



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101756713 A

(43) 申请公布日 2010.06.30

(21) 申请号 200910023839.6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009.09.09

A61B 8/06 (2006.01)

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁路  
28 号(72) 发明人 万明习 卫敏 谷晓林 杨星  
钟徽(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 陆万寿

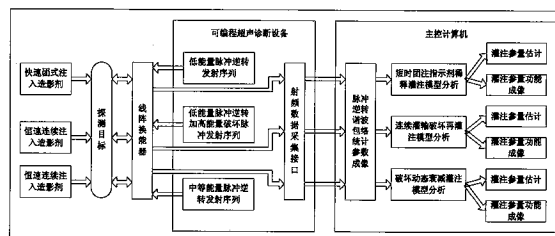
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

## (54) 发明名称

超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法

## (57) 摘要

本发明公开了超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法,该集成方法按照如下步骤:(1)将设置在探测目标上的线阵换能器通过具有射频数据采集接口的可编程超声设备与主控计算机连接;(2)在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;实现超声造影成像方法;(3)在步骤(2)超声造影成像方法的基础上实现灌注参量估计方法或灌注参量功能成像方法。本发明申请人在可编程超声设备的基础上实施脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法,并将该成像方法与三种模型的灌注参量估计和灌注参量功能成像方法予以集成,提高了工作效率并增强了灌注模型间比较的可靠性。



1. 超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法,其特征在于,按照如下步骤:

(1) 将设置在探测目标上的线阵换能器通过具有射频数据采集接口的可编程超声设备与主控计算机连接;

(2) 在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;实现超声造影成像方法;

(3) 在步骤(2)超声造影成像方法的基础上实现灌注参量估计方法或灌注参量功能成像方法;

所述灌注参量估计方法是指:从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注或破坏动态衰减三个模型中选择一个所要实施的灌注模型;根据选择的灌注模型在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;在采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法基础上,根据选择的灌注模型实现灌注参量估计方法;

所述灌注参量功能成像方法是指:从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注或破坏动态衰减三个模型中选择一个所要实施的灌注模型;根据选择的灌注模型在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;在采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法基础上,根据选择的灌注模型实现灌注参量功能成像方法。

2. 如权利要求1所述超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法,其特征在于,所述步骤(2)中采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法步骤如下:

(1) 利用基于可编程超声设备的线阵换能器发射脉冲逆转序列,即沿一条扫描线相继发射、接收0相和 $\pi$ 相的同幅度脉冲,后续扫描线重复操作直至完成二维平面扫描,形成单帧射频数据;

(2) 采集得到单帧原始射频数据,分离出0相脉冲和 $\pi$ 相脉冲的回波射频数据,两者经过相加消除奇次谐波分量,保留了偶次谐波分量;

(3) 采用希尔伯特(Hilbert)变换进行解调,提取偶次谐波信号包络;

(4) 经过二次采样及对数压缩生成常规脉冲逆转谐波灰度图像,作为解剖结构背景;

(5) 选取统计参数成像区域或选择全局成像,并确定用于计算参量 $m$ 的矩形滑动窗尺寸;

(6) 利用 $m$ 参量计算公式(1)计算二维矩形窗内偶次谐波包络像素点的 $m$ 值,将该 $m$ 值赋给矩形滑动窗的中心像素点;

(7) 使矩形滑动窗以单像素点为步进单位在成像平面内进行纵向及横向滑动,每滑动一个像素点,重复步骤(5)、(6),直至遍历整个成像平面;

(8) 对 $m$ 值进行彩色编码,随着 $m$ 值由小变大,颜色由冷色调过渡到暖色调;

(9) 将彩色 $m$ 参量图像与(4)中所得灰度背景图像相叠加;

(10) 重复步骤(1)至(9)生成并保存经叠加的 $m$ 参量图像序列。

所述公式

$$m = \frac{[E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2}{E[R^2(e_0 + e_\pi) - E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2} \quad (1)$$

其中,统计参数  $m$  作为成像因子,  $e_0$  表示 0 相位脉冲的回波,  $e_\pi$  表示  $\pi$  相位脉冲的回波,  $R(\cdot)$  表示包络检波运算,  $E(\cdot)$  表示统计平均。

3. 如权利要求 1 所述超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法,其特征在于,所述灌注参量估计方法的步骤如下:

(1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种模型;

(2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

(3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

(4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或/和干预;

(5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

(6) 手动选择任意多边形感兴趣区域,通过浏览图像序列识别目标组织的位移,并手动微调序列图像中组织移动或形变帧的感兴趣区域位置;

(7) 计算感兴趣区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到原始时间强度曲线;

(8) 根据应用的灌注模型类型,实施相应的时间强度曲线拟合方法;

(9) 从经过拟合的时间强度曲线中提取相应的灌注参量;

(10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量估计,则重复步骤 (1) 至 (9)。

4. 如权利要求 1 所述超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法,其特征在于,所述灌注参量功能成像方法步骤如下:

(1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种;

(2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

(3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

(4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或/和干预;

(5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

(6) 根据成像单位类型自动选取覆盖二维成像平面的成像单位区域;

(7) 计算成像单位区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到三维原始时间强度曲线矩阵;

(8) 应用时间强度曲线快速去噪方法对每一条时间强度曲线进行去噪;

(9) 提取灌注参量并彩色编码显示;

(10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量功能成像,则重复步骤 (1) 至 (9)。

## 超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法

[0001] 方法领域

[0002] 本发明属于超声成像领域,涉及到一种超声造影成像方法以及将该成像方法与灌注参量估计和灌注参量功能成像集成的方法。

[0003] 背景方法

[0004] 生物组织或器官的微血管血流灌注评价是获得生物组织功能、生理和病理状态等信息的重要途径。随着超声造影剂的出现及不断革新发展,使得超声造影增强的血流灌注定量评价成为分析实质脏器血流灌注的重要手段,并具有实时、安全、便捷和成本低廉的特点。该方法涉及超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像等方法,具有广泛的临床应用前景。

[0005] 基于造影微泡的线性与非线性振动、时域解相关和瞬时破坏增强等特性,大量超声造影成像方法被不断的研究和应用,包括二次谐波,脉冲逆转谐波,次谐波,超谐波,脉冲逆转多普勒,脉冲释放爆破等。然而,大多数超声造影成像方法基于造影微泡背向散射回波的幅度信息,不可避免地受到组织声衰减和微泡声遮挡的干扰,严重影响了造影成像本身及以此为基础的后续灌注定量评价的准确性,目前发展的一些抑制组织声衰减和微泡声遮挡的成像方法耗时较长、易受脏器移动影响,不能满足实时、准确显示的要求。因此,研究可以抑制组织声衰减和微泡声遮挡并能实时、准确显示探测对象的超声造影成像方法具有重要意义,对此,本发明提出了一种造影增强的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法。

[0006] 血流灌注参量估计方法基于造影成像方法得到的图像序列,通过选取图像局部感兴趣区域获得时间强度曲线,对该曲线进行拟合分析,得到与血流量、局部血容量相关的参数,从而半定量甚至定量评价血流灌注情况。基于时间强度曲线的超声血流灌注模型有短时团注指示剂稀释模型、连续灌注破坏再灌注模型和破坏动态衰减模型。短时团注指示剂稀释模型利用造影剂为指示剂以质量守恒定律为基础,在向血流中快速注入一定剂量的造影剂之后,利用造影剂的背向散射增强效应来探测造影微泡浓度随时间的变化。Wei et al 首次提出连续灌注破坏再灌注模型,即以恒定速率持续注入超声造影剂,在达到稳定状态时发射高能量的破坏脉冲将成像平面内的造影剂微泡全部破坏,随后发射低能量成像脉冲观察造影剂微泡的再灌注过程。破坏动态衰减模型是利用等间隔中等能力的超声脉冲造成感兴趣区内部分造影剂微泡破坏,在下次超声辐射前,血液的流入和流出造成感兴趣区内造影剂剂量的增加,下次超声辐射后,又造成部分微泡破坏,如此不断间隔辐射、微泡破坏和再填充,当单次辐射超声造成微泡的破坏量与两次超声辐射时间间隔内感兴趣区造影剂再灌注量相等时微泡浓度达到平衡。

[0007] 上述灌注参量估计方法采用手动方式选择较大尺寸感兴趣区域,一方面忽略了感兴趣区域内局部血流灌注的差异性,另一方面容易引入非灌注区域而产生误差,进一步降低了估计准确性。于是,一种自动化的灌注参量功能成像方法被提出,成为灌注参量估计方法的有力补充,两者相结合能够提供更为全面、准确的血流动力学信息。目前的灌注参量估计和灌注参量功能成像方法,都是通过视频数据或射频信号得到时间强度曲线,不能准确

的反映灌注区内的微泡浓度变化,因此在本发明中,发展了将脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法与灌注参量估计和灌注参量功能成像集成的方法。

[0008] 本发明申请人在可编程超声设备的基础上实施脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法,并将该成像方法与三种模型的灌注参量估计和灌注参量功能成像方法予以集成,提高了工作效率并增强了灌注模型间比较的可靠性。

## 发明内容

[0009] 针对上述国内外的超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像方法的现状,本发明的目的在于,提供一种造影增强的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法及基于参数图像序列的多灌注模型的手动灌注参量估计和自动化灌注参量功能成像的集成方法。

[0010] 为实现上述任务,本发明给出如下的方法解决方案:

[0011] 一种基于可编程超声设备的超声脉冲逆转谐波包络统计参数成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像的集成方法,通过此方法将超声脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统、灌注参量估计子系统和灌注参量功能成像子系统予以集成。脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统包含基于可编程超声设备的线阵换能器和基于主控计算机的射频数据处理成像单元,实施时,通过前者发射脉冲逆转激励序列,采集由回波信号形成的原始射频数据。该原始射频数据导入主控PC机,通过射频数据处理成像单元中的成像软件系统处理得到参数图像序列。该图像序列一方面实现准实时的显示,另一方面保存作为灌注参量估计子系统和灌注参量功能成像子系统的输入数据。灌注参量估计子系统与灌注参量功能成像子系统共用同一个基于可编程超声设备的发射脉冲序列组合编程控制系统和造影剂注入控制系统,同时,两者都包含各自的基于主控计算机的软件处理系统,分别是手动灌注参量估计软件系统和自动化灌注参量功能成像软件系统。实施时,根据选用的灌注模型(包括短时团注指示剂稀释模型、连续灌注破坏再灌注模型和破坏动态衰减模型),采取相应的造影剂注入方式,对应于上述三种模型分别为快速团式注入方式、恒速连续注入方式和恒速连续注入方式。同样,根据选用的灌注模型编程实现相应的发射脉冲序列组合并激励线阵换能器对血流灌注进行成像和/或干预。其中对血流灌注进行成像由脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统实现的成像方法来实现。获得的造影图像序列分别输入手动灌注参量估计软件系统和自动化灌注参量功能成像软件系统,从多个角度定量分析流速、血流量等血流灌注动力学信息。

[0012] 超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像集成方法,按照如下步骤:

[0013] (1) 将设置在探测目标上方的线阵换能器通过具有射频数据采集接口的可编程超声设备与主控计算机连接;

[0014] (2) 在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;实现超声造影成像方法;

[0015] (3) 在步骤(2)超声造影成像方法的基础上实现灌注参量估计方法或灌注参量功能成像方法;

[0016] 所述灌注参量估计方法是指:从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注或破坏动态衰减三个模型中选择一个所要实施的灌注模型;根据选择的灌注模型在探测目标内

按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;在采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法基础上,根据选择的灌注模型实现灌注参量估计方法;

[0017] 所述灌注参量功能成像方法是指:从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注或破坏动态衰减三个模型中选择一个所要实施的灌注模型;根据选择的灌注模型在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂,线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机;主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像;在采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法基础上,根据选择的灌注模型实现灌注参量功能成像方法;

[0018] 所述步骤(2)中采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法步骤如下:

[0019] (1) 利用基于可编程超声设备的线阵换能器发射脉冲逆转序列,即沿一条扫描线相继发射、接收 0 相和  $\pi$  相的同幅度脉冲,后续扫描线重复操作直至完成二维平面扫查,形成单帧射频数据;

[0020] (2) 采集得到单帧原始射频数据,分离出 0 相脉冲和  $\pi$  相脉冲的回波射频数据,两者经过相加消除奇次谐波分量,保留了偶次谐波分量;

[0021] (3) 采用希尔伯特(Hilbert)变换进行解调,提取偶次谐波信号包络;

[0022] (4) 经过二次采样及对数压缩生成常规脉冲逆转谐波灰度图像,作为解剖结构背景;

[0023] (5) 选取统计参数成像区域或选择全局成像,并确定用于计算参量  $m$  的矩形滑动窗尺寸;

[0024] (6) 利用  $m$  参量计算公式(1)计算二维矩形窗内偶次谐波包络像素点的  $m$  值,将该  $m$  值赋给矩形滑动窗的中心像素点。

[0025] (7) 使矩形滑动窗以单像素点为步进单位在成像平面内进行纵向及横向滑动,每滑动一个像素点,重复步骤(5)、(6),直至遍历整个成像平面;

[0026] (8) 对  $m$  值进行彩色编码,随着  $m$  值由小变大,颜色由冷色调过渡到暖色调;

[0027] (9) 将彩色  $m$  参量图像与(4)中所得灰度背景图像相叠加;

[0028] (10) 重复步骤(1)至(9)生成并保存经叠加的  $m$  参量图像序列。

[0029] 所述公式

$$[0030] \quad m = \frac{[E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2}{E[R^2(e_0 + e_\pi) - E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2} \quad (1)$$

[0031] 其中,统计参数  $m$  作为成像因子,  $e_0$  表示 0 相位脉冲的回波,  $e_\pi$  表示  $\pi$  相位脉冲的回波,  $R(\cdot)$  表示包络检波运算,  $E(\cdot)$  表示统计平均。

[0032] 所述灌注参量估计方法的步骤如下:

[0033] (1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种模型;

[0034] (2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

[0035] (3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

[0036] (4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或 / 和干预;

[0037] (5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

[0038] (6) 手动选择任意多边形感兴趣区域,通过浏览图像序列识别目标组织的位移,并手动微调序列图像中组织移动或形变帧的感兴趣区域位置;

[0039] (7) 计算感兴趣区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到原始时间强度曲线;

[0040] (8) 根据应用的灌注模型类型,实施相应的时间强度曲线拟合方法;

[0041] (9) 从经过拟合的时间强度曲线中提取相应的灌注参量;

[0042] (10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量估计,则重复步骤 (1) 至 (9)。

[0043] 所述灌注参量功能成像方法步骤如下:

[0044] (1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种;

[0045] (2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

[0046] (3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

[0047] (4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或 / 和干预;

[0048] (5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

[0049] (6) 根据成像单位类型自动选取覆盖二维成像平面的成像单位区域;

[0050] (7) 计算成像单位区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到三维原始时间强度曲线矩阵;

[0051] (8) 应用时间强度曲线快速去噪方法对每一条时间强度曲线进行去噪;

[0052] (9) 提取灌注参量并彩色编码显示;

[0053] (10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量功能成像,则重复步骤 (1) 至 (9)。

[0054] 上述超声脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统实现的成像方法,采用脉冲逆转双脉冲激励模式,消除来自非灌注组织的基波信号,保留来自造影微泡的偶次谐波信号,并利用 Nakagami 统计模型对获得的偶次谐波回波包络信号进行统计特征分析,计算出相应的统计参数  $m$  作为成像因子。参数  $m$  通过公式 (1) 算出。

$$[0055] \quad m = \frac{[E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2}{E[R^2(e_0 + e_\pi) - E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2} \quad (1)$$

[0056] 其中,  $e_0$  表示 0 相位脉冲的回波,  $e_\pi$  表示  $\pi$  相位脉冲的回波,  $R(\cdot)$  表示包络检波运算,  $E(\cdot)$  表示统计平均。

[0057] 上述灌注参量估计子系统实现的手动灌注参量估计方法,基于成像子系统得到的参数图像序列,可采用多种造影剂注入方式和灌注模型。

[0058] 上述灌注参量功能成像子系统实现的自动化灌注参量功能成像方法,基于成像子系统得到的参数图像序列,可采用多种造影剂注入方式和灌注模型。

[0059] 本发明将超声造影成像,灌注参量估计和灌注参量功能成像的方法予以集成,从多角度检测血流灌注情况并获取定量的血流动力学信息。同时,基于超声发射脉冲序列组

合编程控制方法实现了多种灌注模型的一体化定量分析系统,提升了多模型比较的准确性及可信赖度。提供的超声造影成像方法采用脉冲逆转超声宽带激励模式,提高了超声造影成像的分辨率。由此形成的偶次谐波包络能够抑制来自无灌注组织的基波信号,从而增强了信噪比和统计参数计算的准确性。相比于其他超声回波包络统计模型统计参数计算,提供的基于 Nakagami 统计模型的统计参数成像计算需求量小,具有实时成像的潜力。此外,该造影成像方法利用造影微泡背向散射信号的统计分布特征而不是造影微泡背向散射信号的强度,克服了声传播路径上组织及造影微泡导致的声衰减对造影成像及灌注定量评价方法的影响。

#### 附图说明

- [0060] 附图 1 是本发明的超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像集成方法图；
- [0061] 附图 2 是本发明的脉冲逆转谐波包络统计参数成像流程图；
- [0062] 附图 3 是本发明的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法原理说明图；
- [0063] 附图 4 是本发明的手动灌注参量估计方法流程图；
- [0064] 附图 5 是本发明的自动化灌注参量功能成像方法流程图；
- [0065] 附图 6 是本发明的灌注参量估计和灌注参量功能成像原理说明图。

#### 具体实施方式

[0066] 本发明包括以下三个方面的内容：

[0067] 第一方面,提供了一种集成了超声造影成像,灌注参量估计及灌注参量功能成像方法的系统。

[0068] 第二方面,提供了一种基于脉冲逆转双脉冲激励序列的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法。

[0069] 第三方面,提供了一种基于超声发射脉冲序列组合编程控制方法的利用单一系统实现多种灌注定量评价策略的方法。

[0070] 下面具体阐述上述三方面内容的具体实施方法：

[0071] 依据本发明的第一方面,本发明提供了一种集成了超声造影成像,灌注参量估计及灌注参量功能成像方法的系统。参看图 1,整体系统包括三个子系统,分别是脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统,灌注参量估计系统子系统和灌注参量功能成像系统子系统。

[0072] 脉冲逆转谐波包络统计参数成像子系统由集成了线阵换能器的可编程超声设备及基于主控计算机的成像软件组成。利用本发明第二方面的内容中提供的基于脉冲逆转双脉冲激励模式的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法,获得反映造影微泡浓度分布及变化的参数图像序列,用于后续的灌注参量估计和灌注参量功能成像。

[0073] 灌注参量估计系统包括本发明第三方面的内容中提供的发射脉冲序列组合编程控制系统、造影剂注入控制系统和手动灌注参量估计软件系统。造影剂注入控制系统由注射器、恒流泵及相应配件组成。实施时,根据特定灌注模型的需要采用相应的方式(包括造影剂浓度,注入速度等)注入造影剂。手动灌注参量估计软件系统由感兴趣区域(Region of interest, ROI)手动选取,时间强度曲线(Time intensity curve, TIC)拟合和灌注参量



提取三个模块组成。感兴趣区域采用手动适形选取策略,即具有超声影像辨识经验的人员根据目标脏器的整体或局部边缘手动选取任意多边形区域,感兴趣区域选定后高亮显示,通过计算其中的平均灰度值作为时间的函数得出时间强度曲线,本系统集成实现三种灌注模型,分别为短时团注指示剂稀释、连续灌输破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型。针对每种模型给出了相应的灌注参量定义并提供了相应的时间强度曲线拟合方法。基于参量的定义即可从拟合后的时间强度曲线中提取出目标参量,用于血流动力学信息定量分析和比较。

[0074] 该方法的具体实施步骤如下:

[0075] (1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌输破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种模型;

[0076] (2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

[0077] (3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

[0078] (4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或/和干预;

[0079] (5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

[0080] (6) 手动选择任意多边形感兴趣区域,通过浏览图像序列识别目标组织的位移,并手动微调序列图像中组织移动或形变帧的感兴趣区域位置;

[0081] (7) 计算感兴趣区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到原始时间强度曲线;

[0082] (8) 根据应用的灌注模型类型,实施相应的时间强度曲线拟合方法;

[0083] (9) 从拟合得到的时间强度曲线中提取相应的灌注参量;

[0084] (10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量估计,则重复步骤(1)至(9)。

[0085] 灌注参量功能成像软件系统包括本发明第三方面的内容中提供的超声发射脉冲序列组合编程控制系统,造影剂注入控制系统和自动化灌注参量功能成像软件系统。所包括的发射脉冲序列组合编程控制系统和造影剂注入控制系统与灌注参量估计系统中提供的相同。自动化灌注参量功能成像软件系统包含以下模块:成像单位区域自动化选取,时间强度曲线快速去噪,灌注参量提取与彩色编码显示。依据不同的灌注模型,采取不同的处理方法。

[0086] 该方法的具体实施步骤如下:

[0087] (1) 从短时团注指示剂稀释、连续灌输破坏再灌注和破坏动态衰减三个灌注模型中选择一种;

[0088] (2) 根据应用的灌注模型类型设置相应的超声脉冲发射序列组合;

[0089] (3) 根据应用的灌注模型类型采取相应的造影微泡注入方式;

[0090] (4) 通过脉冲发射序列组合编程控制系统驱动线阵换能器,对目标平面内的造影微泡灌注进行检测或/和干预;

[0091] (5) 利用本发明提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法生成图像序列;

[0092] (6) 根据成像单位类型自动选取覆盖二维成像平面的成像单位区域;

[0093] (7) 计算成像单位区域内的平均图像强度作为时间的函数,得到三维原始时间强度曲线矩阵;

[0094] (8) 应用时间强度曲线快速去噪方法对每一条时间强度曲线进行去噪；

[0095] (9) 提取灌注参量并彩色编码显示；

[0096] (10) 如需应用另一个灌注模型进行灌注参量功能成像,则重复步骤(1)至(9)。

[0097] 依据本发明的第二方面,本发明提供了一种基于脉冲逆转双脉冲激励序列的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法。将通过脉冲逆转双脉冲激励模式获得回波射频数据进行分离、相加和包络检波运算,形成仅含偶次谐波的包络信号。采用 Nakagami 包络统计模型分析包络信号的统计分布特性,计算出相应的统计参数值,参数  $m$  通过公式(1)计算得到。

$$[0098] \quad m = \frac{[E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2}{E[R^2(e_0 + e_\pi) - E(R^2(e_0 + e_\pi))]^2} \quad (1)$$

[0099] 其中,  $e_0$  表示 0 相位脉冲的回波,  $e_\pi$  表示  $\pi$  相位脉冲的回波,  $R(\cdot)$  表示包络检波运算,  $E(\cdot)$  表示统计平均。

[0100] 提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法的具体实施步骤如下：

[0101] (1) 利用基于可编程超声设备的线阵换能器发射脉冲逆转序列,即沿一条扫描线相继发射、接收 0 相和  $\pi$  相的同幅度脉冲,后续扫描线重复操作直至完成二维平面扫查,形成单帧射频数据；

[0102] (2) 采集得到单帧原始射频数据,分离出 0 相脉冲和  $\pi$  相脉冲的回波射频数据,两者经过相加消除奇次谐波分量,保留了偶次谐波分量；

[0103] (3) 采用希尔伯特 (Hilbert) 变换进行解调,提取偶次谐波信号包络；

[0104] (4) 经过二次采样及对数压缩生成常规脉冲逆转谐波灰度图像,作为解剖结构背景；

[0105] (5) 选取统计参数成像区域或选择全局成像,并确定用于计算参量  $m$  的矩形滑动窗尺寸；

[0106] (6) 利用  $m$  参量计算公式(1)计算二维矩形窗内偶次谐波包络像素点的  $m$  值,将该  $m$  值赋给矩形滑动窗的中心像素点；

[0107] (7) 使矩形滑动窗以单像素点为步进单位在成像平面内进行纵向及横向滑动,每滑动一个像素点,重复步骤(5)、(6),直至遍历整个成像平面；

[0108] (8) 对  $m$  值进行彩色编码,随着  $m$  值由小变大,颜色由冷色调过渡到暖色调；

[0109] (9) 将彩色  $m$  参量图像与(4)中所得灰度背景图像相叠加；

[0110] (10) 重复步骤(1)至(9)生成并保存经叠加的  $m$  参量图像序列。

[0111] 提供的脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法的优点如下：

[0112] (1) 采用脉冲逆转超声激励模式,避免常规带通滤波器导致的基波分量与谐波分量的重叠干扰,实现宽带发射接收,提高了超声成像的分辨率；

[0113] (2) 利用偶次谐波包络统计特性计算能够度量造影微泡浓度的统计参数,抑制来自非灌注区域的基波信号,增强了信噪比和统计参数计算的准确性；

[0114] (3) 与其他超声回波包络统计模型的统计参数相比,基于 Nakagami 统计模型的统计参数计算需求量大,具有实时成像的潜力；

[0115] (4) 利用造影微泡背向散射信号的统计分布特征而不是造影微泡背向散射信号的

强度,克服了传播路径上组织及造影微泡导致的声衰减对造影微泡浓度检测的影响。

[0116] 依据本发明的第三方面,本发明提供了一种基于超声发射脉冲序列组合编程控制方法的利用单一系统实现多种灌注定量评价策略的方法。利用超声脉冲幅度、频率(周期)、发射时序可编程的线阵换能器同时满足短时团注指示剂稀释,连续灌输破坏再灌注和破坏动态衰减三种血流灌注模型对于超声发射脉冲序列组合的特殊要求。

[0117] 下面分别描述针对三种血流灌注模型的发射脉冲序列组合:

[0118] (1) 短时团注指示剂稀释模型的发射脉冲序列组合。利用低能量脉冲逆转发射序列检测作为指示剂的造影剂在稀释过程中,造影剂浓度随时间的变化。采用低能量的目的是尽可能的减少超声脉冲对造影剂微泡的破坏,避免由于微泡破坏导致微泡浓度估计偏低。

发射脉冲的能量用机械指数(MI)来衡量,MI的计算公式为: $MI = \frac{P^-}{\sqrt{f}}$ 。P<sup>-</sup>为激励脉冲的负声压,f为激励脉冲的中心频率。

[0119] (2) 连续灌输破坏再灌注模型的发射脉冲序列组合。利用低能量脉冲逆转发射序列+高能量多周期破坏脉冲+低能量脉冲逆转发射序列的脉冲时序组合来检测造影微泡的破坏再灌注过程。其中低能量脉冲逆转发射序列与(1)所述相同,破坏脉冲前的低能量脉冲逆转发射序列用于检测造影微泡的灌注与否及灌注程度,当灌注达到稳态时(即成像平面内的造影强度保持不变),发射高能量多周期破坏脉冲将成像平面内的造影微泡尽可能的全部破坏,随后的低能量脉冲逆转发射序列用于检测造影微泡再补充过程中造影微泡浓度随时间逐渐上升的动态过程。

[0120] (3) 破坏动态衰减模型的发射脉冲序列组合。中等能量脉冲逆转发射序列,帧间隔与(1),(2)所述的相比要长,这样做的目的是提供让造影微泡少量补充的缓冲时间,但同时,帧间隔又不能过长,因为过长的无超声辐照时期会使得灌注重新回到稳态,导致最终的时间强度曲线变成锯齿状的近似直线。

[0121] 本发明提供的超声发射脉冲序列组合编程控制系统能够根据不同需要实现三种灌注定量评价策略所需脉冲发射序列组合间的自由切换。

[0122] 参看图2,给出了脉冲逆转谐波包络统计参数成像软件流程图,该软件将产生于脉冲逆转双脉冲激励模式的单帧原始射频数据进行0相和 $\pi$ 相分离,并对分离后的数据应用全局相加运算,获得只包含偶次谐波的回波信号,在经历了包络检测环节之后,软件平行采取两条处理路线,其一是历经对数压缩运算和二次采样环节形成脉冲逆转谐波图像,给予灰度编码作为解剖结构背景,另一条是历经成像窗选取和滑动窗包络统计参数计算环节形成参数m图像,给予彩色编码并与上述灰度背景叠加得到最终的图像。

[0123] 参看图3,图3给出了脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法的原理图。首先利用可编程线阵换能器发射0相和 $\pi$ 相同幅度脉冲逆转序列,采集得到原始射频数据后,分离出0相脉冲和 $\pi$ 相脉冲回波,并对分离后的回波数据进行相加运算,获得只包含偶次谐波的回波信号。对该回波信号进行包络检测得到回波包络之后,一方面对包络信号进行二次采样和对数压缩生成常规的脉冲逆转谐波灰度图像;另一方面,利用一定尺寸的滑动窗在回波包络矩阵上逐像素滑动,根据滑动窗内的回波概率密度分布计算参数m并赋给滑动窗中心像素点,再将得到的参数m矩阵进行彩色编码后显示。参数m图像可以不局限于全局伪彩色显示,也可以与脉冲逆转谐波灰度图像进行叠加显示。

[0124] 参看图 4, 给出了手动灌注参量估计软件流程图, 首先选择采用的灌注模型类型, 系统将根据所选模型类型自动完成初始化, 同时根据应用条件人工完成其他初始设置。在完成图像序列读入之后, 手动选择感兴趣区域 (ROI)。该软件提供 ROI 微调位移补偿功能, 利用键盘方向键实现对每一帧图像的 ROI 位置修正并自动保存更新经修改的 ROI 位置信息。时间强度曲线 (TIC) 计算得出, 该软件提供多种 TIC 拟合方式用于对比寻优, 在此基础上完成灌注参量提取和保存。

[0125] 参看图 5, 给出了自动化灌注参量功能成像软件流程图, 在完成了灌注模型类型选择后, 系统自动进行初始化。此时选择成像单位区域类型, 系统自动实现成像单位区域选取, 生成时间强度曲线 (TIC) 三维矩阵。TIC 快速去噪程序启动实现 TIC 的优化。以此为基础进行灌注参量的快速提取和彩色编码显示。

[0126] 参看图 6, 给出了灌注参量估计和灌注参量功能成像原理的说明。三种灌注模型对应不同的造影剂注射方式和脉冲发射序列, 确定灌注模型后, 通过偶次谐波包络统计参数成像方法生成灌注图像序列。进行灌注参量估计时, 首先在图像上手动选定感兴趣区域并对感兴趣区域内的图像强度做平均, 遍历整个图像序列得到原始的时间强度曲线, 然后对时间强度曲线进行拟合, 从拟合得到的时间强度曲线上得到相应的灌注参量; 进行灌注参量功能成像时, 首先根据成像单位类型在图像上自动选取覆盖二维成像平面的成像单位区域, 然后遍历整个图像序列并计算成像单位区域内的平均图像强度得到三维原始时间强度曲线, 利用拟合或去噪后的时间强度曲线得到灌注参量, 将该灌注参量代替相应位置的灰度值后进行彩色编码显示。

[0127] 本发明提供的超声造影成像、灌注参量估计及灌注参量功能成像方法集成系统的工作过程如下: 首先, 依据应用的血流灌注模型——短时团注指示剂稀释、连续灌注破坏再灌注和破坏动态衰减之一, 制定相应的造影剂注入方式, 超声发射脉冲序列组合方式, 灌注参量估计策略和灌注参量功能成像策略; 然后, 启动造影剂注入控制系统注入合适剂量的造影剂, 同时利用可编程超声设备控制预设的发射脉冲序列组合激励线阵换能器, 对造影增强的血流灌注进行成像和 / 或干预。采集原始射频数据并导入主控计算机。成像环节由主控计算机中的基于脉冲逆转谐波包络统计参数的造影成像软件来实现。成像获取的造影图像序列分别输入同样位于主控计算机中的手动灌注参量估计软件和自动化灌注参量功能成像软件, 生成与应用的血流灌注模型相对应的灌注参量数值及功能图像。

[0128] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明, 不能认定本发明的具体实施方式仅限于此, 对于本发明所属方法领域的普通方法人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 还可以做出若干简单的推演或替换, 都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

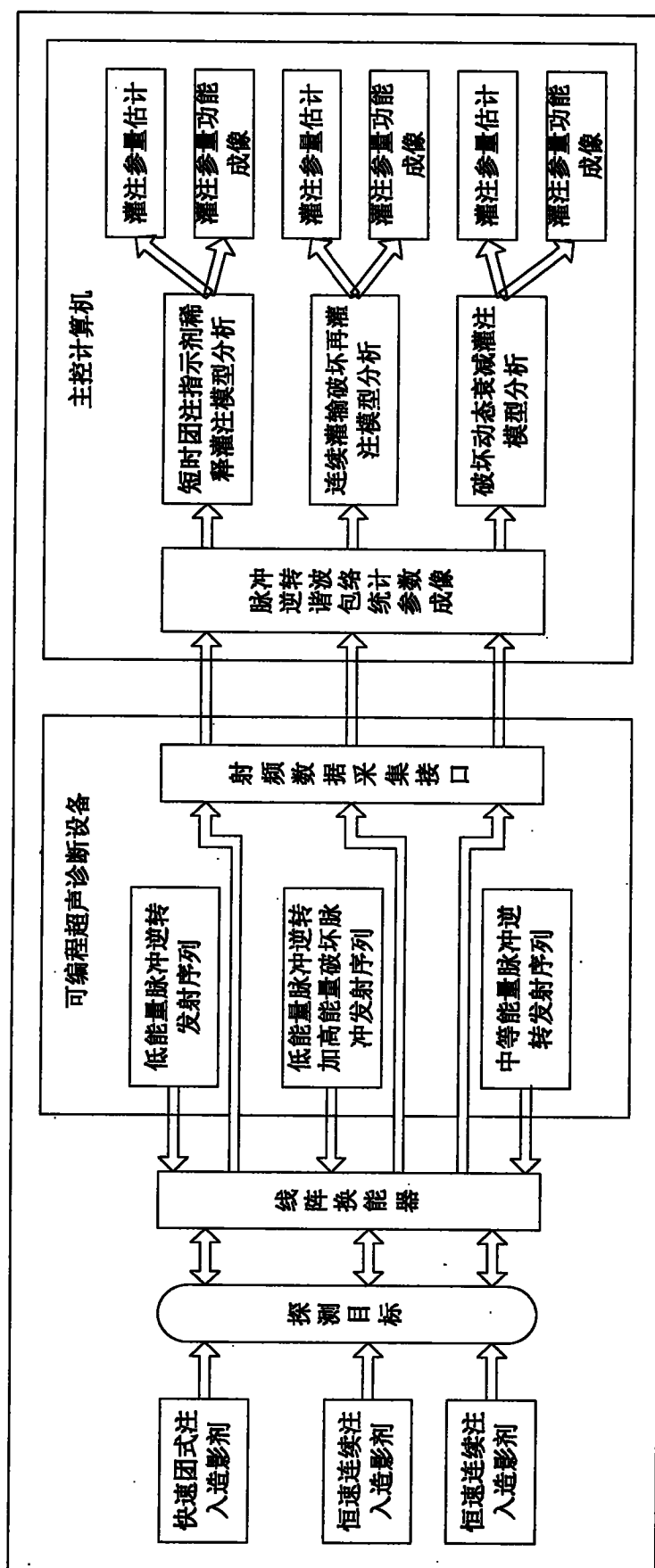


图 1

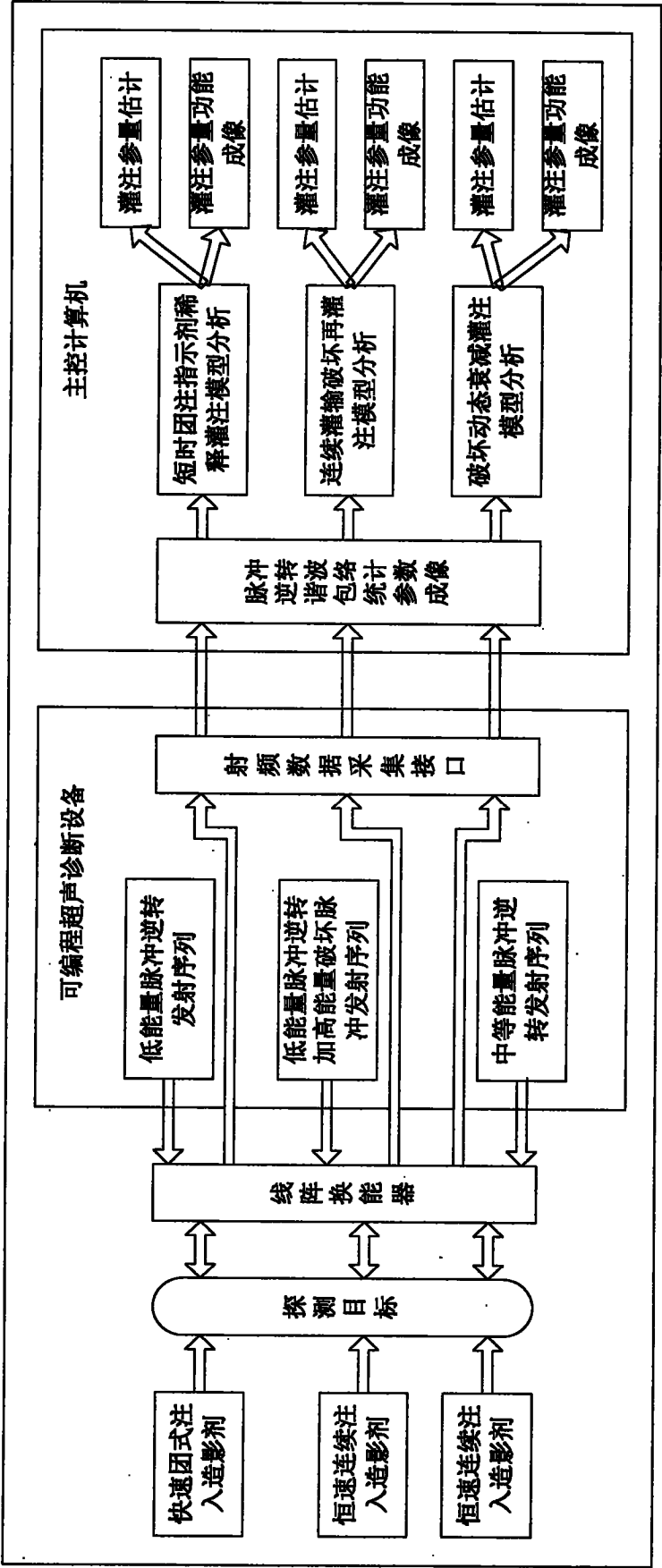
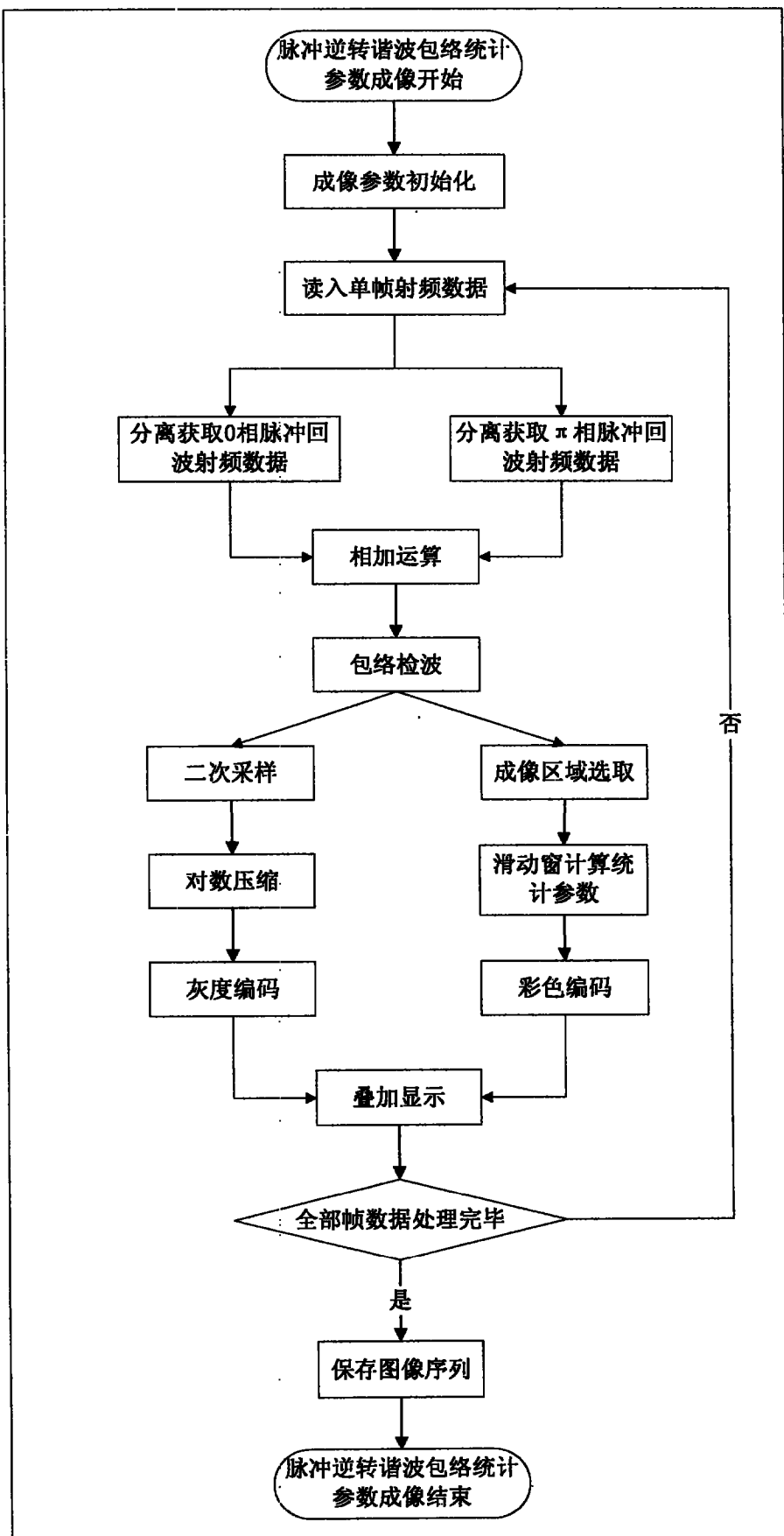


图 2



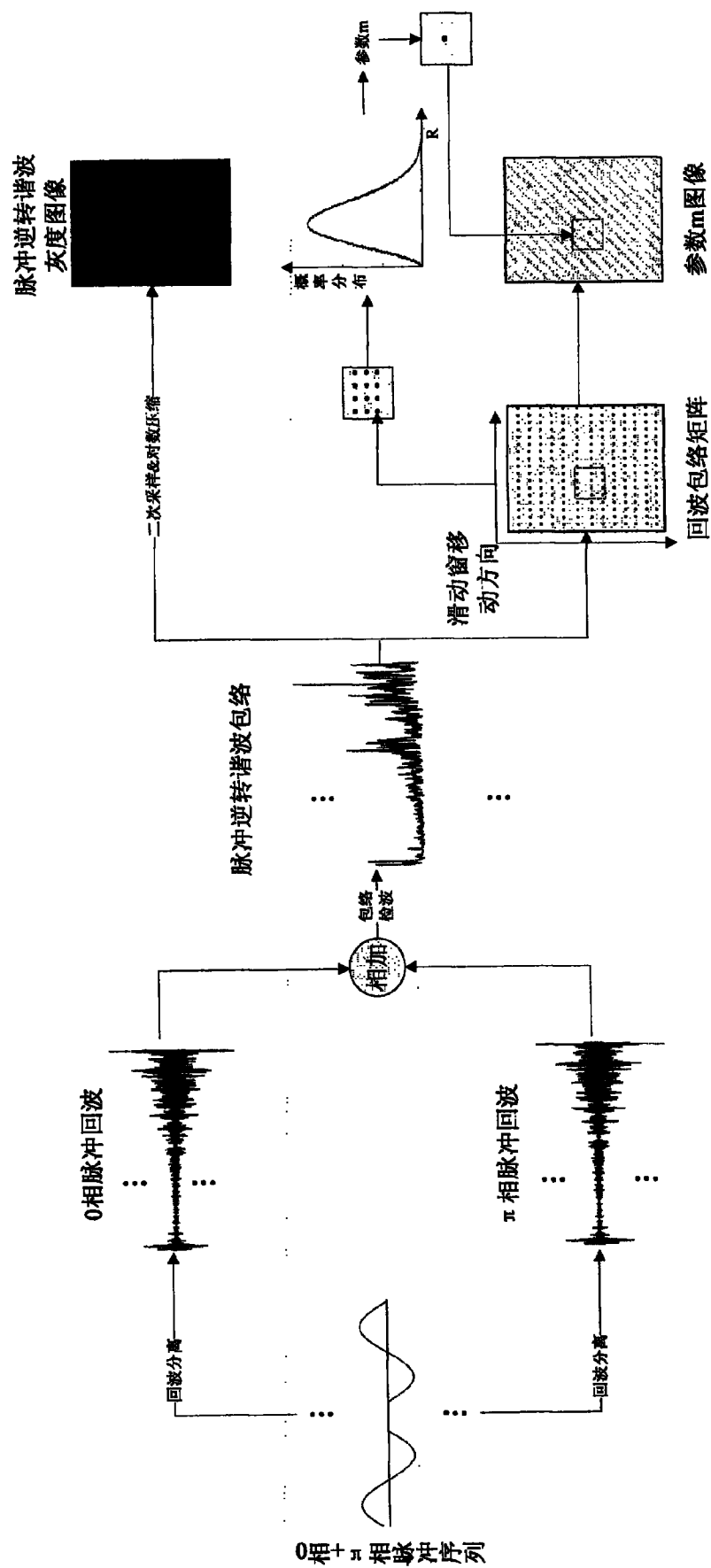


图 3



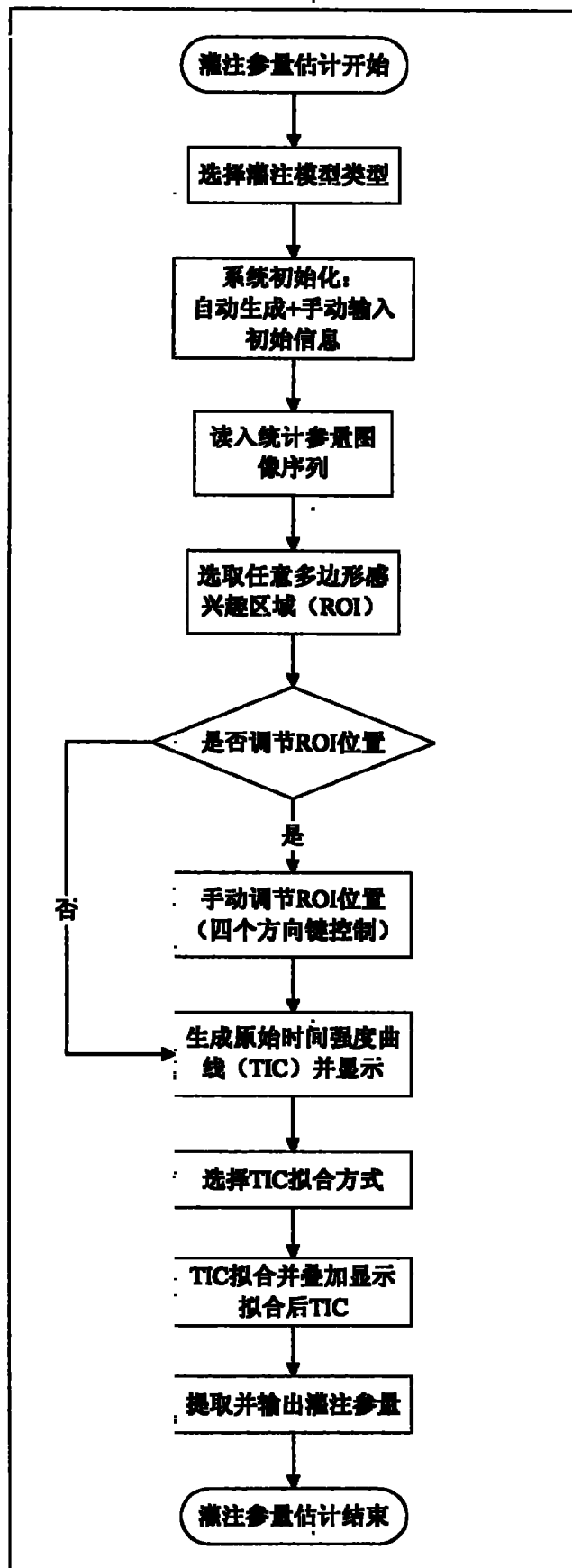


图 4

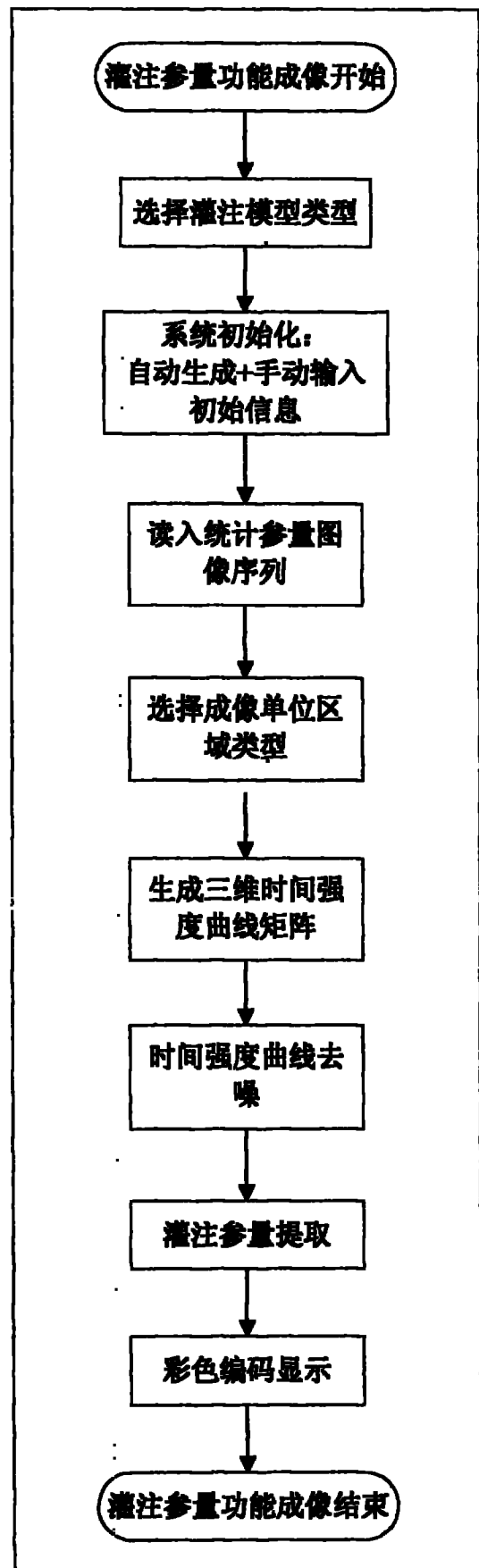


图 5

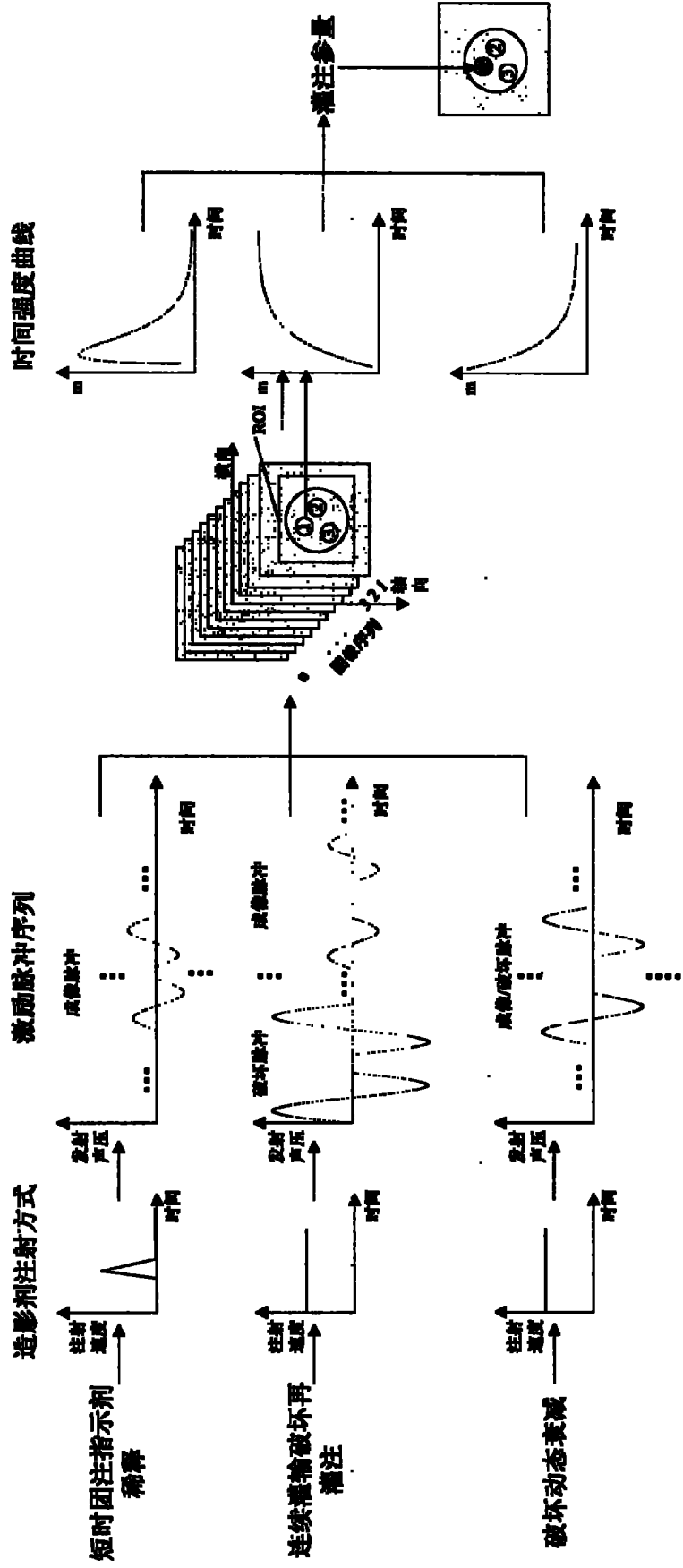


图 6

专利名称(译)	超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN101756713A</a>	公开(公告)日	2010-06-30
申请号	CN200910023839.6	申请日	2009-09-09
[标]申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
当前申请(专利权)人(译)	西安交通大学		
[标]发明人	万明习 卫敏 谷晓林 杨星 钟徽		
发明人	万明习 卫敏 谷晓林 杨星 钟徽		
IPC分类号	A61B8/06		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

# 摘要(译)

本发明公开了超声造影成像、灌注参量估计和灌注参量功能成像及其集成方法，该集成方法按照如下步骤：(1)将设置在探测目标上的线阵换能器通过具有射频数据采集接口的可编程超声设备与主控计算机连接；(2)在探测目标内按照快速团式或恒速连续的方式注入造影剂，线阵换能器采集到的数据通过可编程超声设备处理后由射频数据采集接口输出到主控计算机；主控计算机采用脉冲逆转谐波包络统计参数成像的方法成像；实现超声造影成像方法；(3)在步骤(2)超声造影成像方法的基础上实现灌注参量估计方法或灌注参量功能成像方法。本发明申请人在可编程超声设备的基础上实施脉冲逆转谐波包络统计参数成像方法，并将该成像方法与三种模型的灌注参量估计和灌注参量功能成像方法予以集成，提高了工作效率并增强了灌注模型间比较的可靠性。

