



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105796065 B

(45)授权公告日 2019.02.15

(21)申请号 201410843367.X

A61B 5/055(2006.01)

(22)申请日 2014.12.29

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105796065 A

CN 101273889 A,2008.10.01,
CN 101507603 A,2009.08.19,
US 2010/0185081 A1,2010.07.22,
US 2005/0065429 A1,2005.03.24,
US 2011/0046472 A1,2011.02.24,
CN 102488497 A,2012.06.13,
CN 103284722 A,2013.09.11,

(43)申请公布日 2016.07.27

(73)专利权人 中国科学院深圳先进技术研究院
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大
学城学苑大道1068号

审查员 陈雨羲

(72)发明人 刘新 帖长军 邹超 乔阳紫
孟德 钟耀祖

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 吴平

(51)Int.Cl.

A61B 5/01(2006.01)

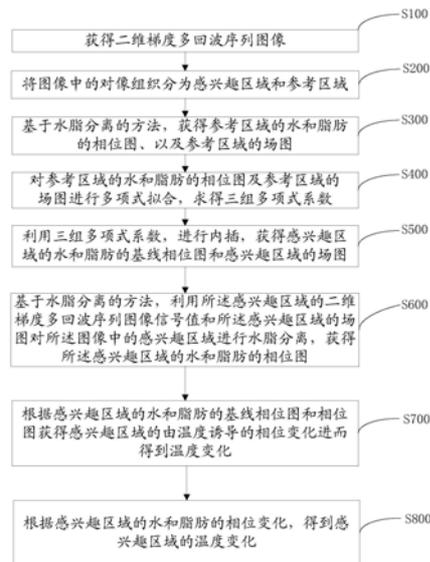
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统

(57)摘要

一种基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统,该方法包括如下步骤:获得二维梯度多回波序列图像;将图像中对像组织分为感兴趣区域和参考区域;分别分离出所述参考区域的水、脂肪的相位图以及场图;对所述参考区域的水和脂肪相位图及场图进行多项式拟合,求得三组多项式系数;利用所述三组多项式系数,进行内插,获得感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和感兴趣区域的场图;利用所述感兴趣区域中多回波图像信号值和上述获得的场图分离出所述感兴趣区域中水和脂肪信号,得到水和脂肪相位图,结合上述获得的水和脂肪基线相位图可获得所述感兴趣区域的温度变化。本发明无需进行脂肪抑制,对组织运动不敏感,可提高测温精度。



1. 一种基于水脂分离的无参考温度测量方法,其包括:
 - 获得二维梯度多回波序列图像;
 - 将所述图像中的对像组织分为感兴趣区域和参考区域;
 - 基于水脂分离的方法,获得所述参考区域的水和脂肪的相位图、以及所述参考区域的场图;
 - 对所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图分别进行多项式模型拟合,求得三组多项式系数;
 - 利用所述三组多项式系数,进行内插,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图以及所述感兴趣区域的场图;
 - 基于水脂分离的方法,利用所述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和所述感兴趣区域的场图对所述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位图;
 - 根据所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化;
 - 所述感兴趣区域的水的相位变化由所述感兴趣区域水相位图减去所述感兴趣区域水的基线相位图求得;
 - 所述感兴趣区域的脂肪的相位变化由所述感兴趣区域脂肪相位图减去所述感兴趣区域脂肪的基线相位图求得;
 - 根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化,得到感兴趣区域的温度变化,包括以下步骤:
 - 计算感兴趣区域的由温度诱导的相位变化,
 - 所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化由所述感兴趣区域水的相位变化减去所述感兴趣区域脂肪的相位变化之差计算得出;
 - 根据无参考温度测量方法,基于组织中水质子的相位变化与温度变化的线性关系计算所述感兴趣区域的温度变化 ΔT ,具体公式参见下述公式:
$$\Delta T = (\Delta \theta_T) / (\gamma \alpha B_0 TE)$$
其中, $\Delta \theta_T$ -表示上述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化, γ 表示旋磁比, $\alpha = 0.01 \text{ppm}/^\circ\text{C}$, B_0 代表主磁场强度,TE代表回波时间。
2. 根据权利要求1所述的基于水脂分离的无参考温度测量方法,其特征在于,所述二维梯度多回波序列一般采集3至5个回波。
3. 根据权利要求1所述的基于水脂分离的无参考温度测量方法,其特征在于,所述参考区域包围所述感兴趣区域。
4. 根据权利要求1所述基于水脂分离的无参考温度测量方法,其特征在于,所述水脂分离的方法采用IDEAL算法。
5. 根据权利要求1所述基于水脂分离的无参考温度测量方法,其特征在于,所述感兴趣区域的温度变化与所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化呈线性关系。
6. 一种基于水脂分离的无参考温度测量系统,其特征在于,包括:
 - 采集模块,用于获得二维梯度多回波序列图像;

区分模块,用于将所述图像中对像组织分为感兴趣区域和参考区域;

分离模块,用于基于水脂分离的方法,获得所述参考区域的水和脂肪的相位图、以及所述参考区域的场图;

拟合模块,用于对所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图分别进行多项式模型拟合,求得三组多项式系数;

提取模块,用于利用所述三组多项式系数,进行内插,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图以及所述感兴趣区域的场图;

处理模块,用于基于水脂分离的方法,利用所述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和所述感兴趣区域的场图对所述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位图;

获取模块,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化;及

计算模块,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化,得到感兴趣区域的温度变化;

所述的计算模型根据感兴趣区域的水和脂肪的相位变化得到感兴趣区域的温度变化的计算过程包括如下步骤:

计算感兴趣区域的由温度诱导的相位变化,

所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化由所述感兴趣区域水的相位变化减去所述感兴趣区域脂肪的相位变化之差计算得出;

根据无参考温度测量方法,基于组织中水质子的相位变化与温度变化的线性关系计算得到感兴趣区域的温度变化 ΔT ,具体公式参见下述公式:

$$\Delta T = (\Delta \phi_T) / (\gamma \alpha B_0 TE)$$

其中, $\Delta \phi_T$ -表示上述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化, γ 表示旋磁比, $\alpha = 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, B_0 代表主磁场强度,TE代表回波时间。

基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振温度测量领域,特别是涉及一种基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统。

背景技术

[0002] 磁共振温度实时监控是实现磁共振图像引导的重要前提。可用于温度成像的磁共振参数有质子密度、自旋-晶格弛豫时间、自旋-自旋弛豫时间、水分子表现扩散系数、磁化转移、质子共振频率位移(Proton Resonance Frequency Shift,PRFS)及分子间量子相干等。基于质子共振频率转移(Proton Resonance Frequency Shift,PRFS)原理的温度成像方法是磁共振温度成像中应用最为广泛的方法之一,这是由于该方法具有很好的时空分辨率,对温度变化具有极好的线性度,且与温度的线性关系不随组织和环境的变化而改变。PRFS温度成像方法利用了水分子中氢质子共振频率变化会随着温度变化而变化现象,共振频率变化与温度变化的关系大约为温度每升高1℃,氢质子共振频率变化降低0.01ppm。当前基于PRFS原理的磁共振测温精度主要受对温度不敏感成分(即脂肪)、磁化率伪影和运动伪影的影响。

[0003] 现有基于PRFS测温方法有:有参考(reference)减法(Poorter,J.D.,et al.,Noninvasive MRI Thermometry with the Proton Resonance Frequency Method:In Vivo Results in Human Muscle.Magnetic Resonance in Medicine,1995.33(1):p.74-81)、无参考(reference-less)测温法(Rieke,V.,et al.,Referenceless PRF shift thermometry.Magn Reson Med,2004.51(6):p.1223-31.)、脂肪参考(fat referenced)测温法(Hofstetter,L.W.,et al.,Fat-referenced MR thermometry in the breast and prostate using IDEAL.J Magn Reson Imaging,2012.36(3):p.722-32.)等。

[0004] 有参考减法,使用当前相位图与基准相位相减的方法。该方法主要对组织运动比较敏感。在加热过程中,由于组织运动或变形而引起的基准相位失配,会产生较大的测温误差。为克服这一缺点,有研究者提出无参考测温方法,其中假设相位图由一组连续光滑的空间多项式函数逼近,非受热区域的相位图被用于拟合相位空间模型,而受热区域的背景相位由该模型外插得到。该方法不依赖于基准图像的采集,其基准图像由当前图像通过相位空间模型拟合而得。实际应用中,为了提高温度测量精度,不论是有参考减法还是无参考测温法都需要进行脂肪抑制。而在高场或超高场条件下,在实际测温组织中现有的脂肪抑制技术可能会在局部出错,即在信号中存在对温度不敏感的成分,直接影响测温精确性。为了克服脂肪抑制技术的缺陷,有研究者提出基于PRFS原理的脂肪参考法。该方法利用水脂分离技术,分别获得了水和脂肪相位图。利用脂肪相位变化修正了主磁场漂移引起的相位变化。通过计算加热前后水的相位变化与脂肪相位变化差,而获得温度诱导的相位变化。该方法的主要缺点是它是一种修改的参考减法,仍然无法消除组织运动对测温精度的影响。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对现有的基于PRFS原理的磁共振测温方法需要进行脂肪抑制,在高场或超高场条件下,在实际测温组织中会在局部出错,影响测温精确性以及现有的基于PRFS原理的脂肪参考法无法消除组织运动对测温精度的影响问题,提供一种基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统,既无需进行脂肪抑制又对组织运动不敏感。

[0006] 一种基于水脂分离的无参考温度测量方法,其包括:

[0007] 获得二维梯度多回波序列图像;

[0008] 将所述图像中的对像组织分为感兴趣区域和参考区域;

[0009] 基于水脂分离的方法,获得所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图;

[0010] 对所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图分别进行多项式模型拟合,分别求得三组多项式系数;

[0011] 利用所述三组多项式系数,进行内插,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图以及所述感兴趣区域的场图;

[0012] 基于水脂分离的方法,利用所述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和所述感兴趣区域的场图对所述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位图;

[0013] 根据所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化;

[0014] 根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化得到感兴趣区域的温度变化。

[0015] 在其中一个实施例中,所述二维梯度多回波序列一般采集3至5个回波。

[0016] 在其中一个实施例中,所述参考区域包围所述感兴趣区域。

[0017] 在其中一个实施例中,,所述感兴趣区域为圆形。

[0018] 在其中一个实施例中,所述参考区域为圆环状。

[0019] 在其中一个实施例中,所述参考区域的水、脂肪的相位图以及所述参考区域的场图采用IDEAL算法从二维梯度多回波序列图像中分离。

[0020] 在其中一个实施例中,所述水脂分离的方法采用IDEAL算法。

[0021] 在其中一个实施例中,所述根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化得到感兴趣区域的温度变化的过程包括以下步骤:

[0022] 计算所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化;

[0023] 根据无参考温度测量方法,基于组织中水质子的相位变化与温度变化的线性关系计算所述感兴趣区域的温度变化。

[0024] 在其中一个实施例中,所述感兴趣区域的水的相位变化由所述感兴趣区域水相位图减去所述感兴趣区域水的基线相位图求得。

[0025] 在其中一个实施例中,所述感兴趣区域的脂肪的相位变化由所述感兴趣区域脂肪相位图减去所述感兴趣区域脂肪的基线相位图求得。

[0026] 在其中一个实施例中,,所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化由所述感兴趣区域水的相位变化减去所述感兴趣区域脂肪的相位变化之差计算得出。

[0027] 在其中一个实施例中,所述感兴趣区域的温度变化与所述感兴趣区域的由温度诱

导的相位变化呈线性关系。

[0028] 一种基于水脂分离的无参考温度测量系统,包括:

[0029] 采集模块,用于获得二维梯度多回波序列图像;

[0030] 区分模块,用于将所述图像中对像组织分为感兴趣区域和参考区域;

[0031] 分离模块,用于基于水脂分离的方法,获得所述参考区域的水和脂肪的相位图、以及所述参考区域的场图;

[0032] 拟合模块,用于对所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图分别进行多项式模型拟合,求得三组多项式系数;

[0033] 提取模块,用于利用所述三组多项式系数,进行内插,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图以及所述感兴趣区域的场图;

[0034] 处理模块,用于基于水脂分离的方法,利用所述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和所述感兴趣区域的场图对所述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位图;

[0035] 获取模块,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化;及

[0036] 计算模块,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化,得到感兴趣区域的温度变化。

[0037] 上述基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统,通过水脂分离技术得到水和脂肪的相位图,降低了压脂技术带来的误差,并且与无参考测温算法相结合,本发明方法既对组织运动不敏感又无需进行脂肪抑制,提高了测温的精度。

附图说明

[0038] 图1为本发明一个实施例中基于水脂分离的无参考测温方法的流程图;

[0039] 图2为本发明一个实施例中组织中感兴趣区域和参考区域的示意图;

[0040] 图3为本发明一个实施例中基于水脂分离的无参考测温系统结构示意图。

具体实施方式

[0041] 如图1和图2所示,一种基于水脂分离的无参考温度测量方法,包括以下步骤:

[0042] 在步骤S100中,获得二维梯度多回波序列图像。

[0043] 优选地,上述二维梯度多回波序列一般采集3至5个回波。

[0044] 在步骤S200中,将上述图像(指步骤S100中获得的二维梯度多回波序列图像)中的对像组织分为感兴趣区域(ROI)和参考区域(ROR),如图2所示。优选地,上述参考区域包围所述感兴趣区域。优选地,上述感兴趣区域为圆形。优选地,上述参考区域为不包含任何温度变化的区域。优选地,上述参考区域为圆环状。

[0045] 在步骤S300中,基于水脂分离的方法,获得上述参考区域的水的相位图、脂肪的相位图,以及上述参考区域的场图。这里的水脂分离的方法优选IDEAL算法。具体地,上述参考区域的水的相位图,脂肪的相位图以及上述参考区域的场图采用IDEAL算法从二维梯度多回波序列图像中分离,优选地,上述IDEAL算法同时采用T2*校正算法。

[0046] 在步骤S400中,对上述参考区域的水的相位图,脂肪的相位图以及上述参考区域

的场图分别进行多项式模型(参见下述公式(1-1))拟合,求得三组多项式系数。具体地,多项式模型如下述公式(1-1),利用最小二乘法计算最小残差可获得多项式系数。

$$[0047] \quad \phi(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + \dots \quad (1-1)$$

[0048] 在本发明的一个具体实施例中,上述步骤400包括以下步骤:

[0049] 对上述参考区域中水的相位图进行多项式模型拟合,求得第一组多项式系数;

[0050] 对上述参考区域中脂肪的相位图进行多项式模型拟合,求得第二组多项式系数;

[0051] 对上述参考区域中的场图进行多项式模型拟合,求得第三组多项式系数。

[0052] 在步骤S500中,利用上述的三组多项式系数,进行内插,获得上述感兴趣区域的水的基线相位和脂肪的基线相位以及上述感兴趣区域的场图分布。具体地,在本发明的一个具体实施例中,上述步骤500包括以下步骤:

[0053] 利用上述第一组多项式系数,进行内插,获得上述感兴趣区域中水的基线相位;

[0054] 利用上述第二组多项式系数,进行内插,获得上述感兴趣区域中脂肪的基线相位;

[0055] 利用上述第三组多项式系数,进行内插,获得上述感兴趣区域的场图。

[0056] 在步骤S600中,基于水脂分离的方法,利用上述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和上述感兴趣区域的场图对上述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得上述感兴趣区域的水相位图 ϕ''_w 和脂肪相位图 ϕ''_f 。这里的水脂分离的方法优选IDEAL算法。

具体地,上述感兴趣区域的水的相位图 ϕ_w ,脂肪的相位图 ϕ_f 以及上述感兴趣区域的场图 ϕ 采用IDEAL算法从二维梯度多回波序列图像中分离,优选地,上述IDEAL算法同时采用T2*矫正算法。

[0057] 步骤S700,根据上述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得上述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化。

[0058] 优选地,上述感兴趣区域的水的相位变化 $\Delta\phi_w$ 由上述感兴趣区域的水的相位图 ϕ''_w 减去上述感兴趣区域的水的基线相位图 ϕ'_w 求得,即为:

$$[0059] \quad \Delta\phi_w = \phi''_w - \phi'_w \quad (1)$$

[0060] 优选地,上述感兴趣区域的脂肪的相位变化 $\Delta\phi_f$ 由上述感兴趣区域的脂肪的相位图 ϕ''_f 减去上述感兴趣区域的脂肪的基线相位图 ϕ'_f 求得,即为:

$$[0061] \quad \Delta\phi_f = \phi''_f - \phi'_f \quad (2)$$

[0062] 步骤S800,根据上述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化,得到感兴趣区域的温度变化。

[0063] 在本发明的一个实施例中,上述步骤S800包括以下步骤:

[0064] 首先,计算上述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化 $\Delta\phi_T$;在本发明的其中一个实施例中,上述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化 $\Delta\phi_T$ 由上述感兴趣区域水的相位变化减去上述感兴趣区域脂肪的相位变化之差计算得出,即为:

$$[0065] \quad \Delta\phi_T = \Delta\phi_w - \Delta\phi_b \quad (4)$$

[0066] 其中,用脂肪的相位变化来矫正主磁场漂移引起的相位变化 $\Delta\phi_b$,即上述感兴趣区域的脂肪的相位变化 $\Delta\phi_f = \Delta\phi_b$ 。

[0067] 然后,根据无参考温度测量方法,基于组织中水质子的相位变化与温度变化的线性关系计算感兴趣区域的温度变化 ΔT ,具体参见下述公式(5)。

$$[0068] \quad \Delta T = (\Delta\phi_T)/(\gamma\alpha B_0 TE) \quad (5)$$

[0069] 其中, $\Delta\phi_T$ -上述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化, γ 表示旋磁比, $\alpha = 0.01\text{ppm}/^\circ\text{C}$, B_0 代表主磁场强度, TE 代表回波时间。

[0070] 基于上述方法,在本发明的一个实施例中,如图3所示,一种基于水脂分离的无参考温度测量系统,包括:采集模块10,区分模块20,分离模块30,拟合模块40,提取模块50,处理模块60、获取模块70和计算模块80。其中,

[0071] 采集模块10,用于获得二维梯度多回波序列图像;

[0072] 区分模块20,用于将所述图像中对像组织分为感兴趣区域和参考区域;

[0073] 分离模块30,用于基于水脂分离的方法,获得所述参考区域的水和脂肪的相位图、以及所述参考区域的场图;

[0074] 拟合模块40,用于对所述参考区域的水和脂肪的相位图以及所述参考区域的场图分别进行多项式模型拟合,求得三组多项式系数;

[0075] 提取模块50,用于利用所述三组多项式系数,进行内插,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图以及所述感兴趣区域的场图;

[0076] 处理模块60,用于基于水脂分离的方法,利用所述感兴趣区域的二维梯度多回波序列图像信号值和所述感兴趣区域的场图对所述图像中的感兴趣区域进行水脂分离,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位图;

[0077] 获取模块70,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的基线相位图和相位图,获得所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化;及

[0078] 计算模块80,用于根据所述感兴趣区域的水和脂肪的相位变化,得到感兴趣区域的温度变化。

[0079] 在本发明的一个实施例中,上述计算模块80包括以下单元

[0080] 用于计算所述感兴趣区域的由温度诱导的相位变化的单元;和

[0081] 用于根据无参考温度测量方法,基于组织中水质子的相位变化与温度变化的线性关系计算所述感兴趣区域的温度变化的单元。

[0082] 上述基于水脂分离的无参考温度测量方法及系统,通过水脂分离技术得到水和脂肪的相位图,降低了压脂技术带来的误差,并且与无参考测温算法相结合,本方法既对组织运动不敏感又无需进行脂肪抑制,提高了测温的精度。

[0083] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

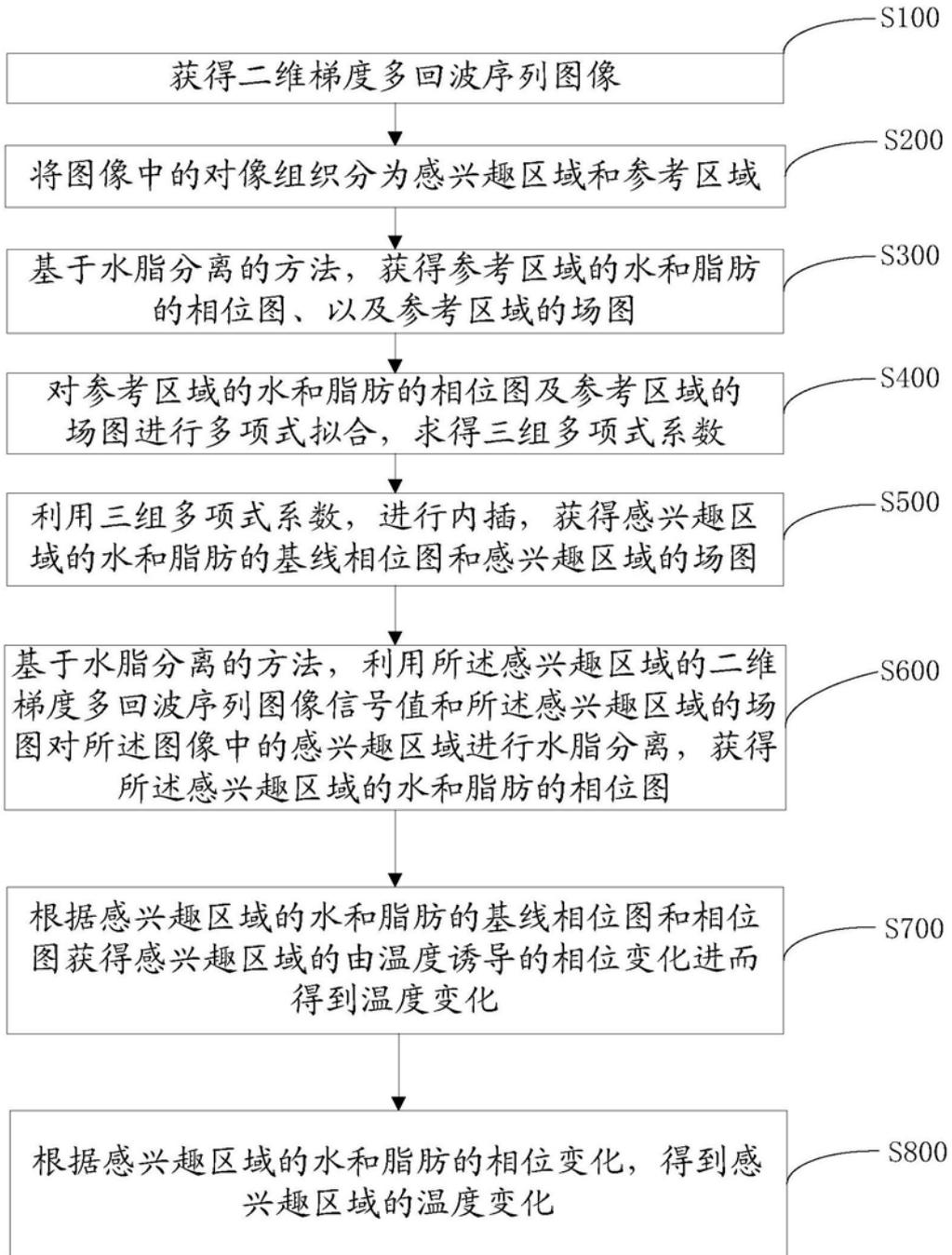


图1

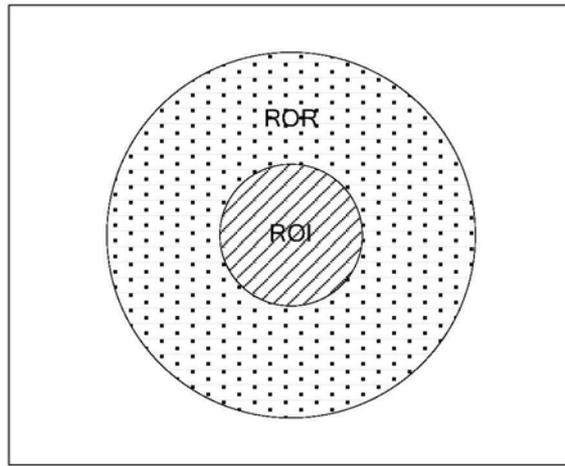


图2

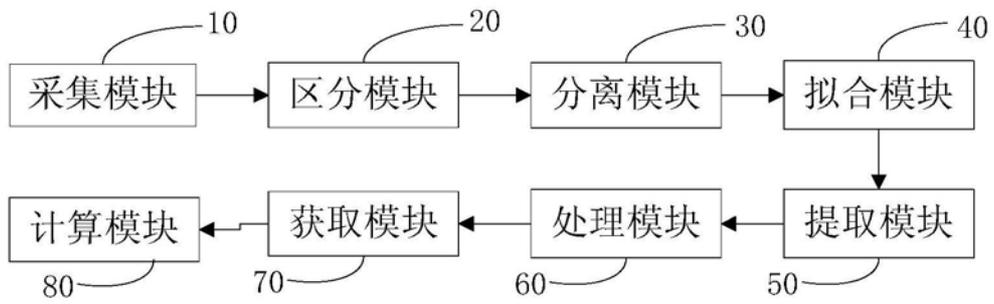


图3