



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102693547 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 26

(21) 申请号 201110463291. 4

(22) 申请日 2011. 12. 20

(30) 优先权数据

12/973, 734 2010. 12. 20 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 A·S·罗斯 V·V·L·R·兰戈朱

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 张金金 朱海煜

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006. 01)

A61B 19/00(2006. 01)

A61B 5/053(2006. 01)

A61B 5/00(2006. 01)

A61B 8/00(2006. 01)

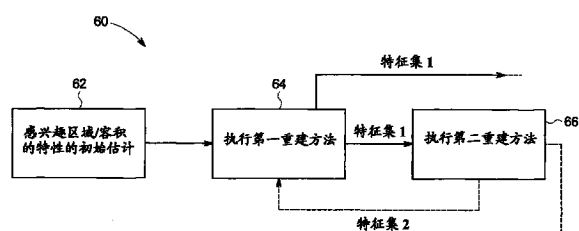
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

(54) 发明名称

软场重建的系统和方法

(57) 摘要

提供了一种软场重建的系统和方法。该方法包括:建立对象的特性分布的初始估计;使用第一重建过程重建实际特性分布的估计,以及采用不同于第一重建过程的第二重建过程来进一步重建实际特性分布的估计。来自第一重建过程的解被用作第二重建过程中的初始估计。



1. 一种用于软场层析成像重建的方法,所述方法包括:
建立对象的特性分布的初始估计;
使用第一重建过程重建实际特性分布的估计;以及
使用不同于所述第一重建过程的第二重建过程来进一步重建所述实际特性分布的估计,其中来自所述第一重建过程的解被用作所述第二重建过程中的初始估计。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一重建过程确定所述实际特性分布的值的估计。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二重建过程确定对于所述实际特性分布的感兴趣区域的或所述对象的边界的估计。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中使用所述第一重建过程包括使用基于灵敏度矩阵的重建算法。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中使用所述第二重建过程包括使用形状重建方法。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中所述形状重建算法包括水平集算法。
7. 根据权利要求1所述的方法,还包括使用来自所述第二重建过程的解作为所述第一重建过程中的初始估计。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述特性分布是在电阻抗谱(EIS)、电阻抗层析成像(EIT)、扩散光学层析成像(DOT)、近红外谱(NIRS)、热成像、弹性成像或微波层析成像中的一个中确定的分布。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述特性分布包括电导率、介电常数、磁导率、光吸收率、光散射、光反射率、弹性、或热导率中的一个或多个的分布。
10. 根据权利要求1所述的方法,还包括从为确定所述实际特性分布的估计的值而优化的一类算法中选择所述第一重建过程。
11. 根据权利要求10所述的方法,还包括从为形状重建而优化的一类算法中选择所述第二重建过程。
12. 根据权利要求1所述的方法,还包括从为形状重建而优化的一类算法中选择所述第一重建过程。
13. 根据权利要求12所述的方法,还包括从为确定所述实际特性分布的估计的值而优化的一类算法中选择所述第二重建过程。
14. 根据权利要求1所述的方法,还包括使用与所述第一和第二重建过程均不同的第三重建过程来执行附加的重建。
15. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一重建过程确定第一特征集,以及所述第二重建过程确定不同于所述第一特征集的第二特征集。
16. 根据权利要求1所述的方法,还包括使用所述第一重建过程执行感兴趣区域定位以及使用所述第二重建过程执行边界估计。
17. 根据权利要求1所述的方法,还包括使用所述第一重建过程执行边界估计以及使用所述第二重建过程执行感兴趣区域定位。
18. 一种软场层析成像重建方法,所述方法包括:
使用基于灵敏度矩阵的方法执行初始重建以估计特性分布的一个或多个感兴趣区域位置;

使用来自所述初始重建的信息作为用于边界位置重建的先验量；以及
使用利用该先验量的形状重建方法执行边界位置重建以定位所述一个或多个感兴趣区域位置。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，其中所述形状重建方法包括水平集算法。

20. 根据权利要求 18 所述的方法，其中所述初始重建包括迭代重建。

21. 根据权利要求 18 所述的方法，其中所述初始重建包括单遍重建。

22. 根据权利要求 18 所述的方法，还包括使用来自所述边界位置重建的信息作为先验量再次执行基于灵敏度矩阵方法的重建。

23. 根据权利要求 18 所述的方法，还包括使用电阻抗谱系统或电阻抗层析成像系统获得限定所述特性分布的阻抗信息。

24. 根据权利要求 18 所述的方法，其中所述特性分布是在电阻抗谱 (EIS)、电阻抗层析成像 (EIT)、扩散光学层析成像 (DOT)、近红外谱 (NIRS)、热成像、弹性成像或微波层析成像中的一个或多个中确定的分布。

25. 根据权利要求 18 所述的方法，其中所述特性分布包括电导率、介电常数、磁导率、光吸收率、光散射、光反射率、弹性、或热导率中的一个或多个的分布。

26. 一种软场层析成像系统，包括：

多个换能器，其配置成接近对象表面而定位；

一个或多个激励驱动器，其与所述多个换能器耦合并配置成生成用于所述多个换能器的激励信号；

一个或多个响应探测器，其与所述多个换能器耦合并配置成测量所述多个换能器上的所述对象的响应，所述响应针对由所述多个换能器基于所述激励信号而施加的所述激励；

软场重建模块，其配置成使用多个不同的重建过程基于所述激励信号和所测量的响应来重建特性分布，其中所述多个重建过程中的至少一个的解用作所述多个重建过程的后续一个的至少一个的先验信息。

27. 根据权利要求 26 所述的软场层析成像系统，其中所述软场重建模块配置为针对所述多个重建过程的第一重建过程使用基于灵敏度矩阵的重建算法，以及针对所述多个重建过程的第二后续重建过程使用水平集算法。

软场重建的系统和方法

技术领域

[0001] 本文公开的该主题通常涉及数据重建系统和方法,以及更特别的是,涉及识别感兴趣区域的边界以及估计其特性的系统和方法,特别是在软场重建中。

背景技术

[0002] 软场层析成像,诸如电阻抗谱 (EIS) (也称为电阻抗层析成像 (EIT))、扩散光学层析成像、弹性图像、以及相关形态可以用于测量对象的内部特性,诸如包括对象 (例如,人体区域) 的内部结构的物质的电特性。例如,在 EIT 系统中,对内部结构的电导率的分布做出估计。基于施加的激励 (例如,电流) 和在区域或容积的表面所采集的测量的响应 (例如,电压),这种 EIT 系统重建该区域或容积内物质的电导率和 / 或介电常数。然后可以形成估计的可视分布。

[0003] 在软场层析成像中,传统的重建算法依赖基于灵敏度矩阵的算法,其使用了关于在整个被重建的区域或容积上感兴趣的特性如何变化的梯度假设。特别是,灵敏度矩阵假设被重建的特性在整个被重建的区域或容积上平滑改变。该假设通常是感兴趣的实际对象内的特性分布的拙劣近似。据此,诸如使用梯度限定特性的实际分布的假设通常是无效的。因此,重建图像的特征的区域或容积通常是不准确的,并且彼此紧挨的多个对象会模糊不清。

发明内容

[0004] 根据实施例,提供了一种软场层析成像重建的方法。该方法包括如下步骤:建立对象的特性分布的初始估计,使用第一重建过程重建实际特性分布的估计,以及采用不同于第一重建过程的第二重建过程来进一步重建实际特性分布的估计。来自第一重建过程的解被用作第二重建过程中的初始估计。

[0005] 根据另一实施例,提供了一种软场层析成像重建的方法。该方法包括如下步骤:使用基于灵敏度矩阵的方法执行初始重建以估计特性分布的一个或多个感兴趣区域位置,以及使用来自该初始重建的信息作为用于边界位置重建的先验量。该方法还包括使用利用先验量的形状探测处理来执行边界位置重建从而定位一个或多个感兴趣区域。

[0006] 根据又另一实施例,提供了一种软场层析成像系统,其包括:多个换能器,其配置成接近对象的外表面而定位,以及一个或多个激励驱动器,其与多个换能器耦合并配置成生成用于该多个换能器的激励信号。该软场层析成像系统还包括一个或多个响应探测器,其与多个换能器耦合并配置成测量该多个换能器上的响应,其响应多个换能器基于激励信号而施加的激励。该软场层析成像系统还包括软场重建模块,其配置成使用多个不同的重建过程基于激励信号和所测量的响应来重建对象的特性分布,其中该多个重建过程的至少一个的解用作该多个重建过程的后续一个的至少一个的先验信息。

附图说明

[0007] 当前公开的主题将通过阅读非限制性实施例的下文描述,并参照下面的附图得到更好的理解,其中:

[0008] 图 1 是示出根据各种实施例形成的软场层析成像系统的简化框图。

[0009] 图 2 是示出特性分布重建的简化图。

[0010] 图 3 是示出根据各种实施例的软场层析成像信息流程的框图。

[0011] 图 4 是示出根据各种实施例执行的重建过程的简化框图。

[0012] 图 5 是根据各种实施例的重建方法的流程图。

[0013] 图 6 是示出没有良好限定的边界的分布图。

[0014] 图 7 是示出针对图 6 中的分布的实际边界的分布图。

[0015] 图 8 是示出根据各种实施例的水平集过程 (level set process) 的图。

[0016] 图 9 是示出根据各种实施例的重建方法的各种分布和结果的图。

具体实施方式

[0017] 上述概要,以及下文对某些实施例的详细描述,当结合附图阅读时将得到更好的理解。就附图示出了各种实施例的功能块图而言,功能块不一定是硬件电路之间的划分指示。因此,例如,一个或多个功能块(例如,处理器、控制器、电路或存储器)可以在单片硬件或多片硬件中实现。应该理解的是,各种实施例并不限制于附图中所示的布置、部件/元件互连以及手段。

[0018] 如本文使用的,单数形式的以及以词“一个”(“a”/“an”)开头的模块或步骤应该理解为不排除多个所述元件或步骤,除非明确说明了该排除。此外,提及的“一个实施例”并非旨在解释为排除也合并所述的特征的其它实施例的存在。而且,除非有相反的确切说明,实施例“包括”或“具有”一个或多个拥有独特特性的模块,可以包括不具有那种特性的附加的这种模块。

[0019] 各种实施例提供了一种用于软场层析成像的系统和方法,其使用来自例如来自一个或多个重建算法的估计的先验信息(先验量),以识别感兴趣区域的位置,限定这些区域的边界,并估计一个或多个限定的有界区域的特性。先验量可以是特定重建过程之前获得的任何信息,例如,先验信息(i)来自假设或初始估计或(ii)被提供为来自计算装置或其他算法(例如,先前执行的重建过程)的输出。至少一个技术效果是改进的定位精度、感兴趣区域的特性值(例如,电导率、介电常数、光散射)的改进估计、对象或感兴趣区域边界的改进估计、和/或区域和/或容积估计的改进精度。例如,在医疗应用中,通过实施至少一个实施例,可以改进诊断精度以及可以减少对基于监测和警报的方法的错误警报。

[0020] 应该指出的是,本文使用的“软场层析成像”泛指不为“硬场层析成像”的层析成像方法的任何层析成像的或多维的扩展。

[0021] 图 1 示出了软场层析成像系统 20 的一个实施例。例如,软场层析成像系统 20 可以是电阻抗谱(EIS)系统,也称作为电阻抗层析成像(EIT)系统,其用于确定图 2 所示的对象 22 内物质的电特性。例如,可以确定对象 22 或其他区域或容积内部的电导率(σ)和/或介电常数(ϵ)的空间分布。因此,可以确定对象 22(例如,患者)的内部特性。在示出的实施例中,系统 20 包括多个换能器 24(例如,电极),其定位在对象 22 表面或接近对象 22 的表面,这在医疗应用中(例如,病人监护或组织表征)可以包括将多个换能器 24 附接到

患者或受检者的皮肤。例如,换能器 24 可以定位在对象 22 的表面上(例如,电极、热源、超声换能器)、靠近对象 22 的表面(例如,射频天线)、或者刺穿对象 22 的表面(例如,电极针)。因此,换能器 24 可以采取不同的形式,诸如表面接触电极、支起电极、电容耦合电极、以及诸如天线的导电线圈等等。

[0022] 应该指出的是,软场层析成像系统 20 可以是其他类型的系统。例如,软场层析成像系统 20 可以是扩散光学层析成像(DOT)系统、近红外谱(NIRS)系统、热成像系统、弹性成像系统或微波层析成像系统等等。

[0023] 激励驱动器 26 和响应探测器 28 与换能器 24 耦合,它们每一个都连接到软场重建模块 30。软场重建模块 30 可以是任何类型的处理器或计算装置,其至少部分基于从换能器 24 接收到的响应执行软场重建,本文将更加详细地描述。例如,软场重建模块 30 可以是硬件、软件或它们的组合。在一个实施例中,激励驱动器 26 和响应探测器 28 是物理上分离的装置。在其他实施例中,激励驱动器 26 和响应探测器 28 物理上集成为一个元件。还提供了控制器 33,控制器 33 发送指令给激励驱动器 26,激励驱动器 26 基于该指令驱动换能器 24。应该指出的是,激励驱动器 26 可以提供为连接换能器 24 的全部或子集。

[0024] 还应该指出的是,可使用不同类型的激励获取各种实施例重建过程中使用的特性分布数据。例如,电、磁、光、热或超声激励等等,可以结合各种实施例使用。在这些不同实施例中,换能器 24 可以以不同方式与对象 22 耦合,且不一定直接接触或仅在对象 22 的表面与对象 22 耦合(例如,电耦合、电容耦合、流电耦合等)。

[0025] 在一个实施例中,对象 22 是人体区域,诸如头部、胸部、或腿部,其中空气和组织具有不同的电导率。软场层析成像系统 20 显示人体区域的内部特性(例如,物质特性)的状况,从而可以帮助例如与出血、肿瘤、肺功能等等有关的疾病的诊断。对象不仅限于人类而动物也经受本文详细描述的技术。在其他实施例中,软场层析成像系统 20 可用于在各种其他应用中生成电阻抗分布的可视表示,各种应用诸如确定包括油和水的混合流体中的物质特性、或针对地下的陆地区域用于土壤分析和路基检验,等等。

[0026] 在各种实施例中,换能器 24 可以由任何合适的材料形成。例如,使用的换能器 24 的类型可以基于特定应用,这样针对该特定应用,相应的换能器类型(例如,电极、线圈等)被用来生成软场激励(例如,电磁场)以及接收对象对该激励的响应。在一些实施例中,导电材料可用于建立电流。例如,可以从诸如铜、金、铂、钢、银及其合金的一种或多种金属形成换能器 24。其他用于形成换能器 24 的示例性材料包括导电的非金属材料,诸如与微电路结合使用的基于硅的材料。在一个实施例中,其中对象 22 是人体区域,换能器 24 由银-氯化银形成。此外,换能器 24 可以用不同的形状和/或大小形成,例如,杆形、平板形、或针形结构。应该指出的是,在一些实施例中,换能器 24 是彼此绝缘的。在其他实施例中,换能器 24 可以定位成与对象 22 直接欧姆接触或与对象 22 电容耦合。

[0027] 在操作中,换能器 24 或换能器 24 的子集可用于传输信号(例如,传递或调制信号),例如,连续传递电流,或用于传递随时间变化的信号,这样在时间频率范围上(例如,1kHz 到 1MHz)可将激励施加到对象 22 的表面以在对象 22 内生成电磁(EM)场。在 EIS 或 EIT 应用中,产生的表面电势,即换能器 24 上的电压可以使用本文所述的重建方法的一个或多个实施例来测量,以确定电导率或介电常数分布。例如,可以基于换能器 24 的几何形状、施加的电流以及所测量的电压来重建可视分布。

[0028] 因此,在各种实施例中,激励驱动器 26 对每个换能器 24 施加激励,以及响应探测器 28 测量每个换能器 24(其可以由多路复用器的多路复用)上对象 22 的响应,其响应换能器 24 上施加的激励。应该指出的是,可以提供任何类型的激励,例如,电流、电压、磁场、射频波、热场、光信号、机械变形以及超声信号,等等。

[0029] 例如,在 EIS 或 EIT 应用中,并如图 2 所示,执行软场重建以识别对象 22 内的感兴趣区域 32。如图示,响应探测器 28(如图 1 所示)测量换能器 24 上的响应电压(或响应电流),其响应激励驱动器 26(如图 1 所示)施加到换能器 24 的电流(或电压)。

[0030] 应该指出的是,响应探测器 28 还可以包括一个或多个模拟信号调节元件(未示出),其放大和/或滤波所测量的响应电压或电流。在其他实施例中,软场层析成像系统 20 的处理器包括信号调节元件,其用于放大和/或滤波从响应探测器 28 接收到的响应电压或响应电流。

[0031] 因此,软场重建模块 30,计算对象 22 对所施加激励的响应。例如,图 3 示出了 EIS 信息流程图。特别是,基于来自计算装置 52 的激励使用正向模型 50 来预测提供给软场重建模块 30 的电压(预测数据)。由软场层析成像仪 54 给对象 22 施加激励(如图 1 和 2 所示),所述软场层析成像仪 54 可以包括换能器 24 和其他激励和测量部件,其中具有也为重建模块 30 提供的测量的电压(测量的数据)。然后软场重建模块 30 使用各种实施例执行重建以生成诸如阻抗分布的特性分布 56 的估计,以识别对象 22 内的感兴趣区域 32(均示于图 4)。应该指出的是,各种部件可以是物理上分离的部件或元件或可以组合。例如,软场重建模块 30 可以形成软场层析成像系统 20(如图 1 所示)的一部分。

[0032] 使用各种实施例,提供了软场重建,其使用多个重建算法以识别感兴趣区域 32 位置、限定这些感兴趣区域 32 的边界并估计该限定的有界区域的特性。例如,在一些实施例中,来自至少一个重建算法(初始重建)的先验信息被用于后续的不同重建算法中。图 4 示出了根据各种实施例的简化的重建过程 60 可以用于软场层析成像重建,以执行感兴趣区域定位和/或感兴趣区域或对象的边界估计。因此,感兴趣区域定位可以包括对象 22 内的目标、感兴趣区域的目标或对象或边界本身。

[0033] 特别地,在 62 处提供了初始估计(有时被称为初始猜测),如感兴趣区域或容积内的特性分布的初始估计。例如,在 EIS 或 EIT 重建中,初始估计可以限定圆形的外边界,其中在该区域内具有均匀电导率分布。使用该初始估计(其可以简单设定重建的感兴趣容积内的所有值为预定水平),在 64 处使用第一重建方法执行重建,其生成第一特征集,即特性分布的特征集。该第一重建方法可以是单遍法或迭代法。在各种实施例中的第一重建方法是初始重建,其提供针对容积内分布(诸如容积内阻抗分布)的第一重建解作为输出。第一重建方法可以是收敛到一个解的迭代法。因此,使用初始估计,第一重建方法确定感兴趣特性的实际分布的估计。

[0034] 此后,来自第一重建方法的解被作为在 66 处执行的第二重建(或可选地第二重建方法之后的任何后续重建方法)的输入(起点或初始估计),在 66 处执行的第二重建采用了第二重建方法,其生成不同于第一特征集的第二特征集。应该指出的是,由第二重建方法所使用的来自第一重建方法的解可以是,例如,第一特征集的全部或子集。该第二重建方法可以是单遍法或迭代法。在各种实施例中的第二重建方法提供针对区域或容积内的特性分布的第二重建解(例如,该区域或容积的进一步重建)作为输出,诸如区域或容积内实际阻

抗分布的估计。第二重建方法可以是收敛到一个解的迭代法。因此,使用基于第一重建方法输出的初始估计,第二重建方法确定感兴趣特性的实际分布的估计。

[0035] 例如,在一些实施例中的第一重建方法是任何类别的重建算法,其提供用于感兴趣区域内软场分布的值的良好的或可接受的估计,但不一定是一个或多个感兴趣区域的边界的良好的或可接受的估计。因此,第一重建方法可以提供特性分布值的更临床相关或更准确的估计,以及感兴趣的较少临床相关或较不准确的估计,进而限定第一特征集。因此,第一重建方法可以是一个适于或优化于针对感兴趣区域内的软场分布值而不是区域的边界值的估计的过程。一些实施例中的第二重建方法提供了不同于第一特征集的第二特征集。例如,在一些实施例中,第二重建方法是任何类别的重建算法,其提供特性分布的感兴趣区域的边界位置的良好的或可接受的估计,但不一定是一个或多个感兴趣区域内部或外部值分布的良好的或可接受的估计。因此,第二重建方法可以提供针对软场分布的感兴趣区域边界的更临床相关或更准确的估计,以及分布值的较少临床相关或较不准确的估计。因此,第一重建方法可以是一个适于或优化于提供感兴趣的软场分布区域的边界而不是针对区域的值的估计的过程。

[0036] 因此,在一些实施例中,第一重建过程选自为确定实际软场层析成像分布估计的值而优化的一类算法,以及第二重建过程选自为形状重建而优化的一类算法。

[0037] 应该指出的是,在 66 处执行的第二重建算法的输出或解之后可以作为在 64 处再次执行的第一重建方法的输入(起点或初始估计)。例如,在第一重建方法中边界形状可以被假定是正确的,并使用第二重建方法扰动或调整电导率。此后,来自第二个重建方法的电导率的解然后被假定是正确的并用于第一重建方法,其中边界形状现在被扰动或调整以产生解。

[0038] 因此,在各种实施例中,第一重建方法用来确定第一或初级特征而第二重建方法用来确定第二或二级特征。应该指出的是,来自第二重建方法的解可以提供为返回第一重建方法的输入,并再次被用来提供附加的解。此外,更多的重建方法可以被使用和代入或添加到重建过程 60 的处理流程。附加的重建方法可以通过使用之前重建的任一个(或全部)的特征集(或其中部分)作为输入来执行。来自任何重建方法的输出也可以用作任何后续重建方法的输入,并不限于紧接的后续重建方法。

[0039] 作为示例,诸如针对 EIS 或 EIT 重建,执行如图 5 所示的方法 70 用以估计一个或多个感兴趣区域的感兴趣特性的实际分布。方法 70 包括执行第一重建过程 72,其中来自该过程的解用作第二重建过程 92 的输入。例如,在该实施例中第一重建过程可以是基于灵敏度矩阵的算法的任何类别或类型。应该指出的是,虽然第一重建过程 72 示出为迭代逆解算器(iterative inverse solver),即高斯-牛顿迭代方法,但也可以使用其他类型,例如,牛顿单步误差重建器(NOSER)重建过程。

[0040] 特别是,在 74 处做出初始或开始估计,其在各种实施例中是特性分布的初始估计,在一些实施例中,其假定为如示出了均匀分布的分布 76 所示的均匀场。此后在 78 处执行正向模型化,其可以是任何合适的正向模型化方法。如在 80 处所示出的,正向模型化的电压响应(V_f)从施加电流(I)计算,其中实际响应可能不匹配实验测量值(例如,在如图 3 所示的软场层析成像仪 54 的输出处的测量电压)。此后,例如基于测量电压(V_m)和正向模型电压 V_f 之间的差异,在 82 处采用下面等式确定误差矩阵:

[0041] $E = ||V_m - V_f||^2$ 等式 1

[0042] 此后,在 84 处确定更新项,例如,其可以如下计算:

[0043] $\Delta \sigma_i = -[J^T J + \lambda R^T R]^{-1} [J^T (V_m - V_f) - \lambda R^T R \sigma_i]$ 等式 2

[0044] 在等式 2 的实例中,更新项是所确定的电导率 (σ) 中的变化,并包括正则化项 $\lambda R^T R$ 来平滑该解。此后,特性分布估计在 86 处更新 (并如图 88 所示),其可以如下限定:

[0045] $\sigma_{i+1} = \sigma_i + \Delta \sigma_i$ 等式 3

[0046] 从 88 处可以看出,分布值特别是所确定的特性值 (其近似容积内的实际值) 被识别以显示感兴趣特性 (例如,电导率或介电常数) 如何在整个容积内变化。可以提供例如具有彩色编码区域的可视表示,其中颜色对应估计的特性值 (例如,电导率值)。

[0047] 之后更新的场被输入回在 78 处的正向模型化步骤,从而迭代地提供了更新分布 90。执行第一重建过程 72 直到达到解的收敛,例如,当 $V_m \approx V_f$ 。

[0048] 在各种实施例中,使用第一重建过程 72 达到收敛后,已经确定了特性分布值 (例如,由彩色区域表示的电导率值)。特别是,产生了感兴趣特性 (例如,异常) 的实际分布值的临床相关估计。然而,如图 6 所示,对比于图 7 所示的实际边界 112,作为异常 110 (由用于图示目的三个模糊的圆圈元素表示) 而示出的感兴趣区域的边界 112,并没有很好地限定 (显示不同的颜色)。因此,虽然针对对象内部分布的值已经收敛到诸如用于提供临床相关信息的可接受的水平,但边界没有很好地限定。

[0049] 然后,方法 70 包括执行第二重建过程 92,其中用于该重建的起始点 (初始估计) 是或结合来自第一重建过程 72 的输出或解。因此,在这个实例中,用于第二重建过程 92 的初始估计不是均匀分布,而是已经收敛到该分布的值估计的分布。例如,在该实施例中的第二重建过程 92 可以是任何类别或类型的形状重建方法,诸如用于限定异常 110 (图 6 和图 7 所示) 的边界的水平集方法。应该指出,虽然第二重建过程 92 说明为水平集形状重建方法,但可以采用其他类型,例如,适于确定区域边界或用于跟踪界面或形状的任何合适类型的重建方法。此外,第一和第二重建过程 72 和 92 根据期望或要求可以执行或使用不同类型的重建算法,例如,基于特定应用,诸如待估计的特性分布、待估计的感兴趣区域的相对数量和形态、以及对象 22 的几何形状的知识可用性。

[0050] 该实施例中的第二重建过程 92 为形状重建方法,其中对象和一个或多个感兴趣区域的几何形状边界由水平集函数表示。例如, $\sigma = \Phi(\Pi_\Omega)$ 可以限定映射,其为参数分布分配给定的水平集函数,在下面将详细描述。

[0051] 特别是,背景和异常电导率已通过第一重建过程 72 估计,从而在各种实施例中的重建不再是电导率重建问题。因此,在 94 处,至少部分基于来自第一重建过程 72 的确定,对水平集函数分配特性分布。因此,至少部分基于来自第一重建过程 72 的解,一个或多个感兴趣区域的近似的或估计的特性 (电导率) 以及该一个或多个感兴趣区域外部的区域或容积 (例如,背景) 被假定为己知的。在该第二重建过程 92 中,先验的 N 信息明确地纳入该问题的模型化中,其中, N 可以是 2。

[0052] 此后,在 96 处执行正向模型化。应该指出的是,在水平集重建方法的实例中,限定边界的形状可以由水平集函数 Π 的零水平集来表示,其中 Ω 表示具有特性 (电导率) σ_{anom} 的感兴趣区域以及由 σ_{bckg} 表示背景特性 (电导率)。使用这些变量,可以通过零水平集限定一个或多个感兴趣的区域的边界:

[0053] $\partial\Omega = \{r : \Pi(r) = 0\}$ 等式 4

[0054] 图 8 的图形 122 示出了该边界 120。应该指出的是,边界形状(示出为较小圆圈)是为简单起见示出的以及实际边界可能会更复杂并采取任何闭合的形式。

[0055] 之后特性(电导率)分布可以定义为:

[0056] $\sigma(r) = \begin{cases} \sigma_{anom} & \{r : \Pi(r) < 0\} \\ \sigma_{bckg} & \{r : \Pi(r) > 0\} \end{cases}$ 等式 5

[0057] 因此,可以执行阈值处理以从该实施例中一个或多个感兴趣区域中分离一个或多个感兴趣区域外部的区域或容积,其中感兴趣区域特性(σ_{anom})和背景特性(σ_{bckg})从第一重建过程 72 估计。因此该分布仅包括两个值,一个在该一个或多个感兴趣区域内部,以及一个在该一个或多个感兴趣区域外部,由一个或多个边界分开。之后高斯-牛顿迭代可以模型化为:

[0058] $\sigma_n = \Phi(\Pi_{\Omega^n}) = \Phi(\Pi^n)$ 等式 6

[0059] 因此,在 98 处,如果 Π_n 是一个或多个感兴趣区域的现有形状/边界,以及 B 是正向数据 $\mathbf{G}$ ($\partial \mathbf{G} / \partial \Pi$) 的雅可比行列式 (Jacobi), 以及 K 是 $\partial \Phi / \partial \Pi$ 的离散型,则更新的形状/边界, Π_{n+1} , 可以被限定为:

[0060] $\Pi_{n+1} = \Pi_n + \lambda (B_n^T B_n + \alpha^2 L^T L)^{-1} [B_n^T (V_m - V_f(\Pi_n)) - \alpha^2 L^T L \Pi_n]$ 等式 7

[0061] 其中:

[0062] $V_f(\Pi) = F(\Phi(\Pi)), B = \text{JK}(\text{鉴于 } \frac{\partial V_f}{\partial \Pi} = \frac{\partial V_f}{\partial \Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial \Pi})$

[0063] 此后,在 100 处更新特性分布,其中在该实施例中是形状和/或边界。

[0064] 这个过程是迭代地执行的,以使得步骤 96、98、100 迭代执行直到达到收敛于一个解。该收敛解可以使用任何合适的参数限定,例如,由预定的公差或偏差水平来限定。此后,在 102 处可以生成(例如,显示)特性分布的数值量化数据或可视表示(例如,重建的图像)。应该指出的是,第二重建过程 92(例如,边界确定)的结果可输入回至第一重建过程 72,并作为 74 处的初始估计。

[0065] 因此,在各种实施例中提供了水平集函数以使得形状以降低价值函数(例如,数据-模型失配)的方式变形。根据具有两相数据、即两相分布(例如一个或多个感兴趣区域的外部和一个或多个感兴趣区域的内部)的各种实施例,通过使用第一和第二重建过程 72 和 92,确定了分类的有界的感兴趣区域,其包括更加临床相关或准确的信息。

[0066] 因此,在图 9 中可以看出,实际分布 150 由与较大圆形对象共中心的单一圆形感兴趣区域表示。分布 152 示出了第一重建过程 72 后的结果,其不具有良好限定的感兴趣区域边界(在感兴趣区域的边缘处的颜色改变)。之后,通过特性分布 152 表示用于第二重建过程 92 的初始估计,其中最终重建是在收敛到由分布 156 表示的使用第二重建过程 92 的解之后。最后,图表 160 分别示出了实际特性分布、第一重建过程 72 后的分布、以及第二重建过程 92 后的特性分布的轮廓 162、164 以及 166。可以看出,在执行第一和第二重建过程 72 和 92 这两个之后,特性分布提供针对实际轮廓的最佳匹配。特别是,可以看出,有界特性分布更接近实际特性分布。

[0067] 应该指出的是,各种实施例可用于估计作为容积内的偏移的感兴趣区域内的分布,以及数个感兴趣区域的分布。因此,感兴趣区域不是如示出的那样必须在对象内居中,而是可以定位在对象内的不同位置。

[0068] 因此,根据一些实施例,例如对 EIS 或 EIT,使用形状重建为软场重建提供了改进的边界识别,其中有界区域被分类。此外,根据一些实施例,例如对 EIS 或 EIT,基于来自形状估计算法的改进精度的边界位置估计,使用基于灵敏度矩阵方法为软场重建提供了改进的特性分布估计。因此,在第一重建方法的输出被用作第二重建方法的输入的情况下,第二重建方法的后续输出可以被反馈并用作该第一重建方法的输入,然后再次执行该第一重建方法。

[0069] 各种实施例和 / 或部件,例如,模块、元件或部件以及其中的控制器,同样可以作为一个或多个计算机或处理器的一部分来实现。计算机或处理器可以包括计算装置、输入装置、显示单元和例如用于访问互联网的接口。计算机或处理器可以包括微处理器。微处理器可以连接到通信总线。计算机或处理器还可以包括存储器。存储器可以包括随机存取存储器 (RAM) 和只读存储器 (ROM)。计算机或处理器还可以包括存储装置,其可以是硬盘驱动器或可移动存储驱动器,诸如光盘驱动器、固态硬盘驱动器 (例如,闪存 RAM), 等等。存储装置还可以是用于加载计算机程序或其他指令到计算机或处理器中的其他类似装置。

[0070] 如本文所使用的,术语“计算机”或“模块”可以包括任何基于处理器或基于微处理器的系统,包括使用如下装置的系统:微控制器、精简指令集计算机 (RISC)、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA)、图形处理单元 (GPU)、逻辑电路,以及任何其他能够执行本文所述功能的电路或处理器。以上的实例仅是示例性的,因此并非旨在以任何方式限制术语“计算机”的定义和 / 或含义。

[0071] 计算机或处理器执行存储在一个或多个存储元件中的一组指令,以处理输入数据。存储元件也可以存储期望的或需要的数据或其他信息。存储元件可以是处理机内的信息源或物理存储器元件的形式。

[0072] 指令集可能包括各种命令,其命令计算机或处理器作为处理机来执行具体操作,诸如本发明的各种实施例的方法和过程。指令集可以是软件程序的形式,其可以形成实体非暂时性计算机可读介质或媒介的一部分。软件可以是诸如系统软件或应用软件的各种形式。此外,软件可以是单独的程序或模块的集合、在较大程序中的程序模块或程序模块的一部分的形式。软件还可以包括面向对象编程形式的模块化编程。由处理机对输入数据的处理可以响应操作者命令、或响应先前处理的结果、或响应另一处理机做出的请求。

[0073] 如本文所使用的,术语“软件”、“固件”和“算法”是可互换的,并包括存储在存储器中由计算机执行的任意的计算机程序,存储器包括 RAM 存储器、ROM 存储器、EPROM 存储器、EEPROM 存储器、以及非易失性 RAM (NVRAM) 存储器。上述存储器类型只是示例性的,并因此不限制于可用于计算机程序的存储的存储器类型。

[0074] 应该理解的是,上面的描述的目的旨在说明,并没有限制。例如,上述实施例 (和 / 或其中的方面) 可以互相结合使用。此外,可以做出许多修改,以使特定情况或材料适于本发明的各种实施例的教导,而不偏离它们的范围。虽然本文描述的材料尺寸和类型目的是限定本发明的各种实施例的参数,但这些实施例并非限制性的而是示例性实施例。在本领域技术人员查阅上面描述后,许多其他实施例将变得显而易见。因此,本发明的各种实

施例的范围应当参照所附权利要求书连同对权利要求书所赋予的等价的整个范围来确定。在所附权利要求书中,术语“包含”和“在……中”被用作相应术语“包括”和“其中”的等效通俗语言。此外,在下面权利要求书中,术语“第一”、“第二”、以及“第三”等仅用作标记,并非旨在对它们的对象强加数值要求。此外,下面权利要求书的限制没有以“装置加功能”的格式来书写,并且也非旨在基于 35USC § 112 条、第 6 段来解释,除非且直至该权利要求书的限制明确使用“用于... 的装置”继之以功能陈述而无其他结构的短语。

[0075] 该书面描述使用实例来公开本发明的各种实施例,包括最佳模式,以及还能使任何本领域技术人员能够实施本发明的各种实施例,包括做出和使用任何装置或系统以及执行任何合并的方法。本发明的各种实施例的专利范围由权利要求书限定,可以包括被本领域技术人员想到的其他实例。如果这些其他实例具有并非不同于权利要求书的字面语言的结构元件、或者如果它们包括非实质区别于权利要求书字面语言的等效结构性元件,它们将被认定为处于权利要求书的范围之内。

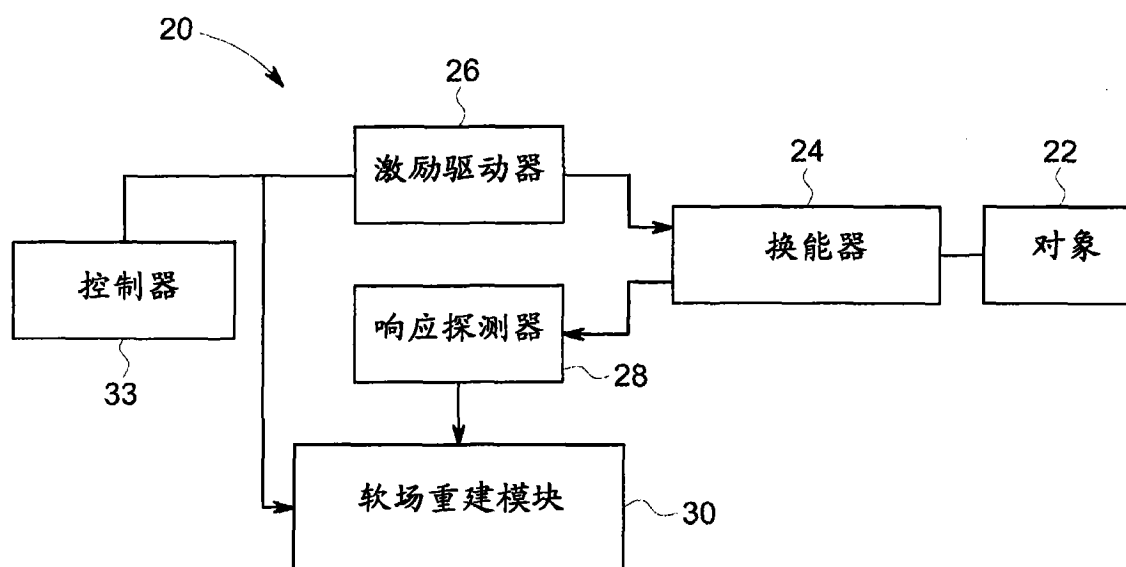


图 1

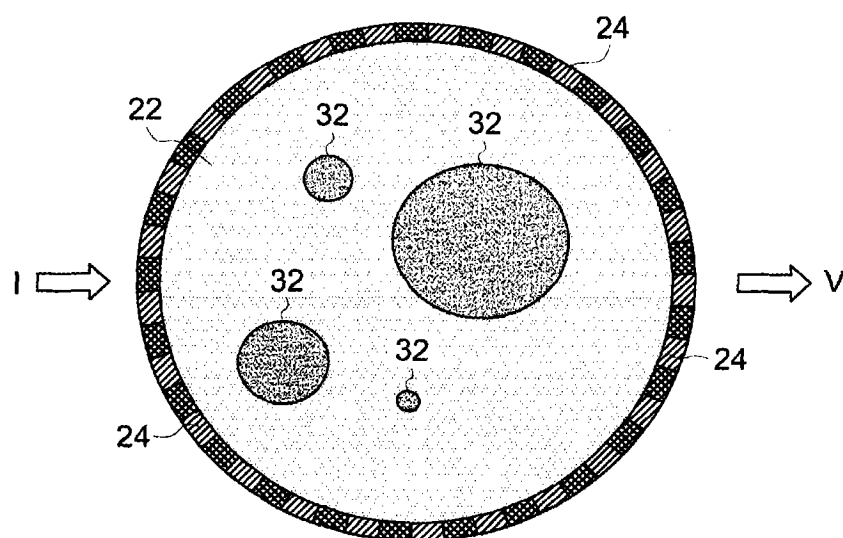


图 2

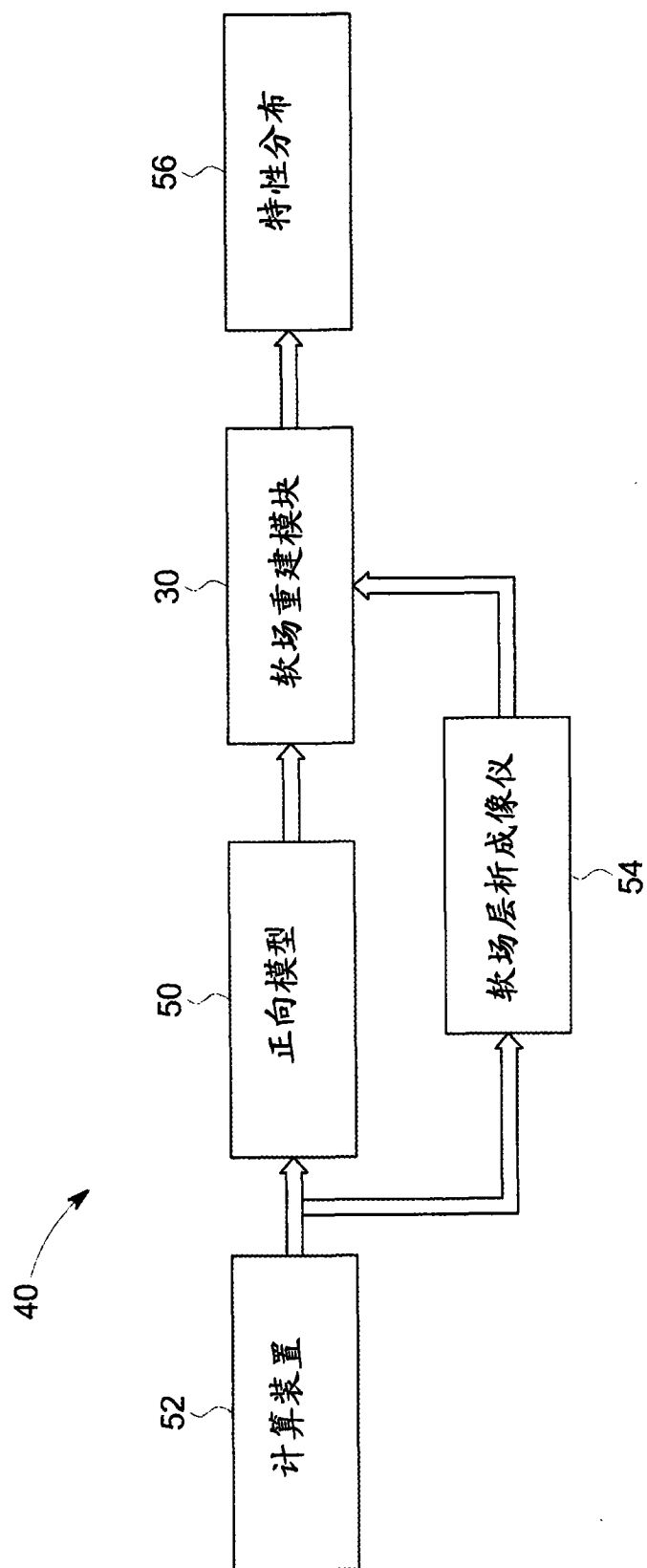


图 3

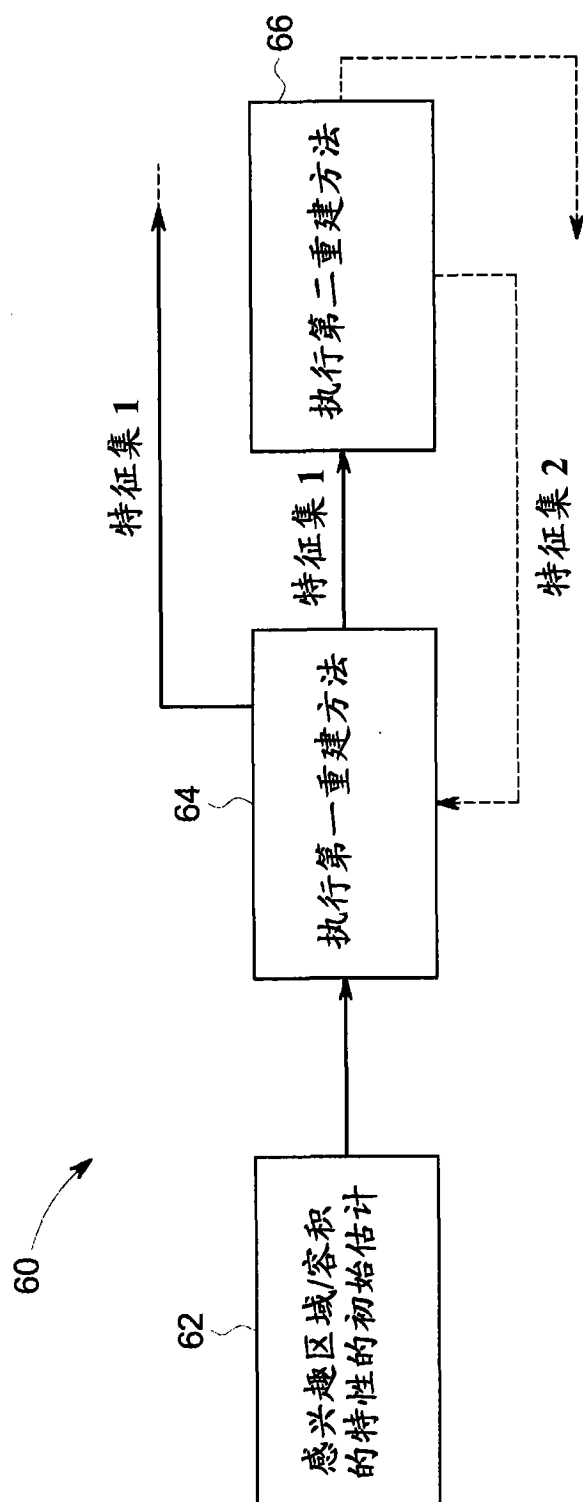


图 4

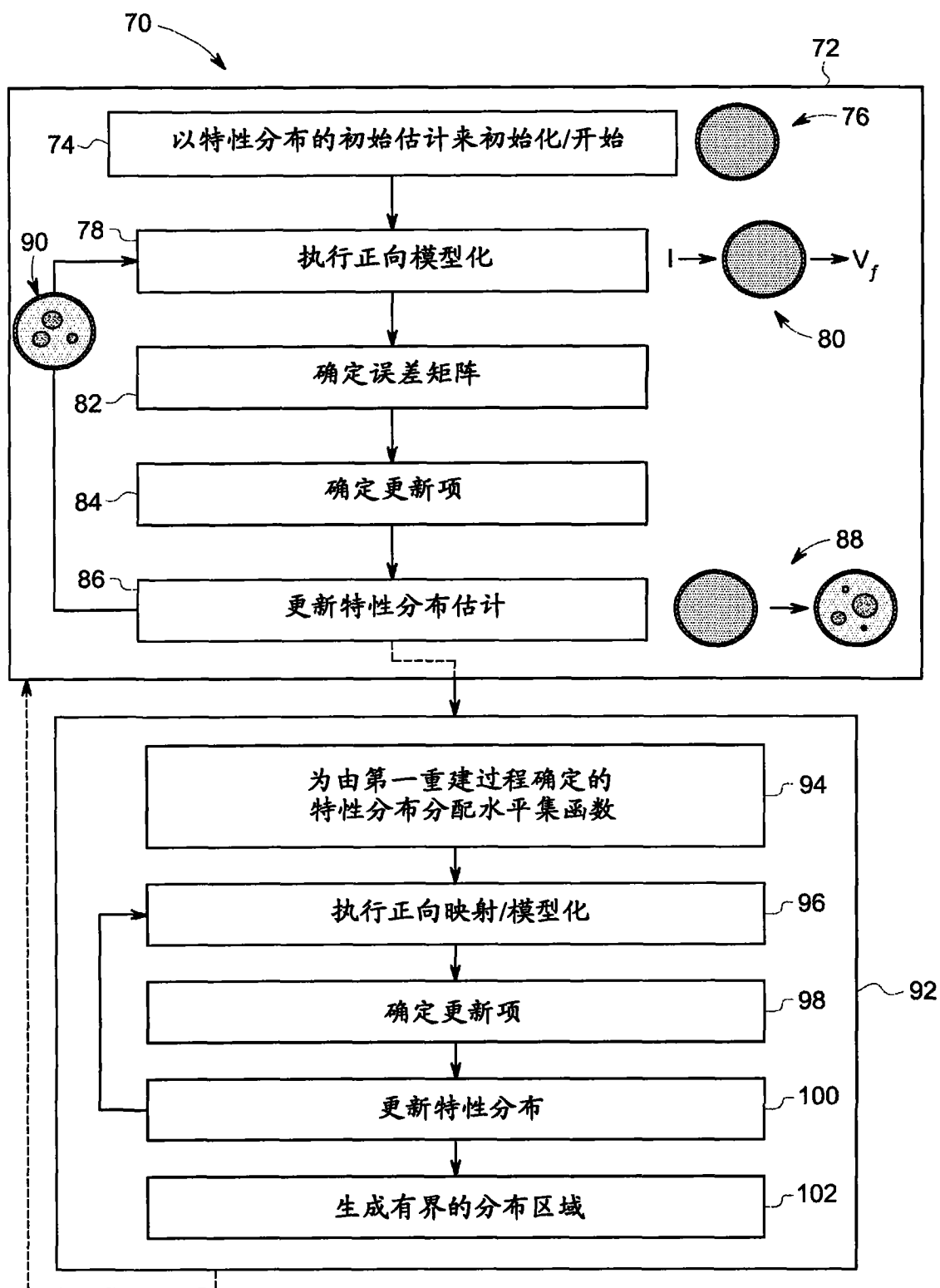


图 5

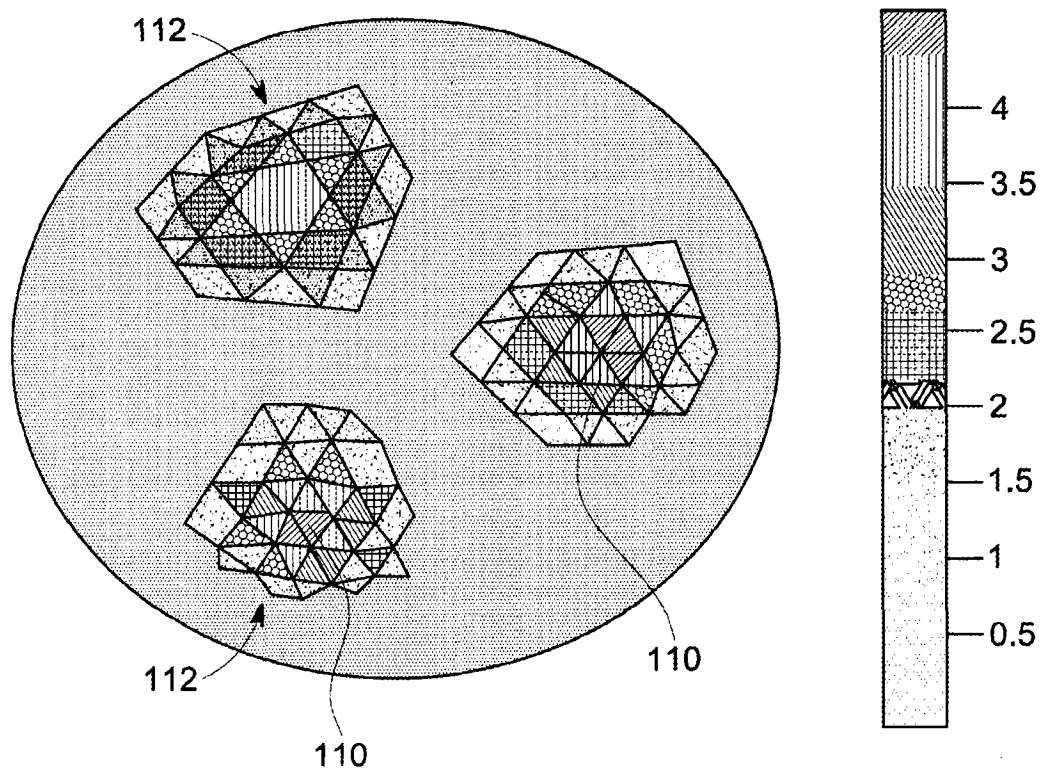


图 6

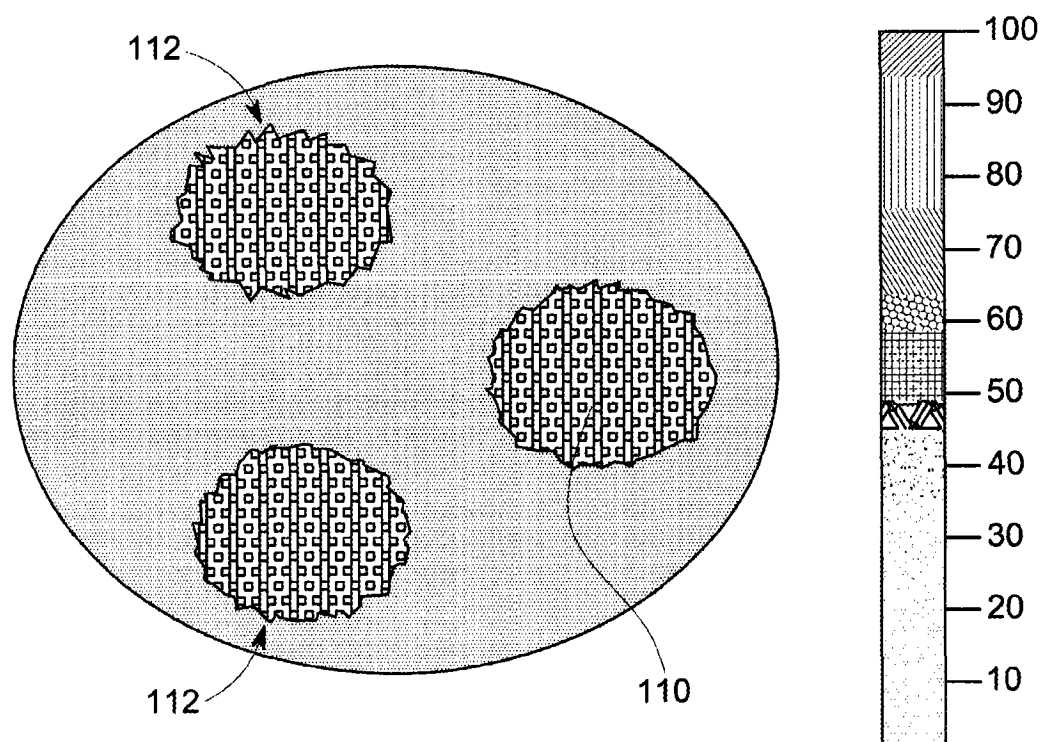
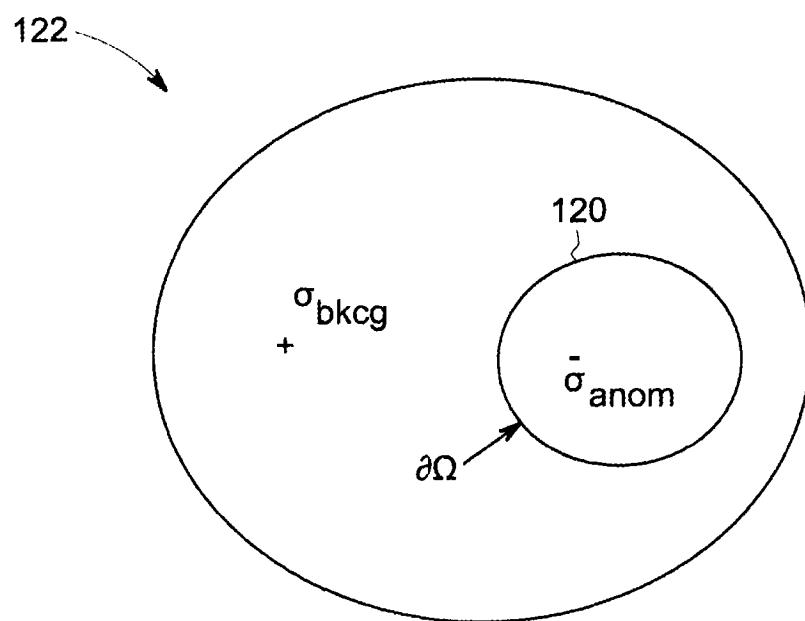


图 7



符号 Π

图 8

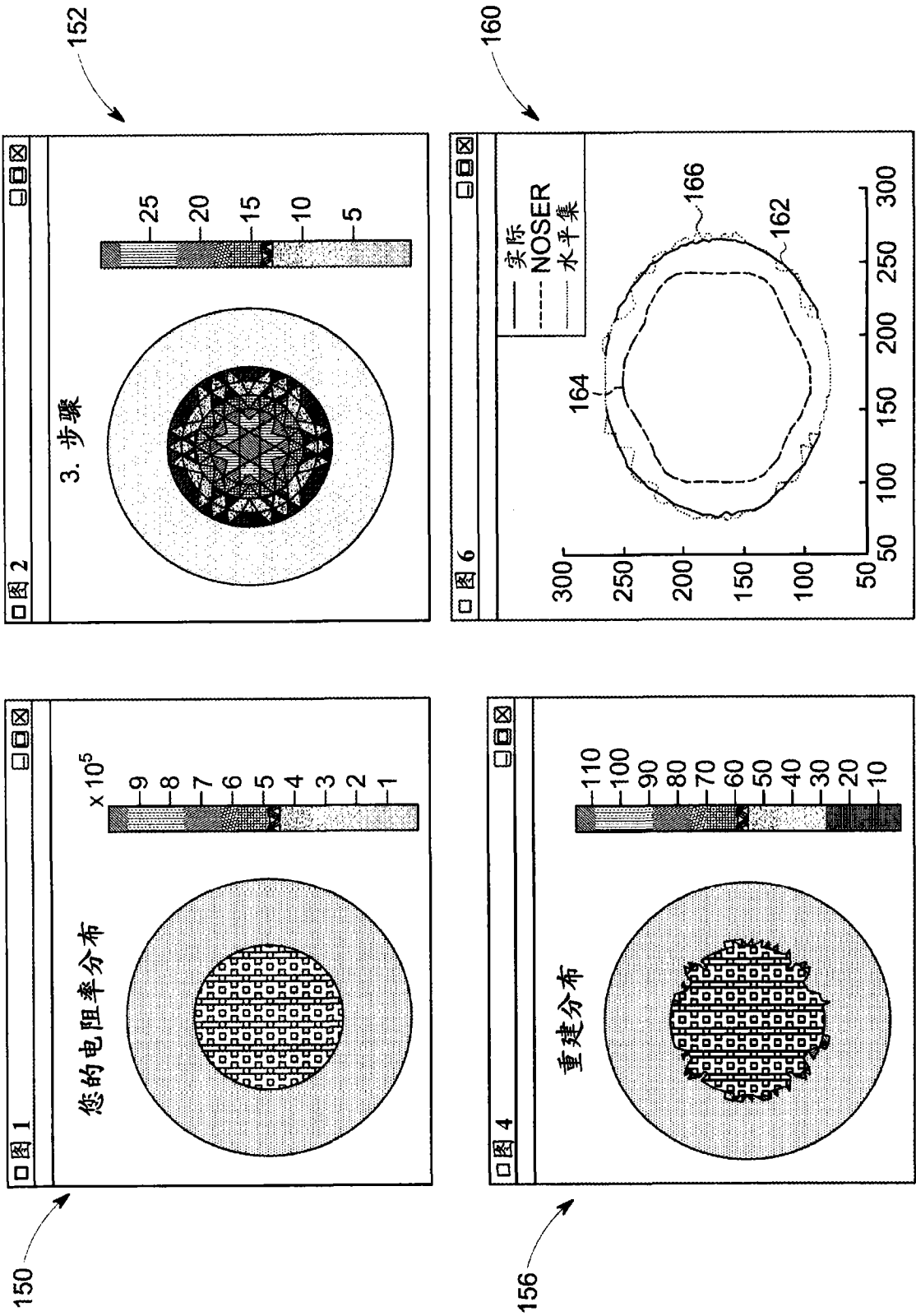


图 9

专利名称(译)	软场重建的系统和方法		
公开(公告)号	CN102693547A	公开(公告)日	2012-09-26
申请号	CN201110463291.4	申请日	2011-12-20
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	AS罗斯 VVLR兰戈朱		
发明人	A· S· 罗斯 V· V· L· R· 兰戈朱		
IPC分类号	G06T11/00 A61B19/00 A61B5/053 A61B5/00 A61B8/00		
CPC分类号	G06T11/006 G06T2211/424 G06T2211/436 A61B5/0536		
代理人(译)	张金金		
优先权	12/973734 2010-12-20 US		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

提供了一种软场重建的系统和方法。该方法包括：建立对象的特性分布的初始估计；使用第一重建过程重建实际特性分布的估计，以及采用不同于第一重建过程的第二重建过程来进一步重建实际特性分布的估计。来自第一重建过程的解被用作第二重建过程中的初始估计。

