

(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



(10) 国际公布号
WO 2017/101150 A1

(43) 国际公布日
2017 年 6 月 22 日 (22.06.2017)

- (51) 国际专利分类号:
G06T 7/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/098936
- (22) 国际申请日: 2015 年 12 月 25 日 (25.12.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510925237.5 2015 年 12 月 14 日 (14.12.2015) CN
- (71) 申请人: 深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES 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: 宋展 (SONG, Zhan); 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)。 叶于平 (YE, Yuping); 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: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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))。

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CALIBRATING STRUCTURED-LIGHT THREE-DIMENSIONAL SCANNING SYSTEM

(54) 发明名称: 结构光三维扫描系统的标定方法及装置

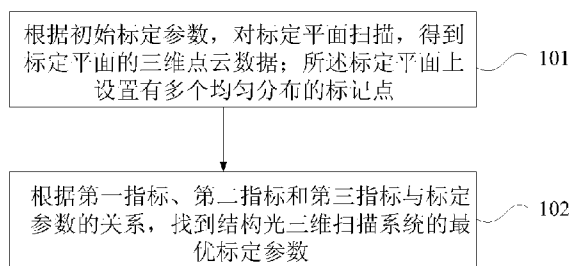


图 1

101 Scan a calibration plane according to initial calibration parameters to obtain three-dimensional point cloud data of the calibration plane, wherein the calibration plane is provided with a plurality of uniformly distributed marking points

102 Find an optimal calibration parameter of a structured-light three-dimensional scanning system according to the relationships between each of a first index, a second index and a third index and the calibration parameters

(57) Abstract: A method and device for calibrating a structured-light three-dimensional scanning system. The method comprises: scanning a calibration plane according to initial calibration parameters to obtain three-dimensional point cloud data of the calibration plane, wherein the calibration plane is provided with a plurality of uniformly distributed marking points (101); and finding an optimal calibration parameter according to the relationships between each of a first index, a second index and a third index and the calibration parameters (102), wherein the first index is an average value for the difference between a distance between each two adjacent marking points, calculated according to the three-dimensional point cloud data corresponding to the marking points, and the actual distance; the second index is an average value for the difference between an included angle between two straight lines formed by each marking point and two marking points adjacent thereto, calculated according to the three-dimensional point cloud data corresponding to the marking points, and the actual included angle; the third index is the difference between the flatness of the calibration plane, calculated according to the three-dimensional point cloud data of the calibration plate, and the actual flatness.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/101150 A1

一种结构光三维扫描系统的标定方法及装置，该方法包括：根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；标定平面上设置有多个均匀分布的标记点（101）；根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到最优标定参数（102）；第一指标为：根据标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相邻两个标记点之间的距离与实际距离差异的平均值；第二指标为：根据标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与实际夹角角度差异的平均值；第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与实际平面度的差异。

结构光三维扫描系统的标定方法及装置

本申请要求 2015 年 12 月 14 日递交的申请号为 201510925237.5、发明名称为“结构光三维扫描系统的标定方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5

技术领域

本发明涉及三维扫描系统标定技术领域，特别涉及一种结构光三维扫描系统的标定方法及装置。

10 背景技术

目前，基于投影仪和相机架构的结构光三维扫描系统是最为广泛的非接触式三维测量手段，该技术基于立体视觉中的三角测量原理，通过投影仪投射特定编码光学图案，由相机获取投射图像，通过图像解码方法获取投射特征，进而建立起投影仪与相机的匹配关系，实现三维重建过程。

15 基于投影仪和相机架构的结构光三维扫描系统进行三维重建，涉及到的首个关键问题就是立体视觉系统的标定问题，即如何获取投影仪、相机的内部参数及外部参数，进而，由该参数建立三角测量函数，实现三维坐标的计算。目前常用的标定策略大概有两种：第一种是利用三维标定物进行标定，该标定物具有精确的已知三维信息，但该方法的缺点是三维标定物需要特殊制作，且精度要求很高，因此应用较少；第二种方法是
20 标定棋盘格，以棋盘格的角点为标定特征，该方法包括：首先，对相机进行标定，然后，根据相机标定结果，由投影仪投射出若干特征点到棋盘格平面上，计算出投射的特征点的三维信息，再对投影仪进行标定，因为这种方法比较易于实现，通过打印的棋盘格贴在平面物体上即可操作，因而为业内广泛使用。

基于棋盘格的结构光三维扫描系统标定方法的基本策略是：使用精确打印的棋盘格
25 图像，将其粘贴在一个标准平面物体表面，首先，将棋盘格放在某个位置，由相机拍摄棋盘格图像，通过角点检测算法提取出角点信息，进而由投影仪投射出一个棋盘格图像，再通过角点检测算法检测出投射的棋盘格的角点信息；然后改变棋盘格标定物的姿态或距离，如此重复多次，获取足够多的标定图像信息（常用需 15 个不同姿态或位置的图像对）。在标定过程中，首先基于打印棋盘格图像对相机完成标定过程，之后就可以

估算出棋盘格的空间平面三维信息，进而通过对投射棋盘格角点在空间平面上的三维信息进行计算，利用投射棋盘格在投影仪平面上的已知角点信息，即可完成对投影仪的标定，以及相机与投影仪的外部参数的估计。

中国专利申请号为 CN201410164584 的申请即公开了一种高精度的投影仪-摄像机标定系统及标定方法，该发明主要的方法是：用摄像机标定方法标定摄像机，得到摄像机内参数；向标定板投影纯白图案并与标定板的图案叠加，捕获标定区域图像；利用摄像机内参数对图像畸变校正后提取标定区域图像中的角点坐标；根据角点的对应关系估计摄像机像平面和标定板平面之间的单应性矩阵；依序向标定板投影不同特定棋盘图案并分别与标定板的图案叠加，分别捕获标定区域图像；对标定区域图像差分、滤波处理后提取标定板平面上的角点坐标；取角点坐标平均值后应用单应性矩阵映射角点至标定板平面；按角点的获取情况重复上述步骤，利用摄像机标定方法标定投影仪。这种标定方法已为业内广泛使用和研究，在此不再赘述。

然而，基于棋盘格的结构光三维扫描系统标定方法存在的主要问题包括：1) 棋盘格需要精确的打印和制作，保证精确的尺寸，且棋盘格角点检测过程本身存在的检测误差也会对最终的标定结果产生影响；2) 粘贴棋盘格的平面需要较高的平面度，因为这种标定方法是建立在平面假设基础之上的；3) 棋盘格所包含的角点数量是有限的，其覆盖范围很难囊括整个投影范围和相机拍摄范围，没有角点存在的图像区域，其畸变参数等是难以估计的；4) 现有标定方法是以角点在平面上的重映射误差最小为最终优化准则的，在实际测量中，这种误差准则与三角测量的结果存在不一致性，即使重投影误差很小也难以保证最终测量结果达到最优误差；5) 标定过程和操作过程存在的人为操作误差导致结果的不确定性增加。

综上所述，现有标定方法存在的问题主要包括：1) 标定过程有诸多些问题需要注意，如标定板的制作，标定过程摆放的位置，标定图像的数量等等，如果经验不足，很容易得到较差的标定参数；2) 标定参数优化是基于检测到角点到标定平面的映射 2D 图像坐标误差最小为准则的，而实际测量中是以三维坐标距离等三维尺度为标准的，因此标定优化误差很难反映出实际的标定参数优劣。因此，利用现有标定方法对结构光三维扫描系统标定，标定结果不准确。

发明内容

本发明实施例提供了一种结构光三维扫描系统的标定方法，用以提高标定结果的准确性，该方法包括：

根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；

- 5 根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相邻两个标记点之间的距离与这两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与这两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与标定平面的实际平面度的差异。
- 10

本发明实施例还提供了一种结构光三维扫描系统的标定装置，用以提高标定结果的准确性，该装置包括：

- 三维点云数据获取模块，用于根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；
- 15

- 最优标定参数计算模块，用于根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相邻两个标记点之间的距离与这两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与这两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与标定平面的实际平面度的差异。
- 20

与现有技术相比较，本发明实施例提供的技术方案至少具有以下有益技术效果：

- 首先，本发明技术方案，不需要像现有技术中获取足够多的标定图像信息，仅需获得初始的标定参数，在该初始的标定参数的基础上，根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数即可，这样本发明技术方案不仅实施高效简单，而且标定结果准确可靠；
- 25

- 其次，通过建立一个标定平面，该标定平面上设置有多个均匀分布的标记点，采用初始标定参数，对该标定平面进行一次性完整扫描，得到标定平面上的三维点云数据；然后，在三维点云数据中找到每个标记点对应的三维点云数据；接着，根据第一指标、
- 30

第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数，第一指标和第二指标是根据标记点对应的三维点云数据得到的，第三指标也是根据标定平面的三维点云数据进行计算得到的，也就是说，寻找最优标定参数的过程是在三维空间中进行的，这样可以提高标定结果的准确性；另外，寻找结构光三维扫描系统的最优标定参数考虑了如下三个指标：第一指标：每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值；第二指标：每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；以及第三指标：标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异，这样保证了获取最优的系统标定参数。

10 通过上述可知，本发明实施例提供的技术方案，提高了标定结果的准确性，进而提高了结构光三维扫描系统的三维测量精度和可靠性。

附图说明

15 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例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，对于本领域普通技术人员来讲，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。在附图中：

图 1 是本发明实施例中结构光三维扫描系统的标定方法的流程示意图；

图 2 是本发明实施例中使用的标定平面的示意图；

20 图 3 是本发明实施例中结构光三维扫描系统的标定装置的结构示意图。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合附图对本发明实施例做进一步详细说明。在此，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，但并不作为对本发明的限定。

在实际工作中，发明人发现现有结构光三维扫描系统的标定方法存在的问题主要有两点：1) 标定过程有诸多些问题需要注意，如标定板的制作，标定过程摆放的位置，标定图像的数量等等，如果经验不足，很容易得到较差的标定参数；2) 现有方法的标定参数优化是基于检测到角点到标定平面的映射 2D 图像坐标误差最小为准则的，而实际测

量中是以三维坐标距离等三维尺度为标准的，因此标定优化误差很难反映出实际的标定参数优劣。

由于发明人发现了上述技术问题，本发明提出了一种结构光三维扫描系统的标定方法，所使用的优化目标为一标准平面（如玻璃白板），平面上预先标记出若干个标记点，标记点之间的尺寸为精确打印所得，通过对该标定板的一次性 3D 扫描，通过初始标定参数，获取其三维点云数据，通过第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数，整个过程简单易行，得到的最优标定参数能保证整个扫描系统在测量精度上有较大的提升，结果稳定可靠，对初始标定参数的精度要求不高，可以广泛应用于现有的结构光系统标定过程，用于提高标定结果的准确性和稳定性。下面进行详细说明。

图 1 是本发明实施例中结构光三维扫描系统的标定方法的流程示意图；如图 1 所示，该方法包括如下步骤：

步骤 101：根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；

步骤 102：根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相邻两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异。

具体实施时，在上述步骤 101 中，首先要获取结构光三维扫描系统的初始标定参数，其可以通过如下步骤实现：

参数定义如下：

c-相机，p-投影仪；

m—图像坐标，M-三维坐标，（相对于相机为 M_c ，相对于投影仪为 M_p ）；

k-径向畸变，R,T—相机投影仪之间旋转，平移参数。

用 $M_{c(p)} = [X_{c(p)}, Y_{c(p)}, Z_{c(p)}]^T$ 表示物体上某个点的三维空间坐标，其中下标 $c(p)$ ，c 代表的是相对于摄像机（相机）坐标系，p 代表的是相对于投影仪坐标系。

那么，我们根据投射投影模型，可以将其图像坐标表示为 $\tilde{m}_{c(p)}$ ：

$$\tilde{m}_{c(p)} = \begin{bmatrix} \tilde{u}_{c(p)} \\ \tilde{v}_{c(p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{c(p)} / Z_{c(p)} \\ Y_{c(p)} / Z_{c(p)} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

在考虑了径向畸变和切向误差之后有，对 $\tilde{m}_{c(p)}$ 图像坐标进行反畸变处理，

$$L(\tilde{m}_{c(p)}) = \begin{bmatrix} \tilde{m}_{c(p)} \cdot (1 + k_{c(p)1} r_{c(p)}^2 + k_{c(p)2} r_{c(p)}^4 + k_{c(p)5} r_{c(p)}^6) + \Delta_t(\tilde{m}_{c(p)}) \\ 1 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

其中， $r_{c(p)}^2 = \tilde{u}_{c(p)}^2 + \tilde{v}_{c(p)}^2$ ；

5 而式子 (2) 中， $\Delta_t(\tilde{m}_c)$ 代表的是切向畸变误差。

$$\Delta_t(\tilde{m}_{c(p)}) = \begin{bmatrix} 2k_{c(p)3} u_{c(p)} v_{c(p)} + k_{c(p)4} (r_{c(p)}^2 + 2u_{c(p)}^2) \\ k_{c(p)3} (r_{c(p)}^2 + 2v_{c(p)}^2) + 2k_{c(p)4} u_{c(p)} v_{c(p)} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

那么，最后可以得到：

$$\begin{bmatrix} m_{c(p)} \\ 1 \end{bmatrix} = K_{c(p)} \cdot L(\tilde{m}_{c(p)}); \quad (4)$$

其中， K 是相机/投影仪的内部参数矩阵，即：

10 $f_{c(p)x}, f_{c(p)y}$, 表示 x-y 方向像素尺度因子， r 表示像素平面 X-Y 轴夹角畸变因子， $c_{c(p)x}, c_{c(p)y}$, 表示图像中心点坐标。

$$K_{c(p)} = \begin{bmatrix} f_{c(p)x} & \gamma \cdot f_{c(p)x} & c_{c(p)x} \\ 0 & f_{c(p)y} & c_{c(p)y} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

上文中说过我们还标定摄像机和投影仪的相对位置，那么有：

$$15 \quad \begin{bmatrix} M_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

上述公式描述了基本的结构光系统中，相机-投影仪的模型和参数，在本发明中，我们首先利用传统的摄像机标定方法进行相机标定，之后通过利用摄像机去捕捉投影仪投射棋盘图案到平面上的图案。建立起投影仪坐标和摄像机坐标系之间的一个单应矩阵，将投影仪建立与相机一样的模型，我们可以得到相机-投影仪的内部、外部初始标定参数。

20 在得到结构光系统的标定结果之后，对需找到的对应点利用三角原理可以得到其三维空间点的位置是：

$$Z_c = \frac{(R \cdot m_c \cdot m_p) \cdot (m_p \cdot T) - \|m_p\|^2 \cdot (R \cdot m_c \cdot T)}{\|R \cdot m_c\|^2 \cdot \|m_p\|^2 - (R \cdot m_c \cdot m_p)^2} \quad (6)$$

再利用式子(5)我们可以计算出其X, Y坐标。

基于上述方法, 我们可以得到相机-投影仪的内部及外部参数, 及实现每个图像点的三维坐标计算, 在此基础上, 我们完成一次对标定平面(图2)的扫描过程, 得到高密度的点云数据和图2中标记点的中心点(本发明提到的计算三个指标时, 都是根据该标记点的中心点的坐标来计算的)图像坐标及三维坐标, 在此基础上, 我们可以寻找最优标定参数, 例如: 标定参数的优化, 即在获取初始标定参数之后, 就可以寻找最优标定参数, 例如: 进行标定参数的优化, 其大致过程可以如下:

采用初始标定参数, 完成对标定平面的一次完整扫描, 此时, 可以获取该标定平面的三维点云数据; 从扫描图像中检测出图2中所有标记点的图像坐标, 在三维扫描数据中找到标记点的图像坐标对应的三维坐标; 建立全局优化函数, 该函数包括相机和投影仪的内部参数以及全部外部参数, 其优化指标包括三个: 平面度: 基于所有重建点的平面拟合误差, 即根据标定平面上三维点云数据计算出的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异; 尺寸精度: 检测出的标记点的尺寸误差, 即每两个标记点之间的距离与实际距离的差异; 角度误差: 检测出的标记点的夹角误差, 即每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与实际夹角角度的差异。最后, 以初始标定参数为全局优化函数初始值, 给定相关标定参数的上下限范围阈值, 执行全局优化函数, 直至所有误差指标其中之一或任意组合最小时最小, 即可获得最优标定参数。

下面详细介绍上述优化标定参数的步骤:

具体实施时, 本发明实施例中, 根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系, 找到结构光三维扫描系统的最优标定参数, 可以通过上述提到的建立全局优化函数的方法得到, 例如:

建立所述第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的全局优化函数;

以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值, 迭代找到最优标定参数, 对于每个迭代周期均执行以下操作:

根据所述标记点对应的三维点云数据, 计算所述第一指标和第二指标; 根据标定平面的三维点云数据, 计算所述第三指标; 直到找到第一指标、第二指标和第三指标中一个或多个最小时对应的标定参数, 作为结构光三维扫描系统的最优标定参数。

本发明实施例提供的技术方案，不需要像现有技术中获取足够多的标定图像信息，仅需获得初始的标定参数，在该初始的标定参数的基础上，根据建立的全局优化函数，进行进一步的标定参数优化，找到三个指标的其中之一或任意组合最小时对应的标定参数，作为最优标定参数，这样本发明技术方案不仅实施高效简单，而且标定结果准确可靠。

当然，除了通过建立第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的全局优化函数，来迭代找到最优标定参数的方式之外，还可以有多种方式，例如，可以通过建立一个第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的表格等等方式，来找到最优标定参数。

具体实施时，上述“以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值，迭代找到最优标定参数”可以包括：

以所述初始标定参数为全局优化函数的初始值，设定标定参数的范围阈值，迭代找到最优标定参数。

在进行优化的过程中，在初始标定参数基础上，设定的优化标定参数范围的上下限的优点是：可以有效避免优化进入局部最小，同时提高运行效率。

具体实施时，在上述步骤 101 中，标定平面的构建可以有多种方式，例如图 2 所示，标定平面可以包括：平面物体以及粘贴在平面物体上的、满足结构光三维扫描系统扫描范围的白纸；所述白纸上设置有多个均匀分布的标记点。

具体实施时，制作过程可以为：根据所需标定的结构光系统的扫描范围设计一张白色的网格点图像，将其打印后粘贴与平面物体上，其主要目的是在白色表面上标记出若干精确尺寸参考点。当然，标定平面也可以是特意制作的、设置有多个均匀分布的标记点的玻璃白板。

具体实施时，所述标记点的形状可以为圆形。标记点的形状可以为圆形的优点是：在计算上述提到的三个指标时，以计算两个标记点之间的距离为例，需要计算两个标记点的中心点之间的距离，同理，在计算其它两个指标时，也是以中心点为标准进行计算的，圆形的中心点就是圆心，三维空间里面是球心，方便寻找中心点。实际实施中，也可选择其它形状的标记点，只要方便精确计算三个指标即可。

本发明实施例提到的标定参数可以包括：结构光三维扫描系统中相机和摄影机的内部参数和全部外部参数。本发明实施例中的全局优化函数包含了所有的相机、投影仪的内部参数，以及 12 个外部参数（旋转矩阵 9 个，平移向量 3 个），其优化目标函数最小化准则包含三个指标，下面对这三个指标进行详细介绍：

a) 平面度误差指标 E1 (即为: 根据标定平面上所有点的三维点云数据, 计算出的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异):

平面度具体的计算过程可以为: 由于重建的点云数量巨大, 可达几百万, 为了提高优化函数的运行速度, 具体实施时, 可以根据从标定平面上均匀采样的三维点云数据, 计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异, 即可以为: 对点云采用随机采样或者均匀采样, 得到较为稀疏的点云数据, 对这些点云数据进行最小二乘平面拟合, 得到标定平面的平面度误差 E1;

b) 尺寸误差指标 E2 (即为: 根据每个标记点对应的三维点云数据, 计算出的每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值):

具体的计算过程可以为: 由于标定平面上的标记点的尺寸为精确已知 (在制作标定平面时设计的尺寸数据), 因此, 我们计算所有标记点之间的距离误差, 取平均值, 计算的距离值与真实距离值的误差 E2;

c) 角度误差 E3 (即为: 每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值):

具体实施时, 可以采用角度 (根据三维点云数据, 计算得到的) 的余弦值与标准的角度 (实际的夹角角度, 如 90 度) 进行比较后的差异, 作为角度误差值:

$E3 = \sum |\cos \theta_{cal} - \cos \theta_{real}|$, 其中, θ_{cal} 为根据三维点云数据, 计算得到的每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度, θ_{real} 为所述两条直线之间的实际夹角角度 (即, 标定平面精确设计打印时的标准尺寸)。

基于上述三个误差标准, 我们就可以构造出全局优化函数的目标函数如下:

$$F_{obj} = \sum (E_d + \alpha \cdot E_p + \beta \cdot E_a); \quad (7)$$

其中, α, β 满足: $E_d \approx \alpha \cdot E_p \approx \beta \cdot E_a$; E_d 为第一指标 (尺寸误差): 每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值; E_a 为第二指标 (角度误差): 根据所述标记点对应的三维点云数据, 计算得到的每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值; E_p 为第三指标 (平面度误差): 根据标定平面的三维点云数据, 计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异。 α 和 β 是经验参数, 用来将三个误差调整到一个数量级, 比如尺寸误差是 0.1mm 左右的话, 平面度误差常在 1mm 左右, 角度误差在 0.1 度左右的话, 则可设置为 $\alpha=0.1$ 和 $\beta=1$ 。

最后，我们可以建立全局优化函数如下：

$$\begin{aligned} & \min F_{obj}(paras_{SLS}) \\ & s.t. \\ & paras_{SLS} \in [paras_{SLS_{lower}}, paras_{SLS_{upper}}]; \end{aligned} \quad (8)$$

其中， $paras_{SLS_{upper}}$ 是在初始标定参数基础上，设定的标定参数的上限，

$paras_{SLS_{lower}}$ 是在初始标定参数基础上，设定的标定参数的下限，这样可以有效避免优化

5 进入局部最小，同时提高运行效率。

具体实施时，在对上述全局优化函数（8）求解时：全局优化函数（8）属于典型的非线性、多目标优化问题，我们可以借助现有的优化工具（例如：MATLAB工具）对其进行优化，并最终获取能够满足三个优化准则（三个指标）对应的最优标定参数。在所建立的全局优化函数中，我们综合考虑了三个指标，具体实施，亦可根据实际需要，选

10 择单个或任意个指标进行优化处理。

通过上述可知，本发明实施提供的技术方案，不需要像现有技术中获取足够多的标定图像信息，仅需获得初始的标定参数，在该初始的标定参数的基础上，根据建立的全局优化函数，进行进一步的标定参数优化，找到三个指标中一个或多个最小时对应的标定参数，作为最优标定参数，这样本发明技术方案不仅实施高效简单，而且标定结果准

15 确可靠；

本发明实施提供的技术方案，通过建立一个标定平面，该标定平面上设置有多个均匀分布的标记点，采用初始标定参数，对该标定平面进行一次性完整扫描，得到标定平面上所有点的三维点云数据；然后，在三维点云数据中找到每个标记点对应的三维点云数据；接着，建立全局优化函数，以初始标定参数为全局优化函数的初始值，迭代计算

20 找到三个指标的一个或多个最小时对应的标定参数，作为最优标定参数。计算三个指标是根据标定平面上所有点的三维点云数据和每个标记点对应的三维点云数据进行计算的，也就是说，优化标定参数的过程是在三维空间中进行的，这样可以提高标定结果的准确性；另外，全局优化函数的目标函数包括以下三个关键几何属性指标的其中之一或任意组合：标定平面的平面度，每相邻两个标记点之间的距离与这两个标记点之间的实际距离差异、每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与这两条直线之间的实际夹角角度差异，这样保证了获取最优的系统标定参数。

25

通过上述可知，本发明实施例提供的技术方案，提高了标定结果的准确性，进而提高了结构光三维扫描系统的三维测量精度和可靠性。

基于同一发明构思，本发明实施例还提供了一种结构光三维扫描系统的标定装置，如下面的实施例。由于结构光三维扫描系统的标定装置解决问题的原理与结构光三维扫描系统的标定方法相似，因此结构光三维扫描系统的标定装置的实施可以参见结构光三维扫描系统的标定方法的实施，重复之处不再赘述。以下所使用的，术语“单元”、“装置”或者“模块”可以实现预定功能的软件和/或硬件的组合。以下实施例所描述的装置可以以软件、硬件，或者软件和硬件的组合的实现，也是可能并被构想的。

图 3 是本发明实施例中结构光三维扫描系统的标定装置的结构示意图，如图 3 所示，该装置包括：

三维点云数据获取模块 10，用于根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；

最优标定参数计算模块 20，用于根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相邻两个标记点之间的距离与这两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相邻的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与这两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与标定平面的实际平面度的差异。

在一个实施例中，所述最优标定参数计算模块具体用于：

建立所述第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的全局优化函数；

以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值，迭代找到最优标定参数，对于每个迭代周期均执行以下操作：

根据所述标记点对应的三维点云数据，计算所述第一指标和第二指标；根据标定平面的三维点云数据，计算所述第三指标；直到找到第一指标、第二指标和第三指标中一个或多个最小时对应的标定参数，作为结构光三维扫描系统的最优标定参数。

经过发明人大量的实验认证，本发明实施例效果很理想，和设计的预期一致。本发明实施例提供的技术方案的有益技术效果为：

1) 使用了一个简单的带有若干尺寸标记点的标定平面作为结构光三维扫描系统标定参数优化的实验目标，实施简单，结果可靠。

2) 提出了一种全局参数优化算法, 基于给定的标定平面和标记点参数, 建立了包含平面度、尺寸、角度三个目标函数的全局优化函数, 通过一次平面扫描数据, 即可完成对全部参数的优化过程。

3) 与现有的标定参数优化方面不同的是, 本发明的优化方法是在实测的三维空间中进行的, 而且其优化参数包含了所有的系统参数, 确保能够获取最优的系统标定参数, 将系统测量误差降到最低。

显然, 本领域的技术人员应该明白, 上述的本发明实施例的各模块、装置或各步骤可以用通用的计算装置来实现, 它们可以集中在单个的计算装置上, 或者分布在多个计算装置所组成的网络上, 可选地, 它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现, 从而, 可以将它们存储在存储装置中由计算装置来执行, 并且在某些情况下, 可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤, 或者将它们分别制作成各个集成电路模块, 或者将它们中的多个模块或步骤制作成单个集成电路模块来实现。这样, 本发明实施例不限制于任何特定的硬件和软件结合。

以上仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明实施例可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，包括：

根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；

- 5 根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异。
- 10

2、如权利要求1所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数，包括：

- 15 建立所述第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的全局优化函数；

以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值，迭代找到最优标定参数，对于每个迭代周期均执行以下操作：

- 根据所述标记点对应的三维点云数据，计算所述第一指标和第二指标；根据标定平面的三维点云数据，计算所述第三指标；直到找到第一指标、第二指标和第三指标中一个或多个最小时对应的标定参数，作为结构光三维扫描系统的最优标定参数。
- 20

3、如权利要求2所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值，迭代找到最优标定参数，包括：

以所述初始标定参数为全局优化函数的初始值，设定标定参数的范围阈值，迭代找到最优标定参数。

- 25 4、如权利要求1至3任一权利要求所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，所述标记点的形状为圆形。

5、如权利要求1至3任一权利要求所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，所述标定平面包括：平面物体以及粘贴在平面物体上的、满足结构光三维扫描系统扫描范围的白纸；所述白纸上设置有多个均匀分布的标记点。

6、如权利要求 1 至 3 任一权利要求所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，所述标定参数包括：结构光三维扫描系统中相机和摄影机的内部参数和外部参数。

7、如权利要求 1 至 3 任一权利要求所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，所述第三指标具体为：根据从标定平面上均匀采样的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异。

8、如权利要求 2 至 3 任一权利要求所述的结构光三维扫描系统的标定方法，其特征在于，所述全局优化函数为：

$$\begin{aligned} & \min F_{obj}(paras_{SLS}) \\ & s.t. \quad ; \\ & paras_{SLS} \in [paras_{SLS_{lower}}, paras_{SLS_{upper}}] \end{aligned}$$

10 其中， F_{obj} 为全局优化函数的目标函数： $F_{obj} = \sum (E_d + \alpha \cdot E_p + \beta \cdot E_a)$ ； α, β 满足： $E_d \approx \alpha \cdot E_p \approx \beta \cdot E_a$ ； $paras_{SLS_{upper}}$ 是标定参数的上限， $paras_{SLS_{lower}}$ 是标定参数的下限； E_d 为第一指标：每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值； E_a 为第二指标：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值； E_p 为第三指标：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异； α 和 β 是经验参数，用来调整 E_d 、 E_a 和 E_p 的数量级。

9、一种结构光三维扫描系统的标定装置，其特征在于，包括：

20 三维点云数据获取模块，用于根据初始标定参数，对标定平面扫描，得到标定平面的三维点云数据；所述标定平面上设置有多个均匀分布的标记点；

25 最优标定参数计算模块，用于根据第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的关系，找到结构光三维扫描系统的最优标定参数；所述第一指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每相临两个标记点之间的距离与所述两个标记点之间的实际距离差异的平均值；所述第二指标为：根据所述标记点对应的三维点云数据，计算得到的每个标记点和它相临的两个标记点连接形成的两条直线之间的夹角角度与所述两条直线之间的实际夹角角度差异的平均值；所述第三指标为：根据标定平面的三维点云数据，计算得到的标定平面的平面度与所述标定平面的实际平面度的差异。

10、如权利要求 9 所述的结构光三维扫描系统的标定装置，其特征在于，所述最优标定参数计算模块具体用于：

建立所述第一指标、第二指标和第三指标与标定参数的全局优化函数；

以所述初始标定参数为所述全局优化函数的初始值，迭代找到最优标定参数，对于

5 每个迭代周期均执行以下操作：

根据所述标记点对应的三维点云数据，计算所述第一指标和第二指标；根据标定平面的三维点云数据，计算所述第三指标；直到找到第一指标、第二指标和第三指标中一个或多个最小时对应的标定参数，作为结构光三维扫描系统的最优标定参数。

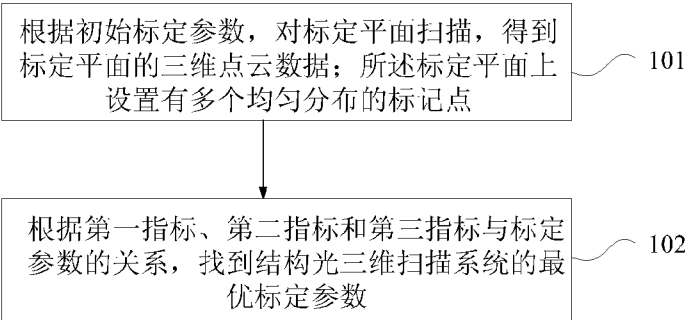


图 1

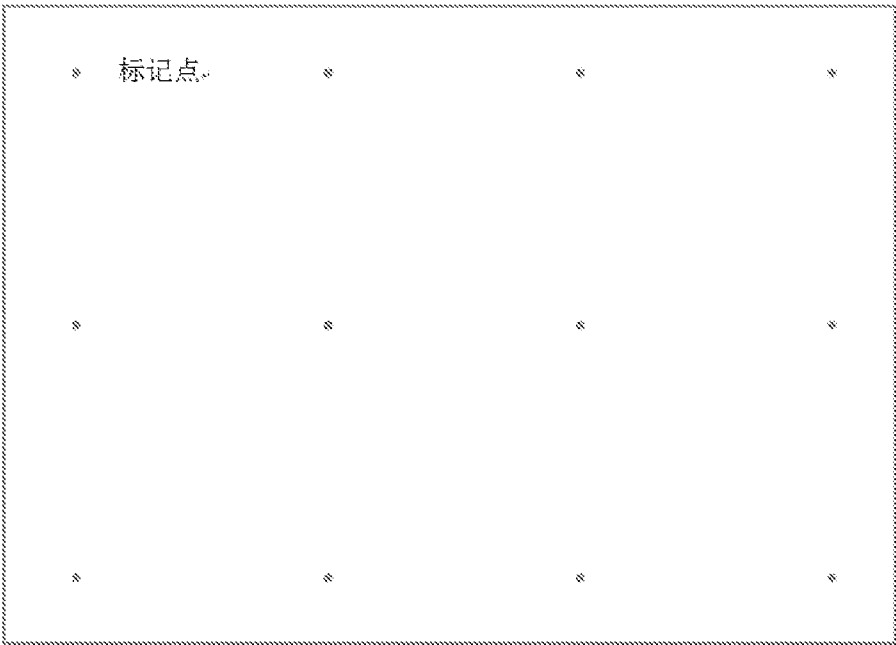


图 2

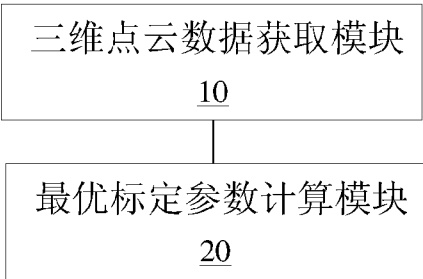


图3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/098936**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G06T 7/00 (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 7/-

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)

CNABS, CNTXT, WPI, EPODOC, CNKI: structured light, three-dimensional, point cloud information, calibration parameter, calibrated point, included angle, construct+, structur+, light, three, dimension+, scan+, calibrat+, demarcat+, point s cloud s data, parameter, plane, angle, distance, interval, difference, error

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101697233 A (CHANGCHUN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 21 April 2010 (21.04.2010), abstract, description, paragraphs 0004-0019, and figures 1-3	1-10
A	CN 101245994 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 20 August 2008 (20.08.2008), the whole document	1-10
A	CN 103942796 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 23 July 2014 (23.07.2014), the whole document	1-10
A	CN 101231750 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 30 July 2008 (30.07.2008), the whole document	1-10
A	CN 101763643 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 30 June 2010 (30.06.2010), the whole document	1-10
A	CN 101419061 A (BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 29 April 2009 (29.04.2009), the whole document	1-10
A	US 2007115484 A1 (HUANG, P.S. et al.), 24 May 2007 (24.05.2007), the whole document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 11 August 2016 (11.08.2016)	Date of mailing of the international search report 09 September 2016 (09.09.2016)
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 HAN, Dekai Telephone No.: (86-10) 62414487

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/098936

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014078260 A1 (BROWN UNIVERSITY), 20 March 2014 (20.03.2014), the whole document	1-10

Information on patent family members

PCT/CN2015/098936

Patent Documents referred in the Report

Publication Date

Patent Family

Publication Date

CN 101697233 A

21 April 2010

None

CN 101245994 A

20 August 2008

None

CN 103942796 A

23 July 2014

None

CN 101231750 A

30 July 2008

None

CN 101763643 A

30 June 2010

None

CN 101419061 A

29 April 2009

None

US 2007115484 A1

24 May 2007

None

US 2014078260 A1

20 March 2014

None

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/098936

A. 主题的分类

G06T 7/00(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)

G06T7/-

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))

CNABS, CNTXT, WPI, EPODOC, CNKI: 结构光, 三维, 扫描, 标定, 点云数据, 点云信息, 标定参数, 平面, 标定点, 角度, 夹角, 距离, 差, construct+, structur+, light, three, dimension+, scan+, calibrat+, demarcat+, point s cloud s data, parameter, plane, angle, distance, interval, difference, error

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 101697233 A (长春理工大学) 2010年 4月 21日 (2010 - 04 - 21) 摘要、说明书0004-0019段、附图1-3	1-10
A	CN 101245994 A (南京航空航天大学) 2008年 8月 20日 (2008 - 08 - 20) 全文	1-10
A	CN 103942796 A (清华大学) 2014年 7月 23日 (2014 - 07 - 23) 全文	1-10
A	CN 101231750 A (南京航空航天大学) 2008年 7月 30日 (2008 - 07 - 30) 全文	1-10
A	CN 101763643 A (浙江大学) 2010年 6月 30日 (2010 - 06 - 30) 全文	1-10
A	CN 101419061 A (北京航空航天大学) 2009年 4月 29日 (2009 - 04 - 29) 全文	1-10
A	US 2007115484 A1 (HUANG, PEISEN 等) 2007年 5月 24日 (2007 - 05 - 24) 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

2016年 8月 11日

国际检索报告邮寄日期

2016年 9月 9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(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

授权官员

韩德凯

电话号码 (86-10)62414487

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	US 2014078260 A1 (BROWN UNIVERSITY) 2014年 3月 20日 (2014 - 03 - 20) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/098936

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	101697233	A	2010年 4月 21日	无	
CN	101245994	A	2008年 8月 20日	无	
CN	103942796	A	2014年 7月 23日	无	
CN	101231750	A	2008年 7月 30日	无	
CN	101763643	A	2010年 6月 30日	无	
CN	101419061	A	2009年 4月 29日	无	
US	2007115484	A1	2007年 5月 24日	无	
US	2014078260	A1	2014年 3月 20日	无	

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)