

(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 3 月 5 日 (05.03.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/041936 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 3/40 (2006.01)

屈军乐(**QU, Junle**); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/102525

(74) 代理人: 深圳市恒申知识产权事务所(普通合伙)(**HENSEN INTELLECTUAL PROPERTY FIRM**); 中国广东省深圳市福田区南园路68号上步大厦10H, Guangdong 518000 (CN)。

(22) 国际申请日: 2018 年 8 月 27 日 (27.08.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

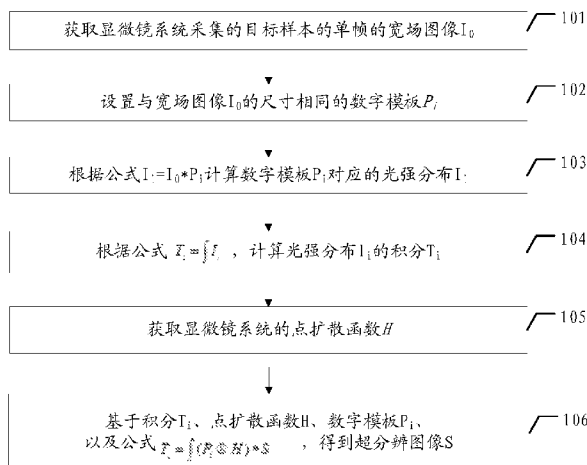
(71) 申请人: 深圳大学(**SHENZHEN UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(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。

(72) 发明人: 杨志刚(**YANG, Zhigang**); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 张炜(**ZHANG, Wei**); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 陈楚芳(**CHEN, Chufang**); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(54) **Title:** IMAGE RECONSTRUCTION METHOD AND APPARATUS, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质



$$T_i = \int (P_i \otimes H) * S \quad (I)$$

- 101 Acquire a single frame of wide-field image I0 of a target sample captured by a microscope system
- 102 Set a digital template Pi having a same size as that of the wide-field image I0
- 103 Calculate a luminous intensity distribution li corresponding to the digital template Pi according to formula li=I0*Pi
- 104 Calculate an integral Ti of the luminous intensity distribution li according to formula Ti= ∫ li
- 105 Acquire a point spread function H of the microscope system
- 106 Obtain a super-resolution image S on the basis of the integral Ti, the point spread function H, the digital template Pi, and formula Ti= ∫ (Pi*H)*S

图 1

(57) **Abstract:** An image reconstruction method and apparatus, an electronic device, and a storage medium. The method comprises: acquiring a single frame of wide-field image I0 of a target sample captured by a microscope system (101); setting a digital template Pi having a same size as that of the wide-field image I0, wherein i=1...N (102); calculating a luminous intensity distribution li corresponding to the digital template Pi according to formula li=I0*Pi (103); calculating an integral Ti of the luminous intensity distribution li according to formula Ti=∫li (104); acquiring a point spread function H of the microscope system (105); and obtaining an unknown super-resolution image S on the basis of formula (I) and the known integral Ti, point spread function H and digital template Pi (106). According to the method, the microscope system only needs to capture a single frame of image, and image reconstruction can be performed to obtain a super-resolution image S, thereby greatly increasing the imaging speed and the temporal resolution of an algorithm, and facilitating observing the dynamic change process of components inside a cell of the target sample and performing mechanism analysis.

(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))。

(57) 摘要: 一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质。所述方法包括: 获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 (101); 设置与宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i , 其中 $i=1\cdots N$ (102); 根据公式 $I_i=I_0*P_i$, 计算数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i (103); 根据公式 $T_i=\int I_i$, 计算光强分布 I_i 的积分 T_i (104); 获取显微镜系统的点扩散函数 H (105); 基于公式 (I) 和已知的积分 T_i 、点扩散函数 H 以及数字模板 P_i , 求得未知的超分辨图像 S (106)。根据该方法, 显微镜系统只需要采集单帧的图像即可进行图像重构得到超分辨图像 S , 大大提升了成像速度以及算法的时间分辨率, 有利于观察目标样本的细胞内部组成物质的动态变化过程及进行机制分析。

一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质

技术领域

本发明涉及图像处理领域，尤其涉及一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质。

背景技术

近 20 年来，随着衍射极限的突破，技术以及荧光探针的发展，超分辨显微技术已经成为观察研究生物细胞活动的重要方法。它从原理上大致可分为三种：第一种是利用荧光物质开关效应的单分子定位成像方法，例如光激活定位显微术（Photoactivated Localization Microscopy, PALM）和随机光学重构显微术（Stochastic Optical Reconstruction Microscopy, STORM）。样品被荧光探针标记后，用一束激活光激活荧光分子，另一波长激发光激发荧光分子并成像。但这两种技术都需要采集很多幅原始图像，时间分辨率低；第二种是基于荧光非线性效应，对点扩散函数进行减小的显微术。典型技术代表为受激发射损耗显微术（Stimulated Emission Depletion, STED）。一束激光激发荧光分子，一束环形损耗光来将激发光斑焦点外围的荧光擦除，从而限制发生受激辐射的地方，减小点扩散函数，提高分辨率。STED 采用点扫描，不利于大面积的成像，时间分辨率低。而且需要用功率较高的损耗光才能实现高的空间分辨率，但这样会造成光漂白和细胞损伤；第三种是结构光照明显微术（Structured Illumination Microscopy, SIM）。用周期性的结构光照射被荧光标记的样品，被测样品的空间频率和照明图案的空间频率不同的地方会产生莫尔条纹，根据已知的照明图案的频率可解出被测样品的空间频率。这种显微术属于宽场成像，但也需要采集多帧图像，时间分辨率低。总体上讲，这几种典型的超分辨显微

技术都存在一个共同的缺点：成像速度慢，时间分辨率都比较低，不利于实现对细胞信息的动态观察。

发明内容

本发明实施例的主要目的在于提供一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质，提升超分辨显微技术的成像速度和时间分辨率。

为实现上述目的，本发明实施例第一方面提供一种图像重构方法，该图像重构方法包括：

获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ；

设置与所述宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1\cdots N$ ；

根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算所述数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ，所述*表示点乘；

根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算所述光强分布 I_i 的积分 T_i ；

获取所述显微镜系统的点扩散函数 H ；

基于所述积分 T_i 、所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到超分辨图像 S ，其中，所述 $\otimes$ 表示卷积。

为实现上述目的，本发明实施例第二方面提供一种图像重构装置，该装置包括：

第一获取模块，用于获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ；

设置模块，用于设置与所述宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1\cdots N$ ；

第一计算模块，用于根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算所述数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ，所述*表示点乘；

第二计算模块，用于根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算所述光强分布 I_i 的积分 T_i ；

第二获取模块，用于获取所述显微镜系统的点扩散函数 H ；

处理模块，用于基于所述积分 T_i 、所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到超分辨图像 S ，其中，所述 $\otimes$ 表示卷积。

为实现上述目的，本发明实施例第三方面提供一种电子设备，该电子设备包括：包括：处理器、存储器及通信总线；

所述通信总线用于实现所述处理器和所述存储器之间的连接通信；

所述存储器用于存储一个或多个程序，所述处理器用于执行所述存储器中存储的一个或者多个程序，以实现如上述的图像重构方法的步骤。

为实现上述目的，本发明实施例第四方面提供一种存储介质，该存储介质存储有一个或者多个程序，所述一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如上述的图像重构方法的步骤。

本发明实施例提供了一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质，可获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ，设置与所述宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1 \cdots N$ ；根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算所述数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ；根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算所述光强分布 I_i 的积分 T_i ；获取所述显微镜系统的点扩散函数 H ；基于公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ 和已知的积分 T_i 、点扩散函数 H 以及数字模板 P_i ，求得未知的超分辨图像 S ，根据本发明实施例的方案，只需要显微镜系统采集单帧的图像即可进行图像重构得到超分辨图像 S ，大大提升了成像速度以及算法的时间分辨率，有利于观察目标样本的细胞内部组成物质的动态变化过程及进行机制分析。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创

造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明实施例中一种图像重构方法的流程示意图；

图 2 为本发明实施例中一种图像重构装置的结构示意图。

具体实施方式

为使得本发明的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而非全部实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

现有技术中的超分辨显微技术存在成像速度慢，时间分辨率较低的缺点，不利于实现对细胞信息的动态观察，为了解决现有技术中的问题，本发明实施例提出一种图像重构方法，参见图 1，该图像重构方法包括：

步骤 101、获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ；

本实施例中显微镜系统包括显微镜以及和该显微镜结合来获取显微镜成像图像的相机。本实施例中，相机可以是 CCD 相机或 CMOS 相机，本实施例对此没有限制。

本实施例的图像重构方法可以由终端实现，该终端包括但不限于如手机等移动终端以及如电脑等固定终端。步骤 101 中获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 包括：接收显微镜系统中相机发送的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 。

其中，本实施例的原始的宽场图像 I_0 可以看作超分辨图像 S 与显微镜系统的点扩散函数 H 卷积之后的结果，即 $I_0 = S \otimes H$ ，其中 $\otimes$ 表示卷积运算。

步骤 102、设置与宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1 \cdots N$ ；

步骤 103、根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ，其中，*

表示点乘;

本实施例中, 宽场图像 I_0 的尺寸和 N 个数字模板 P_i 的尺寸相同, 即宽场图像 I_0 的矩阵和数字模板 P_i 的矩阵具有相同的行数和列数。数字模板 P_i 与宽场图像 I_0 点乘, 实际上就是 P_i 的矩阵和 I_0 的矩阵中的相同位置的元素相乘。

将 $I_0 = S \otimes H$ 代入公式 $I_i = I_0 * P_i$, 并进行展开可以得到 $I_i(x, y) = \left[\iint S(u, v) H(x-u, y-v) dudv \right] P_i(x, y)$, 其中, (x, y) 表示显微镜系统中拍摄宽场图像 I_0 的相机的成像平面上的坐标 (相机的成像平面上建立的是 xy 坐标系); (u, v) 表示目标样本所在平面上的坐标 (目标样本所在平面上建立的是 uv 坐标系)。

步骤 104、根据公式 $T_i = \int I_i$, 计算光强分布 I_i 的积分 T_i ;

具体的, 根据已知的 I_0 和 P_i , 计算与数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i 的积分 T_i 。

另一方面, 将 $I_i(x, y) = \left[\iint S(u, v) H(x-u, y-v) dudv \right] P_i(x, y)$ 代入 $T_i = \int I_i$, 得到积分 T_i 的表达式为:

$$T_i = \int I_i = \iint \left(\iint S(u, v) H(x-u, y-v) dudv \right) P_i(x, y) dxdy$$

对式子 $T_i = \int I_i = \iint \left(\iint S(u, v) H(x-u, y-v) dudv \right) P_i(x, y) dxdy$ 进行变形可以得到:

$$\begin{aligned} T_i &= \iint \left(\iint S(u, v) H(x-u, y-v) dudv \right) P_i(x, y) dxdy \\ &= \iint S(u, v) dudv \left(\iint P_i(x, y) H(x-u, y-v) dxdy \right) \end{aligned}$$

这里假设一个新的光强分布 $I'_i = (P_i \otimes H) * S$, 即光强分布 I'_i 表示为数字模板 P_i 与显微镜系统的点扩散函数 H 卷积之后再与超分辨图像 S 点乘的结果。对 I'_i 进行积分可得 I'_i 的积分为:

$$\iint S(u, v) dudv \left(\iint P_i(x, y) H(x-u, y-v) dxdy \right)$$

所以 I_i 的积分结果和 I'_i 的积分结果相等。依据 I_i 和 I'_i 的积分值相等的结论, 当我们得到原始的宽场图像 I_0 与数字模板 P_i 点乘结果的积分值时, 同样可以认为该积分值是对光强分布 I'_i 积分得到。

所以, $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 在这个式子中, 积分 T_i 在步骤 104 中已计算得到, P_i 在步骤 102 中已获取, 所以只要获取点扩散函数 H , 在 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ 中就只有 S 为未知, 其它均为已知, 根据已知的积分 T_i 、数字模板 P_i 和点扩散函数 H 求解 S 即可。 T_i

步骤 105、获取显微镜系统的点扩散函数 H ;

步骤 106、基于积分 T_i 、点扩散函数 H 、数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 得到超分辨图像 S , 其中, $\otimes$ 表示卷积。

可选的, 基于积分 T_i 、点扩散函数 H 、数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 得到超分辨图像 S 包括:

根据点扩散函数 H 、数字模板 P_i 以及公式 $P'_i = P_i \otimes H$, 得到新的数字模板 P'_i ;

根据公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 得到 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$;

基于积分 T_i 、 P'_i 、 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法, 得到超分辨图像 S 。

具体的, 当我们测量显微镜系统的点扩散函数 H 之后, 将点扩散函数 H 分别与 $i=1 \dots\dots N$ 的 N 个数字模板 P_i 进行卷积, 可以得到模糊数字模板 P'_i , 其中

$$P'_i = P_i \otimes H$$

将模糊数字模板 P'_i 视为新的数字模板时, 新的光强分布 I'_i 可以看做为:

$$I'_i = P'_i * S$$

同时,

$$T_i = \int I'_i = \int P'_i * S$$

在式子 $T_i = \int I'_i = \int P'_i * S$ 中, 数字模板 P'_i 与光强分布 I'_i 的积分值 T_i 是已知的, 这种情况与单像素相机成像原理相同。基于积分 T_i 、数字模板 P'_i 、 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法, 得到超分辨图像 S 包括: 基于

公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P_i' * S$ ，将数字模板 P_i' 看做单像素相机成像算法中使用的数字模板，超分辨率图像 S 看做单像素相机成像算法中需要采集的图像，光强分布的积分 T_i 为使用数字模板 P_i' 时由单像素相机采集的光强积分值，求得超分辨率图像 S 。可以理解的是，当采用大量的数字模板 P_i 时，同样可以获得大量的模糊数字模板 P_i' 以及对应光强分布积分值 T_i 。

本实施例中，假设数字模板 P_i' 为 m 行 n 列的矩阵。具体的，基于公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P_i' * S$ ，将数字模板 P_i' 看做单像素相机成像算法中使用的数字模板，超分辨率图像 S 看做单像素相机成像算法中需要采集的图像，光强分布的积分 T_i 为使用数字模板 P_i' 时由单像素相机采集的光强积分值，求得超分辨率图像 S 包括：

将数字模板 P_i' 展开成宽度为 $m \times n$ 的行向量 A_i ，将 N 个行向量 A_i 组合成矩阵 A ；

将 N 个数字模板 P_i 所对应的不同积分 T_i 组合成列向量 T ；

对方程组 $AX = T$ ，根据预设算法计算出列向量 X ，其中， X 为 $m \times n$ 行的列向量， X 为超分辨率图像 S 的展开形式；

将 $m \times n$ 行的列向量 X 组合成具有 m 行 n 列的矩阵，得到超分辨率图像 S 。

其中，可以理解的是，矩阵 A 共有 N 行， $m \times n$ 列，具体的 $A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_N \end{bmatrix}$ ，矩阵 A

的第 i 行等于 A_i ， A_i 的宽度为 $m \times n$ 。列向量 T 一共也有 N 行，具体的 $T = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_N \end{bmatrix}$ ，

向量 T 的第 i 行等于 T_i ，是第 i 个数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i 的积分。

本实施例中预设算法包括但不限于：最小二乘算法、共轭梯度算法和压缩感知算法中的至少一种。

为了解决现有技术中的问题，本实施例还提供一种图像重构装置，参见图 2，该图像重构装置包括：

第一获取模块 21, 用于获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ;

设置模块 22, 用于设置与宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i , 其中 $i=1\cdots N$;

第一计算模块 23, 用于根据公式 $I_i = I_0 * P_i$, 计算数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i , * 表示点乘;

第二计算模块 24, 用于根据公式 $T_i = \int I_i$, 计算光强分布 I_i 的积分 T_i ;

第二获取模块 25, 用于获取显微镜系统的点扩散函数 H ;

处理模块 26, 用于基于积分 T_i 、点扩散函数 H 、数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 得到超分辨图像 S , 其中, $\otimes$ 表示卷积, (x, y) 表示显微镜系统中拍摄宽场图像 I_0 的相机的成像平面上的坐标; (u, v) 表示目标样本所在平面上的坐标。

可选的, 处理模块 26, 用于根据点扩散函数 H 、数字模板 P_i 以及公式 $P'_i = P_i \otimes H$, 得到新的数字模板 P'_i ;

根据公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$, 得到 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$;

基于积分 T_i 、 P'_i 、 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法, 得到超分辨图像 S 。

可选的, 处理模块 26, 用于将数字模板 P'_i 展开成宽度为 $m \times n$ 的行向量 A_i , 将 N 个行向量 A_i 组合成矩阵 A ;

将 N 个数字模板 P_i 所对应的不同积分 T_i 组合成列向量 T ;

对方程组 $AX = T$, 根据预设算法计算出列向量 X , 其中, X 为 $m \times n$ 行的列向量, X 为超分辨图像 S 的展开形式;

将 $m \times n$ 行的列向量 X 组合成具有 m 行 n 列的矩阵, 得到超分辨图像 S 。

为了解决现有技术中的问题, 本实施例还提供一种电子设备, 该电子设备包括: 处理器、存储器及通信总线;

通信总线用于实现处理器和存储器之间的连接通信；

存储器用于存储一个或多个程序，处理器用于执行存储器中存储的一个或多个程序，以实现如上述的图像重构方法的步骤。

为了解决现有技术中的问题，本实施例还提供一种存储介质，该存储介质存储有一个或者多个程序，一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如上述的图像重构方法的步骤。

采用本实施例的方案，可获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ，设置与宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1\cdots N$ ；根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ；根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算光强分布 I_i 的积分 T_i ；获取显微镜系统的点扩散函数 H ；基于公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ 和已知的积分 T_i 、点扩散函数 H 以及数字模板 P_i ，求得未知的超分辨图像 S ，根据本发明实施例的方案，显微镜系统只需要采集单帧的图像即可进行图像重构得到超分辨图像 S ，大大提升了成像速度以及算法的时间分辨率，有利于观察目标样本的细胞内部组成物质的动态变化过程及进行机制分析。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置、系统和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，模块的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个模块或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或模块的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

作为分离部件说明的模块可以是或者也可以不是物理上分开的，作为模块显示的部件可以是或者也可以不是物理模块，即可以位于一个地方，或者也可

以分布到多个网络模块上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

另外，在本发明各个实施例中的各功能模块可以集成在一个处理模块中，也可以是各个模块单独物理存在，也可以两个或两个以上模块集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。

集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本发明各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

需要说明的是，对于前述的各方法实施例，为了简便描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本发明并不受所描述的动作顺序的限制，因为依据本发明，某些步骤可以采用其它顺序或者同时进行。其次，本领域技术人员也应该知悉，说明书中所描述的实施例均属于优选实施例，所涉及的动作和模块并不一定是本发明所必须的。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详述的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

以上为对本发明所提供的一种图像重构方法、装置、电子设备和存储介质的描述，对于本领域的技术人员，依据本发明实施例的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上，本说明书内容不应理解为对本发明的限

制。

权 利 要 求 书

1、一种图像重构方法，其特征在于，包括：

获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ；

设置与所述宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1\cdots N$ ；

根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算所述数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ，所述 $*$ 表示点乘；

根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算所述光强分布 I_i 的积分 T_i ；

获取所述显微镜系统的点扩散函数 H ；

基于所述积分 T_i 、所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到超分辨图像 S ，其中，所述 $\otimes$ 表示卷积。

2、如权利要求 1 所述的图像重构方法，其特征在于，所述基于所述积分 T_i 、所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到超分辨图像 S 包括：

根据所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 以及公式 $P'_i = P_i \otimes H$ ，得到新的数字模板 P'_i ；

根据公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ ；

基于所述积分 T_i 、所述 P'_i 、所述 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法，得到超分辨图像 S 。

3、如权利要求 2 所述的图像重构方法，其特征在于，所述数字模板 P'_i 为 m 行 n 列的矩阵，所述基于所述积分 T_i 、所述 P'_i 、所述 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法，得到超分辨图像 S 包括：

将所述数字模板 P'_i 展开成宽度为 $m \times n$ 的行向量 A_i ，将 N 个行向量 A_i 组合成矩阵 A ；

将 N 个所述数字模板 P_i 所对应的不同积分 T_i 组合成列向量 T ；

对方程组 $\mathbf{AX}=\mathbf{T}$ ，根据预设算法计算出列向量 $\mathbf{X}$ ，其中，所述 $\mathbf{X}$ 为 $m \times n$ 行的列向量，所述 $\mathbf{X}$ 为超分辨图像 S 的展开形式；

将 $m \times n$ 行的列向量 $\mathbf{X}$ 组合成具有 m 行 n 列的矩阵，得到超分辨图像 S 。

4、如权利要求 3 所述的图像重构方法，其特征在于，所述预设算法包括：最小二乘算法、共轭梯度算法和压缩感知算法中的至少一种。

5、一种图像重构装置，其特征在于，包括：

第一获取模块，用于获取显微镜系统采集的目标样本的单帧的宽场图像 I_0 ；

设置模块，用于设置与所述宽场图像 I_0 的尺寸相同的数字模板 P_i ，其中 $i=1 \cdots N$ ；

第一计算模块，用于根据公式 $I_i = I_0 * P_i$ ，计算所述数字模板 P_i 对应的光强分布 I_i ，所述 $*$ 表示点乘；

第二计算模块，用于根据公式 $T_i = \int I_i$ ，计算所述光强分布 I_i 的积分 T_i ；

第二获取模块，用于获取所述显微镜系统的点扩散函数 H ；

处理模块，用于基于所述积分 T_i 、所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 、以及公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到超分辨图像 S ，其中，所述 $\otimes$ 表示卷积。

6、如权利要求 5 所述的图像重构装置，其特征在于，所述处理模块，用于根据所述点扩散函数 H 、所述数字模板 P_i 以及公式 $P'_i = P_i \otimes H$ ，得到新的数字模板 P'_i ；根据公式 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S$ ，得到 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ ；基于所述积分 T_i 、所述 P'_i 、所述 $T_i = \int (P_i \otimes H) * S = \int P'_i * S$ 以及单像素相机成像算法，得到超分辨图像 S 。

7、如权利要求 6 所述的图像重构装置，其特征在于，所述处理模块，用于将所述数字模板 P'_i 展开成宽度为 $m \times n$ 的行向量 $\mathbf{A}_i$ ，将 N 个行向量 $\mathbf{A}_i$ 组合成矩阵 $\mathbf{A}$ ；将 N 个所述数字模板 P_i 所对应的不同积分 T_i 组合成列向量 $\mathbf{T}$ ；对方程组 $\mathbf{AX}=\mathbf{T}$ ，根据预设算法计算出列向量 $\mathbf{X}$ ，其中，所述 $\mathbf{X}$ 为 $m \times n$ 行的列向量，所述 $\mathbf{X}$ 为超分辨图像 S 的展开形式；将 $m \times n$ 行的列向量 $\mathbf{X}$ 组合成具有 m 行 n 列的矩阵，得到超分辨图像 S 。

8、一种电子设备，其特征在于，包括：包括：处理器、存储器及通信总线；所述通信总线用于实现所述处理器和所述存储器之间的连接通信；

所述存储器用于存储一个或多个程序，所述处理器用于执行所述存储器中存储的一个或者多个程序，以实现如权利要求 1-4 中任一项所述的图像重构方法的步骤。

9、一种存储介质，其特征在于，所述存储介质存储有一个或者多个程序，所述一个或者多个程序可被一个或者多个处理器执行，以实现如权利要求 1-4 中任一项所述的图像重构方法的步骤。

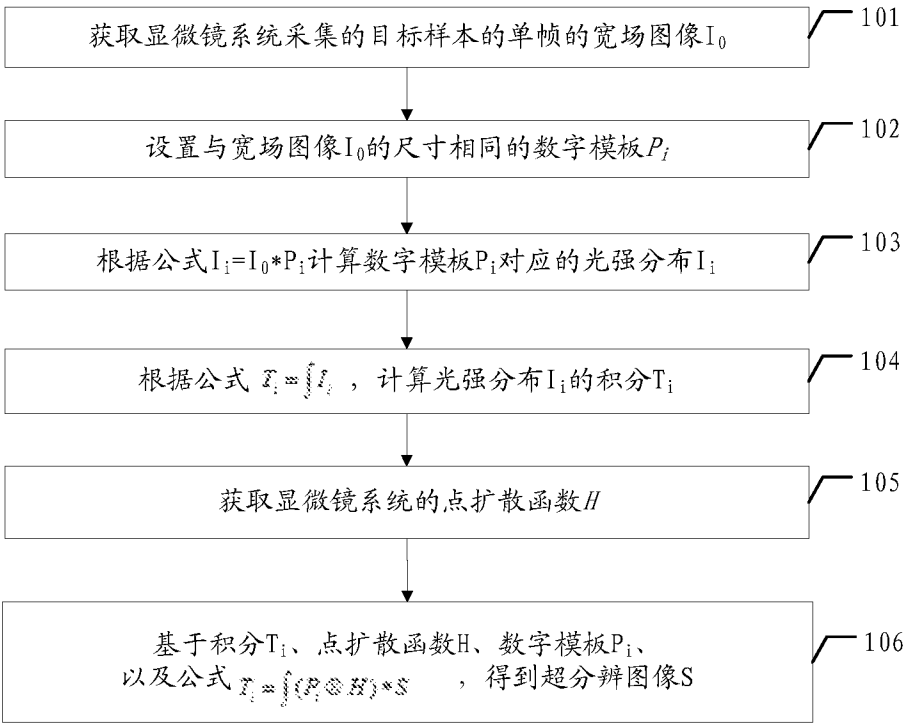


图 1

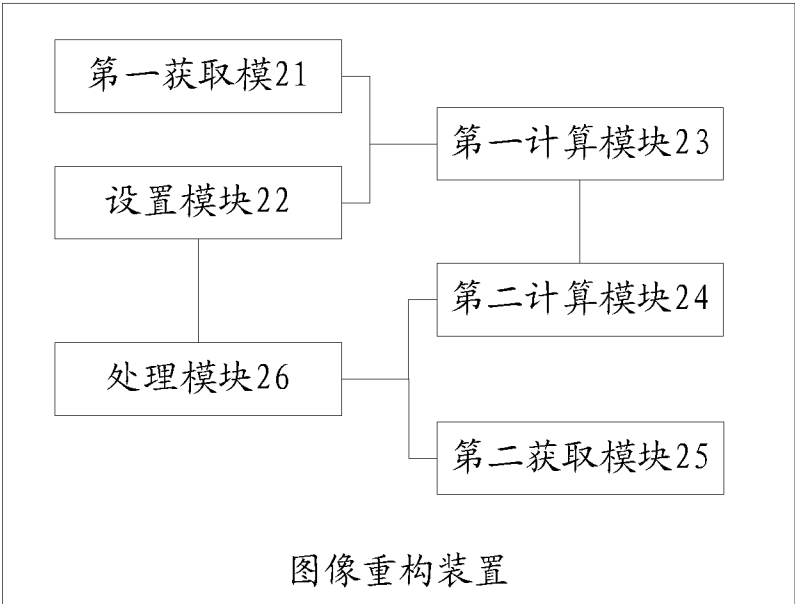


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/102525

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, G02B

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, IEEE: 卷积, 显微镜, 超分辨, 点扩散函数, 光强, 宽场, 模板, 单帧, convolution, microscop +, super resolution, point spread function, intensity, single frame

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108319009 A (INSTITUTE OF OPTICS AND ELECTRONICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 24 July 2018 (2018-07-24) description, paragraphs [0008]-[0039]	1-9
A	CN 107407799 A (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 28 November 2017 (2017-11-28) entire document	1-9
A	CN 108318464 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 24 July 2018 (2018-07-24) entire document	1-9

☐ 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

05 May 2019

Date of mailing of the international search report

30 May 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
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/CN2018/102525

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108319009	A	24 July 2018	None			
CN	107407799	A	28 November 2017	WO	2016149120	A1	22 September 2016
				CA	2979392	A1	22 September 2016
				JP	2018509622	A	05 April 2018
				AU	2016233588	A1	26 October 2017
				EP	3268769	A1	17 January 2018
				US	2016266366	A1	15 September 2016
CN	108318464	A	24 July 2018	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/102525

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, G02B

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, IEEE: 卷积, 显微镜, 超分辨, 点扩散函数, 光强, 宽场, 模板, 单帧, convolution, microscop+, super resolution, point spread function, intensity, single frame

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
A	CN 108319009 A (中国科学院光电技术研究所) 2018年 7月 24日 (2018 - 07 - 24) 说明书第[0008]-[0039]段	1-9
A	CN 107407799 A (加州理工学院) 2017年 11月 28日 (2017 - 11 - 28) 全文	1-9
A	CN 108318464 A (深圳大学) 2018年 7月 24日 (2018 - 07 - 24) 全文	1-9

☐ 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 5月 5日

国际检索报告邮寄日期

2019年 5月 30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

受权官员

孙国辉

传真号 (86-10) 62019451

电话号码 86-(10)-53961538

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/102525

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	108319009	A	2018年 7月 24日	无			
CN	107407799	A	2017年 11月 28日	WO	2016149120	A1	2016年 9月 22日
				CA	2979392	A1	2016年 9月 22日
				JP	2018509622	A	2018年 4月 5日
				AU	2016233588	A1	2017年 10月 26日
				EP	3268769	A1	2018年 1月 17日
				US	2016266366	A1	2016年 9月 15日
CN	108318464	A	2018年 7月 24日	无			