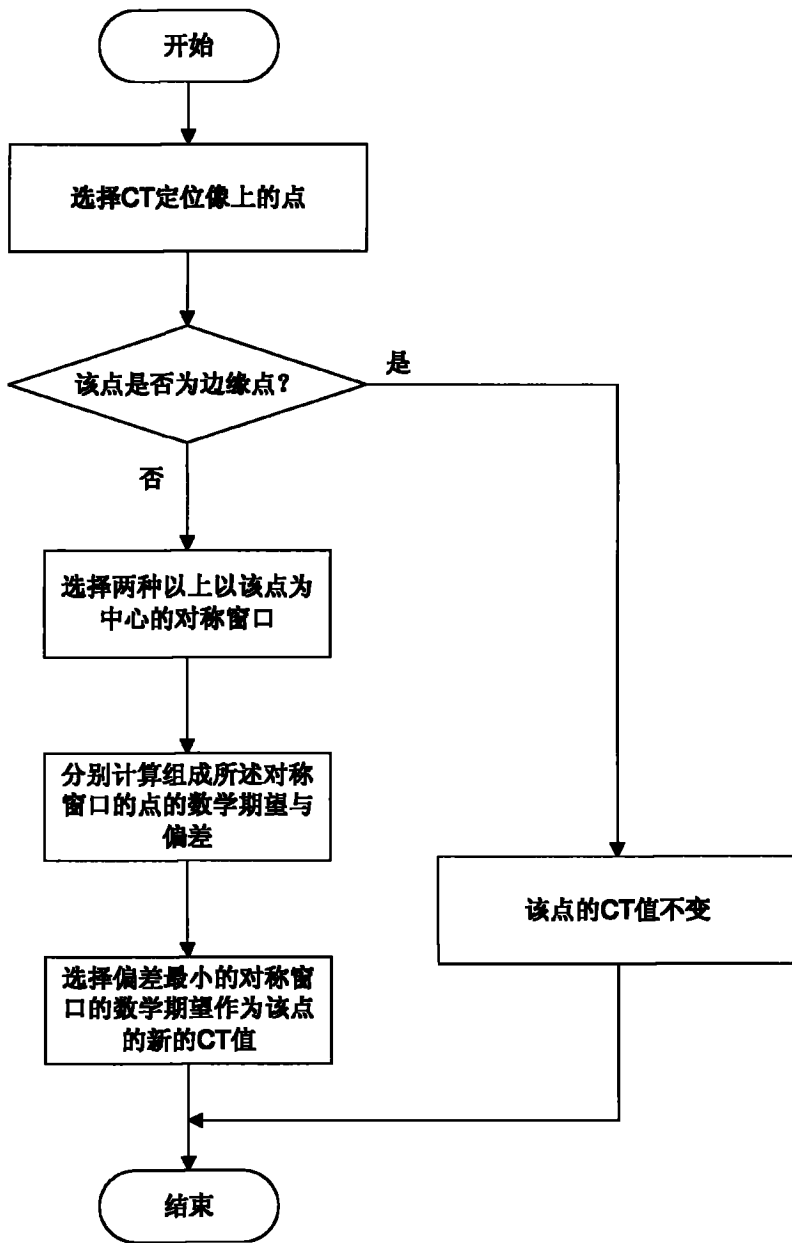


图 2a

图 1

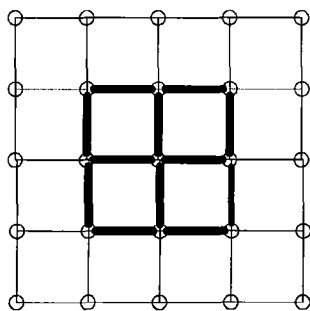


图 2b

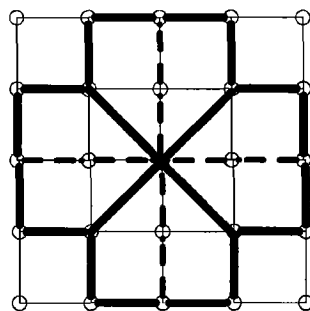


图 2c

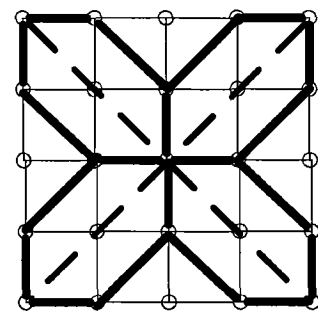


图 2d

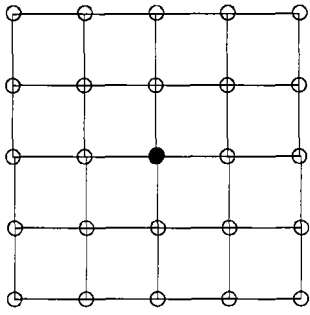


图 3a

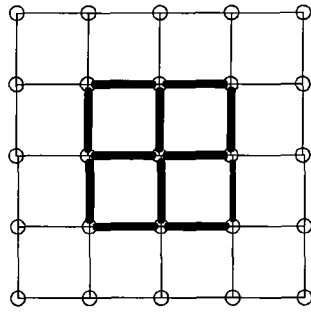


图 3b

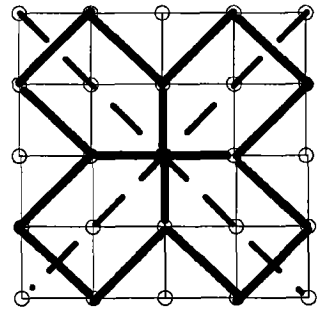


图 3c

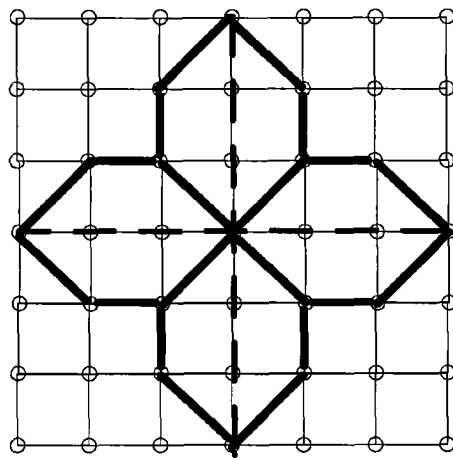


图 3d