



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108305279 A

(43)申请公布日 2018.07.20

(21)申请号 201711445476.6

(22)申请日 2017.12.27

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 孔佑勇 吴飞 任洲甫 左雨林

沈傲东 伍家松 舒华忠

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限

公司 32200

代理人 刘莎

(51)Int.Cl.

G06T 7/33(2017.01)

G06K 9/62(2006.01)

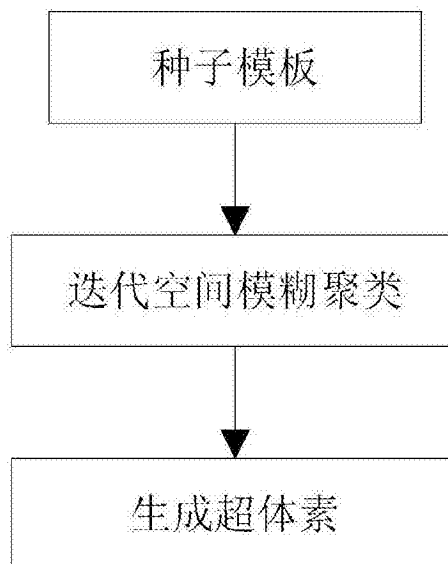
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法

(57)摘要

本发明公开了一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,包括以下步骤:首先,由于人类大脑具有相同的拓扑结构,从基于群体的大脑MRI模板获得一组种子模板;其次,为了排除部分容积效应的影响,提出了一种迭代空间模糊聚类算法,将体素分配给每个种子生成超体素。本发明能较好地应用于大脑磁共振图像,生成有效的大脑磁共振图像超体素。



1. 一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,从基于群体的大脑磁共振模板图像构建种子模板,然后投影到个体空间生成个体空间的种子点,具体包括:

1-1,在大脑磁共振模板图像的脑区域均匀采样N个种子点;

1-2,计算大脑磁共振模板图像上每个体素与步骤1-1的种子点之间的距离,其中,第a个体素与第b个种子点之间的距离 $D(a,b) = d_I(a,b) + \lambda d_s(a,b)$ , $d_I(a,b)$ 为第a个体素与第b个种子点之间的灰度距离, $d_s(a,b)$ 为第a个体素与第b个种子点之间的空间距离, $\lambda$ 为空间距离与灰度距离的权重;

1-3,采用分层聚类方法,每次将具有最小距离的两个种子点合并成一个新的种子点,生成种子点模板;

1-4,通过将大脑磁共振模板图像配准到个体磁共振图像的方式,将相应的种子点模板投影到个体磁共振图像的空间,生成个体磁共振图像空间的种子点;

步骤2,采用一种迭代空间模糊聚类的方法,计算个体磁共振图像的体素和其最近K个种子之间的模糊隶属度,生成超体素,具体包括:

2-1,将步骤1-4中的个体磁共振图像空间的种子点用向量进行初始化,其中,个体磁共振图像空间的第j个种子点的初始化向量 $C_j = [x_j, y_j, z_j, \bar{I}_j]^T$ , $(x_j, y_j, z_j)$ 是个体磁共振图像空间的第j个种子点的坐标, $\bar{I}_j$ 是个体磁共振图像空间的第j个种子点及其 $3 \times 3 \times 3$ 邻域内所有体素的体素强度的平均值;

2-2,将个体磁共振图像中的每个体素与其最近的K个种子点进行模糊关联,并计算每个体素和其最近的K个种子之间的模糊隶属度:

$$u_{is_k} = \frac{1}{\sum_{t=1}^K (D(i, s_k) / D(i, s_t))^{m-1}}$$

其中, $u_{is_k}$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的模糊隶属度, $D(i, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的距离, $m$ 表示模糊隶属度的模糊加权指数, $s_k, s_t \in S, S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ , $S$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素的最近的K个种子点的集合, $k, t = 1, 2, \dots, K$ ;

2-3,使用步骤2-2计算的模糊隶属度对个体磁共振图像空间的种子点进行更新,得到:

$$C_j = \frac{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m * v_r}{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m}$$

其中, $N_j$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的体素的数量, $u_{jr}$ 表示个体磁共振图像空间的第j个种子点与其模糊关联的第r个体素的模糊隶属度, $v_r = [x_r, y_r, z_r, I_r]^T$ , $(x_r, y_r, z_r)$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的第r个体素的坐标, $I_r$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的第r个体素的灰度值;

2-4,按照步骤2-2和2-3进行对个体磁共振图像空间的种子点进行迭代更新,并定义残

余误差,当残余误差小于设定阈值时停止迭代,将每个超体素分配给具有最大模糊隶属度的种子点以生成个体大脑磁共振图像的超体素。

步骤3,在确定超体素个数之后,通过步骤2产生大脑磁共振图像的超体素。

2. 根据权利要求1所述的一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,第a个体素与第b个种子点之间的灰度距离 $d_I(a,b) = |I_a - I_b|$ ,其中, $I_b$ 和 $I_a$ 分别表示第b个种子点和第a个体素的像素强度。

3. 根据权利要求1所述的一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,第a个体素与第b个种子点之间的空间距离 $d_S(a,b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}$ ,其中 $(x_b, y_b, z_b)$ 和 $(x_a, y_a, z_a)$ 分别表示第b个种子点和第a个体素的坐标。

4. 根据权利要求1所述的一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的距离 $D(i, s_k) = d_I(i, s_k) + \lambda d_S(i, s_k)$ , $d_I(i, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的灰度距离, $d_S(i, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的空间距离。

5. 根据权利要求1所述的一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,步骤2-4中定义更新后和更新前的个体磁共振图像空间的种子点之间的欧式距离为残余误差。

6. 根据权利要求1所述的一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,其特征在于,步骤1-1中 $N=10000$ 。

## 一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,属于数字图像领域。

### 背景技术

[0002] 超体素技术是将具有高度冗余特征的体素聚集成有意义的均匀区域的过程。和传统的图像处理基本单元体素相比,基于一定数量的超体素的图像分析和处理能获得更好的效果,同时也可以大大提高效率。大脑磁共振图像的局部区域平滑,这使得适合对大脑磁共振图像进行超体素分割。最近,超体素技术已经被越来越多地应用于大脑磁共振图像分析,并且在一些应用中表现出相当好的性能,如肿瘤定位和分割、组织分割、图像配准和功能分组等。因此,好的大脑磁共振MRI图像的超体素分割方法对后续大脑MRI图像的分析至关重要。

[0003] 大脑MRI图像具有独特的性质。首先,人脑具有复杂的内部结构,包含若干大小不同、形态复杂度不同的子结构。大脑中组织一般可以划分为脑脊液、白质和灰质,这三种组织具有复杂的边界形状和拓扑结构。采用传统的在晶格结构中进行均匀采样生成种子点的方法可能生成不均匀的大脑磁共振图像的超体素。其次,由于磁共振图像中分辨力不足的限制,相邻组织之间的对比度损失导致一个体素内可能包含多种组织,即部分容积效应。传统的针对自然图像的超体素生成算法采用的非此即彼的硬聚类方法来对体素进行聚类。使用硬聚类的算法对大脑磁共振图像进行超体素分割,导致的结果可能是一个超体素内包含多种组织(包括灰质、白质和脑脊液),使得超体素的边界贴合能力非常差。

[0004] 目前,已经存在针对自然图像开发的超体素方法,例如简单线性迭代方法、基于图的方法、均值偏移等超体素生成算法,并且被应用于计算机视觉的诸多领域,取得了相当好的结果。然而,在大脑磁共振图像分析中,为大脑磁共振图像生成合适的超体素仍然是具有挑战性的。单纯地用已有的算法生成大脑MRI图像超体素显然是不合适的,因为这些针对自然图像算法忽略了大脑磁共振图像的特殊性质。

### 发明内容

[0005] 现有的超体素生成算法大多是针对自然图像的,不能够得到理想的大脑磁共振图像超体素,本发明为了生成理想的大脑磁共振图像超体素提供一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0007] 本发明提供一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1,从基于群体的大脑磁共振模板图像构建种子模板,然后投影到个体空间生成个体空间的种子点,具体包括:

[0009] 步骤1,从基于群体的大脑磁共振模板图像构建种子模板,然后投影到个体空间生

成个体空间的种子点,具体包括:

[0010] 1-1,在大脑磁共振模板图像的脑区域均匀采样N个种子点;

[0011] 1-2,计算大脑磁共振模板图像上每个体素与步骤1-1的种子点之间的距离,其中,第a个体素与第b个种子点之间的距离 $D(a,b) = d_I(a,b) + \lambda d_s(a,b)$ , $d_I(a,b)$ 为第a个体素与第b个种子点之间的灰度距离, $d_s(a,b)$ 为第a个体素与第b个种子点之间的空间距离, $\lambda$ 为空间距离与灰度距离的权重;

[0012] 1-3,采用分层聚类方法,每次将具有最小距离的两个种子点合并成一个新的种子点,生成种子点模板;

[0013] 1-4,通过将大脑磁共振模板图像配准到个体磁共振图像的方式,将相应的种子点模板投影到个体磁共振图像的空间,生成个体磁共振图像空间的种子点;

[0014] 步骤2,采用一种迭代空间模糊聚类的方法,计算个体磁共振图像的体素和其最近K个种子之间的模糊隶属度,生成超体素,具体包括:

[0015] 2-1,将步骤1-4中的个体磁共振图像空间的种子点用向量进行初始化,其中,个体磁共振图像空间的第j个种子点的初始化向量 $C_j = [x_j, y_j, z_j, \bar{I}_j]^T$ , $(x_j, y_j, z_j)$ 是个体磁共振图像空间的第j个种子点的坐标, $\bar{I}_j$ 是个体磁共振图像空间的第j个种子点及其 $3 \times 3 \times 3$ 邻域内所有体素的体素强度的平均值;

[0016] 2-2,将个体磁共振图像中的每个体素与其最近的K个种子点进行模糊关联,并计算每个体素和其最近的K个种子之间的模糊隶属度:

$$[0017] \quad u_{is_k} = \frac{1}{\sum_{t=1}^K (D(i,s_k)/D(i,s_t))^{m-1}}$$

[0018] 其中, $u_{is_k}$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的模糊隶属度, $D(q, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的距离, $m$ 表示模糊隶属度的模糊加权指数, $s_k, s_t \in S, S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ , $S$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素的最近的K个种子点的集合, $k, t = 1, 2, \dots, K$ ;

[0019] 2-3,使用步骤2-2计算的模糊隶属度对个体磁共振图像空间的种子点进行更新,得到:

$$[0020] \quad C_j = \frac{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m * v_r}{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m}$$

[0021] 其中, $N_j$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的体素的数量, $u_{jr}$ 表示个体磁共振图像空间的第j个种子点与其模糊关联的第r个体素的模糊隶属度, $v_r = [x_r, y_r, z_r, I_r]^T$ , $(x_r, y_r, z_r)$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的第r个体素的坐标, $I_r$ 表示与个体磁共振图像空间的第j个种子点模糊关联的第r个体素的灰度值;

[0022] 2-4,按照步骤2-2和2-3进行对个体磁共振图像空间的种子点进行迭代更新,并定义残余误差,当残余误差小于设定阈值时停止迭代,将每个超体素分配给具有最大模糊隶属度的种子点以生成个体大脑磁共振图像的超体素。

[0023] 步骤3,在确定超体素个数之后,通过步骤2产生大脑磁共振图像的超体素。

[0024] 作为本发明的进一步技术方案,第a个体素与第b个种子点之间的灰度距离 $d_I(a, b) = |I_a - I_b|$ ,其中, $I_b$ 和 $I_a$ 分别表示第b个种子点和第a个体素的像素强度。

[0025] 作为本发明的进一步技术方案,第a个体素与第b个种子点之间的空间距离 $d_S(a, b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}$ ,其中 $(x_b, y_b, z_b)$ 和 $(x_a, y_a, z_a)$ 分别表示第b个种子点和第a个体素的坐标。

[0026] 作为本发明的进一步技术方案,个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的距离 $D(i, s_k) = d_I(i, s_k) + \lambda d_S(i, s_k)$ , $d_I(i, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的灰度距离, $d_S(i, s_k)$ 表示个体磁共振图像中的第i个体素与种子点 $s_k$ 之间的空间距离。

[0027] 作为本发明的进一步技术方案,步骤2-4中定义更新后和更新前的个体磁共振图像空间的种子点之间的欧式距离为残余误差。

[0028] 作为本发明的进一步技术方案,步骤1-1中 $N=10000$ 。

[0029] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:本发明公开了一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,首先,由于人类大脑具有相同的拓扑结构,从基于群体的大脑MRI模板获得一组种子模板;其次,为了排除部分容积效应的影响,提出了一种迭代空间模糊聚类算法,将体素分配给每个种子生成超体素。本发明能较好地应用于大脑磁共振图像,生成有效的大脑磁共振图像超体素。

## 附图说明

[0030] 图1为本发明的方法流程图。

[0031] 图2为本发明的实施流程示意图。

[0032] 图3为大脑磁共振图像。

[0033] 图4为本发明提出方法的超体素生成结果,其中,(a)为超体素个数为500的结果,(b)为超体素个数为1000的结果,(c)为超体素个数为2000的结果。

## 具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

[0035] 本发明提供一种迭代空间模糊聚类的大脑磁共振图像超体素生成方法,如图1和2所示,首先,从基于群体的大脑磁共振图像模板构建一组种子模板;然后采用一种迭代空间模糊聚类的方法,计算体素和其最近K个种子之间的模糊隶属度,生成超体素;最后,在确定超体素个数之后,根据步骤1和步骤2生成超体素。

[0036] 首先,种子模板的生成具体为:先从基于群体的大脑MRI模板构建种子模板,然后投影到个体空间以在超体素生成中产生可靠的种子,包括以下4个步骤:

[0037] (1-1) 在大脑磁共振模板图像的脑区域均匀地采样N个种子点。

[0038] (1-2) 计算大脑磁共振模板图像上每个体素与步骤1-1的种子点之间的空间距离 $d_S$ 与灰度距离 $d_I$ ,其中 $d_I$ 、 $d_S$ 的计算公式如下:

$$[0039] \quad d_I(a, b) = |I_a - I_b| \quad (1)$$

[0040] 上式中, $d_I(a, b)$ 为第a个体素与第b个种子点之间的灰度距离, $I_b$ 和 $I_a$ 分别表示第b

个种子点和第a个体素的像素强度。

$$[0041] \quad d_s(a,b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2} \quad (2)$$

[0042] 上式中,  $d_s(a,b)$  为第a个体素与第b个种子点之间的空间距离,  $(x_b, y_b, z_b)$  和  $(x_a, y_a, z_a)$  分别表示第b个种子点和第a个体素的坐标。

[0043] 由空间距离  $d_s$  与灰度距离  $d_I$  计算距离  $D$ :

$$[0044] \quad D(a,b) = d_I(a,b) + \lambda d_s(a,b) \quad (3)$$

[0045] 上式中,  $D(a,b)$  为第a个体素与第b个种子点之间的距离,  $\lambda$  表示空间距离  $d_s$  与灰度距离  $d_I$  的权重。

[0046] (1-3) 基于步骤1-2计算的距离  $D$ , 使用现有公开的分层聚类方法, 每次对具有最小距离的两个种子被合并成一个新的种子, 生成种子点模板。将在合并种子的过程中, 使用相邻种子的空间距离和体素强度的加权组合作为种子之间的距离度量。

[0047] (1-4) 通过将大脑磁共振模板图像配准到个体磁共振图像的方式, 将相应的种子模板投影到个体磁共振图像的空间, 生成个体磁共振图像空间的种子点。

[0048] 然后, 迭代空间模糊聚类具体操作为:

[0049] (2-1) 将步骤1-4中的每个种子点用向量初始化, 个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点的初始化向量  $C_j$  的定义如下:

$$[0050] \quad C_j = [x_j, y_j, z_j, \bar{I}_j]^T \quad (4)$$

[0051] 其中,  $(x_j, y_j, z_j)$  是个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点的坐标;  $\bar{I}_j$  是个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点及其  $3 \times 3 \times 3$  邻域内所有体素的体素强度的平均值, 这样可以抑制噪声的影响, 提高算法的鲁棒性。

[0052] (2-2) 将个体磁共振图像中的每个体素与其最近的  $K$  个种子进行模糊关联。计算每个体素和其最近的  $K$  个种子之间的模糊隶属度, 模糊隶属度计算公式如下:

$$[0053] \quad u_{is_k} = \frac{1}{\sum_{t=1}^K (D(i, s_k) / D(i, s_t))^{m-1}} \quad (5)$$

[0054] 其中,  $u_{is_k}$  表示个体磁共振图像中的第  $i$  个体素与种子点  $s_k$  之间的模糊隶属度,  $m$  表示模糊隶属度的模糊加权指数,  $s_k, s_t \in S, S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ ,  $S$  表示个体磁共振图像中的第  $i$  个体素的最近的  $K$  个种子点的集合,  $k, t = 1, 2, \dots, K$ 。

[0055]  $D(i, s_k)$  表示个体磁共振图像中的第  $i$  个体素与种子点  $s_k$  之间的距离, 定义与步骤1-2相同:

$$[0056] \quad D(i, s_k) = d_I(i, s_k) + \lambda d_s(i, s_k) \quad (6)$$

[0057] 其中,  $d_I(i, s_k)$  表示个体磁共振图像中的第  $i$  个体素与种子点  $s_k$  之间的灰度距离,  $d_s(i, s_k)$  表示个体磁共振图像中的第  $i$  个体素与种子点  $s_k$  之间的空间距离。

[0058] (2-3) 使用步骤2-2计算的模糊隶属度对种子点进行更新, 更新公式如下:

$$[0059] \quad C_j = \frac{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m * v_r}{\sum_{r=1}^{N_j} u_{jr}^m} \quad (7)$$

[0060] 其中,  $N_j$  是表示与个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点模糊关联的体素的数量,  $u_{jr}$  表示个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点与其模糊关联的第  $r$  个体素的模糊隶属度,  $v_r$  是与个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点模糊关联的第  $r$  个体素的向量描述 (类似于种子的向量描述), 用下式来表示:

$$[0061] \quad v_r = [x_r, y_r, z_r, I_r]^T \quad (8)$$

[0062] 其中,  $(x_r, y_r, z_r)$  表示与个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点模糊关联的第  $r$  个体素的坐标,  $I_r$  表示与个体磁共振图像空间的第  $j$  个种子点模糊关联的第  $r$  个体素的灰度值。

[0063] (2-4) 按照步骤 2-2 和 2-3 进行对个体磁共振图像空间的种子点进行迭代更新, 并定义残余误差, 当残余误差小于设定阈值时停止迭代, 将每个超体素分配给具有最大模糊隶属度的种子点以生成个体大脑磁共振图像的超体素。

[0064] 最后, 在确定超体素个数之后, 通过步骤 1 产生个体空间的种子点, 通过步骤 2 生成大脑磁共振图像的超体素。

[0065] 本发明中, 在大脑图像的脑区域均匀地采样大量的种子, 使用本发明的迭代空间模糊聚类算法产生种子。然后, 通过一种保持簇的空间毗连性的分层聚类算法将这些获得的种子进一步合并生成种子模板。在合并种子的过程中, 使用相邻种子的空间距离和体素强度的加权组合作为种子之间的距离度量, 具有最小距离的两个种子被合并成一个新的种子。通过将大脑模板磁共振图像配准到个体图像的方式, 将相应的种子模板投影到个体空间。通过使用高效的 Elastix 工具将模板图像与单个图像成对配准来执行投影。

[0066] 实施例:

[0067] 下面以 BrainWeb18 数据集数据为例, 来说明本发明的迭代空间模糊聚类的大脑磁共振超体素生成算法。

[0068] 实验条件: 现选取一台计算机进行实验, 该计算机的配置有英特尔处理器 (3.4GHz) 和 10GB 随机存取存储器, 64 位操作系统, 编程语言用的是 Matlab (R2014a 版本)。

[0069] 实验数据为 BrainWeb18 数据集的大脑磁共振图像。每个 MRI 图像包括  $181 \times 217 \times 181$  个大小为  $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$  的体素。实验参数设置为:  $K=6$ ,  $\lambda=0.8$ , 超体素个数分别设置为 500, 1000 和 2000。图 3 为 BrainWeb18 大脑 MRI 图像原图, 图 4 中的 (a) 为超体素个数为 500 的结果, 图 4 中的 (b) 为超体素个数为 1000 的结果, 图 4 中的 (c) 为超体素个数为 2000 的结果。

[0070] 以上所述, 仅为本发明中的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉该技术的人在本发明所揭露的技术范围内, 可理解想到的变换或替换, 都应涵盖在本发明的包含范围之内, 因此, 本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。



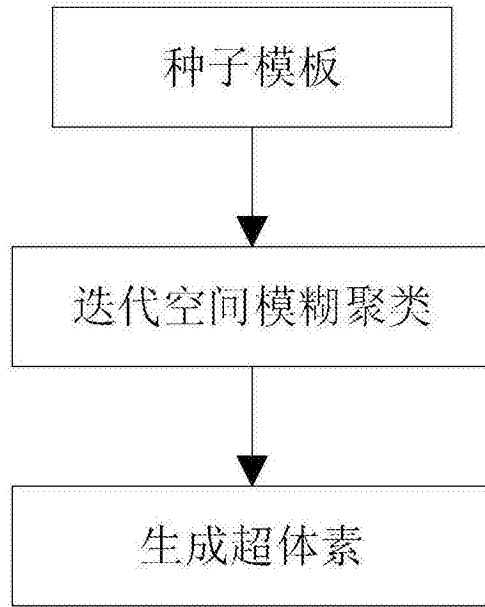


图1

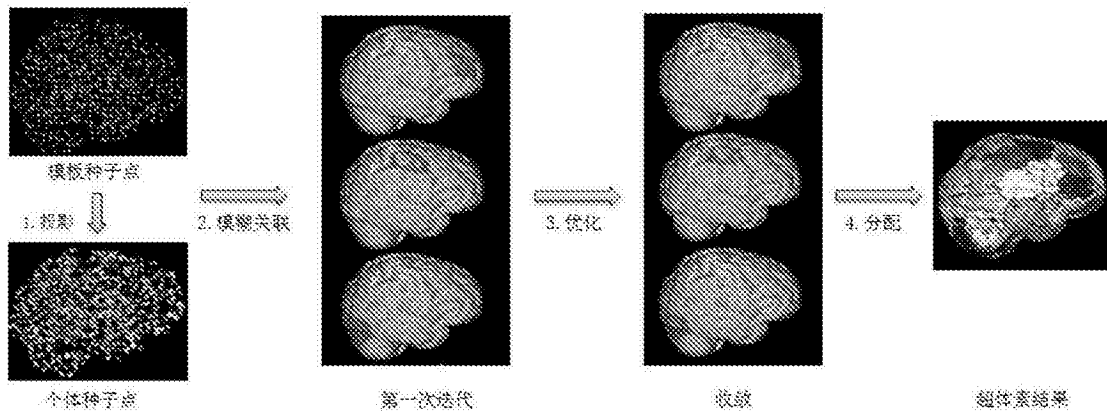
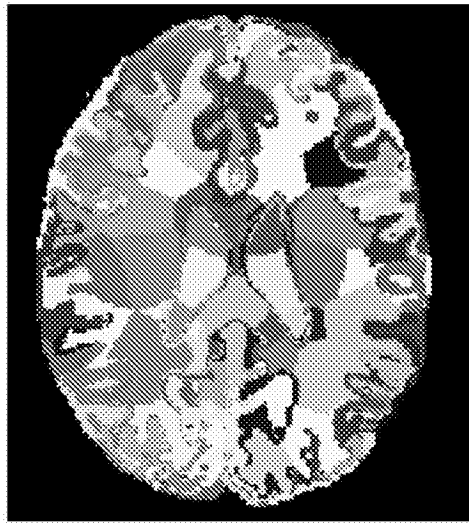


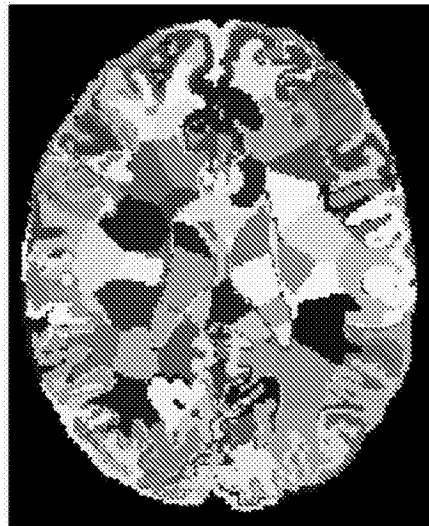
图2



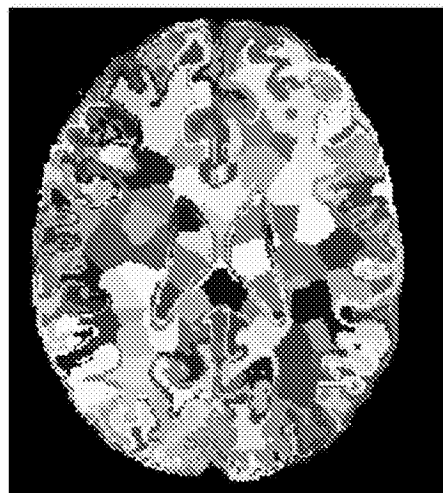
图3



(a)



(b)



(c)

图4