

(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
2020年6月18日 (18.06.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/118829 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 3/40 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/071109
- (22) 国际申请日: 2019年1月10日 (10.01.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811519205.5 2018年12月12日 (12.12.2018) CN
- (71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (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)。 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)。 汪影 (WANG, Ying); 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)。 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)。

(74) 代理人: 深圳智趣知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN IPLUS INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市福田区

(54) Title: DECISION-TREE-BASED PET IMAGE SUPER-RESOLUTION RECONSTRUCTION METHOD, APPARATUS AND DEVICE, AND MEDIUM

(54) 发明名称: 基于决策树的PET图像超分辨率重建方法、装置、设备及介质

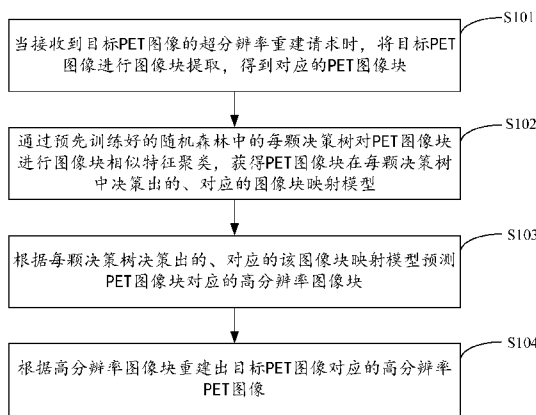


图 1

- S101 When a super-resolution reconstruction request of a target PET image is received, perform image block extraction on the target PET image to obtain a corresponding PET image block
- S102 Perform image block similar-feature clustering on the PET image block by means of each decision tree in a pre-trained random forest to obtain a corresponding image block mapping model, decided in each decision tree, of the PET image block
- S103 Predict, according to the corresponding image block mapping model decided by each decision tree, a high-resolution image block corresponding to the PET image block
- S104 Reconstruct, according to the high-resolution image block, a high-resolution PET image corresponding to the target PET image

(57) Abstract: Provided are a decision-tree-based PET image super-resolution reconstruction method, apparatus and device, and a medium. The method comprises: performing image block extraction on a target PET image to be subjected to super-resolution reconstruction to obtain a corresponding PET image block; performing image block similar-feature clustering on the PET image block by means of each decision tree in a random forest to obtain a corresponding image block mapping matrix, decided in each decision tree, of the PET image block; predicting, according to the corresponding image block mapping matrix decided by each decision tree, a high-resolution image block corresponding to the PET image block; and reconstructing, according to the high-resolution image block, a high-resolution PET image corresponding to the target PET image. Therefore, the precision of super-resolution reconstruction of a target PET image is improved, and the resolution and definition of the reconstructed high-resolution PET image are also improved,

梅林街道梅都社区梅林路48号理想公馆
2427, Guangdong 518000 (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, 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))。

thereby improving the accuracy and precision of clinical diagnosis and treatment based on a PET image.

(57) 摘要: 一种基于决策树的PET图像超分辨重建方法、装置、设备及介质, 该方法包括: 对待进行超分辨率重建的目标PET图像进行图像块提取, 得到对应的PET图像块, 通过随机森林中的每棵决策树对PET图像块进行图像块相似特征聚类, 获得PET图像块在每棵决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵, 根据每棵决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测PET图像块对应的高分辨率图像块, 根据高分辨率图像块重建出目标PET图像对应的高分辨率PET图像, 从而提高了对目标PET图像进行超分辨率重建的精确度, 同时提高了重建得到的高分辨率PET图像的分辨率和清晰度, 进而提高了基于PET图像的临床诊疗的准确性和精确度。

基于决策树的 PET 图像超分辨率重建方法、装置、设备及介质

技术领域

本发明属于医学成像技术领域，尤其涉及一种基于决策树的 PET 图像超分辨率重建方法、装置、设备及介质。

背景技术

正电子发射断层成像(Positron Emission Tomography, 简称 PET)是一种发射型成像技术(Emission Tomography, 简称 ET)，它通过把放射性药物注入体内的方法来显示不同组织的新陈代谢情况。PET 技术是继计算机断层成像(Computed Tomography, 简称 CT)和磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, 简称 MRI)之后应用于临床的一种新型影像技术，其临床价值是毋庸置疑的。高质量的 PET 图像可以提高医生的诊断精确度，而衡量图像质量的一个重要指标是图像分辨率，因此，在图像处理领域里，提高图像分辨率成了业界一个重要目标。

图像分辨率描述的是图像包含的像素点数，更多的像素意味着图像包含的信息量更大，图像可以承载更多的场景细节，这样的图像有着更高的应用价值。在 20 世纪 60 年代，超分辨率(Super-Resolution)重建技术的概念首次出现，这些技术主张从一幅图像或者序列图像帧中恢复高分辨率图像，在 Tasi 和 Huang 的积极推动下得到迅速而广泛的发展。在医学成像领域，例如 PET 成像，超分辨率重建算法可以弥补 PET 物理成像设备的局限，增强 PET 图像细节信息，提高医学影像的质量，从而辅助医生更好的对病情进行检测和分析，以做出正确的诊断，具有广泛的重要的应用价值。

然而，在现有的超分辨率重建算法中，基于重建的方法是通过加入先验知识来得到高分辨率图像，这类方法重建得到的图像分辨率提高的不太明显，特

别是针对特征结构不一致的 PET 图像，而基于学习的方法所需样本集过大，重建耗时较长，还需人工手动分割聚类图像样本集，聚类特征也不完全一致，因此，重建得到的 PET 图像的效果也不太理想。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于决策树的 PET 图像超分辨率重建方法、装置、设备及介质，旨在解决由于现有技术无法提供一种有效的 PET 图像超分辨率重建方法，导致重建得到的 PET 图像的图像质量不佳的问题。

一方面，本发明提供了一种基于决策树的 PET 图像超分辨率重建方法，所述方法包括下述步骤：

当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，将所述目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块；

通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对所述 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得所述 PET 图像块在所述每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，其中，所述随机森林由多颗独立的决策树组成；

根据所述每颗决策树决策出的、对应的所述图像块映射矩阵预测所述 PET 图像块对应的高分辨率图像块；

根据所述高分辨率图像块重建出所述目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

另一方面，本发明提供了一种基于决策树的 PET 图像超分辨率重建装置，所述装置包括：

图像块提取单元，用于当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，将所述目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块；

映射矩阵获得单元，用于通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对所述 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得所述 PET 图像块在所述每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，其中，所述随机森林由多颗独立的决

策树组成；

图像块预测单元，用于根据所述每颗决策树决策出的、对应的所述图像块映射矩阵预测所述 PET 图像块对应的高分辨率图像块；以及

图像重建单元，用于根据所述高分辨率图像块重建出所述目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

另一方面，本发明还提供了一种图像处理设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如上述基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法所述的步骤。

另一方面，本发明还提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上述基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法所述的步骤。

本发明对待进行超分辨率重建的目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块，通过随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块，根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像，从而提高了对目标 PET 图像进行超分辨率重建的精确度，同时提高了重建得到的高分辨率 PET 图像的分辨率和清晰度，进而提高了基于 PET 图像的临床诊疗的准确性。

附图说明

图 1 是本发明实施例一提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法的实现流程图；

图 2 是本发明实施例二提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法的实现流程图；

图 3 是本发明实施例三提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的结构示意图；

图 4 是本发明实施例四提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的结构示意图；以及

图 5 是本发明实施例五提供的图像处理设备的结构示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明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仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

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 示出了本发明实施例一提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法的实现流程，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分，详述如下：

在步骤 S101 中，当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，将目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块。

本发明实施例适用于医学图像处理平台、系统或设备，例如个人计算机、服务器等。目标 PET 图像可以是通过 PET 成像设备现场采集的或者从预先建立的医学资料库中下载的，PET 成像设备采集的图像或多或少都会出现噪声，影响目标 PET 图像质量，而网络下载难免会对原始 PET 图像进行压缩以缩小图像体积，从而造成目标 PET 图像的图像分辨率降低，为了不影响诊治，需要对目标 PET 图像进行超分辨率重建。当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，根据目标 PET 图像的图像尺寸和预设的图像块数量，对 PET 图像进行图像块提取，得到对应的数量个 PET 图像块。

在步骤 S102 中，通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的

图像块映射矩阵。

在本发明实施例中，将 PET 图像块分别输入到预先训练好的随机森林的每颗决策树中进行图像块相似特征聚类，每颗决策树根据 PET 图像块决策出对应的图像块映射矩阵，即从决策树的根节点开始，将 PET 图像块递归地分配到决策树中的节点，直到到达该决策树的叶子节点，该叶子节点对应的图像块映射矩阵即为 PET 图像块在该决策树中决策出的图像块映射矩阵。其中，随机森林由多颗独立的决策树组成，决策树由各节点组成，包括根节点、非叶子节点、以及叶子节点，非叶子节点又包括左、右子节点。

在本发明实施例中，优选地，将随机森林中的决策树的数量设置为 10，从而提高随机森林决策结果的准确性。

在步骤 S103 中，根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块。

在本发明实施例中，根据预设的叶子节点映射模型 $m_l(y) = W^l \bullet \phi(y)$ 和每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵对 PET 图像块进行预测，获得 PET 图像块在每颗决策树中预测得到的、对应的预测结果（该预测结果为初始高分辨率图像块），再根据模型 $\hat{x} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T m_{l(t)}(y)$ 综合所有决策树的预测结果，即对所有决策树的预测结果取平均，得到最终的高分辨率图像块 $\hat{x}$ ，其中， W^l 为 PET 图像块分类到决策树中第 l 个叶子节点的图像块映射矩阵， $\phi(y) = y$ 为预设的基函数， y 为 PET 图像块， T 为随机森林中决策树的数量， $l(t)$ 为 PET 图像块 y 被分裂到第 t 棵决策树的第 l 个叶子节点， $\hat{x}$ 是预测得到的高分辨率图像块。

在步骤 S104 中，根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

在本发明实施例中，将预测得到的所有高分辨率图像块 $\hat{x}$ 进行堆叠，使得图像维度变大，进而重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

在本发明实施例中，对待进行超分辨率重建的目标 PET 图像进行图像块提

取，得到对应的 PET 图像块，通过随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块，根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像，从而提高了对目标 PET 图像进行超分辨率重建的精确度，同时提高了重建得到的高分辨率 PET 图像的分辨率和清晰度，进而提高了基于 PET 图像的临床诊疗的准确性。

实施例二：

图 2 示出了本发明实施例二提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法的实现流程，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分，详述如下：

在步骤 S201 中，根据预设的训练样本和预设的分裂函数从决策树的根节点开始进行递归分裂，直至分裂的深度达到预设的决策树深度阈值时，结束决策树的构建，以实现决策树的图像块相似特征聚类训练。

在本发明实施例中，从决策树的第一个节点（即根节点）开始，根据预设的分裂函数的分裂结果将训练样本中满足左分裂结果的样本分配到左子节点中，满足右分裂结果的样本分配到右子节点中，然后再分别对左右子节点对应的左右子节点样本按照分裂函数的分裂结果进行再次分裂，依此依次进行递归分裂，直至子节点对应的子训练样本不可分，即产生叶子节点或者分裂的深度达到预设的决策树深度阈值时，决策树就停止生长，即结束决策树的构建，同时递归分裂的左右子节点即分裂聚类所有训练样本，也即完成了决策树的图像块相似特征聚类训练。随机森林中所有决策树训练过程互相独立，从而提高了由决策树组成的随机森林模型的稳定性。随机森林中决策树的训练样本采用重采样方式进行抽取，即决策树存在重复样本的情况，所有决策树的训练样本的数量是相同的，且训练样本是由高分辨率训练图像块和与该高分辨率训练图像块对应的低分辨率训练图像块组成的训练图像块对组成的，从而提高了决策树的训练时间。

在根据预设的训练样本和预设的分裂函数从决策树的根节点开始进行递归分裂之前, 优选地, 通过预设的图像退化公式将 PET 高分辨率训练图像进行退化处理, 得到对应的 PET 低分辨率训练图像, 对 PET 高分辨率训练图像和 PET 低分辨率训练图像分别进行图像块提取, 得到对应的高分辨率训练图像块和低分辨率训练图像块, 将高分辨率训练图像块和与该高分辨率训练图像块对应的低分辨率训练图像块组成的训练图像块对集合设置为训练样本, 从而提高后续决策树预测结果的准确性。

在本发明实施例中, 优选地, 分裂函数为 $\sigma(y, \theta) = \begin{cases} 0 & \text{if } r_{\theta}(y) < 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$, 分裂

函数值为 0 的低分辨率训练图像块 y 被分裂到左子节点, 低分辨率训练图像块对应的高分辨率训练图像块也被分裂到左子节点, 表示为 $X_{\{H,L\}}^{Le} = \{x_{\{H,L\}} : \sigma(y, \theta) = 0\}$, 反之被分裂到右子节点, 表示为 $X_{\{H,L\}}^{Ri} = \{x_{\{H,L\}} : \sigma(y, \theta) = 1\}$, 其中, $r_{\theta}(y) = y[\theta] - \theta_{th}$, θ 是训练样本中低分辨率训练图像块 y 的特征, $r_{\theta}(y)$ 是特征 θ 的响应函数, $y[\theta]$ 是 y 的特征矩阵的一维向量, θ_{th} 是预设阈值, $\{H,L\}$ 表示为高分辨率训练图像块 H 和与其对应的低分辨率训练图像块 L 组成的训练图像块对, 从而提高训练样本中聚类的图像块特征的相似性。

在根据预设的训练样本和预设的分裂函数从决策树的根节点开始进行递归分裂时, 优选地, 通过下述步骤实现递归分裂:

1) 对决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取, 直至提取到的图像块特征满足预设的特征选取公式, 选取图像块特征作为节点分裂特征, 其中, 当前节点训练样本属于训练样本。

在本发明实施例中, 当需要对决策树的当前节点进行分裂时, 先对当前节点对应的当前节点训练样本的图像块特征进行遍历提取, 直至提取到的图像块特征满足预设的特征选取公式, 再选取该图像块特征作为节点分裂特征, 其中,

当前节点训练样本属于训练样本。

在本发明实施例中，优选地，特征选取公式为 $Q(\sigma, \theta, X, Y) = \sum_{C \in \{Le, Ri\}} |X^C| \bullet E(X^C, Y^C)$ ，以根据该特征选取公式判断提取到的特征 θ

是不是最优特征，即根据该特征 θ 使得计算误差最小，其中，

$$E(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\|x^n - m(y^n)\|_2^2 + k \bullet \|y^n - \bar{y}\|_2^2), \quad \bar{y} \text{ 是第 } n \text{ 个训练样本 } y^n \text{ 的均值 (即同一}$$

个空间位置上的像素均值)， k 是预先设置的超参数， N 是训练样本的数量， X^C 、 Y^C 分裂到决策树中子节点的高分辨率训练图像块和低分辨率训练图像块， $m(y^n)$ 是决策树对 y^n 进行预测的预测结果， x^n 是待重建的训练样本 y^n 对应的高分辨率图像块， Le 为左子节点， Ri 为右子节点。

2) 根据节点分裂特征和分裂函数对当前节点训练样本进行左、右子节点分裂。

在本发明实施例中，分裂函数根据选取的、最优的节点分裂特征对当前节点训练样本进行左、右子节点分裂。

通过上述步骤 1) 和 2) 实现决策树当前节点的分裂，从而提高训练样本中聚类的图像块特征的相似性。

在对决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取的步骤之前，优选地，当当前节点所在的深度达到预设的决策树深度阈值，或者当前节点训练样本中低分辨率训练图像块的数量小于预设的图像块数量阈值（例如，高、低分辨率图像块各一块）时，停止对当前节点训练样本进行左右子节点分裂，将当前节点设置为决策树的叶子节点，并通过当前节点训练样本学习图像块映射矩阵，从而降低决策树过拟合的概率。

在本发明实施例中，优选地，将决策树深度阈值设置为 15，从而降低决策树过拟合的概率。

在将当前节点设置为决策树的叶子节点，并通过当前节点训练样本学习图像块映射矩阵时，优选地，在决策树的每一个叶子节点，根据叶子节点对应的

当前节点训练样本,使用公式 $W^{l'} = (\phi(Y)^T \phi(Y) + \lambda I)^{-1} \phi(Y)^T \bullet Y$ 学习叶子节点对应的图像块映射矩阵,其中, $W^{l'}$ 为叶子节点对应的图像块映射矩阵, I 是预设的单位矩阵, λ 是预设的正则化参数(例如,0.01), $\phi(Y)$ 为预设的基函数, Y 为低分辨率训练图像块,从而使得学习到的图像块映射矩阵能更准确的反映高低分辨率训练图像块之间的映射关系。

在步骤 S202 中,当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时,将目标 PET 图像进行图像块提取,得到对应的 PET 图像块。

在步骤 S203 中,通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类,获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵。

在步骤 S204 中,根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块。

在步骤 S205 中,根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

在本发明实施例中,步骤 S202-步骤 S205 的具体实施方式可参考实施例一的步骤 S101-步骤 S104 的描述,在此不再赘述。

在本发明实施例中,首先,根据预设的训练样本和预设的分裂函数从决策树的根节点开始进行递归分裂,直至分裂的深度达到预设的决策树深度阈值,以完成决策树的构建,实现决策树的图像块相似特征聚类训练,再根据训练好的随机森林对目标 PET 图像进行超分辨率重建,得到对应的高分辨率 PET 图像,从而提高了决策树的训练时间,以及提高了由决策树组成的随机森林模型的稳定性,进而提高了重建得到的高分辨率 PET 图像的分辨率和清晰度。

实施例三:

图 3 示出了本发明实施例三提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的结构,为了便于说明,仅示出了与本发明实施例相关的部分,其中包括:

图像块提取单元 31,用于当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时,

将目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块；

映射矩阵获得单元 32，用于通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵；

图像块预测单元 33，用于根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块；以及

图像重建单元 34，用于根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

在本发明实施例中，基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的各单元可由相应的硬件或软件单元实现，各单元可以为独立的软、硬件单元，也可以集成为一个软、硬件单元，在此不用以限制本发明。具体地，各单元的实施方式可参考前述实施例一的描述，在此不再赘述。

实施例四：

图 4 示出了本发明实施例四提供的基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的结构，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分，其中包括：

决策树构建单元 41，用于根据预设的训练样本和预设的分裂函数从决策树的根节点开始进行递归分裂，直至分裂的深度达到预设的决策树深度阈值时，结束决策树的构建，以实现决策树的图像块相似特征聚类训练；

图像块提取单元 42，用于当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，将目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块；

映射矩阵获得单元 43，用于通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵；

图像块预测单元 44，用于根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块；以及

图像重建单元 45，用于根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高

分辨率 PET 图像。

其中，优选地，决策树构建单元 41 包括：

特征选取单元 411，用于对决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取，直至提取到的图像块特征满足预设的特征选取公式，选取图像块特征作为节点分裂特征，当前节点训练样本属于训练样本；

节点分裂单元 412，用于根据节点分裂特征和分裂函数对当前节点训练样本进行左、右子节点分裂；

节点分裂停止单元 413，用于当当前节点所在的深度达到决策树深度阈值，或者当前节点训练样本中低分辨率训练图像块的数量小于预设的图像块数量阈值时，停止对当前节点训练样本进行左右子节点分裂；以及

映射矩阵学习单元 414，用于将当前节点设置为决策树的叶子节点，并通过当前节点训练样本学习图像块映射矩阵。

在本发明实施例中，基于决策树的 PET 图像超分辨重建装置的各单元可由相应的硬件或软件单元实现，各单元可以为独立的软、硬件单元，也可以集成为一个软、硬件单元，在此不用以限制本发明。具体地，各单元的实施方式可参考前述方法实施例的描述，在此不再赘述。

实施例五：

图 5 示出了本发明实施例五提供的图像处理设备的结构，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分。

本发明实施例的图像处理设备 5 包括处理器 50、存储器 51 以及存储在存储器 51 中并可在处理器 50 上运行的计算机程序 52。该处理器 50 执行计算机程序 52 时实现上述基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法实施例中的步骤，例如图 1 所示的步骤 S101 至 S104。或者，处理器 50 执行计算机程序 52 时实现上述各装置实施例中各单元的功能，例如图 3 所示单元 31 至 34 的功能。

在本发明实施例中，对待进行超分辨率重建的目标 PET 图像进行图像块提

取，得到对应的 PET 图像块，通过随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块，根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像，从而提高了对目标 PET 图像进行超分辨率重建的精确度，同时提高了重建得到的高分辨率 PET 图像的分辨率和清晰度，进而提高了基于 PET 图像的临床诊疗的准确性。

本发明实施例的图像处理设备可以为个人计算机、服务器。该图像处理设备 5 中处理器 50 执行计算机程序 52 时实现基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法时实现的步骤可参考前述方法实施例的描述，在此不再赘述。

实施例六：

在本发明实施例中，提供了一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述基于决策树的 PET 图像超分辨重建方法实施例中的步骤，例如，图 1 所示的步骤 S101 至 S104。或者，该计算机程序被处理器执行时实现上述各装置实施例中各单元的功能，例如图 3 所示单元 31 至 34 的功能。

在本发明实施例中，对待进行超分辨率重建的目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块，通过随机森林中的每颗决策树对 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得 PET 图像块在每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，根据每颗决策树决策出的、对应的图像块映射矩阵预测 PET 图像块对应的高分辨率图像块，根据高分辨率图像块重建出目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像，从而提高了对目标 PET 图像进行超分辨率重建的精确度，同时提高了重建得到的高分辨率 PET 图像的分辨率和清晰度，进而提高了基于 PET 图像的临床诊疗的准确性。

本发明实施例的计算机可读存储介质可以包括能够携带计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质，例如，ROM/RAM、磁盘、光盘、闪存等存储器。

以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种基于决策树的 PET 图像超分辨率重建方法，其特征在于，所述方法包括下述步骤：

当接收到目标 PET 图像的超分辨率重建请求时，将所述目标 PET 图像进行图像块提取，得到对应的 PET 图像块；

通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对所述 PET 图像块进行图像块相似特征聚类，获得所述 PET 图像块在所述每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，其中，所述随机森林由多颗独立的决策树组成；

根据所述每颗决策树决策出的、对应的所述图像块映射矩阵预测所述 PET 图像块对应的高分辨率图像块；

根据所述高分辨率图像块重建出所述目标 PET 图像对应的高分辨率 PET 图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在将所述目标 PET 图像进行图像块提取的步骤之前，所述方法还包括：

根据预设的训练样本和预设的分裂函数从所述决策树的根节点开始进行递归分裂，直至所述分裂的深度达到预设的决策树深度阈值时，结束所述决策树的构建，以实现所述决策树的图像块相似特征聚类训练，其中，所述训练样本由高分辨率训练图像块和与所述高分辨率训练图像块对应的低分辨率训练图像块组成。

3、如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，根据预设的训练样本和预设的分裂函数从所述决策树的根节点开始进行递归分裂的步骤，包括：

对所述决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取，直至提取到的图像块特征满足预设的特征选取公式，选取所述图像块特征作为节点分裂特征，所述当前节点训练样本属于所述训练样本；

根据所述节点分裂特征和所述分裂函数对所述当前节点训练样本进行左、

右子节点分裂。

4、如权利要求3所述的方法，其特征在于，在对所述决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取的步骤之前，所述方法还包括：

当所述当前节点所在的深度达到预设的决策树深度阈值，或者所述当前节点训练样本中低分辨率训练图像块的数量小于预设的图像块数量阈值时，停止对所述当前节点训练样本进行左右子节点分裂；

将所述当前节点设置为所述决策树的叶子节点，并通过所述当前节点训练样本学习所述图像块映射矩阵。

5、一种基于决策树的PET图像超分辨率重建装置，其特征在于，所述装置包括：

图像块提取单元，用于当接收到目标PET图像的超分辨率重建请求时，将所述目标PET图像进行图像块提取，得到对应的PET图像块；

映射矩阵获得单元，用于通过预先训练好的随机森林中的每颗决策树对所述PET图像块进行图像块相似特征聚类，获得所述PET图像块在所述每颗决策树中决策出的、对应的图像块映射矩阵，其中，所述随机森林由多颗独立的决策树组成；

图像块预测单元，用于根据所述每颗决策树决策出的、对应的所述图像块映射矩阵预测所述PET图像块对应的高分辨率图像块；以及

图像重建单元，用于根据所述高分辨率图像块重建出所述目标PET图像对应的高分辨率PET图像。

6、如权利要求5所述的装置，其特征在于，所述装置还包括：

决策树构建单元，用于根据预设的训练样本和预设的分裂函数从所述决策树的根节点开始进行递归分裂，直至所述分裂的深度达到预设的决策树深度阈值时，结束所述决策树的构建，以实现所述决策树的图像块相似特征聚类训练，其中，所述训练样本由高分辨率训练图像块和与所述高分辨率训练图像块对应

的低分辨率训练图像块组成。

7、如权利要求 6 所述的装置，其特征在于，所述决策树构建单元包括：

特征选取单元，用于对所述决策树待分裂的当前节点对应的当前节点训练样本中的低分辨率训练图像块进行图像块特征提取，直至提取到的图像块特征满足预设的特征选取公式，选取所述图像块特征作为节点分裂特征，所述当前节点训练样本属于所述训练样本；以及

节点分裂单元，用于根据所述节点分裂特征和所述分裂函数对所述当前节点训练样本进行左、右子节点分裂。

8、如权利要求 5 所述的装置，其特征在于，所述装置还包括：

节点分裂停止单元，用于当所述当前节点所在的深度达到所述决策树深度阈值，或者所述当前节点训练样本中低分辨率训练图像块的数量小于预设的图像块数量阈值时，停止对所述当前节点训练样本进行左右子节点分裂；以及

映射矩阵学习单元，用于将所述当前节点设置为所述决策树的叶子节点，并通过所述当前节点训练样本学习所述图像块映射矩阵。

9、一种图像处理设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述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如权利要求 1 至 4 任一项所述方法的步骤。

10、一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 4 任一项所述方法的步骤。

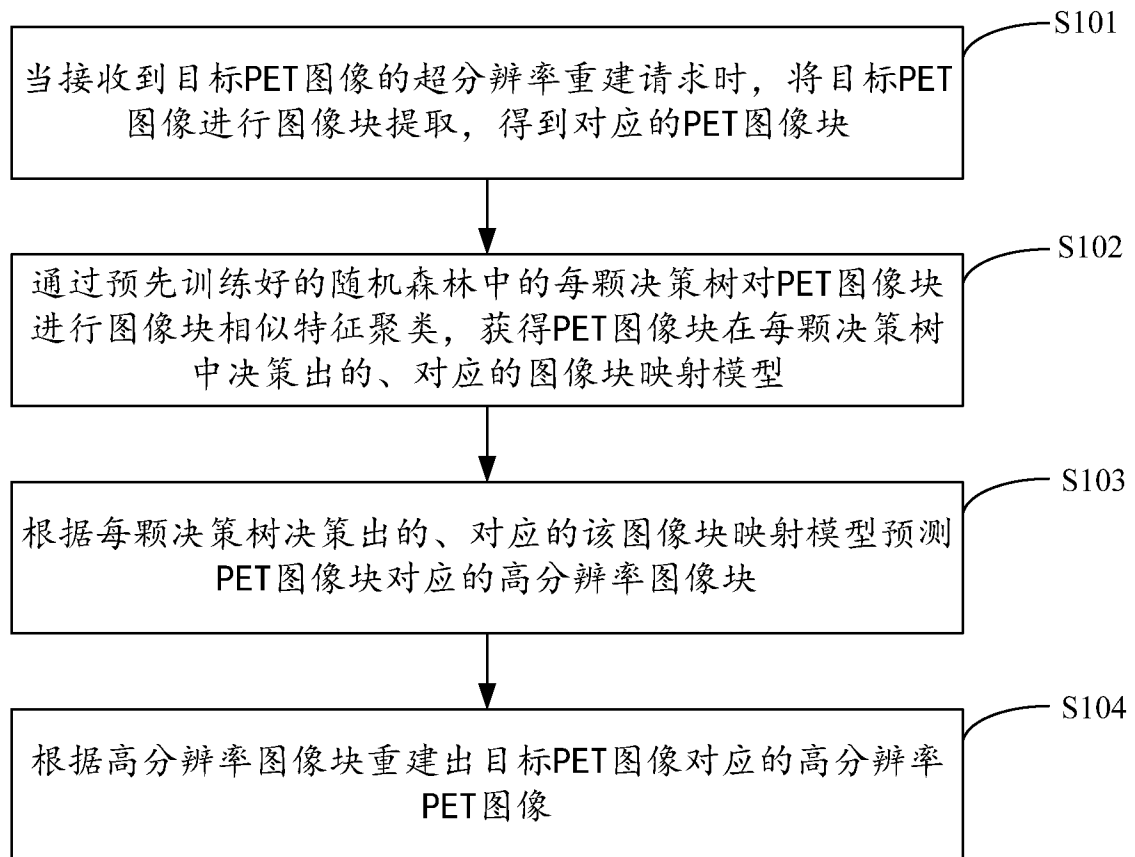


图 1

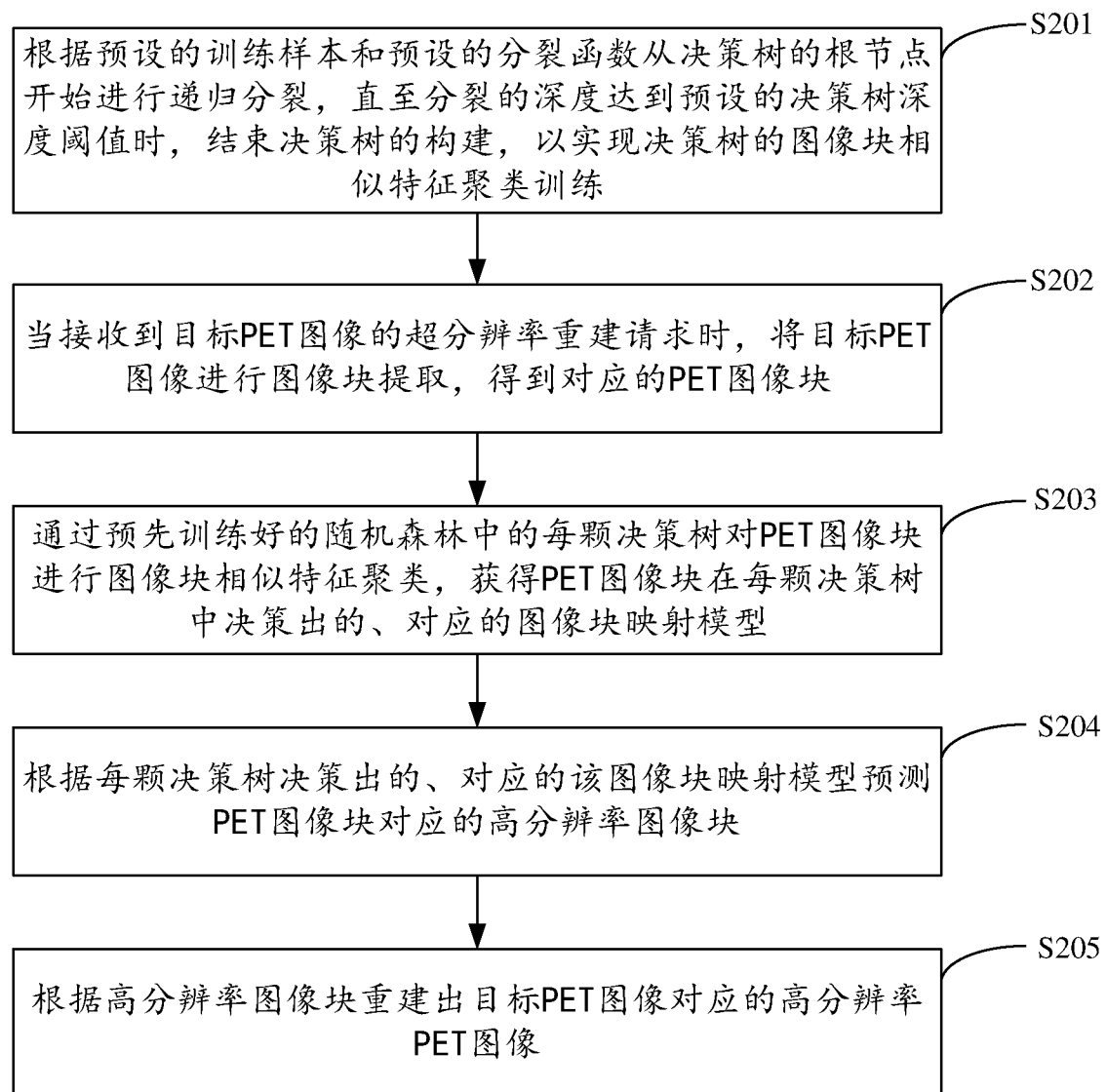


图 2

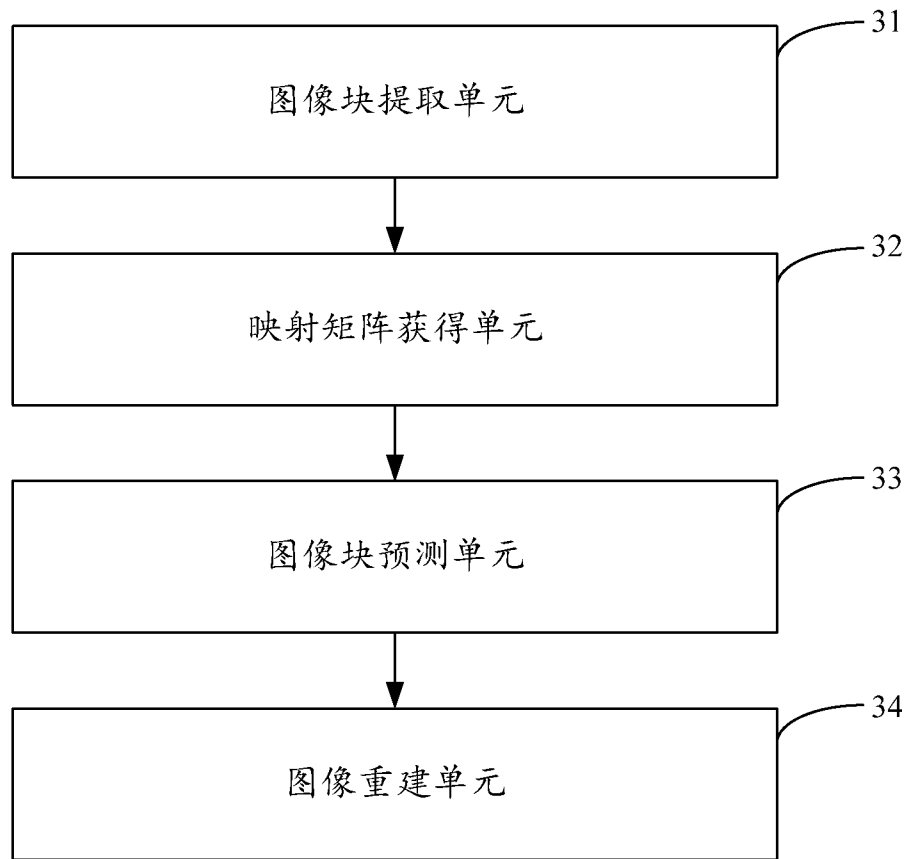


图 3

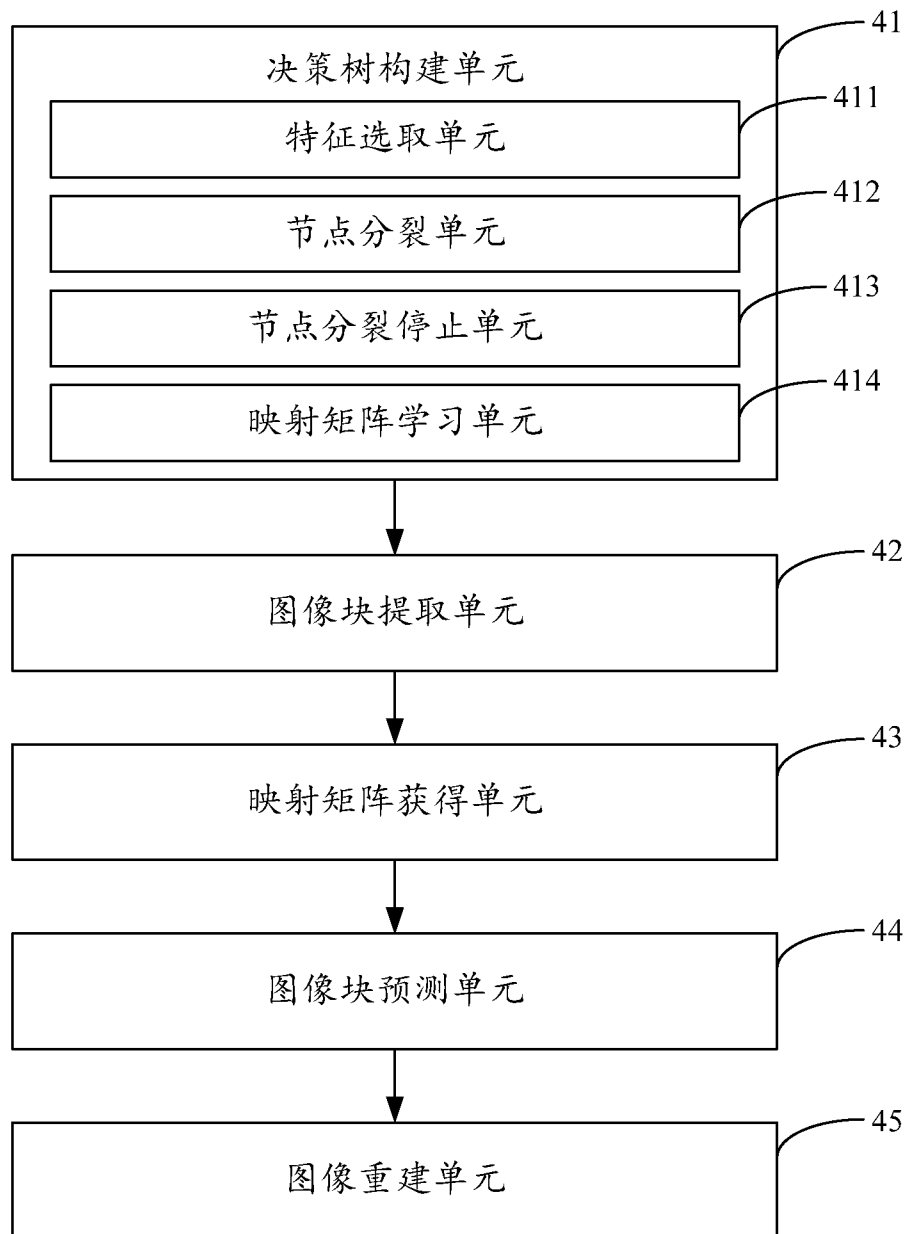


图 4

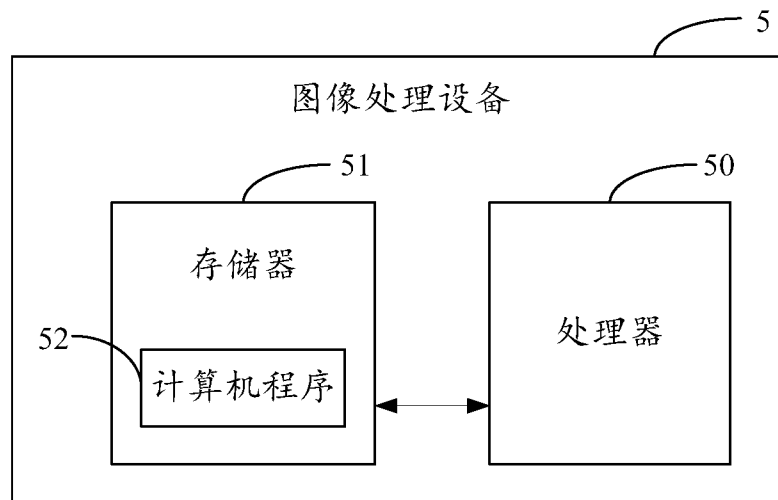


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/071109

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06T 3/40(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 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, CNKI, WPI, EPODOC: 随机森林, 决策树, 超分辨率, 重建, 重构, random forest, decision tree, super resolution, reconstruction																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>卢欢 (LU, Huan). "基于随机森林的单幅图像超分辨重建算法研究 (Single Image Super-Resolution Reconstruction Based on Random Forests)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库(信息科技辑) (Electronic Technology & Information Science China Master's Theses Full-Text Database), No. 2, 15 February 2018 (2018-02-15), ISSN: 1674-0246, text, pages 21-27</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2018075581 A1 (TWITTER, INC.) 15 March 2018 (2018-03-15) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108416734 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 17 August 2018 (2018-08-17) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107092884 A (SONG, Jiaying) 25 August 2017 (2017-08-25) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107977930 A (BLOSSOM PICTURES CO., LTD. et al.) 01 May 2018 (2018-05-01) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	卢欢 (LU, Huan). "基于随机森林的单幅图像超分辨重建算法研究 (Single Image Super-Resolution Reconstruction Based on Random Forests)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库(信息科技辑) (Electronic Technology & Information Science China Master's Theses Full-Text Database), No. 2, 15 February 2018 (2018-02-15), ISSN: 1674-0246, text, pages 21-27	1-10	A	US 2018075581 A1 (TWITTER, INC.) 15 March 2018 (2018-03-15) entire document	1-10	A	CN 108416734 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 17 August 2018 (2018-08-17) entire document	1-10	A	CN 107092884 A (SONG, Jiaying) 25 August 2017 (2017-08-25) entire document	1-10	A	CN 107977930 A (BLOSSOM PICTURES CO., LTD. et al.) 01 May 2018 (2018-05-01) entire document	1-10
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
X	卢欢 (LU, Huan). "基于随机森林的单幅图像超分辨重建算法研究 (Single Image Super-Resolution Reconstruction Based on Random Forests)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库(信息科技辑) (Electronic Technology & Information Science China Master's Theses Full-Text Database), No. 2, 15 February 2018 (2018-02-15), ISSN: 1674-0246, text, pages 21-27	1-10																		
A	US 2018075581 A1 (TWITTER, INC.) 15 March 2018 (2018-03-15) entire document	1-10																		
A	CN 108416734 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 17 August 2018 (2018-08-17) entire document	1-10																		
A	CN 107092884 A (SONG, Jiaying) 25 August 2017 (2017-08-25) entire document	1-10																		
A	CN 107977930 A (BLOSSOM PICTURES CO., LTD. et al.) 01 May 2018 (2018-05-01) 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 31 August 2019		Date of mailing of the international search report 11 September 2019																		
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration 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/CN2019/071109

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2018075581	A1	15 March 2018	WO	2018053340	A1	22 March 2018
CN	108416734	A	17 August 2018	None			
CN	107092884	A	25 August 2017	None			
CN	107977930	A	01 May 2018	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/071109

A. 主题的分类 G06T 3/40 (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 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, CNKI, WPI, EPDOC: 随机森林, 决策树, 超分辨率, 重建, 重构, random forest, decision tree, super resolution, reconstruction		
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
X	卢欢. “基于随机森林的单幅图像超分辨重建算法研究” 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (信息科技辑), 第2期, 2018年 2月 15日 (2018 - 02 - 15), ISSN: 1674-0246, 正文第21-27页	1-10
A	US 2018075581 A1 (TWITTER, INC.) 2018年 3月 15日 (2018 - 03 - 15) 全文	1-10
A	CN 108416734 A (西北大学) 2018年 8月 17日 (2018 - 08 - 17) 全文	1-10
A	CN 107092884 A (宋佳颖) 2017年 8月 25日 (2017 - 08 - 25) 全文	1-10
A	CN 107977930 A (北京花开影视制作有限公司等) 2018年 5月 1日 (2018 - 05 - 01) 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 2019年 8月 31日		国际检索报告邮寄日期 2019年 9月 11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 董立波 电话号码 86- (10) -53961431

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/071109

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)
US	2018075581	A1	2018年 3月 15日	WO 2018053340 A1	2018年 3月 22日
CN	108416734	A	2018年 8月 17日	无	
CN	107092884	A	2017年 8月 25日	无	
CN	107977930	A	2018年 5月 1日	无	