



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105249990 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201510567968.7

(22)申请日 2015.09.08

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72)发明人 万明习 王弟亚 肖梦楠 杨萱
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 徐文权

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

审查员 田蕴青

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种超声造影灌注参量快速成像方法

(57)摘要

本发明提供一种超声造影灌注参量快速成像方法:输入灌注过程的超声造影图像,并选择某一帧图像作为灌注参量背景显示图像;选择感兴趣区域并提取 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素邻域平滑后每点的TIC,依次进行有效TIC的筛选、基线归零;提取TIC矩阵的时间类、强度类以及比值类灌注参量矩阵,并进行伪彩色编码;利用伪彩参量图像信息熵、平均对比度、平均灰度、色彩均匀分布区域噪声来构建多元超声造影灌注参量成像定量评价模型,对获得的灌注参量图像进行评价。与其他已公开的灌注参量成像方法相比,本发明在取得与已公开方法相当的灌注参量图像质量的同时,大幅度减少运算时间,使成像效率提高 $71.6 \pm 5.2\%$ 。

1. 一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1)提取原始TIC:对设定的待参量成像区域,以 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素为最小单元进行邻域平滑,提取待参量成像区域的原始TIC矩阵;

(2)原始TIC矩阵的筛选、基线归零:基于互相关算法对原始TIC矩阵进行有效TIC的筛选,然后进行TIC基线归零,获得有效TIC矩阵;

所述原始TIC矩阵的筛选具体包括以下步骤:

(a)提取整个待参量成像区域的TIC,并作为参考TIC;

(b)基于互相关原理,对所得原始TIC矩阵与上述参考TIC逐条做相关性分析,其相关系数计算公式如下:

$$r(TIC_1, TIC_2) = \frac{n \sum_{j=1}^n TIC_{1j} TIC_{2j} - \sum_{j=1}^n TIC_{1j} \sum_{j=1}^n TIC_{2j}}{\sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2} \sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2}} \quad (1)$$

其中, TIC_{1j} 与 TIC_{2j} 分别为参考TIC和原始TIC矩阵中某一TIC的第j个数据点, TIC_1 与 TIC_2 的数据长度点数均为n;

(c)保留相关系数大于0.3的原始TIC为筛选后的有效TIC;

(3)灌注参量提取并伪彩编码成像:在有效TIC矩阵中提取灌注参量矩阵,并进行伪彩色编码,得到灌注参量图像。

2. 根据权利要求1所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述提取原始TIC具体包括以下步骤:

(1)以整幅造影图像为待参量成像区域;或在整幅造影图像中选择待参量成像区域边界的关键特征点,并由多变形边界选择函数自动勾勒出待参量成像区域边界;

(2)以 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素为ROI尺寸进行邻域平滑,逐点提取待参量成像区域的原始TIC矩阵。

3. 根据权利要求1所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述基线归零具体包括以下步骤:以有效TIC前5点的均值为基准,对筛选后的TIC矩阵做基线归零。

4. 根据权利要求1所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述灌注参量提取并伪彩编码成像具体包括以下步骤:

(1)分别提取有效TIC矩阵中时间类、强度类以及比值类灌注参量,得到对应的灌注参量矩阵;

(2)对所得灌注参量矩阵分别进行伪彩色编码并进行灌注参量显示。

5. 根据权利要求1所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述成像方法还包括以下步骤:

灌注参量图像的定量评价:利用图像信息熵、图像平均对比度、图像平均灰度、图像色彩均匀分布区域噪声四个彩色图像评价指标,构建多元超声造影灌注参量图像定量评价模型,利用该模型对所得灌注参量图像进行综合定量评价。

6. 根据权利要求5所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述灌注参量图像的定量评价具体包括以下步骤:

(1)利用图像信息熵、图像平均对比度、图像平均灰度以及图像色彩均匀分布区域噪

声,构建多元超声造影灌注参量图像定量评价模型:

$$Y = |c_1(1-\text{InEnc}) + c_2(1-\text{ACc}) + c_3|AG - 0.5| + c_4\text{SDc} + c_5| \quad (2)$$

其中,InEnc表示图像信息熵,ACc表示图像平均对比度、AG表示图像平均灰度,SDc表示图像色彩均匀分布区域噪声;

(2)基于图像的视觉感知分析,联合多元线性回归分析方法,确定多元超声造影灌注参量图像定量评价模型中的系数 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 以及 c_5 的值;

(3)所述系数确定后,计算所得灌注参量图像的InEnc、ACc、AG以及SDc的数值,然后计算所述多元超声造影灌注参量图像定量评价模型对应的Y值,从而对所得灌注参量图像进行基于视觉感知的多元线性回归彩色图像质量分析,Y值越小,图像质量越佳。

7.根据权利要求5或6所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:

所述图像信息熵定义为:

$$\text{InEnc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(-\sum_{i=0}^{255} p_R(i) \log_2 p_R(i) \right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_G(i) \log_2 p_G(i) \right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_B(i) \log_2 p_B(i) \right)^2} \quad (3)$$

公式(3)中 $p_R(i)$, $p_G(i)$, $p_B(i)$ 分别为RGB色调第i灰度级上像素分布的概率;

所述图像平均对比度定义为:

$$\text{ACc} = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\left(\sqrt{\text{AC}_{R_x}^2 + \text{AC}_{R_y}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{\text{AC}_{G_x}^2 + \text{AC}_{G_y}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{\text{AC}_{B_x}^2 + \text{AC}_{B_y}^2} \right)^2} \quad (4)$$

公式(4)中 AC_{R_x} , AC_{R_y} , AC_{G_x} , AC_{G_y} , AC_{B_x} , AC_{B_y} 分别为RGB色调横向、纵向的平均对比度;所述图像平均灰度定义为:

$$\text{AG} = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} (0.3\text{Red}(x,y) + 0.59\text{Green}(x,y) + 0.11\text{Blue}(x,y)) \quad (5)$$

公式(5)中M,N分别为图像的横向、纵向像素数,Red(x,y),Green(x,y),Blue(x,y)分别为像素点(x,y)处RGB色调分量的值;

所述图像色彩均匀分布区域噪声定义为:

$$\text{SDc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Ri} - u_R)^2 \right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Gi} - u_G)^2 \right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Bi} - u_B)^2 \right)^2} \quad (6)$$

公式(6)中P为图像色彩均匀分布区域的像素总数, x_{Ri} , x_{Gi} , x_{Bi} 分别为图像色彩均匀分布区域RGB色调的第i个像素的灰度, u_R , u_G , u_B 分别为图像色彩均匀分布区域RGB三色的灰度均值。

8.根据权利要求5或6所述一种超声造影灌注参量快速成像方法,其特征在于:所述多元超声造影灌注参量图像定量评价模型为:

$$Y = |-0.92\text{InEnc} + 0.76\text{ACc} + 1.98|AG - 0.5| - 0.41\text{SDc} + 0.17| \quad (7)。$$

一种超声造影灌注参量快速成像方法

技术领域

[0001] 本发明属于超声造影成像领域,具体涉及超声造影灌注参量成像方法及定量评价方法。

背景技术

[0002] 超声造影灌注参量成像技术将常规的超声造影序列图像转变为包含整个微血管灌注时间分布特征的彩图,进行直观的空间展示,它能够反映血流速度和血容量等功能性血流灌注信息的空间分布。通过彩色编码,利用伪彩变化突显细节,增加图像的动态范围,利于临床医生的识别诊断,对于临床诊断与治疗评估等方面具有重要意义和价值。

[0003] 超声造影灌注参量成像技术是基于整个造影灌注过程的视频序列图像。以往,基于时间强度曲线(Time intensity curve,TIC)的造影灌注参量评价仅是一维数据评价,对于局部脏器的空间灌注特点评价并不准确且直观,为此近年发展了基于小感兴趣区域(Region of interest,ROI)的灌注参量成像技术,通过选择一待成像ROI区域,对其进行网格划分为 3×3 或 5×5 像素的ROI矩阵,依次提取该ROI的TIC曲线,得到TIC空间矩阵,进而通过对TIC进行滤波拟合处理后得到峰值、达峰时间、到达时间、曲线下面积等参量空间分布矩阵,对每一参量进行归一化伪彩色编码,得到该参量图像。通过该技术可以将组织区域灌注的血流动力学空间分布信息差异直观显示出来,已广泛用于心脏、肝脏、肾脏、乳腺、肿瘤新生血管、急性脑中风等多个领域,作为临床诊断和治疗评价的辅助手段具有重要的研究价值和应用前景。

[0004] 目前GE、飞利浦、东芝等国外厂家已将灌注参量成像技术实现于特定的软件。但灌注参量成像算法的运行时间较长,TIC受到的干扰较大,对设备的要求较高,限制了成像算法的进一步应用。因此需要对灌注参量成像技术进行优化,提高程序运行效率,以期在保证成像质量的同时,实现快速的、准确的超声造影灌注参量成像,以适于在国产中高端数字化超声影像设备的运行。

发明内容

[0005] 本发明提供一种超声造影灌注参量快速成像方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0007] (1)基于 $3\times 3\sim 5\times 5$ 像素的ROI大小提取邻域平滑后的时间强度曲线(TIC):设定待参量成像区域;并以 $3\times 3\sim 5\times 5$ 像素为最小单元进行邻域平滑,提取待参量成像区域的原始TIC矩阵;

[0008] (2)原始TIC矩阵的筛选、基线归零:对原始TIC矩阵依次进行有效TIC的筛选、TIC基线归零,获得有效TIC矩阵;

[0009] (3)灌注参量提取并伪彩编码成像:在有效TIC矩阵中分别提取时间类、强度类以及比值类的灌注参量矩阵,并进行伪彩色编码,灌注参量显示。

[0010] (4)利用图像信息熵、图像平均对比度、图像平均灰度、图像色彩均匀分布区域(如

肾皮质部分)噪声四个彩色图像评价指标,构建多元超声造影灌注参量图像定量评价模型,对所得灌注参量图像进行综合定量评价。

[0011] 所述基于 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素的ROI大小提取邻域平滑后的时间强度曲线(TIC)具体包括以下步骤:

[0012] (1)默认整幅造影图像为待参量成像区域;或人工手动介入通过多边形ROI函数鼠标点击选择至少4个待参量成像区域边界的关键特征点,自动勾勒出待成像区域轮廓边界;

[0013] (2)以 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素为ROI尺寸进行邻域平滑,按图像像素点横向纵向分布逐点提取待参量成像区域的原始TIC矩阵。

[0014] 所述原始TIC矩阵的筛选、基线归零具体包括以下步骤:

[0015] (1)以整个待参量成像区域为ROI,提取其TIC,作为筛选参考TIC;

[0016] (2)基于互相关原理,对所得原始 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素TIC矩阵与上述参考TIC逐条做相关性分析,其相关系数计算公式如下:

$$[0017] \quad r(TIC_1, TIC_2) = \frac{n \sum_{j=1}^n TIC_{1j} TIC_{2j} - \sum_{j=1}^n TIC_{1j} \sum_{j=1}^n TIC_{2j}}{\sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2} \sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2}} \quad (1)$$

[0018] 其中, TIC_1 与 TIC_2 分别为参考TIC和 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素下待筛选原始TIC矩阵中某一条TIC, TIC_1 与 TIC_2 的数据长度点数均为n;

[0019] (3)保留相关系数大于0.3的原始 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素TIC为筛选后的有效TIC;

[0020] (4)以有效TIC前5点的均值为基准,对筛选后的TIC矩阵做基线归零。

[0021] 所述灌注参量提取并伪彩编码成像具体包括以下步骤:

[0022] (1)经过筛选以及基线归零后,分别提取 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素TIC矩阵中时间类、强度类以及比值类灌注参量,得到对应的灌注参量矩阵;

[0023] (2)对所得灌注参量矩阵分别进行伪彩色编码并进行灌注参量显示。

[0024] 对超声造影灌注参量图像进行彩色图像质量的定量评价,具体包括以下步骤:

[0025] (1)利用图像信息熵(InEnc)、图像平均对比度(ACc)、图像平均灰度(AG)、图像色彩均匀分布区域噪声(SDc),构建多元超声造影灌注参量图像定量评价模型,表述为:

$$[0026] \quad Y = |c_1(1 - \text{InEnc}) + c_2(1 - \text{ACc}) + c_3| \text{AG} - 0.5| + c_4 \text{SDc} + c_5| \quad (2)$$

[0027] (2)公式(2)中参数的计算如下所述:

[0028] InEnc为图像信息熵,定义为:

[0029]

$$\text{InEnc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(-\sum_{i=0}^{255} p_R(i) \log_2 p_R(i) \right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_G(i) \log_2 p_G(i) \right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_B(i) \log_2 p_B(i) \right)^2} \quad (3)$$

[0030] 公式(3)中 $p_R(i)$, $p_G(i)$, $p_B(i)$ 分别为RGB色调第i灰度级上像素分布的概率;

[0031] ACc为图像平均对比度,定义为:

$$[0032] \quad AC_C = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\left(\sqrt{AC_{R_x}^2 + AC_{R_y}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{G_x}^2 + AC_{G_y}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{B_x}^2 + AC_{B_y}^2} \right)^2} \quad (4)$$

[0033] 公式(4) AC_{R_x} , AC_{R_y} , AC_{G_x} , AC_{G_y} , AC_{B_x} , AC_{B_y} 分别为RGB色调横向(下标x)、纵向(下标y)

的平均对比度；如R色调横向平均对比度按如下公式计算：

$$[0034] \quad AC_{Rx} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{y=0}^{N-2} \sum_{x=0}^{M-2} |Gray(x,y) - Gray(x+1,y)|$$

[0035] 其中,Gray(x,y)为对应色调像素点(x,y)的灰度,M,N分别为横向、纵向的像素数；R色调纵向平均对比度按如下公式计算：

$$[0036] \quad AC_{Ry} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{y=0}^{N-2} \sum_{x=0}^{M-2} |Gray(x,y) - Gray(x,y+1)|$$

[0037] AG为图像的平均灰度,定义为：

$$[0038] \quad AG = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} (0.3Red(x,y) + 0.59Green(x,y) + 0.11Blue(x,y)) \quad (5)$$

[0039] 公式(5)中M,N分别为图像的横向、纵向像素数,Red(x,y),Green(x,y),Blue(x,y)分别为该像素点(x,y)处RGB色调分量的值；

[0040] SD_c为图像色彩均匀分布区域噪声,定义为：

$$[0041] \quad SD_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Ri} - u_R)^2 \right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Gi} - u_G)^2 \right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Bi} - u_B)^2 \right)^2} \quad (6)$$

[0042] 公式(6)中P为图像色彩均匀分布区域的像素总数,x_{Ri},x_{Gi},x_{Bi}分别为RGB色调第i个像素的灰度,u_R,u_G,u_B分别为RGB三色的灰度均值。

[0043] (3)根据定义的InEnc、AC_c、AG与SD_c计算方式,计算灌注参量伪彩图像的InEnc、AC_c、AG与SD_c的数值,并对四个参数各自进行归一化处理,代入公式(2)；

[0044] (4)基于超声图像的视觉感知分析,联合多元线性回归分析方法,确定灌注参量图像定量评价模型中相应的系数值,最终确定评价模型为：

$$[0045] \quad Y = |-0.92InEnc + 0.76AC_c + 1.98|AG - 0.5| - 0.41SD_c + 0.17| \quad (7)$$

[0046] (5)对所得灌注参量图像进行基于视觉感知的多元线性回归彩色图像质量分析,Y值越小,图像质量越佳。

[0047] 本发明的优点如下：

[0048] 1、本发明以3×3~5×5像素为最小ROI进行邻域平滑后TIC的提取,可以大幅度抑制组织杂波对TIC的干扰,在一定程度上以此简单算法起到了其他常规TIC降噪拟合技术降噪滤波效果。

[0049] 2、相比其他已公开的超声造影灌注参量成像方法,本发明通过对灌注参量成像方法的优化与改进,在保证灌注参量图像质量的同时,能够大幅度提高程序运行效率,实现快速成像。

[0050] 3、采用多元超声造影灌注参量成像定量评价模型对本发明提出的灌注参量成像质量进行定量评价,使得本发明所提出改进方法的评价更具客观性。

附图说明

[0051] 图1为算法整体流程框图。

[0052] 图2为兔肾(以TTP为例)有TIC拟合(a)、无TIC拟合(b)的灌注参量图。

[0053] 图3为兔肾(以PR为例)有TIC基线归零(a)、无TIC基线归零(b)的灌注参量图。

[0054] 图4为兔肾(以AUC为例)有TIC筛选(a)、无TIC筛选(b)的灌注参量图。

[0055] 图5为兔肾(以AUC为例)TIC筛选中有滤波(a)、TIC筛选中无滤波(b)的灌注参量图。

[0056] 图6为本发明最终优化方案所得兔肾TTP(a)与AUC(b)灌注参量图。

具体实施方式

[0057] 下面结合附图和实施例对本发明做详细说明。

[0058] 尽管已公开的专利或文献,如在单像素TIC源下取得了高分辨率、高质量的超声造影灌注参量图像(例如,申请号:201510100876.8,一种基于单像素TIC源的超声造影灌注参量成像方法),但因算法复杂度的限制,其运行时间长,对设备的软硬件水平要求较高,难以快速在国产中高端B超设备上实施,同时缺乏定量评价。因此,本发明首先提出一种灌注参量成像的定量评价方法,包括以下步骤:

[0059] (1)利用图像信息熵(InEnc)、图像平均对比度(AC_C)、图像平均灰度(AG)、图像色彩均匀分布区域噪声(SD_C)四个彩色图像质量的定量评价指标,初步构建多元超声造影灌注参量成像定量评价模型为:

$$[0060] \quad Y = |c_1(1 - \text{InEnc}) + c_2(1 - \text{AC}_C) + c_3|AG - 0.5| + c_4\text{SD}_C + c_5| \quad (2)$$

[0061] (2)依据定义计算灌注参量彩色图像的四个质量定量评价指标并进行归一化处理。

[0062] InEnc为图像信息熵,定义为:

[0063]

$$\text{InEnc}_C = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(-\sum_{i=0}^{255} p_R(i) \log_2 p_R(i)\right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_G(i) \log_2 p_G(i)\right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{255} p_B(i) \log_2 p_B(i)\right)^2} \quad (3)$$

[0064] 公式(3)中 $p_R(i)$, $p_G(i)$, $p_B(i)$ 分别为RGB色调第i灰度级上像素分布的概率;

[0065] AC_C为图像平均对比度,定义为:

[0066]

$$\text{AC}_C = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\left(\sqrt{\text{AC}_{R_x}^2 + \text{AC}_{R_y}^2}\right)^2 + \left(\sqrt{\text{AC}_{G_x}^2 + \text{AC}_{G_y}^2}\right)^2 + \left(\sqrt{\text{AC}_{B_x}^2 + \text{AC}_{B_y}^2}\right)^2} \quad (4)$$

[0067] 公式(4)中AC_{R_x}, AC_{R_y}, AC_{G_x}, AC_{G_y}, AC_{B_x}, AC_{B_y}分别为RGB色调横向、纵向的平均对比度;

[0068] AG为图像平均灰度,定义为:

[0069]

$$\text{AG} = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} (0.3 \text{Red}(x, y) + 0.59 \text{Green}(x, y) + 0.11 \text{Blue}(x, y)) \quad (5)$$

[0070] 公式(5)中M, N分别为图像的横向、纵向像素数, Red(x, y), Green(x, y), Blue(x, y)分别为该像素点(x, y)处RGB色调分量的值;

[0071] SD_C为图像色彩均匀分布区域噪声,定义为:

$$[0072] \quad \text{SD}_C = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Ri} - u_R)^2\right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Gi} - u_G)^2\right)^2 + \left(\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (x_{Bi} - u_B)^2\right)^2} \quad (6)$$

[0073] 公式(6)中P为图像色彩均匀分布区域的像素总数, x_{Ri}, x_{Gi}, x_{Bi}分别为RGB色调第i

个像素的灰度, u_R, u_G, u_B 分别为RGB三色的灰度均值。

[0074] (3)利用归一化后的彩色图像质量定量评价指标,求解多元超声造影灌注参量成像定量评价模型的系数 $c_1 \sim c_5$,得到最终的超声造影灌注参量成像定量评价模型为:

$$[0075] \quad Y = |-0.92 \ln \text{Enc} + 0.76 \text{ACc} + 1.98 |\text{AG} - 0.5| - 0.41 \text{SDc} + 0.17| \quad (7)$$

[0076] 对于公式(7)进行统计学检验分析,其相关系数 $R^2 = 0.91$,相关程度非常高,接近于1;显著性检验 $p = 8.0 \times 10^{-8}$,远远小于显著性水准0.05。这说明建立的多元超声造影灌注参量成像定量评价模型是具有显著的统计学意义的,是可靠的,适用于灌注参量伪彩图像质量的评价,进而可以用于算法优化的评价。最后,利用该定量评价模型对灌注参量的图像质量进行定量评价。

[0077] 针对现有超声造影灌注参量成像的不足,本发明主要提出在团式灌注下,以 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素为最小单元提取TIC进行超声造影灌注参量成像,其核心在于去除灌注参量成像中对结果影响不大但较为耗时的环节。经过前期实验验证分析得到,在灌注参量成像过程中,TIC筛选占总耗时的 $14.98 \pm 0.00020\%$,其中,TIC筛选中的滤波占整个筛选流程的 $31.56 \pm 0.00210\%$;TIC拟合占总耗时的 $66.13 \pm 0.00003\%$;TIC基线归零占总耗时的 $1.18 \pm 0.00008\%$ 。因此,进行讨论的优化步骤为TIC筛选、TIC拟合和TIC基线归零。按照“优先去除耗时最多,影响结果最小”的原则,本发明按照“运行时间、对结果影响程度、数据流方向”的优先级,依次讨论最耗时且对结果影响最小的TIC拟合,再按照数据流的方向讨论TIC基线归零;最后讨论TIC筛选及筛选中的滤波。

[0078] 参见图2,有TIC拟合和无TIC拟合的灌注参量图像Y值均为0.2,说明无TIC拟合的图像质量很好,去掉TIC拟合。

[0079] 参见图3,无TIC基线归零的图像质量较差,保留TIC基线归零。

[0080] 参见图4,有TIC筛选的灌注参量图像Y值为0.2,无TIC筛选的灌注参量图像Y值为0.7,图像质量较差,保留TIC筛选。

[0081] 参见图5,无TIC筛选中滤波的灌注参量图像Y值为0.1,图像质量很好,可以去掉TIC筛选中滤波。

[0082] 本发明提出的超声造影灌注参量成像方法均在matIab平台上编程实现,其整体流程如图1所示,具体实施步骤如下:

[0083] (1)输入超声造影灌注过程的视频序列图像;

[0084] (2)任意提取一帧图像作为背景图像显示;

[0085] (3)使用多边形ROI函数(Roipoly)选择需进行参量成像的区域轮廓;如不进行该操作,则默认整幅图像为待参量成像区域;

[0086] (4)以 3×3 像素为最小ROI,提取此视频序列图像中待参量成像区域的灰度值作为原始TIC;

[0087] (5)提取整个待参量成像区域的TIC,作为筛选的参考TIC;

[0088] (6)对原始TIC与参考TIC做相关性分析:

$$[0089] \quad r(TIC_1, TIC_2) = \frac{n \sum_{j=1}^n TIC_{1j} TIC_{2j} - \sum_{j=1}^n TIC_{1j} \sum_{j=1}^n TIC_{2j}}{\sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2} \sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2}}$$

[0090] 其中, TIC_1 与 TIC_2 分别为参考TIC和 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 像素下待筛选原始TIC, TIC_1 与 TIC_2 的数据长度点数均为n;

[0091] (7)保留相关系数大于0.3的原始TIC为有效TIC;

[0092] (8)以有效TIC前5点的均值为基准,进行基线归零;

[0093] (9)计算每条TIC的时间类(冲入时刻WIT,冲出时刻WOT,达峰时间TTP,平均渡越时间MTT),强度类(峰值PV,曲线下面积AUC)以及比值类(冲入率WIR,冲出率WOR,PI)灌注参量值;

[0094] (10)对灌注参量矩阵进行伪彩编码;

[0095] (11)显示各灌注参量图像。

[0096] 相比其他已公开超声造影灌注参量成像方法,本发明所提出的方案使得成像效率大幅度提高(成像效率提高 $71.6 \pm 5.2\%$),表1为具体优化步骤的运算效率提高的百分比:

[0097] 表1优化效率表

	优化步骤	效率提高
[0098]	未优化	0
	TIC 拟合优化	$67.8 \pm 5.3\%$
	TIC 基线归零优化	$69.1 \pm 5.4\%$
[0099]	TIC 筛选优化	$73.8 \pm 7.3\%$
	TIC 筛选中滤波优化	$71.6 \pm 5.2\%$

[0100] 选择大白兔(2.3kg)肾脏作为目标灌注区域,国产B超设备的工作频率为2.5MHz,进行Sonovue造影剂团注实验,获得肾脏序列造影灌注图像,分别依次提取基于 3×3 像素邻域平滑的TIC矩阵,进行TIC筛选、基线归零,灌注参量提取及编码成像。最后获得基于 3×3 像素邻域平滑具有高信杂比的灌注参量图像,包括时间类、强度类、比值类灌注参量(如图6所示)。与其他已公开的灌注参量成像方法相比,本发明通过算法步骤的优化,在取得与已公开方法相当的灌注参量图像质量的同时,大幅度减少运算时间。

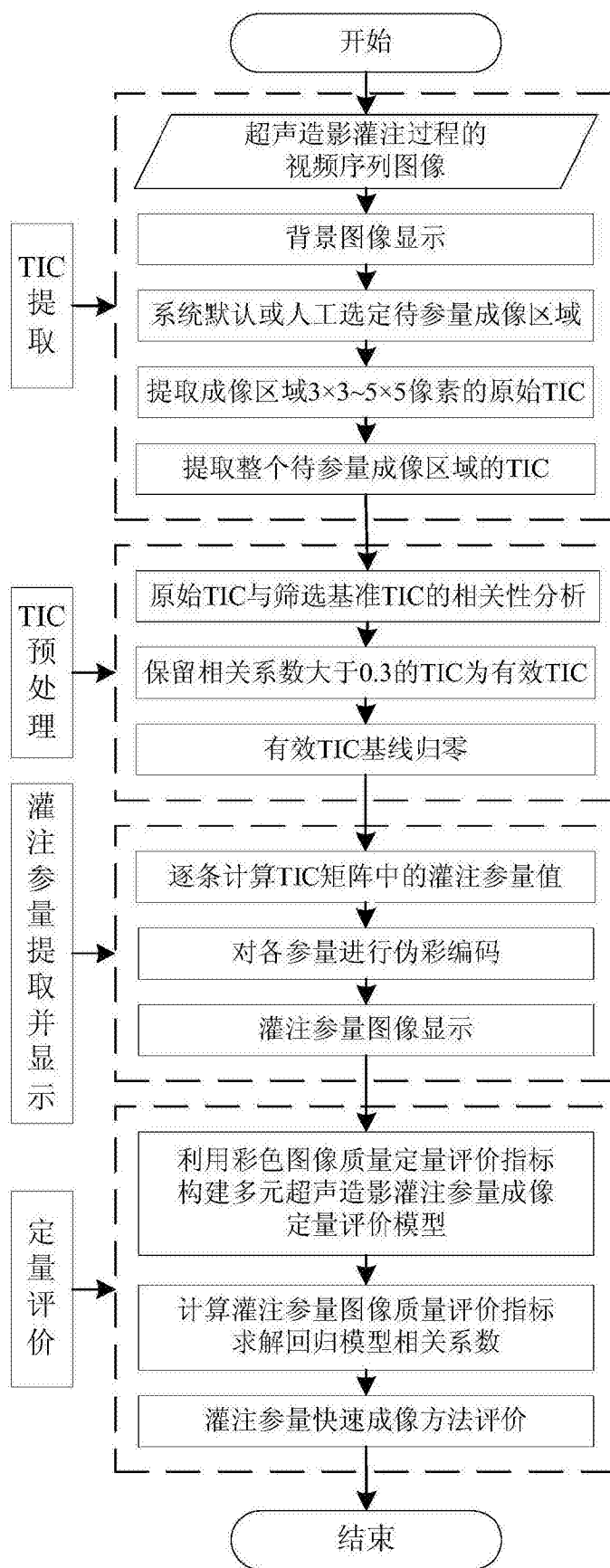


图1

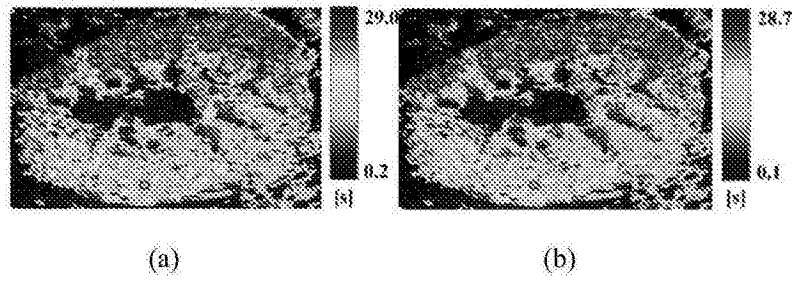


图2

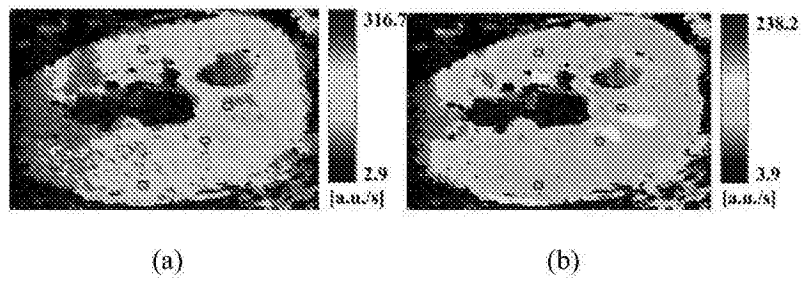


图3

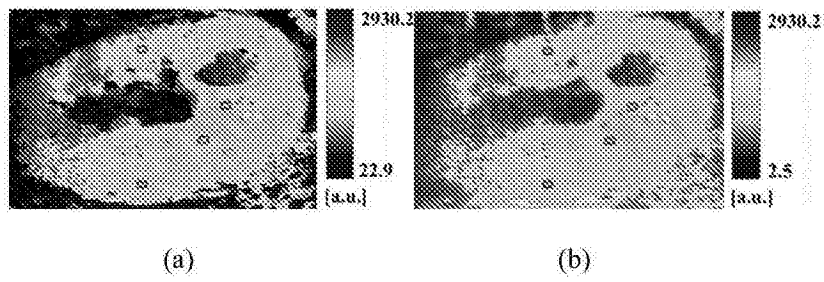


图4

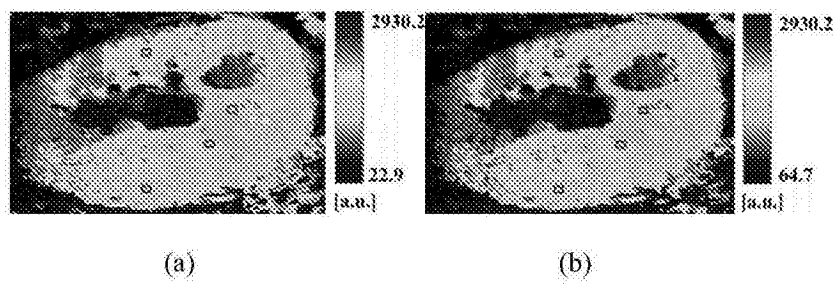


图5

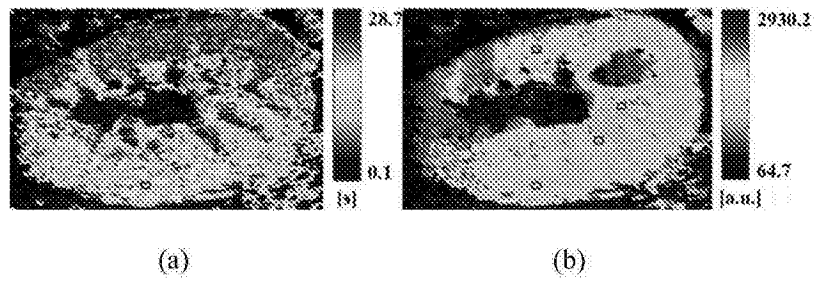


图6

专利名称(译)	一种超声造影灌注参量快速成像方法		
公开(公告)号	CN105249990B	公开(公告)日	2016-08-17
申请号	CN201510567968.7	申请日	2015-09-08
[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 王弟亚 肖梦楠 杨萱 钟徽		
发明人	万明习 王弟亚 肖梦楠 杨萱 钟徽		
IPC分类号	A61B8/00		
代理人(译)	徐文权		
其他公开文献	CN105249990A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供一种超声造影灌注参量快速成像方法：输入灌注过程的超声造影图像，并选择某一帧图像作为灌注参量背景显示图像；选择感兴趣区域并提取3×3~5×5像素邻域平滑后每点的TIC，依次进行有效TIC的筛选、基线归零；提取TIC矩阵的时间类、强度类以及比值类灌注参量矩阵，并进行伪彩色编码；利用伪彩参量图像信息熵、平均对比度、平均灰度、色彩均匀分布区域噪声来构建多元超声造影灌注参量成像定量评价模型，对获得的灌注参量图像进行评价。与其他已公开的灌注参量成像方法相比，本发明在取得与已公开方法相当的灌注参量图像质量的同时，大幅度减少运算时间，使成像效率提高71.6±5.2%。

$$r(TIC_1, TIC_2) = \frac{n \sum_{j=1}^n TIC_{1j} \cdot TIC_{2j} - \sum_{j=1}^n TIC_{1j} \sum_{j=1}^n TIC_{2j}}{\sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{1j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{1j})^2} \sqrt{n \sum_{j=1}^n (TIC_{2j})^2 - (\sum_{j=1}^n TIC_{2j})^2}} \quad (1)$$