

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 5 月 22 日 (22.05.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/102491 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 5/70 (2024.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/141312
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 23 日 (23.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202311533121.8 2023年11月16日 (16.11.2023) CN
- (71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (**SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 刘成波 (**LIU, Chengbo**); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

雷天成 (**LEI, Tiancheng**); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。徐智强 (**XU, ZhiQiang**); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京中巡通大知识产权代理有限公司 (**BEIJING ZHONG XUN TONG DA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.**); 中国北京市西城区西直门外大街1号院2号楼7层7C1 100044 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(54) **Title:** IMAGE ENHANCEMENT METHOD BASED ON PHOTOACOUSTIC MICROSCOPY IMAGING

(54) 发明名称: 一种基于光声显微成像的图像增强方法

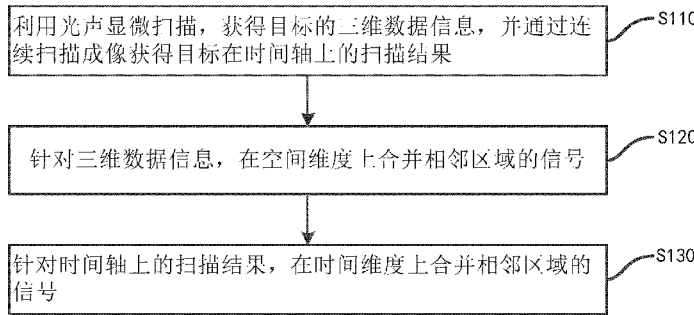


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed in the present invention is an image enhancement method based on photoacoustic microscopy imaging. The method comprises: executing multiple photoacoustic microscopy scanings on a target object to obtain three-dimensional data of the target, and obtaining scanning results of the target on a time axis by means of continuous scanning imaging; before performing a projection operation on a single imaging result, for the three-dimensional data, within a set search range, combining signals of adjacent areas in space dimension; and for the scanning results on the time axis, within a set search range, combining signals of adjacent areas in time dimension, so as to obtain an enhanced image. The present invention effectively improves the image signal-to-noise ratio of a photoacoustic microscopy system, and improves the calculation efficiency.

(57) **摘要:** 本发明公开了一种基于光声显微成像的图像增强方法。该方法包括: 针对目标物体, 执行多次光声显微扫描, 获得目标的三维数据, 并通过连续扫描成像获得目标在时间轴上的扫描结果; 在单次成像结果进行投影操作之前, 在空间维度上对所述三维数据在设定的搜索范围内合成相邻区域的信号; 针对所述时间轴上的扫描结果, 在设定的搜索范围内, 在时间维度上合并相邻区域的信号, 获得增强图像。本发明有效提高了光声显微系统的图像信噪比, 并且提高了计算效率。

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种基于光声显微成像的图像增强方法

技术领域

本发明涉及光声成像技术领域，更具体地，涉及一种基于光声显微成像的图像增强方法。

背景技术

随着医学影像技术的飞速发展，光声成像技术作为一项非侵入式成像方法因其兼具光学成像高对比度，以及超声成像高分辨率和穿透深度的优势，在众多医疗成像技术中脱颖而出。光声成像技术突破了传统光学成像极限（~1mm），将穿透深度扩展到厘米级，成为目前医学影像技术中发展最为迅速的技术之一。目前的成像系统通常对扫描获得的三维图像进行最大值投影获得投影图，在投影图的基础上进行算法处理，这种方式获得的图像的信噪比往往有限。

在现有技术中，常用的图像增强方法有两类：一类是基于三维块匹配算法（Block Matching 3D, BM3D）对原始数据进行去噪，利用图像的自相似性进行频域变换去噪，提高图像的信噪比。另一类方法是深度学习，将视野内的低噪声图像作为真实数据集，利用卷积神经网络来增强图像的信噪比。

经分析，现有图像增强方案主要存在以下缺陷：

（1）构成算法的协同滤波与维纳滤波运算耗时长。当噪声强度较大时，降噪图像往往会丢失边缘、纹理等细节信息，造成图像模糊等问题

（2）深度学习需要大量的图像数据用于制备训练集、验证集和测试集，导致消耗大量的时间进行数据采集，而且训练过程计算量大，计算时间成本高。

（3）已有方案都是对扫描后获得的单帧最大值投影图进行处理，损失了空间信息。

(4) 对于光声 (Photoacoustic, PA) 成像技术, 特别是光声显微成像技术 (Photoacoustic Microscopy, PAM), 现有的图像增强方法仍面临挑战。例如, PAM 可以进行亚微米级别的成像以进行血管层面的分析, 但由于背景噪声的影响, 该技术观察毛细血管等微小血管网络仍存在困难。

5

发明内容

本发明的目的是克服上述现有技术的缺陷, 提供一种基于光声显微成像的图像增强方法。该方法包括以下步骤:

针对目标物体, 执行多次光声显微扫描, 获得目标的三维数据, 并通过连续扫描成像获得目标在时间轴上的扫描结果;

在单次成像结果进行投影操作之前, 在空间维度上对所述三维数据在设定的搜索范围内合成相邻区域的信号;

针对所述时间轴上的扫描结果, 在设定的搜索范围内, 在时间维度上合并相邻区域的信号, 获得增强图像。

与现有技术相比, 本发明的优点在于, 所提供的基于光声显微成像的图像增强方法, 充分利用光声显微成像三维数据的特征, 利用各个体素在时空间上的高度相关性, 使用改进的非局部均值 (Non-Local Means, NLM) 算法处理图像, 显著提高了图像质量和成像系统的信噪比。此外, 与深度学习方法相比, 本发明无需使用大量的数据训练, 并且能充分利用采集到的数据信息的空间维度和时间维度特征。

通过以下参照附图对本发明的示例性实施例的详细描述, 本发明的其它特征及其优点将会变得清楚。

附图说明

被结合在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例, 并且连同其说明一起用于解释本发明的原理。

图1是根据本发明一个实施例的基于光声显微成像的图像增强方法的流程图;

图2是根据本发明一个实施例的基于光声显微成像的图像增强方法的

过程示意图；

图 3 是根据本发明一个实施例的在深度维度上处理原始三维数据的流程图；

图 4 是根据本发明一个实施例的在时间轴维度上处理最大值投影图的流程图；

图 5 是根据本发明一个实施例的基于光声显微成像的图像增强方法的实验结果示意图。

具体实施方式

10 现在将参照附图来详细描述本发明的各种示例性实施例。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的，决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。

15 对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

在这里示出和讨论的所有例子中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它例子可以具有不同的值。

20 应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

本发明提供了一种基于 NLM 技术的连续帧四维图像处理算法（以下简称 seq-NLM），用于图像去噪增强，以提高图像信噪比。在本发明中，
25 结合 PAM 获得的数据特点，分别在空间上的深度方向与时间轴方向使用 NLM（非局部均值）算法，扩大邻域选择的范围，获得更好的相似块选取结果。本发明充分利用了光声显微数据是三维结构的特点，并且结合数据在时间轴上的连续性，提升了传统 NLM 算法的性能。

具体地，参见结合图 1 和图 2 所示，所提供的基于光声显微成像的图

像增强方法包括以下步骤:

步骤 S110, 利用光声显微扫描, 获得目标的三维数据信息, 并通过连续扫描成像获得目标在时间轴上的扫描结果。

例如, 光声显微扫描能够获得观察对象或目标的三维信息, 并通过连续扫描成像可以获得时间轴上相关联的扫描结果。由于血管在空间结构上的分布一定是连续的, 基于这种扫描系统获得的血管具有高度的时空连续性。空间维度的三维信息结合时间维度的连续性, 可以认为是针对连续帧的四维数据处理。

步骤 S120, 针对三维数据信息, 在空间维度上合并相邻区域的信号。

利用光声显微成像三维数据具有连续性的特征, 逐层对三维数据进行去噪处理时, 进而结合相邻深度的层析结果优化输出结果。在一个实施例中, 采用逐像素点进行处理的算法。例如, 为了恢复成像质量, 在单次成像的结果进行最大值投影操作之前, 首先在空间维度上对原始三维数据使用 NLM 算法, 在一定的搜索范围内将相邻区域的有关信号进行合成,

$$\tilde{u}(i) = \sum_{\substack{j \in I \\ h \in H}} \omega(i, j) v(j, h) \quad (1)$$

其中, $\tilde{u}(i)$ 表示去噪后的像素点结果, $v(j, h)$ 表示含噪声的原始像素点, $\omega(i, j)$ 表示两个像素点间的权重关系, I 表示原始数据中算法可搜索的平面范围, H 表示原始数据中算法可搜索的深度范围, i 表示目标深度平面内的像素点索引, j 表示某一深度平面内的像素点索引, h 表示深度索引。

为了合理地利用相邻信号, 在信号合成前引入权重 ω 来抑制无关项的干扰。例如, 权重 $\omega(i, j)$ 设置为:

$$\omega(i, j) = \frac{1}{Z(i)} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, h)\|^2}{g^2} \right) \quad (2)$$

$$Z(i) = \sum_{j, h} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, h)\|^2}{g^2} \right) \quad (3)$$

其中, $Z(i)$ 表示归一化系数, g 表示平滑系数, $V(i)$ 表示像素 i 的邻域相似块。只有邻域相似度高才能说明这两个像素的相似度高, 可使用 $\|V(i) - V(j, h)\|^2$ 度量信号间的相似度, 从而有效地评估相邻区域信号的相关程度, 表示为:

$$\|V(i) - V(j, h)\|^2 = \frac{1}{d^2} \sum_{\substack{|k| \leq d \\ |h| \leq H/2}} \|v(i + k) - v(j + k, h)\|^2 \quad (4)$$

其中， d 表示相似块半径。

区别于传统最大值投影图的获取，本发明首先利用血管数据的连续性，在三维范围内对数据进行搜索与加权平均，充分利用了扫描得到的三维数据，有效扩充了算法中相似块的选取范围，可以有效减小原始数据中的噪声强度。

步骤 S130，针对时间轴上的扫描结果，在时间维度上合并相邻区域的信号。

例如，可采用非局部均值算法在时间维度上合并信号。具体地，每一轮扫描获得的三维数据进行最大值投影操作后，可以获得单帧图像，通过扫描可以获得连续的动态视频。由于成像系统的高速特性，可以认为不同帧之间仍然存有连续性，为了提高最大值投影图的成像质量，将连续扫描且经过步骤 S120 处理的最大值投影图按照时间顺序堆叠，在时间维度上使用 NLM 算法，在一定范围内将相邻区域的有关信号进行合成，表示为：

$$\tilde{u}(i) = \sum_{\substack{j \in I \\ t \in T}} \omega(i, j) v(j, t) \quad (5)$$

其中， $\tilde{u}(i)$ 表示去噪后的像素点结果， $v(j, t)$ 表示含噪声的原始像素点， $\omega(i, j)$ 表示两个像素点间的权重关系， I 表示原始数据中算法可搜索的平面范围， T 表示原始数据中算法可搜索的时间范围， i 表示目标时刻像素点索引， j 表示某一时刻像素点索引， t 表示时间索引。

为了合理地利用相邻信号，在信号合成前引入权重 ω 来抑制无关项的干扰，

$$\omega(i, j) = \frac{1}{Z(i)} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, t)\|^2}{g^2} \right) \quad (6)$$

$$Z(i) = \sum_{j, t} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, t)\|^2}{g^2} \right) \quad (7)$$

式中， $Z(i)$ 表示归一化系数， g 表示平滑系数， $V(i)$ 表示相似块范围。使用 $\|V(i) - V(j, t)\|^2$ 度量信号间的相似度，可以有效地评估相邻区域信号的相关程度，表示为：

$$\|V(i) - V(j, t)\|^2 = \frac{1}{d^2} \sum_{\substack{|k| \leq d \\ |t| \leq T/2}} \|v(i + k) - v(j + k, t)\|^2 \quad (8)$$

其中， d 表示相似块半径。

需要说明的是，步骤 S120 和 S130 中涉及到权重 ω 也可采用其他形式，

例如，根据经验或实验设置为固定值，并且信号间的相似度也可采用其他衡量标准，如结构相似性等。

现有的 NLM 算法通常被使用于单张图像的去噪增强，在处理光声显微图像时，将相似块的范围扩展到时间轴范围，可以有效扩充算法中相似块
5 的选取范围，更容易找到具有相似性的像素点进行加权合成。

图 3 是在深度维度上处理原始三维数据的流程图，其中 $I(m,n,h)$ 为光声显微扫描获得的原始三维数据， m 和 n 为图像大小，探测深度为 h 。 D_s 为搜索块范围， d_s 为相似块大小， H_s 为深度范围。三维数据 $I[i-D_s:i+D_s,j-D_s:j+D_s,h-H_s:h+H_s]$ 是 NLM 算法的搜索范围 S_z ，二维数据
10 $I[i-d_s:i+d_s,j-d_s:j+d_s,h]$ 是参考块 R 的大小，二维数据 $I[p-d_s:p+d_s,q-d_s:q+d_s,z]$ 是相似块 S 的大小。在搜索范围内依次寻找相似块，根据相似块与参考块之间的相似程度求得权重 A 后进行加权求和，实现更新目标像素点 $I(i,j)$ 的目的。

图 4 是在时间轴维度上处理最大值投影图的流程图，其中 $I(m,n,t)$ 为 t
15 时刻待处理的最大值投影图， m 和 n 为图像大小。 D_s 为搜索块范围， d_s 为相似块大小， T_s 为时间轴范围。三维数据 $I[i-D_s:i+D_s,j-D_s:j+D_s,t-T_s:t+T_s]$ 是 NLM 算法的搜索范围 S_z ，二维数据 $I[i-d_s:i+d_s,j-d_s:j+d_s,t]$ 是参考块 R 的大小，二维数据 $I[p-d_s:p+d_s,q-d_s:q+d_s,\tau]$ 是相似块 S 的大小。在搜索范围内依次寻找相似块，根据相似块与参考块之间的相似程度求得权重 A 后
20 进行加权求和，实现更新目标像素点 $I(i,j)$ 的目的。

为进一步验证本发明的效果，进行了实验模拟。例如，对裸鼠耳朵血管、裸鼠大脑皮层血管进行光声显微成像实验。参见图 5 所示，实验结果表明，获得的图像有去噪增强效果，有助于提高 PAM 系统的信噪比。

综上所述，相对于现有技术，本发明具有以下优势：

25 (1) 本发明提出了 Seq-NLM 算法，充分利用了三维体素的数据信息可以用于光声显微成像的图像处理，有效提高了光声显微系统的图像信噪比。本发明利用这种数据特点，使用 seq-NLM 算法，可以获得信噪比极佳的图像。

(2) 本发明中算法未使用复杂的滤波算法仍能获得优秀的结果，减

少了时间成本。

(3) 本发明中算法不依赖于大量的数据集，只需要原始光声数据处理，降低了数据获取难度和计算负担。

(4) 本发明提出的 seq-NLM 算法易于实现，计算效率高，可以很容易地扩展到其他基于扫描振镜等器件的 PAM 系统。

本发明可以是系统、方法和/或计算机程序产品。计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质，其上载有用于使处理器实现本发明的各个方面的计算机可读程序指令。

计算机可读存储介质可以是可以保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以是但不限于电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子（非穷举的列表）包括：便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦式可编程只读存储器（EPROM 或闪存）、静态随机存取存储器（SRAM）、便携式压缩盘只读存储器（CD-ROM）、数字多功能盘（DVD）、记忆棒、软盘、机械编码设备、例如其上存储有指令的打孔卡或凹槽内凸起结构、以及上述的任意合适的组合。这里所使用的计算机可读存储介质不被解释为瞬时信号本身，诸如无线电波或者其他自由传播的电磁波、通过波导或者其他传输媒介传播的电磁波（例如，通过光纤电缆的光脉冲）、或者通过电线传输的电信号。

这里所描述的计算机可读程序指令可以从计算机可读存储介质下载到各个计算/处理设备，或者通过网络、例如因特网、局域网、广域网和/或无线网下载到外部计算机或外部存储设备。网络可以包括铜传输电缆、光纤传输、无线传输、路由器、防火墙、交换机、网关计算机和/或边缘服务器。每个计算/处理设备中的网络适配卡或者网络接口从网络接收计算机可读程序指令，并转发该计算机可读程序指令，以供存储在各个计算/处理设备中的计算机可读存储介质中。

用于执行本发明操作的计算机程序指令可以是汇编指令、指令集架构（ISA）指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数

据、或者以一种或多种编程语言的任意组合编写的源代码或目标代码，所述编程语言包括面向对象的编程语言—诸如 Smalltalk、C++、Python 等，以及常规的过程式编程语言—诸如“C”语言或类似的编程语言。计算机可读程序指令可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、
5 作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中，远程计算机可以通过任意种类的网络—包括局域网 (LAN) 或广域网 (WAN)—连接到用户计算机，或者，可以连接到外部计算机（例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接）。在一些实施例中，通过利用计算机
10 可读程序指令的状态信息来个性化定制电子电路，例如可编程逻辑电路、现场可编程门阵列 (FPGA) 或可编程逻辑阵列 (PLA)，该电子电路可以执行计算机可读程序指令，从而实现本发明的各个方面。

这里参照根据本发明实施例的方法、装置（系统）和计算机程序产品的流程图和/或框图描述了本发明的各个方面。应当理解，流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合，都可以由计算机可读程序指令实现。
15

这些计算机可读程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理装置的处理器，从而生产出一种机器，使得这些指令在通过计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行时，产生了实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的装置。也可以把这些计算机可读程序指令存储在计算机可读存储介质中，这些指令使得计算机、
20 可编程数据处理装置和/或其他设备以特定方式工作，从而，存储有指令的计算机可读介质则包括一个制造品，其包括实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的各个方面的指令。

也可以把计算机可读程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上，使得在计算机、其它可编程数据处理装置或其它设备上执行一系列操作步骤，以产生计算机实现的过程，从而使得在计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上执行的指令实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作。
25

附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或指令的一部分，所述模块、程序段或指令的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。对于本领域技术人员来说公知的是，通过硬件方式实现、通过软件方式实现以及通过软件和硬件结合的方式实现都是等价的。

以上已经描述了本发明的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进，或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。本发明的范围由所附权利要求来限定。

权利要求书

1. 一种基于光声显微成像的图像增强方法，包括以下步骤：

针对目标物体，执行多次光声显微扫描，获得目标的三维数据，并通过连续扫描成像获得目标在时间轴上的扫描结果；

5 在单次成像结果进行投影操作之前，在空间维度上对所述三维数据在设定的搜索范围内合成相邻区域的信号；

针对所述时间轴上的扫描结果，在设定的搜索范围内，在时间维度上合并相邻区域的信号，获得增强图像。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在空间维度上对所述三维数据在设定的搜索范围内合成相邻区域的信号采用以下公式：

$$\tilde{u}(i) = \sum_{\substack{j \in I \\ h \in H}} \omega(i, j) v(j, h)$$

其中， $\tilde{u}(i)$ 表示合成后的像素点结果， $v(j, h)$ 表示合成之前的原始像素点， $\omega(i, j)$ 表示两个像素点间的权重， I 表示设定的搜索平面范围， H 表示搜索的深度范围， i 表示目标深度平面内的像素点索引， j 表示某一深度平面内的像素点索引， h 表示深度索引。

15 3. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述两个像素点间的权重间的权重 $\omega(i, j)$ 设置为：

$$\omega(i, j) = \frac{1}{Z(i)} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, h)\|^2}{g^2} \right)$$

$$Z(i) = \sum_{j, h} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, h)\|^2}{g^2} \right)$$

其中， $Z(i)$ 表示归一化系数， g 表示平滑系数， $V(i)$ 表示像素 i 的邻域相似块， $\|V(i) - V(j, h)\|^2$ 是信号间的相似度。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述信号间的相似度
20 $\|V(i) - V(j, h)\|^2$ 设置为：

$$\|V(i) - V(j, h)\|^2 = \frac{1}{d^2} \sum_{\substack{|k| \leq d \\ |h| \leq H/2}} \|v(i + k) - v(j + k, h)\|^2$$

其中， d 表示相似块半径， k 是像素点索引。

5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 针对所述时间轴上的扫描结果, 在设定的搜索范围内, 在时间维度上合并相邻区域的信号采用以下公式:

$$\tilde{u}(i) = \sum_{\substack{j \in I \\ t \in T}} \omega(i, j) v(j, t)$$

其中, $\tilde{u}(i)$ 表示合并后的像素点结果, $v(j, t)$ 表示合并之前的原始像素点, $\omega(i, j)$ 表示两个像素点间的权重, I 表示搜索的平面范围, T 表示搜索的时间范围, i 表示目标时刻像素点索引, j 表示某一时刻像素点索引, t 表示时间索引。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 所述两个像素点间的权重设置为:

$$\omega(i, j) = \frac{1}{Z(i)} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, t)\|^2}{g^2} \right)$$

$$Z(i) = \sum_{j, t} \exp \left(-\frac{\|V(i) - V(j, t)\|^2}{g^2} \right)$$

其中, $Z(i)$ 表示归一化系数, g 表示平滑系数, $V(i)$ 表示相似块范围。 $\|V(i) - V(j, t)\|^2$ 是信号间的相似度。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述信号间的相似度 $\|V(i) - V(j, t)\|^2$ 设置为:

$$\|V(i) - V(j, t)\|^2 = \frac{1}{d^2} \sum_{\substack{|k| \leq d \\ |t| \leq T/2}} \|v(i + k) - v(j + k, t)\|^2$$

其中, d 表示相似块半径, k 是像素点索引。

8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述目标物体是血管。

9. 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其中, 该计算机程序被处理器执行时实现根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法的步骤。

10. 一种计算机设备, 包括存储器和处理器, 在所述存储器上存储有能够在处理器上运行的计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法的步骤。

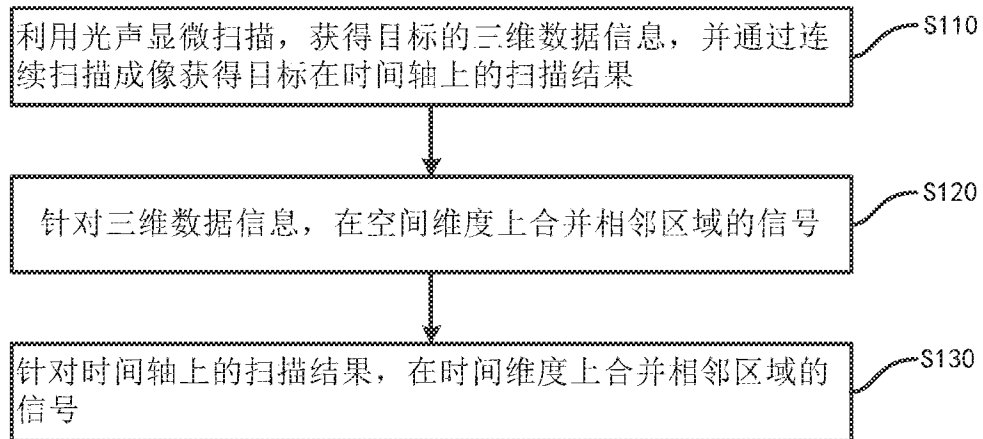


图 1

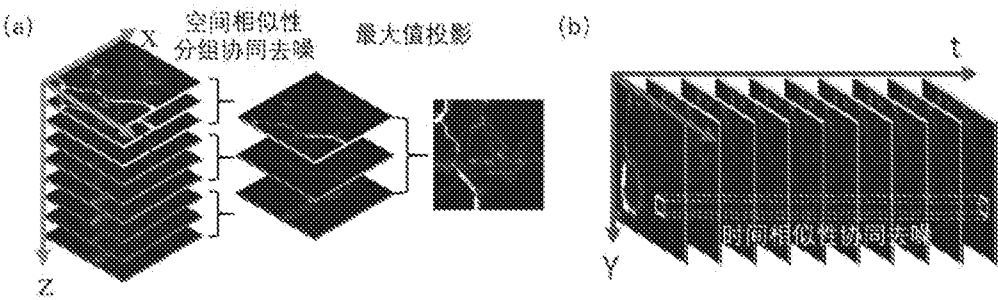


图 2

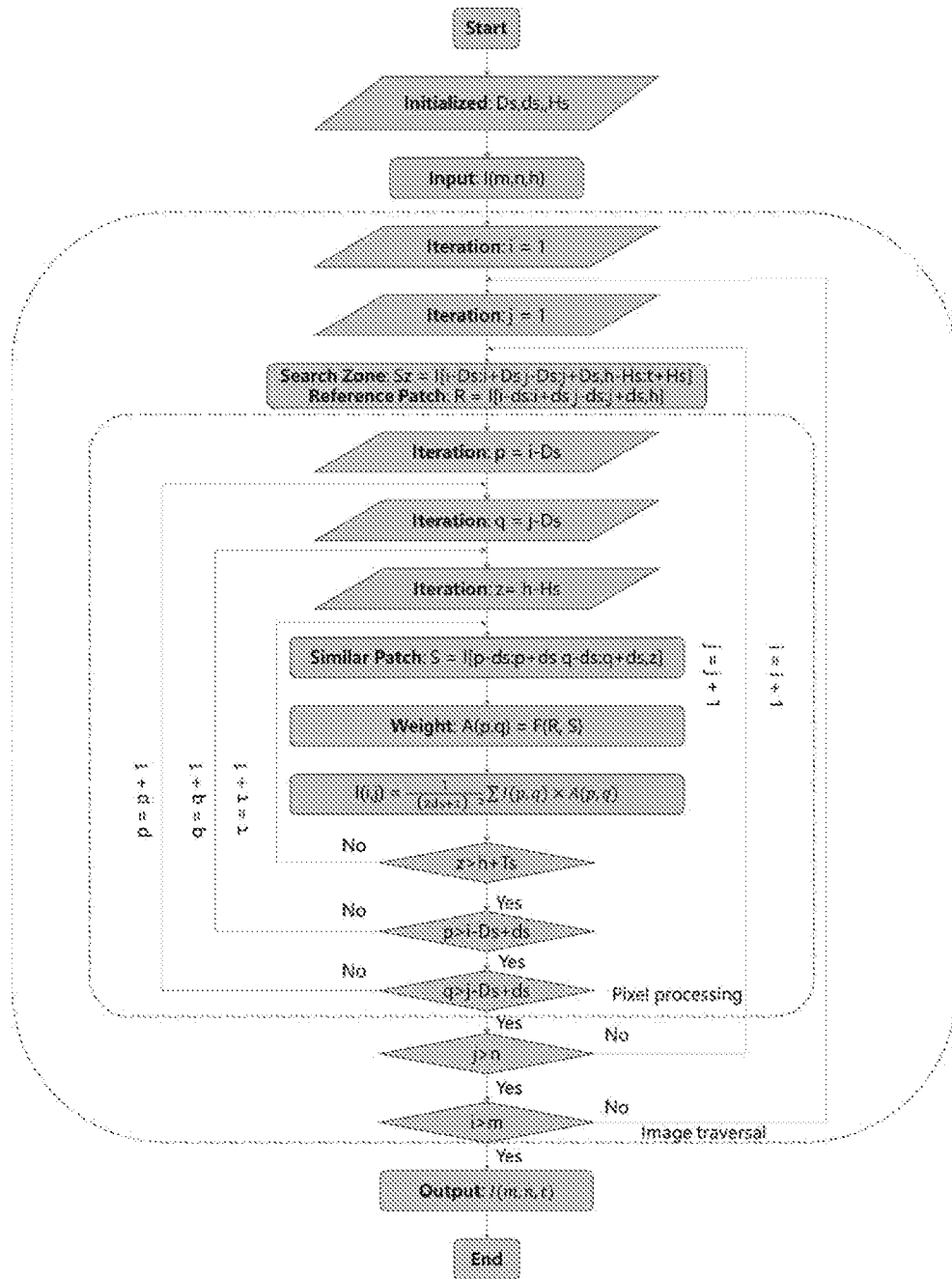


图 3

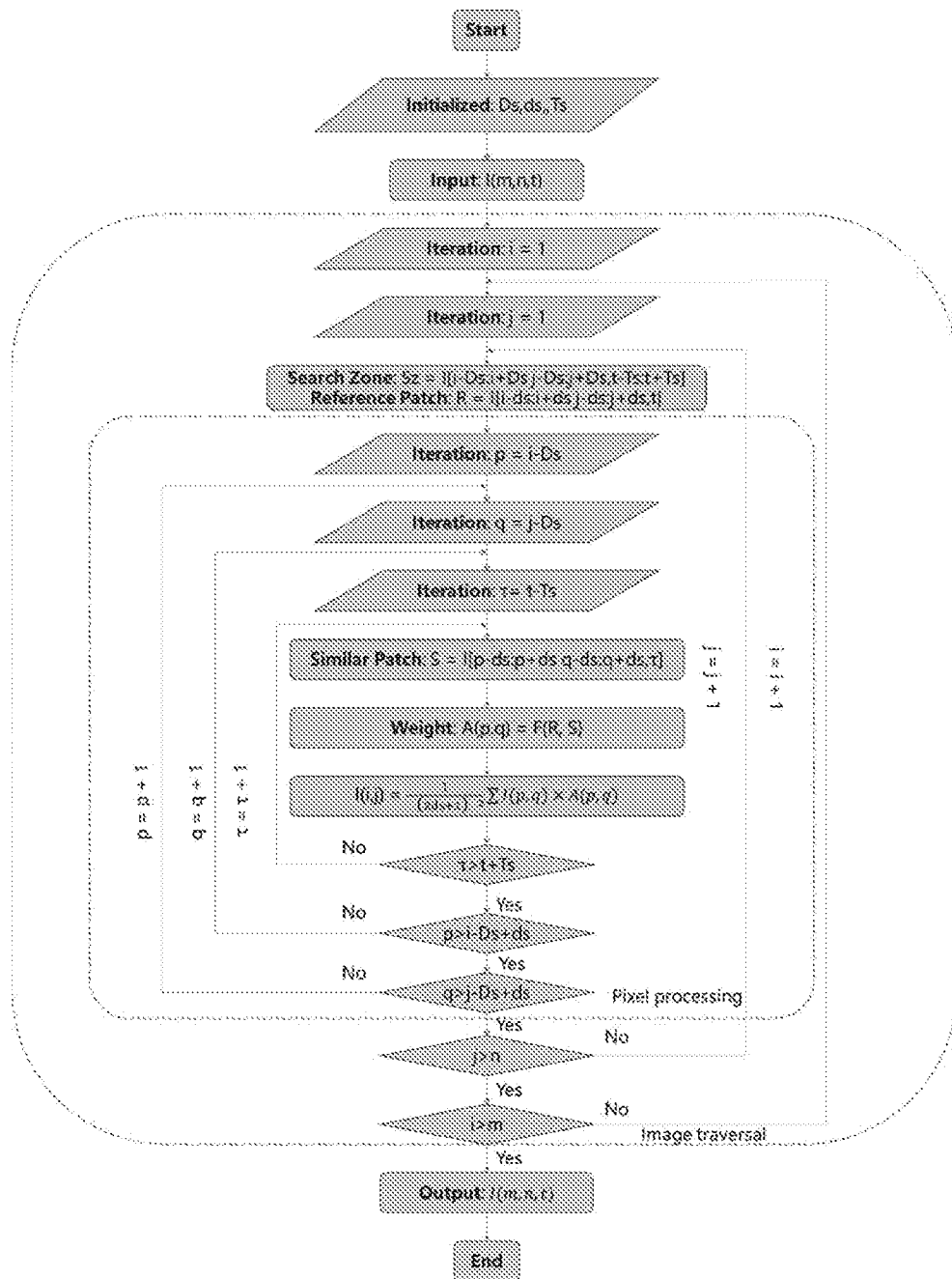


图 4

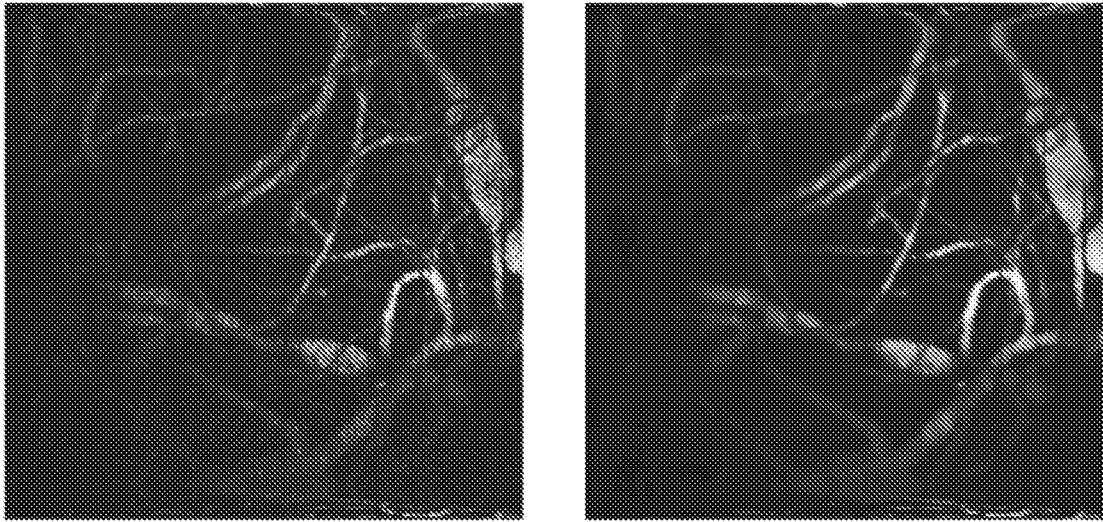


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/141312

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 5/70(2024.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 光声, 成像, 图像, 增强, 三维, 范围, 时间, 空间, 合并, 信号, photo acoustic, imag+, enhancement, 3D, range, time, space, merging, signal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 110610147 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 24 December 2019 (2019-12-24) description, paragraphs [0052]-[0066]	1, 8-10
Y	CN 115456950 A (NINTH PEOPLE'S HOSPITAL AFFILIATED TO SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE) 09 December 2022 (2022-12-09) description, paragraphs [0008]-[0063]	1, 8-10
A	CN 115299967 A (SHENZHEN ANGELL TECHNOLOGY CO., LTD.) 08 November 2022 (2022-11-08) entire document	1-10
A	CN 116681589 A (CHANGZHOU BOEN ZHONGDING MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 01 September 2023 (2023-09-01) entire document	1-10
A	US 2013136328 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 30 May 2013 (2013-05-30) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 June 2024

Date of mailing of the international search report

24 June 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/141312

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	110610147	A	24 December 2019	None		
CN	115456950	A	09 December 2022	WO	2024037358	A1 22 February 2024
CN	115299967	A	08 November 2022	None		
CN	116681589	A	01 September 2023	None		
US	2013136328	A1	30 May 2013	None		

A. 主题的分类

G06T 5/70(2024.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 光声, 成像, 图像, 增强, 三维, 范围, 时间, 空间, 合并, 信号, photo acoustic, imag+, enhancement, 3D, range, time, space, merging, signal

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 110610147 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2019年12月24日 (2019 - 12 - 24) 说明书第[0052]-[0066]段	1、8-10
Y	CN 115456950 A (上海交通大学医学院附属第九人民医院) 2022年12月9日 (2022 - 12 - 09) 说明书第[0008]-[0063]段	1、8-10
A	CN 115299967 A (深圳市安健科技股份有限公司) 2022年11月8日 (2022 - 11 - 08) 全文	1-10
A	CN 116681589 A (常州博恩中鼎医疗科技有限公司) 2023年9月1日 (2023 - 09 - 01) 全文	1-10
A	US 2013136328 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2013年5月30日 (2013 - 05 - 30) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年6月19日

国际检索报告邮寄日期

2024年6月24日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

李娜

电话号码 (+86) 010-53961346

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/141312

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110610147	A	2019年12月24日	无	
CN	115456950	A	2022年12月9日	WO	2024037358 A1 2024年2月22日
CN	115299967	A	2022年11月8日	无	
CN	116681589	A	2023年9月1日	无	
US	2013136328	A1	2013年5月30日	无	