



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105249990 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201510567968. 7

(22) 申请日 2015. 09. 08

(71) 申请人 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)

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;

(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:所述原始 TIC 矩阵的筛选、基线归零具体包括以下步骤:

(1) 提取整个待参量成像区域的 TIC,并作为参考 TIC;

(2) 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;

(3) 保留相关系数大于 0.3 的原始 TIC 为筛选后的有效 TIC;

(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。

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:

$$Y = |c_1(1-\text{InEn}_c) + c_2(1-AC_c) + c_3|AG - 0.5| + c_4SD_c + c_5| \quad (2)$$

其中, InEn_c 表示图像信息熵, AC_c 表示图像平均对比度、 AG 表示图像平均灰度, SD_c 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 InEn_c 、 AC_c 、 AG 以及 SD_c 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:

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

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:

$$AC_c = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\left(\sqrt{AC_{Rx}^2 + AC_{Ry}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{Gx}^2 + AC_{Gy}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{Bx}^2 + AC_{By}^2} \right)^2} \quad (4)$$

公式 (4) 中 AC_{Rx} , AC_{Ry} , AC_{Gx} , AC_{Gy} , AC_{Bx} , AC_{By} 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:

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

公式 (5) 中 M , N 分别为图像的横向、纵向像素数, $\text{Red}(x, y)$, $\text{Green}(x, y)$, $\text{Blue}(x, y)$ 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:

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

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:

$$Y = |-0.92\text{InEn}_c + 0.76AC_c + 1.98|AG - 0.5| - 0.41SD_c + 0.17| \quad (7)。$$

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 ($\ln En_c$)、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),构建多元超声造影灌注参量图像定量评价模型,表述为:

$$[0026] \quad Y = |c_1(1 - \ln En_c) + c_2(1 - AC_c) + c_3|AG - 0.5| + c_4 SD_c + c_5| \quad (2)$$

[0027] (2) 公式 (2) 中参数的计算如下所述:

[0028] $\ln En_c$ 为图像信息熵,定义为:

[0029]

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

[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] AC_c 为图像平均对比度,定义为:

$$[0032] \quad AC_c = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\left(\sqrt{AC_{Rx}^2 + AC_{Ry}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{Gx}^2 + AC_{Gy}^2} \right)^2 + \left(\sqrt{AC_{Bx}^2 + AC_{By}^2} \right)^2} \quad (4)$$

[0033] 公式 (4) AC_{Rx} , AC_{Ry} , AC_{Gx} , AC_{Gy} , AC_{Bx} , AC_{By} 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:

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

[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 $InEn_c$ 、 AC_c 、AG 与 SD_c 计算方式, 计算灌注参量伪彩图像的 $InEn_c$ 、 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:

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

[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 $3 \times 3 \sim 5 \times 5$ 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 (InEn_c)、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：

$$Y = |c_1(1-\text{InEn}_c) + c_2(1-\text{AC}_c) + c_3|AG - 0.5| + c_4\text{SD}_c + c_5| \quad (2)$$

[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] InEn_c 为图像信息熵，定义为：

[0063]

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

[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， $\text{Red}(x, y)$, $\text{Green}(x, y)$, $\text{Blue}(x, y)$ 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：

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

[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:

$$[0075] \quad Y = |-0.92 \ln En_c + 0.76 AC_c + 1.98 |AG - 0.5| - 0.41 SD_c + 0.17| \quad (7)$$

[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 matlab 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;

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

[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

[0098]

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

[0099]

[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。

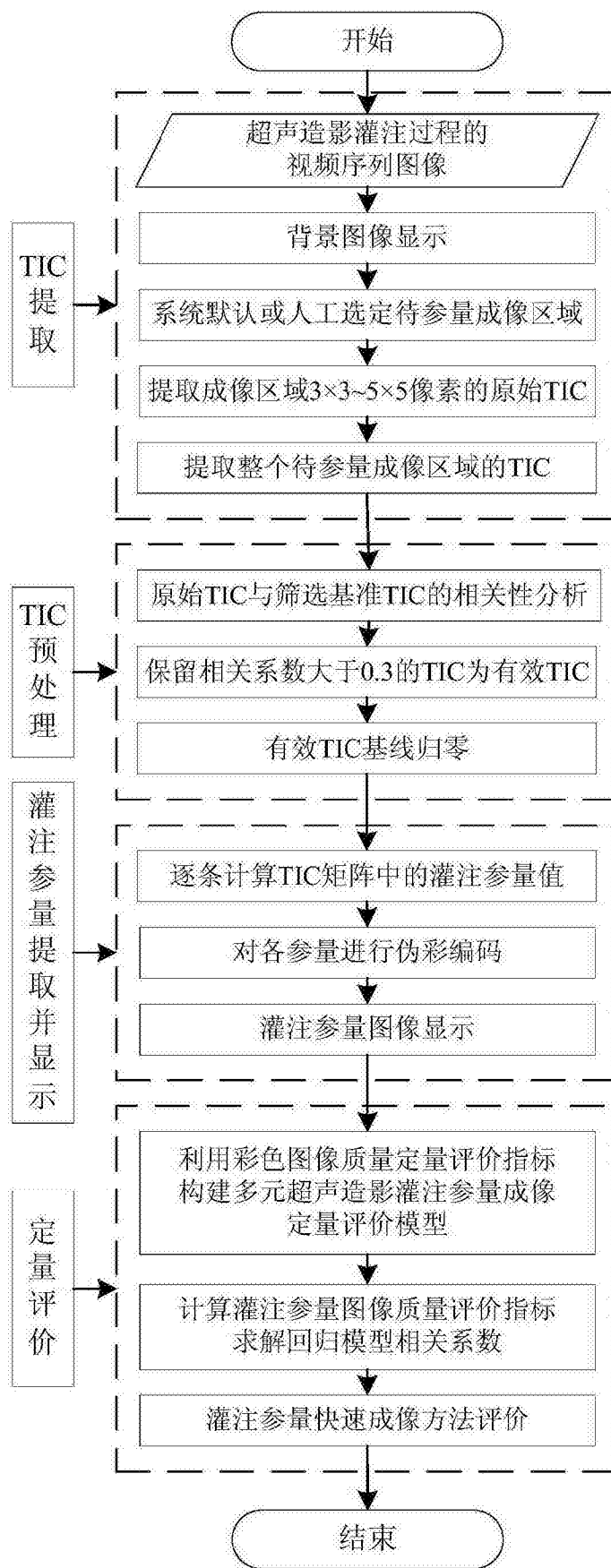


图 1

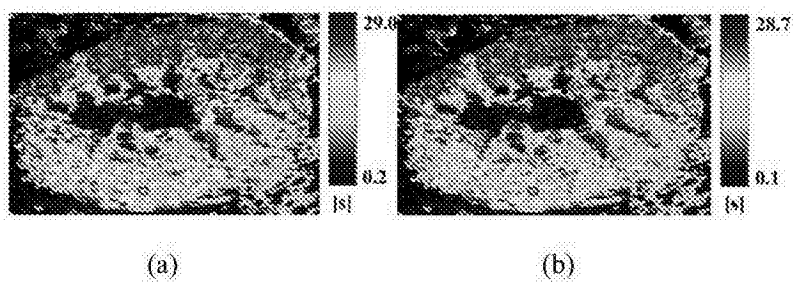


图 2

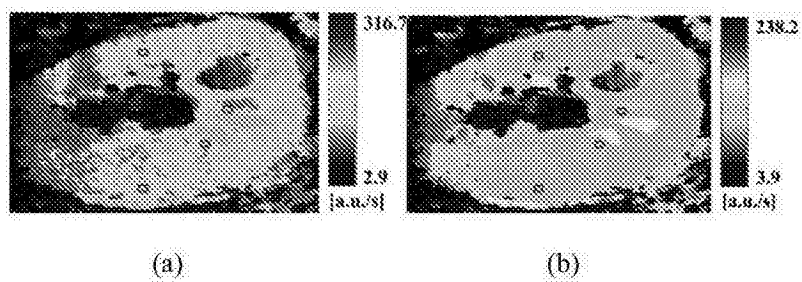


图 3

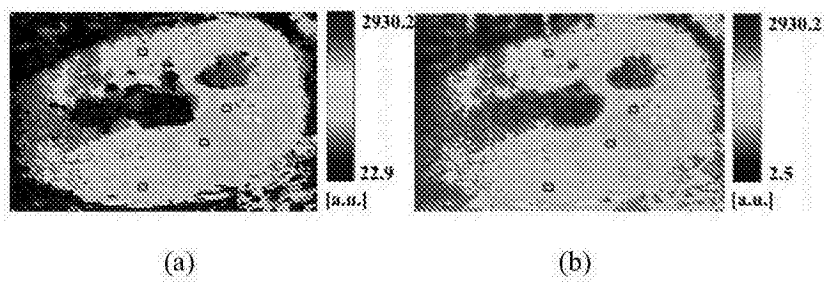


图 4

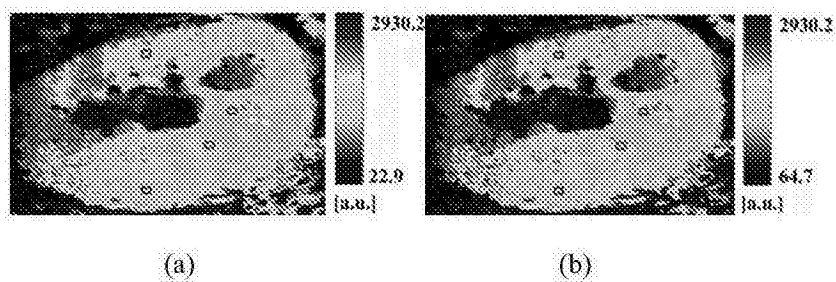


图 5

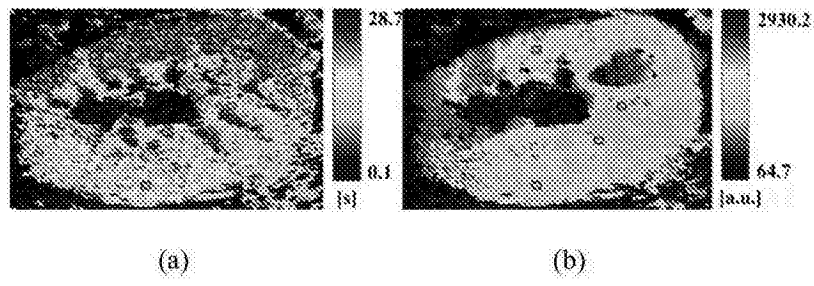


图 6

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	CN105249990A	公开(公告)日	2016-01-20
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	CN105249990B		
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%。

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