

(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
2023 年 6 月 15 日 (15.06.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/102709 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 11/00 (2006.01) *G06N 3/08* (2006.01)
G06N 3/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/135956
- (22) 国际申请日: 2021 年 12 月 7 日 (07.12.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 深圳先进研究院 (SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 胡战利(HU, Zhanli); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 王海燕(WANG, Haiyan); 中国广

东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 郑海荣(ZHENG, Hairong); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 梁栋(LIANG, Dong); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 刘新(LIU, Xin); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 杨永峰(YANG, Yongfeng); 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

- (74) 代理人: 深圳市科进知识产权代理事务所(普通合伙) (SHENZHEN KEJIN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国广东省深圳市南山区粤兴三道二号虚拟大学园产业化基地A701室, Guangdong 518055 (CN)。

(54) Title: DYNAMIC PARAMETER IMAGE SYNTHESIS METHOD AND SYSTEM BASED ON STATIC PET IMAGE

(54) 发明名称: 基于静态PET图像的动态参数图像合成方法、系统

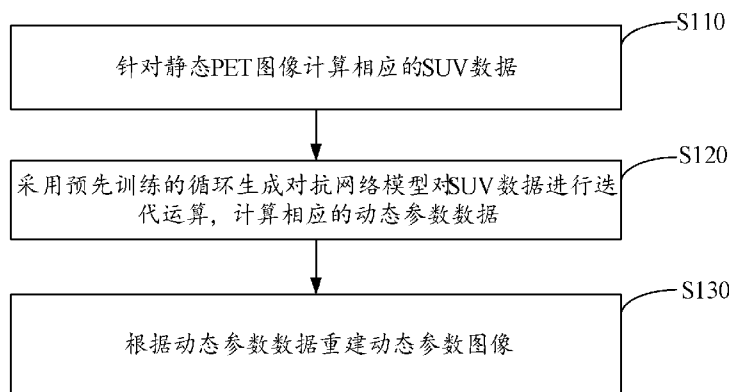


图 1

- S110 Calculate corresponding SUV data for a static PET image
- S120 Perform an iterative operation on the SUV data by using a pre-trained cyclic generative adversarial network model, and calculate corresponding dynamic parameter data
- S130 Reconstruct a dynamic parameter image according to the dynamic parameter data

(57) Abstract: A dynamic parameter image synthesis method and system based on a static PET image, and an electronic device. The method comprises: calculating corresponding SUV data for a static PET image (S110); performing an iterative operation on the SUV data by using a pre-trained cyclic generative adversarial network model, and calculating corresponding dynamic parameter data (S120); and reconstructing a dynamic parameter image according to the dynamic parameter data (S130). A dynamic parameter image is directly synthesized from a static PET image by using a pre-trained cyclic generative adversarial network model, such that parametric imaging is shortened from up to one hour originally to less than one second, thereby greatly shortening the scanning time for a patient; and a piece of image data can still be additionally provided for a doctor so as to reflect the metabolic rate of a tracer for tissues in the patient's

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))。

body, thereby improving the accuracy of PET quantification results and clinical diagnosis, and effectively realizing high-efficiency and high-quality acquisition of dynamic parameter images.

(57) 摘要: 一种基于静态PET图像的动态参数图像合成方法及系统、电子设备, 方法包括: 针对静态PET图像计算相应的SUV数据(S110); 采用预先训练的循环生成对抗网络模型对SUV数据进行迭代运算, 计算相应的动态参数数据(S120); 根据动态参数数据重建动态参数图像(S130)。由于采用预先训练的循环生成对抗网络模型直接从静态PET图像合成出动态参数图像, 将原来长达1小时的参数成像缩短为不到1秒成像, 大大缩短了患者的扫描时间, 同时仍能为医生额外提供一份影像资料, 反映示踪剂对患者体内组织的代谢速率, 提高PET量化结果及临床诊断的准确性, 有效实现了动态参数图像的高效、高质量获取。

基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法、系统

技术领域

本发明属于生物医学工程技术领域，尤其涉及一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法、系统。

背景技术

氟代脱氧葡萄糖(18F-FDG)正电子发射断层扫描 (Positron emission tomography, PET) /计算机断层扫描 (Computed Tomography, CT) 因其在原发性肺肿瘤和远处转移灶的检测和分期方面的高诊断准确性而被视为符合潜在治疗条件的肺癌患者的一线工具。但是，临床中常用的静态 PET 图像（也称 SUV 图像）的量化准确性可能会受到整个采集过程中测量时间和血浆示踪剂浓度变化的影响，动态参数 Ki 图像可以反映示踪剂对组织的代谢率，从而获得更准确的 PET 定量结果。

然而，动态参数 Ki 图像的获取需要对患者进行长时间扫描（ ≥ 60 分钟）以进行参数成像和动态建模，以及连续的动脉血液采样或图像衍生的血液活动来确定输入函数，这些严重限制了参数成像的临床应用。

因此，研究和开发高效获取高质量动态参数图像，对于目前的肺癌诊断、分期领域均有着重要的科学意义与广阔的应用前景。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法、系统及电子设备，旨在解决现有技术中无法高效获取高质量动态参数图像的技术问题。

第一方面，本发明提供了一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方

法，包括：

针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据；

采用预先训练的循环生成对抗网络模型对所述 SUV 数据进行迭代运算，
计算相应的动态参数数据；

根据所述动态参数数据重建动态参数图像。

可选的，所述循环生成对抗网络模型包括生成器和鉴别器；所述生成器根据对抗性损失和循环损失进行训练而成；所述鉴别器根据对抗性损失进行训练而成。

可选的，所述循环生成对抗网络模型包括第一生成器和第二生成器；所述第一生成器包含 SUV 数据与动态参数数据之间的映射关系，所述第二生成器包含动态参数数据与 SUV 数据之间的映射关系。

可选的，所述循环生成对抗网络模型还包括第一鉴别器和第二鉴别器；所述第一鉴别器用于鉴别经所述第一生成器运算后的动态参数数据与原始动态参数数据之间的差异，所述第二鉴别器用于鉴别经所述第二生成器运算后的 SUV 数据与原始 SUV 数据之间的差异。

可选的，所述循环生成对抗网络模型的训练方法包括：

获取不同静态 PET 图像样本的原始 SUV 数据和原始动态参数数据；

采用深度学习算法学习所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系；

根据所述关系建立所述循环生成对抗网络模型。

可选的，所述采用深度学习算法学习所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系的步骤包括：

采用深度学习算法，计算所述原始 SUV 数据相应的第一合成动态参数数

据和第一合成 SUV 数据,以及所述原始动态参数数据相应的第二合成 SUV 数据和第二合成动态参数数据;

根据上述数据计算对抗性损失和循环损失;

根据所述对抗性损失和所述循环损失,设计生成器和鉴别器,即所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系。

可选的,所述根据上述数据计算对抗性损失和循环损失的步骤包括:

根据所述原始 SUV 数据和所述第二合成 SUV 数据、所述原始动态参数数据和第一合成动态参数数据,计算对抗性损失;

根据所述原始 SUV 数据和所述第一合成 SUV 数据、所述原始动态参数数据和第二合成动态参数数据,计算循环损失。

第二方面,本发明还提供了一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成系统,包括:

SUV 数据计算模块,用于针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据;

运算模块,用于采用预先训练的循环生成对抗网络模型对所述 SUV 数据进行迭代运算,计算相应的动态参数数据;

图像重建模块,用于根据所述动态参数数据重建动态参数图像。

第三方面,本发明还提供了一种电子设备,包括:

处理器;以及

与所述处理器通讯连接的存储器;其中,

所述存储器存储有可读性指令,所述可读性指令被所述处理器执行时实现如第一方面所述的方法。

第四方面，本发明提供了一种计算机可读性存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序在被执行时实现如第一方面的方法。

本发明提供的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法及系统、电子设备中，由于采用预先训练的循环生成对抗网络模型直接从静态 PET 图像合成出动态参数图像，将原来长达 1 小时的参数成像缩短为不到 1 秒成像，大大缩短了患者的扫描时间，同时仍能为医生额外提供一份影像资料，反映示踪剂对患者体内组织的代谢速率，提高 PET 量化结果及临床诊断的准确性，有效实现了动态参数图像的高效、高质量获取。

附图说明

图 1 是根据实施例一示出的一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法的实现流程图。

图 2 是根据一示例性实施例示出的循环生成对抗网络模型构建流程图。

图 3 是根据一示例性实施例示出的循环生成对抗网络模型中生成器和鉴别器的结构示意图。

图 4 是根据一示例性实施例示出的本方案实验结果示意图。

图 5 是根据实施例二示出的一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成系统的框图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅

用以解释本申请，并不用于限定本申请。

以下结合具体实施例对本发明的具体实现进行详细描述：

实施例一：

图 1 是实施例一示出的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法的实现流程图。实施例一示出的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法适用于电子设备中，电子设备中设置有处理器，在获取到静态 PET 图像后，即可根据该静态 PET 图像的 SUV 数据，计算相应的动态参数数据，进而重建动态参数图像，实现基于静态 PET 图像高效、高质量计算动态参数图像。

步骤 S110，针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据。

步骤 S120，采用预先训练的循环生成对抗网络模型对 SUV 数据进行迭代运算，计算相应的动态参数数据。

步骤 S130，根据动态参数数据重建动态参数图像。

临床常规 PET 成像是静态 PET 成像，在整个采集过程中，其得到的标准化摄取值（standardized uptake value, SUV）的量化精度容易受到测量时间和血浆示踪剂浓度变化的影响。

本方案中，在获取到静态 PET 图像后，将计算相应的 SUV 数据。进而采用预先训练好的循环生成对抗网络模型对 SUV 数据进行迭代运算，计算相应的动态参数数据。

需要说明的是，该动态参数数据可以是动态参数 K_i 数据，也可以是其他类型的动态参数数据，本方案仅是以动态参数 K_i 数据为例进行详细说明，而不对动态参数数据的具体类型进行限定。

循环生成对抗网络模型是预先根据静态 PET 图像样本进行深度学习的训练而构建的。

图 2 是根据一示例性实施例示出的循环生成对抗网络模型构建流程图。如图 2 所示, 该循环生成对抗网络模型采用 cycleGAN 网络算法, 该模型包括生成器和鉴别器。特别的是, 该模型包括第一生成器和第二生成器两个生成器(即 $GSUV \rightarrow Ki$ 和 $GKi \rightarrow SUV$) 和第一鉴别器和第二鉴别器两个鉴别器(即 DKi 和 $DSUV$), 用于相互约束。

其中, 第一生成器包含 SUV 数据与动态参数数据之间的映射关系, 第二生成器包含动态参数数据与 SUV 数据之间的映射关系; 第一鉴别器用于鉴别经第一生成器运算后的动态参数数据与原始动态参数数据之间的差异, 第二鉴别器用于鉴别经第二生成器运算后的 SUV 数据与原始 SUV 数据之间的差异。

在深度学习训练过程中, 以原始 SUV 数据和原始动态参数 (Ki) 数据作为输入, 经过生成器 $GSUV \rightarrow Ki/GKi \rightarrow SUV$ 输出合成 Ki (sKi) 和合成 SUV ($sSUV$) 数据, 原始 Ki 数据和原始 SUV 数据作为参照。

由于单一损失函数在图像生成方面存在一定局限性, 为提高最终合成图像的生成质量, 生成器网络使用对抗性损失 ($L2$ 损失函数) 和循环损失 ($L1$ 损失函数) 进行训练, 而鉴别器网络使用对抗性损失 ($L2$ 损失函数) 进行训练。通过将参照的原始图像和相应的合成图像输入鉴别器以计算图像之间的差异来获得对抗性损失。将原始图像通过两个生成器, 最终获得与原始图像属于同一类别的合成图像来计算循环损失。

需要特别说明的是, 为进一步提高该循环生成对抗网络模型的严谨性和高效性, 在构建循环生成对抗网络模型时, 去除了包含在一般 cycleGAN 网络中的一致性损失。一致性损失鼓励映射保留输入图像和输出图像的颜色组成。实际上, SUV 数据和动态参数 Ki 数据在颜色组成之间的映射关系并不强。

具体的, 在训练生成循环生成对抗网络模型时, 获取不同静态 PET 图像

样本的原始 SUV 数据和原始动态参数数据；采用深度学习算法学习原始 SUV 数据和原始动态参数数据之间的映射关系；根据关系建立循环生成对抗网络模型。

在构建映射关系时，采用深度学习算法，计算原始 SUV 数据相应的第一合成动态参数数据和第一合成 SUV 数据，以及原始动态参数数据相应的第二合成 SUV 数据和第二合成动态参数数据；并根据上述数据计算对抗性损失和循环损失；根据对抗性损失和循环损失，设计生成器和鉴别器，即原始 SUV 数据和原始动态参数数据之间的映射关系。

在某些区域，SUV 数据的强度很高，而动态参数 Ki 反映的示踪剂流速可能很慢。因而，在计算对抗性损失和循环损失时，联合损失函数可通过 3 个损失函数共同确定，即主要的两个对抗性损失函数和一个循环损失函数，表示如下：

$$L_{total}(G_{SUV \rightarrow Ki}, G_{Ki \rightarrow SUV}, D_{SUV}, D_{Ki}) = L_{GAN}(G_{SUV \rightarrow Ki}, D_{Ki}, SUV, Ki) + L_{GAN}(G_{Ki \rightarrow SUV}, D_{SUV}, SUV, Ki) + \lambda_1 L_{cyc}(G_{SUV \rightarrow Ki}, G_{Ki \rightarrow SUV}) \quad (1)$$

其中， λ_1 为权重系数。

对抗损失 1： $L_{GAN}(G_{SUV \rightarrow Ki}, D_{Ki}, SUV, Ki)$ 是评判生成器 $G_{SUV \rightarrow Ki}$ 生成的 Ki 图像再输入到鉴别器 D_{Ki} 中去计算损失。

对抗损失 2：同理， $L_{GAN}(G_{Ki \rightarrow SUV}, D_{SUV}, SUV, Ki)$ 是评判生成器 $G_{Ki \rightarrow SUV}$ 生成的 SUV 图像再输入到鉴别器 D_{SUV} 中去计算损失。

循环损失 $L_{cyc}(G_{SUV \rightarrow Ki}, G_{Ki \rightarrow SUV})$ ：将 SUV 图像/Ki 图像经过生成器 $G_{SUV \rightarrow Ki}$ 和 $G_{Ki \rightarrow SUV}$ 最后再得到生成的 SUV 图像/Ki 图像，从而计算两张同类图像的损失。根据工程经验所得，循环损失的权重系数 λ_1 一般设置为 10。

由于循环生成对抗网络模型整体基于生成对抗网络的思想，故对抗性损失

为其核心损失函数之一，其目标函数为：

$$\min_{G_{SUV \rightarrow Ki}, G_{Ki \rightarrow SUV}} \max_{D_{SUV}, D_{Ki}} L_{GAN}(G_{SUV \rightarrow Ki}, D_{Ki}, SUV, Ki) + L_{GAN}(G_{Ki \rightarrow SUV}, D_{SUV}, SUV, Ki) \quad (2)$$

其中，对抗损失 1：

$$L_{GAN}(G_{SUV \rightarrow Ki}, D_{Ki}, SUV, Ki) = \mathbb{E}_{y \sim P_{Ki}}[\log D_{Ki}(y)] + \mathbb{E}_{x \sim P_{SUV}}[1 - \log(D_{Ki}(G_{SUV \rightarrow Ki}(x)))] \quad (3)$$

对抗损失 2：

$$L_{GAN}(G_{Ki \rightarrow SUV}, D_{SUV}, SUV, Ki) = \mathbb{E}_{x \sim P_{SUV}}[\log D_{SUV}(x)] + \mathbb{E}_{y \sim P_{Ki}}[1 - \log(D_{SUV}(G_{Ki \rightarrow SUV}(y)))] \quad (4)$$

为保证生成图像的峰值信噪比，我们使用 L2 损失函数作为对抗性损失：

$$\min_D V(D) = \frac{1}{N} \mathbb{E}_{\beta \sim P_{\beta}}[(D(\beta) - b)^2] + \frac{1}{N} \mathbb{E}_{\alpha \sim P_{\alpha}}[(D(G(\alpha)) - a)^2] \quad (5)$$

$$\min_G V(G) = \frac{1}{N} \mathbb{E}_{\alpha \sim P_{\alpha}}[(D(G(\alpha)) - c)^2] \quad (6)$$

其中， $\mathbb{E}(\cdot)$ 表示期望， α 和 β 表示输入和目标数据， N 为数据个数， P_* 表示数据分布， a ， b 和 c 表示人为设定的超参数，其中 $a=0$ ， $b=1$ ， $c=1$ 。

通过将对抗性损失和循环损失相互协同，使最终得到的动态参数 Ki 数据与真实动态参数 Ki 数据更为接近。例如 Ki 图像经 $G_{Ki \rightarrow SUV}$ 生成第二合成 SUV 图像后，再经 $G_{SUV \rightarrow Ki}$ 生成第二 Ki 图像，如此将生成的第二 Ki 图像与原始 Ki 图像进行损失计算，从而减少两者相差的距离。两图像若想要足够相似则需要两个生成器都训练得当。这样在降低损失时也是促进生成器的训练。

图 3 是根据一示例性实施例示出的循环生成对抗网络模型中生成器和鉴别器的结构示意图。

如图 3 所示，每个生成器包括三部分：用于从输入图像域中提取知识的编

码层（有 3 个卷积核组成，分别为 7×7 、 3×3 、 3×3 大小，依次为 32、64、128 通道数），用于构建目标图像的解码层（有 3 个卷积核组成，分别为 3×3 、 3×3 、 7×7 大小，依次为 64、32、1 通道数）和作为中间传输信息的残差块（9 个残差网络，每个网络均有两个 3×3 大小的卷积核，均为 128 通道数，卷积核首尾还进行了恒等映射的叠加，以确保增加网络深度的同时至少不会增加误差），用于将图像知识从输入域传输到目标域。每个鉴别器包括 5 个卷积核（均为 4×4 的大小，通道数依次为 32、64、128、256、1），鉴别器输入真实图像或合成图像，然后输出真或假的二进制值。

另外，还可以采用优化器对模型进行优化，指引损失函数的各个参数往正确的方向更新合适的大小，使得更新后的各个参数让损失函数（目标函数）值不断逼近全局最小，有效提高模型构建的效率和准确性。

例如，可采用 Adam 优化器进行优化。

Adam 优化器结合了 AdaGrad 和 RMSProp 两种优化算法的优点。对梯度的一阶矩估计（First Moment Estimation，即梯度的均值）和二阶矩估计（Second Moment Estimation，即梯度的未中心化的方差）进行综合考虑，计算出更新步长。Adam 优化具体实现过程：

1. 初始：学习率 lr
2. 初始：平滑常数（或者叫做衰减速率），分别用于平滑 m 和 v
3. 初始：可学习参数 θ_0
4. 初始： $m_0 = 0, v_0 = 0, t = 0$
5. while 没有停止训练 do
6. 训练次数更新： $t = t + 1$
7. 计算梯度： g_t （所有的可学习参数都有自己的梯度，因此表示的是全

部梯度的集合)

8. 累计梯度: $m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * g_t$ (每个导数对应一个 m , 因此 m 也是个集合)

9. 累计梯度的平方: $v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * (g_t)^2$ (每个导数对应一个 v , 因此 v 也是个集合)

$$10. \text{ 偏差纠正 } m: \hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - (\beta_1)^t}$$

$$11. \text{ 偏差纠正 } v: \hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - (\beta_2)^t}$$

$$12. \text{ 更新参数: } \theta_t = \theta_{t-1} - \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} l_r$$

13. end while

通过本方案的动态参数图像合成方法,使用深度学习网络模型直接从静态 PET 图像学习出动态参数图像,将原来长达 1 小时的参数成像缩短为不到 1 秒成像,大大缩短了患者的扫描时间,同时仍能为医生额外提供一份影像资料,反映示踪剂对患者体内组织的代谢速率,提高 PET 量化结果及临床诊断的准确性,实现动态参数图像的高效、高质量合成;其次,一般 cycleGAN 网络模型使用三种损失函数(对抗损失+循环损失+一致性损失),其中一致性损失鼓励映射保留输入图像和输出图像的颜色组成,而本方案使用改进的 cycleGAN 模型(去除了一致性损失函数)来使得生成出的参数图像与输入的静态 PET 图像有不一致的颜色组成,以此更贴合临床实际情况(在患者身体的某些区域, SUV 的强度很高,而 Ki 反映的示踪剂流速相对较慢)。

图 4 是根据一示例性实施例示出的本方案实验结果示意图。如图 4 所示, #1 代表健康对照, #2 代表肺癌, #3 代表肺良性肿瘤, 从上至下的 3 个图片分别代表原始 SUV 图像、合成 Ki (sKi) 图像和相应的真实 Ki 图像, 箭头指向参与者的病变。从图 4 可以看出, 本发明的方法可以有效地保证合成图像的

峰值信噪比和结构相似度，同时，对于肺癌病灶和高代谢区，动态参数 K_i 数据的合成图像可以达到与真实 K_i 图像相当的图像质量，病灶边界清晰完整。

实施例二：

图 5 是实施例二示出的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成系统的框图。该系统可执行上述任一所示的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法的全部或者部分步骤。该系统包括：

SUV 数据计算模块 10，用于针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据；

运算模块 20，用于采用预先训练的循环生成对抗网络模型对 SUV 数据进行迭代运算，计算相应的动态参数数据；

图像重建模块 30，用于根据动态参数数据重建动态参数图像。

实施例三：

本发明实施例三提供了一种电子设备，该电子设备可执行上述任一所示的基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法的全部或者部分步骤。该电子设备包括：

处理器；以及

与处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行如上述任一示例性实施例所述的方法，此处将不做详细阐述说明。

在本实施例中，还提供了一种存储介质，该存储介质为计算机可读存储介质，例如可以为包括指令的临时性和非临时性计算机可读存储介质。该存储介

质例如包括指令的存储器,上述指令可由服务器系统的处理器执行以完成上述基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法。

对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本发明中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本发明所示的这些实施例,而是要符合与本发明所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成方法，其特征在于，所述方法包括：

针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据；

采用预先训练的循环生成对抗网络模型对所述 SUV 数据进行迭代运算，计算相应的动态参数数据；

根据所述动态参数数据重建动态参数图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述循环生成对抗网络模型包括生成器和鉴别器；所述生成器根据对抗性损失和循环损失进行训练而成；所述鉴别器根据对抗性损失进行训练而成。

3、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述循环生成对抗网络模型包括第一生成器和第二生成器；所述第一生成器包含 SUV 数据与动态参数数据之间的映射关系，所述第二生成器包含动态参数数据与 SUV 数据之间的映射关系。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述循环生成对抗网络模型还包括第一鉴别器和第二鉴别器；所述第一鉴别器用于鉴别经所述第一生成器运算后的动态参数数据与原始动态参数数据之间的差异，所述第二鉴别器用于鉴别经所述第二生成器运算后的 SUV 数据与原始 SUV 数据之间的差异。

5、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述循环生成对抗网络模型的训练方法包括：

获取不同静态 PET 图像样本的原始 SUV 数据和原始动态参数数据；

采用深度学习算法学习所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系；

根据所述关系建立所述循环生成对抗网络模型。

6、如权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述采用深度学习算法学习所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系的步骤包括：

采用深度学习算法，计算所述原始 SUV 数据相应的第一合成动态参数数据和第一合成 SUV 数据，以及所述原始动态参数数据相应的第二合成 SUV 数据和第二合成动态参数数据；

根据上述数据计算对抗性损失和循环损失；

根据所述对抗性损失和所述循环损失，设计生成器和鉴别器，即所述原始 SUV 数据和所述原始动态参数数据之间的映射关系。

7、如权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述根据上述数据计算对抗性损失和循环损失的步骤包括：

根据所述原始 SUV 数据和所述第二合成 SUV 数据、所述原始动态参数数据和第一合成动态参数数据，计算对抗性损失；

根据所述原始 SUV 数据和所述第一合成 SUV 数据、所述原始动态参数数据和第二合成动态参数数据，计算循环损失。

8、一种基于静态 PET 图像的动态参数图像合成系统，其特征在于，所述系统包括：

SUV 数据计算模块，用于针对静态 PET 图像计算相应的 SUV 数据；

运算模块，用于采用预先训练的循环生成对抗网络模型对所述 SUV 数据进行迭代运算，计算相应的动态参数数据；

图像重建模块，用于根据所述动态参数数据重建动态参数图像。

9、一种图像合成设备，其特征在于，所述图像合成设备包括：

处理器；以及

与所述处理器通讯连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可读性指令，所述可读性指令被所述处理器执行时实现如权利要求 1-7 任一项所述的方法。

10、一种计算机可读性存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序在被执行时实现如权利要求 1-7 任一项所述的方法。

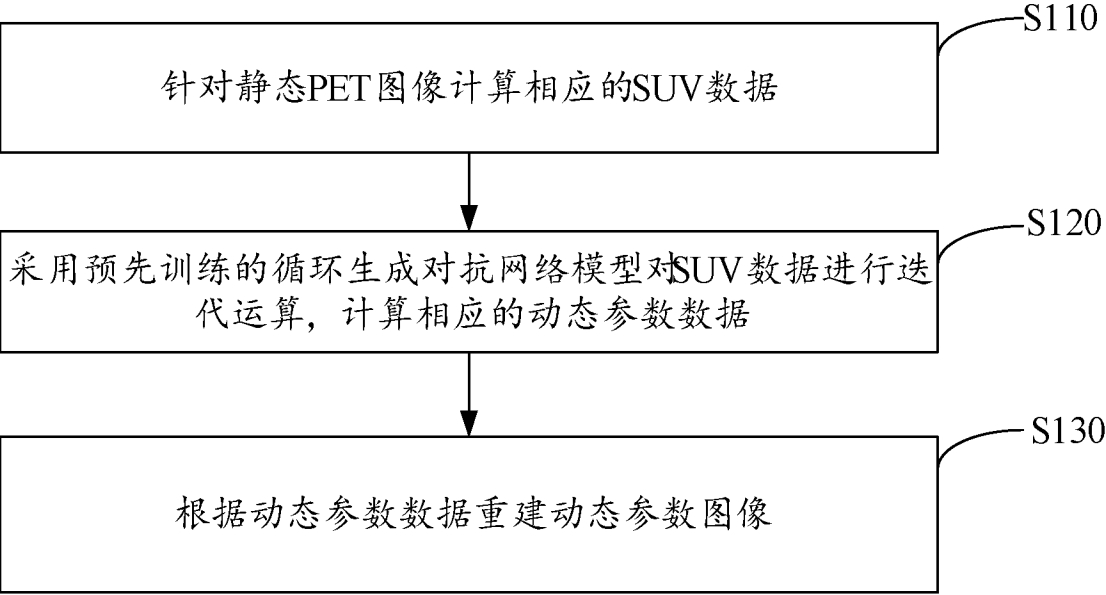


图 1

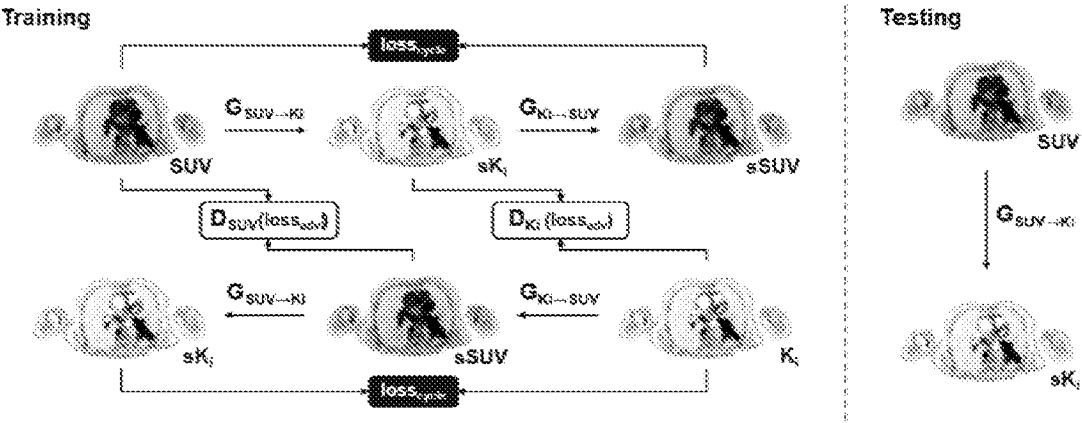


图 2

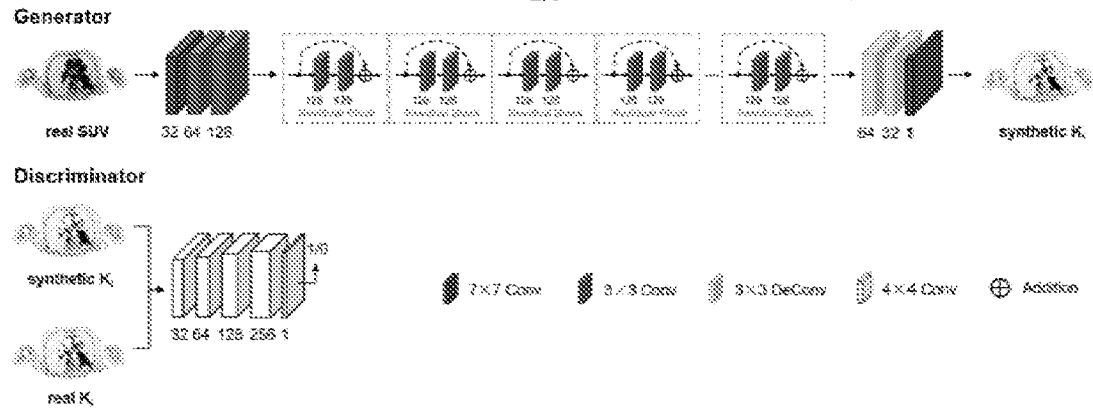


图 3

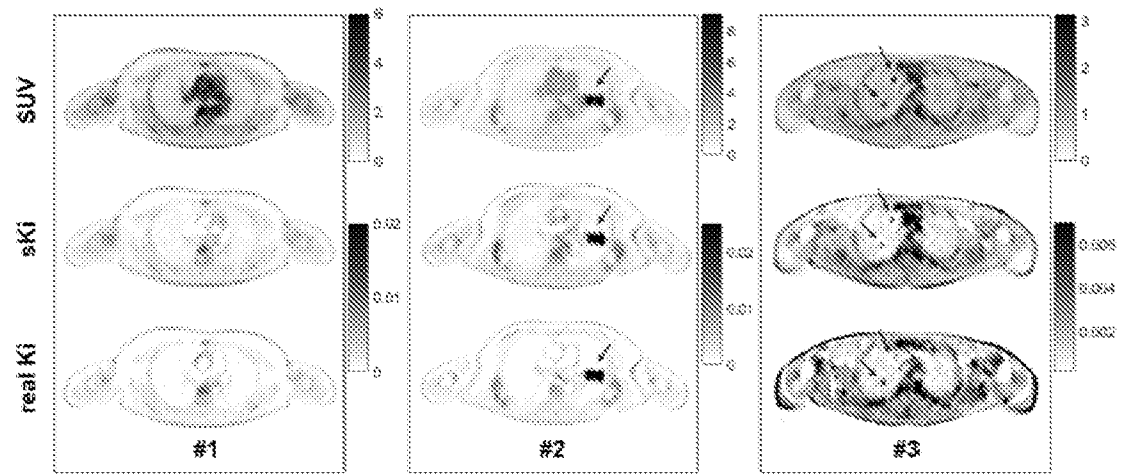


图 4

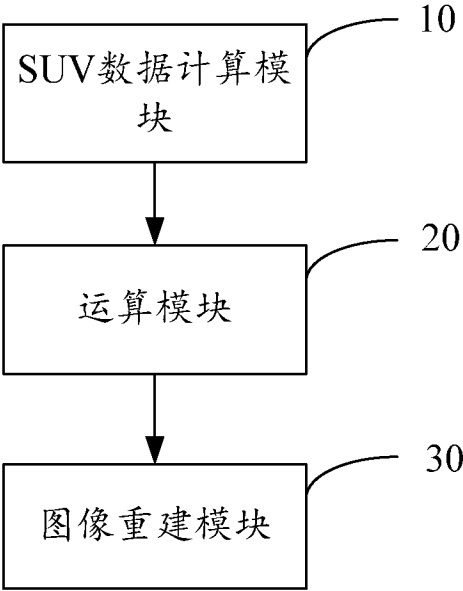


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/135956

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 11/00(2006.01)i; G06N 3/04(2006.01)i; G06N 3/08(2006.01)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)

G06T; G06N; A61B

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI; 深圳先进技术研究, 胡战利, 王海燕, 郑海荣, 梁栋, 刘新, 杨永峰, 动态, 对抗, 模型, 动力学, 参数, 迭代, 循环, PET, SPECT, SUV, dynamic, parameter, cycle, GAN, kinetic, model, iteration

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 110298897 A (SHANGHAI UNITED IMAGING HEALTHCARE CO., LTD.) 01 October 2019 (2019-10-01) description, paragraphs [0059]-[0084] and [0144], and figures 4-5	1-10
Y	CN 110070935 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 30 July 2019 (2019-07-30) description, paragraphs [0023]-[0024] and [0027]	1-10
A	CN 111770760 A (REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 13 October 2020 (2020-10-13) entire document	1-10
A	CN 108292443 A (KONINKL PHILIPS NV) 17 July 2018 (2018-07-17) entire document	1-10
A	WO 2021063476 A1 (TOYOTA MOTOR EUROPE et al.) 08 April 2021 (2021-04-08) 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

“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

16 May 2022

Date of mailing of the international search report

26 May 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/135956

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110298897	A	01 October 2019	US	2020320753	A1	08 October 2020
				US	2021272340	A1	02 September 2021
				US	11010938	B2	18 May 2021
CN	110070935	A	30 July 2019	CN	110070935	B	30 April 2021
CN	111770760	A	13 October 2020	WO	2019161220	A1	22 August 2019
				US	2021022697	A1	28 January 2021
CN	108292443	A	17 July 2018	WO	2017085587	A1	26 May 2017
				EP	3378041	A1	26 September 2018
				US	2020258271	A1	13 August 2020
				EP	3378041	B1	15 January 2020
				US	10937208	B2	02 March 2021
WO	2021063476	A1	08 April 2021	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/135956

A. 主题的分类 G06T 11/00(2006.01)i; G06N 3/04(2006.01)i; G06N 3/08(2006.01)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) G06T; G06N; A61B 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)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI; 深圳先进技术研究院, 胡战利, 王海燕, 郑海荣, 梁栋, 刘新, 杨永峰, 动态, 对抗, 模型, 动力学, 参数, 迭代, 循环, PET, SPECT, SUV, dynamic, parameter, cycle, GAN, kinetic, model, iteration																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 110298897 A (上海联影医疗科技有限公司) 2019年10月1日 (2019 - 10 - 01) 说明书第[0059]-[0084], [0144]段、图4-5</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 110070935 A (中国科学院自动化研究所) 2019年7月30日 (2019 - 07 - 30) 说明书第[0023]-[0024], [0027]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111770760 A (加利福尼亚大学董事会) 2020年10月13日 (2020 - 10 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108292443 A (皇家飞利浦有限公司) 2018年7月17日 (2018 - 07 - 17) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2021063476 A1 (TOYOTA MOTOR EUROPE 等) 2021年4月8日 (2021 - 04 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 110298897 A (上海联影医疗科技有限公司) 2019年10月1日 (2019 - 10 - 01) 说明书第[0059]-[0084], [0144]段、图4-5	1-10	Y	CN 110070935 A (中国科学院自动化研究所) 2019年7月30日 (2019 - 07 - 30) 说明书第[0023]-[0024], [0027]段	1-10	A	CN 111770760 A (加利福尼亚大学董事会) 2020年10月13日 (2020 - 10 - 13) 全文	1-10	A	CN 108292443 A (皇家飞利浦有限公司) 2018年7月17日 (2018 - 07 - 17) 全文	1-10	A	WO 2021063476 A1 (TOYOTA MOTOR EUROPE 等) 2021年4月8日 (2021 - 04 - 08) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	CN 110298897 A (上海联影医疗科技有限公司) 2019年10月1日 (2019 - 10 - 01) 说明书第[0059]-[0084], [0144]段、图4-5	1-10																		
Y	CN 110070935 A (中国科学院自动化研究所) 2019年7月30日 (2019 - 07 - 30) 说明书第[0023]-[0024], [0027]段	1-10																		
A	CN 111770760 A (加利福尼亚大学董事会) 2020年10月13日 (2020 - 10 - 13) 全文	1-10																		
A	CN 108292443 A (皇家飞利浦有限公司) 2018年7月17日 (2018 - 07 - 17) 全文	1-10																		
A	WO 2021063476 A1 (TOYOTA MOTOR EUROPE 等) 2021年4月8日 (2021 - 04 - 08) 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 “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 2022年5月16日		国际检索报告邮寄日期 2022年5月26日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 宋含 电话号码 86-(10)-53962638																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/135956

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	110298897	A	2019年10月1日	US	2020320753	A1	2020年10月8日
				US	2021272340	A1	2021年9月2日
				US	11010938	B2	2021年5月18日
CN	110070935	A	2019年7月30日	CN	110070935	B	2021年4月30日
CN	111770760	A	2020年10月13日	WO	2019161220	A1	2019年8月22日
				US	2021022697	A1	2021年1月28日
CN	108292443	A	2018年7月17日	WO	2017085587	A1	2017年5月26日
				EP	3378041	A1	2018年9月26日
				US	2020258271	A1	2020年8月13日
				EP	3378041	B1	2020年1月15日
				US	10937208	B2	2021年3月2日
WO	2021063476	A1	2021年4月8日	无			