

(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
2022 年 8 月 11 日 (11.08.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/166182 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61B 17/17 (2006.01) *A61B 34/30* (2016.01)
A61B 17/72 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/115410
- (22) 国际申请日: 2021 年 8 月 30 日 (30.08.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202110172614.8 2021年2月8日 (08.02.2021) CN
- (71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园,
Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人: 祝世杰 (ZHU, Shijie); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 郑钢铁

(ZHENG, Gangtie); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所 (普通合伙) (TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区北洼路45号1号楼2层201, Beijing 100142 (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, 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,

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL IMAGE GUIDED INTRAMEDULLARY NEEDLE DISTAL LOCKING ROBOT SYSTEM AND LOCKING METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统及其锁定方法

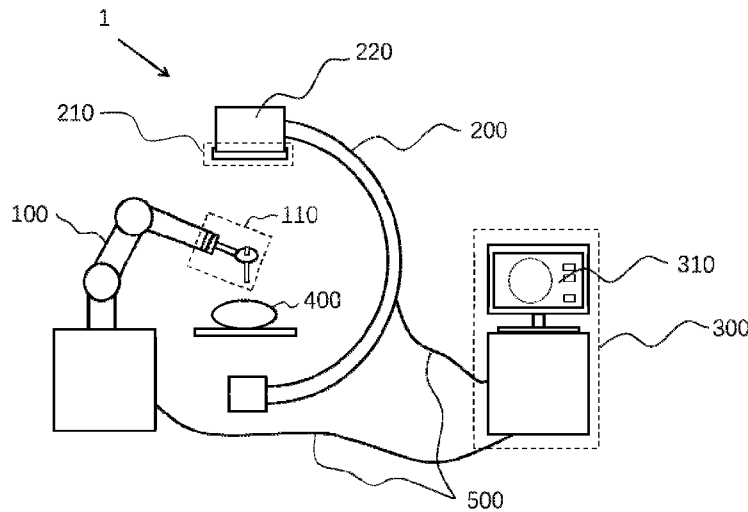


图 1

(57) Abstract: A two-dimensional image guided intramedullary needle distal locking robot system, comprising a mechanical arm (100) and a distal locking device (110), wherein the distal locking device (110) is composed of a connecting arm (112), a drilling guide (113), and a calibration device (130); the proximal end (112a) of the connecting arm (112) is detachably connected to the tail end of the mechanical arm (110), and the distal end (112b) of the connecting arm (112) is connected to the calibration device (130) and the drilling guide (113); the calibration device (130) comprises a base body (140) made of a transparent X-ray material, at least eight small balls (114) made of an X-ray opaque material are embedded on the base body (140), and the small balls (114) are divided into a first group of small balls and a second group of small balls; the diameters of the small balls in the first group of small balls and the second group of small balls are different, and all the small balls in the group have the same diameter and are located at different parts of the base body (140). By using the system, the procedure of surgical operation is simplified, and additional iatrogenic trauma caused by installation of an optical marker on a patient is omitted. Also disclosed is a locking method using the system.



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))。

(57) 摘要: 一种二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统, 包括: 机械臂(100)、远端锁定装置(110), 其中, 远端锁定装置(110)由连接臂(112)、钻孔导向器(113)和标定装置(130)组成, 连接臂(112)的近端(112a)可装卸地与机械臂(100)末端相连, 连接臂(112)的远端(112b)与标定装置(130)和钻孔导向器(113)连接; 标定装置(130)包括透X光材料制成的基体(140), 基体(140)上镶嵌有至少8个使用不透X光的材料制成的小球(114), 小球(114)被划分为第一组小球和第二组小球, 第一组小球和第二组小球中小球的直径不同, 组内所有的小球直径相同, 并位于基体(140)的不同部位。通过使用该系统, 简化了手术操作流程, 免去了在病人身上安装光学标志所带来的额外医源性创伤。还同时公开了使用该系统的锁定方法。

二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统及其锁定方法

相关申请的交叉引用

5 本申请要求清华大学于 2021 年 02 月 08 日提交的、发明名称为“二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统及其锁定方法”的、中国专利申请号“202110172614.8”的优先权。

技术领域

10 本申请涉及手术机器人技术领域，特别涉及一种二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统及其锁定方法。

背景技术

15 髓内针内固定术由于其愈合率高和并发症发生率低的优点成为了骨折微创治疗的金标准。然而，髓内针内固定术的手术操作，特别是远端锁定步骤，对于外科医生而言依然具有相当挑战性。远端锁定是指，髓内针插入骨髓腔之后，从骨头外部拧入若干穿过髓内针远端锁孔的螺钉，以此将髓内针与骨投紧密锁定在一起的操作。髓内针的两端（远端和近端）都有若干锁孔。借助连接在髓内针近端的瞄准器或导向器，可以较为容易地执行近端锁孔的锁定。而对于远端锁孔，由于髓内针的变形，必须在 X 光透视图像的帮助下执行锁定步骤。尽管医生可以使用 X 光机透视骨头，但要使锁定螺钉通过直径一般小于 5 毫米的
20 锁孔仍然是困难的操作。不仅如此，为了完成远端锁定操作所需的 X 光透视次数往往较多，由此造成的 X 光辐射剂量对医生和患者而言都有较大危害。

 机器人技术的辅助是一个降低远端锁定操作难度同时减少 X 光辐射剂量的潜在方案。现有关于机器人辅助远端锁定的研究中有一类基于光学导航的方法，然而光学导航所需的光学标志必须刚性地固定在病人身上，造成了额外的医院创伤。另一类常见的计算机辅助
25 方法基于电磁导航，但这种方法需要配合特殊设计的内含电磁失踪器的髓内针，同时对手术室的电磁环境有着较高的要求。

发明内容

 本申请旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。

30 为此，本申请的第一个目的在于提出一种二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统，该系统对硬件设备要求低，只需使用 C 型臂 X 光机提供图像用于反馈控制，而不需要使用

光学或电磁导航设备。同时简化了手术操作流程，免去了在病人身上安装光学标志所带来的额外医源性创伤。

本申请的第二个目的在于提出一种基于手术机器人系统的远端锁定方法。

为达上述目的，本申请第一方面实施例提出了一种二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统，包括：机械臂、远端锁定装置，其中，所述远端锁定装置由连接臂、钻孔导向器和标定装置组成，其中，

所述连接臂的近端可装卸地与所述机械臂末端相连，所述连接臂的远端与所述标定装置连接，所述连接臂的远端与所述钻孔导向器连接；

所述标定装置，包括：透 X 光材料制成的基体，所述基体包括内部，中部和外部，其中，所述中部连接所述内部和所述外部，

所述基体上镶嵌有至少 8 个使用不透 X 光的材料制成的小球，所述小球被划分为第一组小球和第二组小球，所述第一组小球被镶嵌于所述基体的内部，所述第二组小球被镶嵌于所述基体的外部，所述第一组小球中所有的小球的直径相同，所述第二组小球中所有的小球的直径相同，所述第一组小球和第二组小球中小球的直径不同。

为达上述目的，本申请第二方面实施例提出了一种基于手术机器人系统的远端锁定方法，所述方法应用于上述的二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统中，所述方法包括以下步骤：

根据预设的调整参数调整所述二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统中，X 光图像采集设备的位置和角度，以使得髓内针远端锁孔的轮廓在 X 光图像采集设备采集的 X 光图像中为一正圆；

通过安装了图像畸变校正装置的 X 光图像采集设备采集包含有图像畸变校正装置的 X 光图像；

根据所述 X 光图像获取图像畸变参数；

根据所述 X 光图像采集设备的视场的位置移动机械臂，使安装于其前端的远端锁定装置位于 X 光图像采集设备的视场中，并采集一张候选 X 光图像；

在所述候选 X 光图像中标定锁孔位置；

根据所述锁孔位置和所述远端锁定装置上小球的位置，计算出机械臂运动参数，并根据所述运动参数移动所述机械臂并采集一张目标 X 光图像；

计算所述目标 X 光图像中所述锁孔位置和钻孔导向器之间的对准误差；

根据对准误差调整所述机械臂运动参数，直至所述对准误差小于预设阈值，提示操作者在所述钻孔导向器的引导下钻出穿过髓内针锁孔的导向孔，然后往所述导向孔中拧入锁

紧螺钉，以完成远端锁定。

本申请的实施例，至少具有如下的技术效果：

进行机器人远端锁定操作时，首先调整图像采集设备使得髓内针上的锁孔轮廓在视野中为正圆，随后进行图像畸变校正，随后医生在远程工作站图形界面上指定锁孔位置，随后远程工作站通过图像反馈控制率计算机器人运动量并控制机器人运动。机器人运动后重新采集图像，机器人再根据新的图像调整位置，“成像-运动”步骤自动迭代若干次，直到导向器准确对准锁孔，此后操作者手动通过导向器在骨头上钻出穿过锁孔的导向孔，然后通过导向孔拧入锁紧螺钉，完成远端锁定。并且，提出一种远端锁定机器人系统以及一种基于视觉伺服的远端锁定控制方法。该系统对硬件设备要求低，只需使用 C 型臂 X 光机提供图像用于反馈控制，而不需要使用光学或电磁导航设备。同时简化了手术操作流程，免去了在病人身上安装光学标志所带来的额外医源性创伤。

本申请附加的方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本申请的实践了解到。

15 附图说明

本申请上述的和/或附加的方面和优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解，其中：

图 1 为根据本申请一个实施例的一种髓内针远端锁定机器人系统结构示意图；

图 2 为远端锁定方法的流程框图；

20 图 3 为机械臂运动量计算流程框图；

图 4 为机械臂及其前端的远端锁定装置的示意图；

图 5 为远端锁定装置的示意图；

图 6 为远端锁定装置及分布其上的小球的俯视图；

图 7 为远端锁定装置及分布其上的小球及其包含的钻孔导向器的示意图；

25 图 8 为远端锁定过程中关键步骤对应的 X 光透视图像；

图 9 为图像畸变校正装置的示意图。

附图标记：

远端锁定机器人系统-1；机械臂-100；远端锁定装置-110；机械接口-111；连接臂-112；连接臂近端-112a；连接臂远端-112b；钻孔导向器-113；小球-114；直径较小的小球-a、b、c、d；直径较大的小球-A、B、C、D；直径较小的小球构成的凸四边形的外接圆-115；直径较大的小球构成的凸四边形的外接圆-116；钻孔导向器轴线-117；标定装置-130；标定装

30

置上表面-133；标定装置下表面-134；标定装置上表面所在的平面-135；标定装置下表面所在的平面-136；标定装置内部-141；标定装置外部-142；标定装置中部壁面-145；标定装置外部右半部分-146；标定装置外部左半部分-147；X 光图像采集设备-200；图像畸变校正装置-210；X 光图像采集设备的影像增强器-220；畸变校正装置的平板基体-221；畸变校正装置的小球阵列-212；远程工作站-300；远程工作站上的图形界面-310；手术对象（患者）-400；数据线-500。

具体实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本申请，而不能理解为对本申请的限制。

为了解决上述背景技术中提到的技术问题，基于图像的视觉伺服技术是一种可用于远端锁定的潜在解决方法。近年来，视觉伺服在机器人领域的应用收到了较多研究者的关注。在视觉伺服框架下，目标和机器人的位置及运动信息通过视觉传感器来捕获，从而可以实时地控制机器人完成特定的任务。

一方面，在该框架下，基于图像信息的闭环控制使得机器人的定位精度要过于其他开环控制的系统。另一方面，随着图像处理和分析算法的进步，视觉伺服方法对于安装与目标上的光学或电磁标志的依赖性也在逐步降低。

为此，本申请的一个目的在于提出一种远端锁定机器人系统以及一种基于视觉伺服的远端锁定控制方法。该系统对硬件设备要求低，只需使用 C 型臂 X 光机提供图像用于反馈控制，而不需要使用光学或电磁导航设备。同时简化了手术操作流程，免去了在病人身上安装光学标志所带来的额外医源性创伤。

下面参考附图描述本申请实施例的二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统及其锁定方法。

首先将参照附图描述根据本申请实施例提出的一种髓内针远端锁定机器人系统。

图 1 展示了远端锁定机器人系统 1 的一个实施例，包括机械臂 100，远端锁定装置 110，X 光图像采集设备 200（此实施例中为 C 型臂 X 光机），图像畸变校正装置 210，远程工作站 300。途中还展示了 X 光图像采集设备的影像增强器 220，数据线 500 以及该机器人系统的作用对象 400 的位置。远程工作站 300 与 X 光图像采集设备 200 以及机械臂 100 分别通过数据线 500 相连，该远程工作站用于手术图像处理、锁孔位置的标记计算机械臂运动量以及控制机械臂运动。X 光图像采集设备可以是 C 型臂 X 光机或者 G 型臂 X 光机。

图 9 展示了可用于远端锁定机器人系统 1 的一种图像畸变校正装置 210。在此实施例中，平板 221 由 X 光可穿透的材料制成。小球阵列 212 镶嵌或粘贴于平板 221 上，由不透 X 光（如金属材料）的材料制成。小球阵列的排列方式是事先设计好的，比如图 9 中所展示的，小球沿着两个垂直方向等距地周期性排列。图像畸变校正装置 210 可装卸地连接于 X 光图像采集设备 200 的影像增强器 220 上。图像畸变校正装置上的小球阵列 212 应能够充满 X 光图像采集设备的视场，从而使采集到的图像中布满了小球。图像畸变校正装置 210 的安装朝向没有特殊要求。

图 4 展示了可以用于远端锁定的机械臂 100 及其前端的远端锁定装置 110 的一个实施例。图 5 展示了远端锁定装置 110 的细节。在此实施例中，远端锁定装置 110 包含一个近端 112a 有机械接口 111 的连接臂 112，机械接口 111 用于将远端锁定装置 110 与机械臂 110 可装卸地相连接。连接臂 112 的远端 1120b 包括一个钻孔导向器 113，以及一个标定装置 130。标定装置 130 由可通过 X 光材料制成的基体 140 以及镶嵌于 140 上不透 X 光的小球构成。

标定装置 130 包含上表面 133，下表面 134，基体 140 以及小球 114。基体 140 包含内部 141，外部 142 以及连接内部和外部的壁面 145。如图 5 和图 7 所示，内部 141 为一平面，将一部分小球 114 固定在一个平面 135 上。类似的，外部 142 也是一个平面，将剩余小球 114 固定在另一个平面 136 上。基体的内部 141 和外部 142 之间是连接 141 和 142 的中部壁面 145。在该实施例中，145 进一步可以分为左半部分壁面和右半部分壁面，类似地，基体的外部 142 也分成了左半部分 147 和右半部分 146。中部壁面 145 在本实施例中为一圆台形，连接内部 141 和外部 142。

图 6 展示了小球 114 在标定装置 130 上的分布。小球 114 用于精确确定 X 光图像采集设备 200 的内部参数及其相对于机械臂 110 的外部参数。小球 114 按照直径不同可分为两组，组内小球直径相同。直径较大的小球比直径较小的小球直径大百分之四十以上，本实施例中百分之五十。如图 6 和图 7 所示，直径较大的小球的球心位于平面基体外部 142 所在的平面 136 上，而直径较小的小球的球心位于基体内部 141 所在的平面 135 上。本实施例中平面 135 和 136 互相平行。直径较大的小球的球心构成平面凸多边形的顶点，直径较小的小球的球心构成另一个平面凸多边形的顶点。特别地，在该实施例中，这两个平面凸多边形为圆的内接多边形。本实施例中，从垂直于平面 135 和 136 的方向上看，直径较小的小球所在的平面凸多边形的外接圆在直径较大的小球所在的平面凸多边形的外接圆的内部，这样是为了避免透视图像中两组小球的图像发生重叠。

如图 6 所示，小球的直径分为两组的目的是为了在透视图像中更好地将这些小球区分

开来。进一步地，在该实施例中，直径较大的小球可以分为两对，标记为(A,C)和(B,D)。小球A和小球C之间的连线与小球B和小球D之间的连线相交于一点E。某小球到交点E之间的距离与该球到与之配对的另一个小球之间的距离成为该小球到交点E的归一化距离。如A、E之间距离与A、C之间距离的比值称为A到E的归一化距离。A、B、C、D到E的归一化距离各不相同，从而可以据此在图像中将他们区分开来。类似地，直径较小的小球也可以分为两对，标记为(a,b)和(c,d)，小球a和小球c之间的连线与小球b和小球d之间的连线相交于一点e。同样地，a、b、c、d到e的归一化距离各不相同。如图7所示，钻孔导向器117的轴线经过A、B、C、D的外接圆圆心和a、b、c、d的外接圆圆心，与直径较大的小球A、B、C、D所在的平面以及直径较小的小球a、b、c、d所在的平面垂直。

针对这一问题，本申请实施例提供了基于手术机器人系统的远端锁定方法，该方法包括以下步骤：

根据预设的调整参数调整所述二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统中，X光图像采集设备的位置和角度，以使得髓内针远端锁孔的轮廓在X光图像采集设备采集的X光图像中为一正圆；

通过安装了图像畸变校正装置的X光图像采集设备采集包含有图像畸变校正装置的X光图像；

根据所述X光图像获取图像畸变参数；

根据所述X光图像采集设备的视场的位置移动机械臂，使安装于其前端的远端锁定装置位于X光图像采集设备的视场中，并采集一张候选X光图像；

在所述候选X光图像中标定锁孔位置；

根据所述锁孔位置和所述远端锁定装置上小球的位置，计算出机械臂运动参数，并根据所述运动参数移动所述机械臂并采集一张目标X光图像；

计算所述目标X光图像中所述锁孔位置和钻孔导向器之间的对准误差；

根据对准误差调整所述机械臂运动参数，直至所述对准误差小于预设阈值，提示操作者在所述钻孔导向器的引导下钻出穿过髓内针锁孔的导向孔，然后往所述导向孔中拧入锁紧螺钉，以完成远端锁定。

图2展示了基于图像反馈的远端锁定控制方法1000的框图。

步骤1100中，操作者调整C型臂X光机的位置和方向，使得远端锁孔的轮廓在X光透视图像中为一正圆，如图8所示。

步骤1200中，图像畸变校正装置210被安装于C型臂X光机的影像增强器上，进行

畸变校正后图像畸变校正装置 210 被取下。

步骤 1300 中，操作者移动机械臂，使其末端的远端锁定装置位于 C 型臂 X 光机的视场中。

步骤 1400 中，采集一张新的 X 光透视图像，操作者在远程工作站上的图形界面中标记出目标锁孔的位置，如图 8 所示的远端锁孔 601。锁孔位置用图像中的像素坐标 $\mathbf{s} = [u \ v]^T$ 表示。如图 8 中的 (b) 所示，锁孔和机械臂末端的远端锁定装置上的小球同时清晰地出现在 X 光透视图像中。

步骤 1500 中，机械臂根据图像反馈控制律进行移动。

步骤 1600 中，机械臂在步骤 1500 中的运动完成后，采集一张新的 X 光透视图像。

根据步骤 1600 采集的图像，远程工作站计算出钻孔导向器和锁孔之间的对准误差。如果对准误差超过预设阈值，则重复步骤 1500 和 1600，直至对准误差小于预设阈值后，进入步骤 1800。

步骤 1800 中，操作者将导针送入钻孔导向器，在钻孔导向器引导的方向下钻出一导向孔。如图 8 中的 (c) 所示，此时钻孔导向器已精确对准目标锁孔，因此该导针将穿透目标锁孔。此时便可在导针的引导下轻松地将锁紧螺钉精确拧入目标锁孔中，完成远端锁定操作。

图 3 展示了前述步骤 1500 中机械臂控制方法的一个例子。

步骤 1510 中，小球在图像中的位置被提取出来，并与标定装置上的实际小球一一对应。

步骤 1520 中，根据步骤 1510 的结果计算出 C 型臂 X 光机的内部参数和相对于机械臂前端的远端锁定装置坐标系的外部参数。内部参数用一个二行三列的内参矩阵 $\mathbf{A}$ 表示，外部参数用 C 型臂坐标系到远端锁定装置坐标系的平动向量 $\mathbf{d}_C^E$ 和旋转矩阵 $\mathbf{R}_C^E$ 表示。

步骤 1530 中，根据如下步骤计算机械臂运动量。

步骤 1：计算 C 型臂 X 光机坐标系下钻孔导向器末端的位置 $\mathbf{x}_{\text{drill}}^C$ 和轴线方向 $\mathbf{n}_{\text{drill}}^C$ 。根据远端锁定装置的 CAD 模型可以直接获得远端锁定装置坐标系下钻孔导向器末端的位置 $\mathbf{x}_{\text{drill}}^E$ 和轴线方向 $\mathbf{n}_{\text{drill}}^E$ ，于是可得公式 (1) 和公式 (2)：

$$\mathbf{x}_{\text{drill}}^C = \mathbf{R}_C^E \mathbf{x}_{\text{drill}}^E + \mathbf{d}_C^E \quad \text{公式 (1)}$$

$$\mathbf{n}_{\text{drill}}^C = \mathbf{R}_C^E \mathbf{n}_{\text{drill}}^E \quad \text{公式 (2)}$$

步骤 2: 计算 C 型臂 X 光机坐标系下锁孔中心位置 $\mathbf{x}_{\text{hole}}^C$ 和锁孔轴线方向 $\mathbf{n}_{\text{hole}}^C$ 。由于锁孔轮廓在图像中为正圆, 因此锁孔轴线通过 C 型臂 X 光机成像系统的焦点 (C 型臂 X 光机坐标系的原点)。因此有 $\mathbf{x}_{\text{hole}}^C = \mathbf{0}$ 。 $\mathbf{n}_{\text{hole}}^C$ 则可通过求解下线性方程得到公式 (3):

$$(\mathbf{A} - [\mathbf{0} \quad \mathbf{0} \quad \mathbf{s}])\mathbf{n}_{\text{hole}}^C = \mathbf{0} \quad \text{公式 (3)}$$

5 其中 $\mathbf{s}$ 是步骤 1400 中标记的目标锁孔在图像中的像素坐标。

步骤 3: 根据下式的公式 (4) 和公式 (5) 计算出钻孔导向器和锁孔之间的对准误差, 包括位置误差 $\mathbf{e}_{\text{pos}}^C$ 和角度误差 $\mathbf{e}_{\text{dir}}^C$,

$$\mathbf{e}_{\text{pos}}^C = (\mathbf{x}_{\text{hole}}^C - \mathbf{x}_{\text{drill}}^C) - \frac{(\mathbf{x}_{\text{hole}}^C - \mathbf{x}_{\text{drill}}^C) \cdot \mathbf{n}_{\text{hole}}^C}{\|\mathbf{x}_{\text{hole}}^C - \mathbf{x}_{\text{drill}}^C\|} \mathbf{n}_{\text{hole}}^C \quad \text{公式 (4)}$$

$$\mathbf{e}_{\text{dir}}^C = \frac{\mathbf{n}_{\text{drill}}^C \times \mathbf{n}_{\text{hole}}^C}{\|\mathbf{n}_{\text{drill}}^C \times \mathbf{n}_{\text{hole}}^C\|} \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{n}_{\text{drill}}^C \cdot \mathbf{n}_{\text{hole}}^C}{\|\mathbf{n}_{\text{drill}}^C\| \|\mathbf{n}_{\text{hole}}^C\|} \right) \quad \text{公式 (5)}$$

10 步骤 4: 通过相关技术中的机器人运动学方法得到远端锁定装置坐标系到机械臂基座坐标系的旋转矩阵 $\mathbf{R}_E^R$ 。

步骤 5: 计算出机械臂基座坐标系中机械臂的运动量, 包括平移量 $\mathbf{d}^R$ 和转动量 $\mathbf{r}^R$, 如下公式 (6) 和公式 (7):

$$\mathbf{d}^R = (\mathbf{R}_C^E \mathbf{R}_E^R)^T \mathbf{e}_{\text{pos}}^C \quad \text{公式 (6)}$$

$$\mathbf{r}^R = (\mathbf{R}_C^E \mathbf{R}_E^R)^T \mathbf{e}_{\text{dir}}^C \quad \text{公式 (7)}$$

15

步骤 1540 中, 机械臂根据上述计算得到的机械臂运动量进行运动。

在本说明书的描述中, 参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中, 对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且, 描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外, 在不相互矛盾的情况下, 本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

20

此外, 术语“第一”、“第二”仅用于描述目的, 而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此, 限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者

25

隐含地包括至少一个该特征。在本申请的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。

流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为，表示包括一个或更多个用于实现定制逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的模块、片段或部分，并且本申请的优选实施方式的范围包括另外的实现，其中可以不按所示出或讨论的顺序，包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序，来执行功能，这应被本申请的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

在流程图中表示或在此以其他方式描述的逻辑和/或步骤，例如，可以被认为是用于实现逻辑功能的可执行指令的定序列表，可以具体实现在任何计算机可读介质中，以供指令执行系统、装置或设备（如基于计算机的系统、包括处理器的系统或其他可以从指令执行系统、装置或设备取指令并执行指令的系统）使用，或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用。就本说明书而言，“计算机可读介质”可以是任何可以包含、存储、通信、传播或传输程序以供指令执行系统、装置或设备或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用的装置。计算机可读介质的更具体的示例（非穷尽性列表）包括以下：具有一个或多个布线的电连接部（电子装置），便携式计算机盘盒（磁装置），随机存取存储器（RAM），只读存储器（ROM），可擦除可编程只读存储器（EPROM 或闪速存储器），光纤装置，以及便携式光盘只读存储器（CDROM）。另外，计算机可读介质甚至可以是可在其上打印所述程序的纸或其他合适的介质，因为可以例如通过对纸或其他介质进行光学扫描，接着进行编辑、解译或必要时以其他合适方式进行处理来以电子方式获得所述程序，然后将其存储在计算机存储器中。

应当理解，本申请的各部分可以用硬件、软件、固件或它们的组合来实现。在上述实施方式中，多个步骤或方法可以用存储在存储器中且由合适的指令执行系统执行的软件或固件来实现。如，如果用硬件来实现和在另一实施方式中一样，可用本领域公知的下列技术中的任一项或他们的组合来实现：具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门电路的离散逻辑电路，具有合适的组合逻辑门电路的专用集成电路，可编程门阵列（PGA），现场可编程门阵列（FPGA）等。

本技术领域的普通技术人员可以理解实现上述实施例方法携带的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，该程序在执行时，包括方法实施例的步骤之一或其组合。

此外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理模块中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个模块中。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。所述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，也可以存储在一个计算机可读存储介质中。

- 5 上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。尽管上面已经示出和描述了本申请的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本申请的限制，本领域的普通技术人员在本申请的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

权利要求书

1、一种二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统，其特征在于，包括：

机械臂、远端锁定装置，其中，所述远端锁定装置由连接臂、钻孔导向器和标定装置
5 组成，其中，

所述连接臂的近端可装卸地与所述机械臂末端相连，所述连接臂的远端与所述标定装置连接，所述连接臂的远端与所述钻孔导向器连接；

所述标定装置，包括：透 X 光材料制成的基体，所述基体包括内部，中部和外部，其中，所述中部连接所述内部和所述外部，

10 所述基体上镶嵌有至少 8 个使用不透 X 光的材料制成的小球，所述小球被划分为第一组小球和第二组小球，所述第一组小球被镶嵌于所述基体的内部，所述第二组小球被镶嵌于所述基体的外部，所述第一组小球中所有的小球的直径相同，所述第二组小球中所有的小球的直径相同，所述第一组小球和第二组小球中小球的直径不同。

2、如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，

15 所述第一组小球中的小球两两分成多对，每对球球心之间的连线交于一同一点，所述第一组小球中所有小球到所述一同一点的归一化距离各不相同；

所述第二组小球两两分成多对，每对小球球心之间的连线交于另一同一点，所述第二组小球中所有小球到所述另一同一点的归一化距离各不相同；

20 3、如权利要求 2 所述的系统，其特征在于，其中，所述归一化距离定是对应小球的球心到对应的同一点的距离与所述小球的球心到与其配对的小球球心之间的距离之比。

4、如权利要求 1-3 任一所述的系统，其特征在于，所述第二组小球的直径大于所述第一组小球的直径，或者，

所述第一组小球的直径大于所述第二组小球的直径。

5、如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，还包括：

25 X 光图像采集设备，其中，所述 X 光图像采集设备包括图像畸变校正装置和影像增强器，其中，所述图像畸变校正装置被安装于所述影像增强器上。

6、如权利要求 5 所述的系统，其特征在于，所述 X 光图像采集设备是 C 型臂 X 光机或者 G 型臂 X 光机。

7、如权利要求 6 所述的系统，其特征在于，还包括：

30 数据线和远程工作站，其中，所述远程工作站与所述 X 光图像采集设备以及机械臂分别通过所述数据线相连。

8、如权利要求 5 所述的系统，其特征在于，所述图像畸变校正装置上包括小球阵列，所述小球阵列用于提供所述 X 光图像采集设备的视场。

9、如权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述远程工作站通过所述远程工作站上的图形界面用于显示有关图像。

5 10、一种基于手术机器人系统的远端锁定方法，其特征在于，所述方法应用于如权利要求 1-9 任一所述的二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统中，所述方法包括以下步骤：

根据预设的调整参数调整所述二维图像引导的髓内针远端锁定机器人系统中，X 光图像采集设备的位置和角度，以使得髓内针远端锁孔的轮廓在 X 光图像采集设备采集的 X 光
10 图像中为一正圆；

通过安装了图像畸变校正装置的 X 光图像采集设备采集包含有图像畸变校正装置的 X 光图像；

根据所述 X 光图像获取图像畸变参数；

根据所述 X 光图像采集设备的视场的位置移动机械臂，使安装于其前端的远端锁定装
15 置位于 X 光图像采集设备的视场中，并采集一张候选 X 光图像；

在所述候选 X 光图像中标定锁孔位置；

根据所述锁孔位置和所述远端锁定装置上小球的位置，计算出机械臂运动参数，并根据所述运动参数移动所述机器臂并采集一张目标 X 光图像；

计算所述目标 X 光图像中所述锁孔位置和钻孔导向器之间的对准误差；

20 根据对准误差调整所述机械臂运动参数，直至所述对准误差小于预设阈值，提示操作者在所述钻孔导向器的引导下钻出穿过髓内针锁孔的导向孔，然后往所述导向孔中拧入锁紧螺钉，以完成远端锁定。

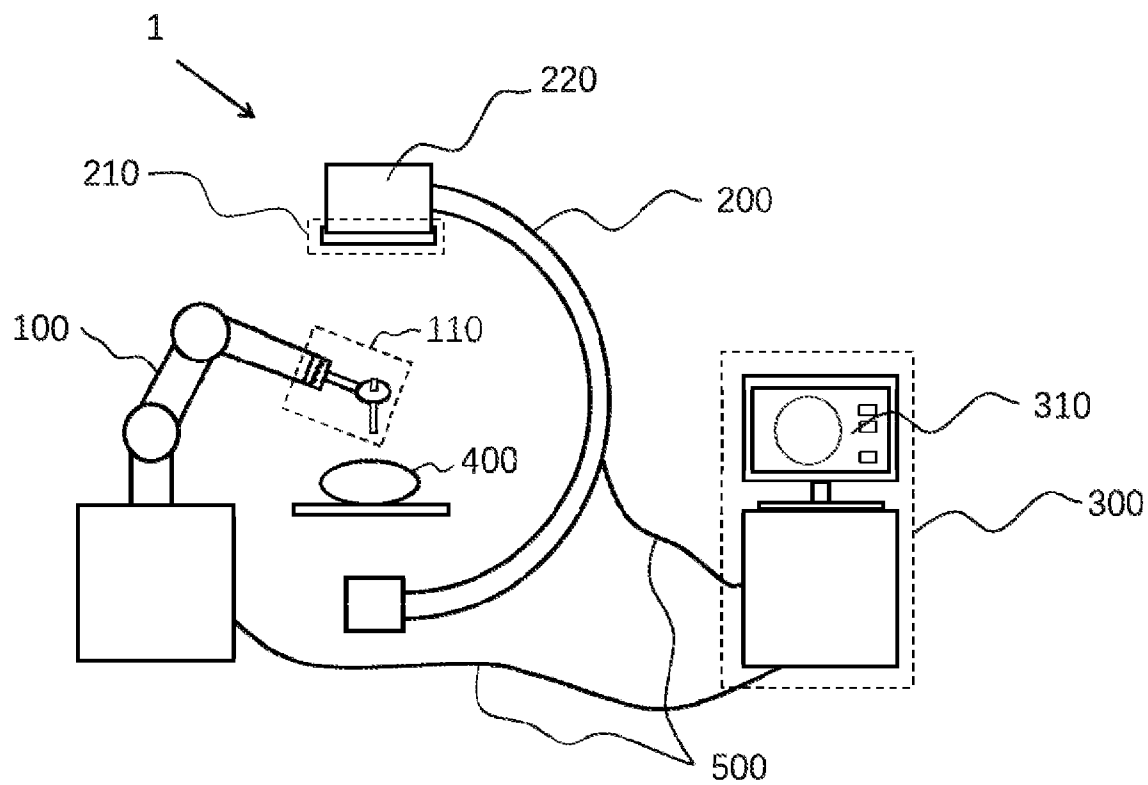


图 1

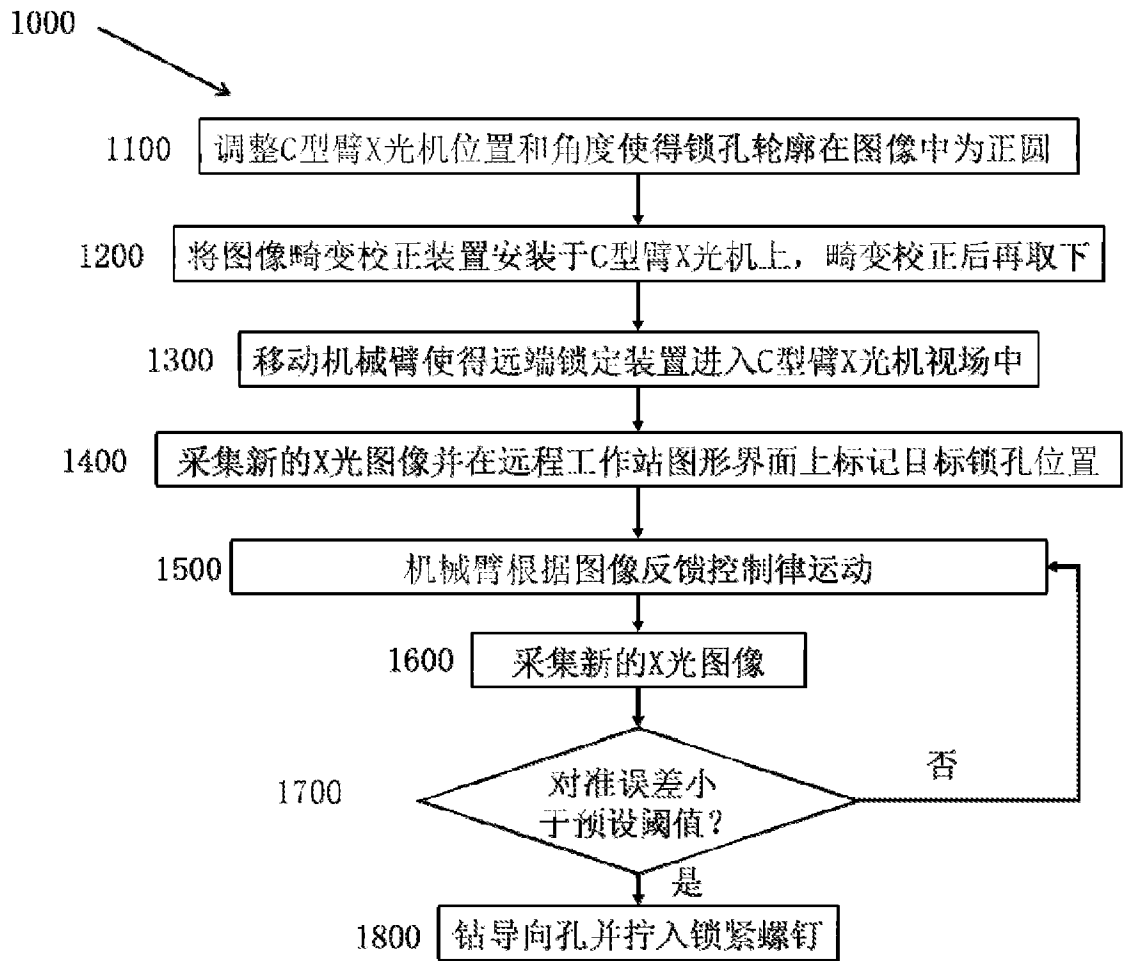


图 2

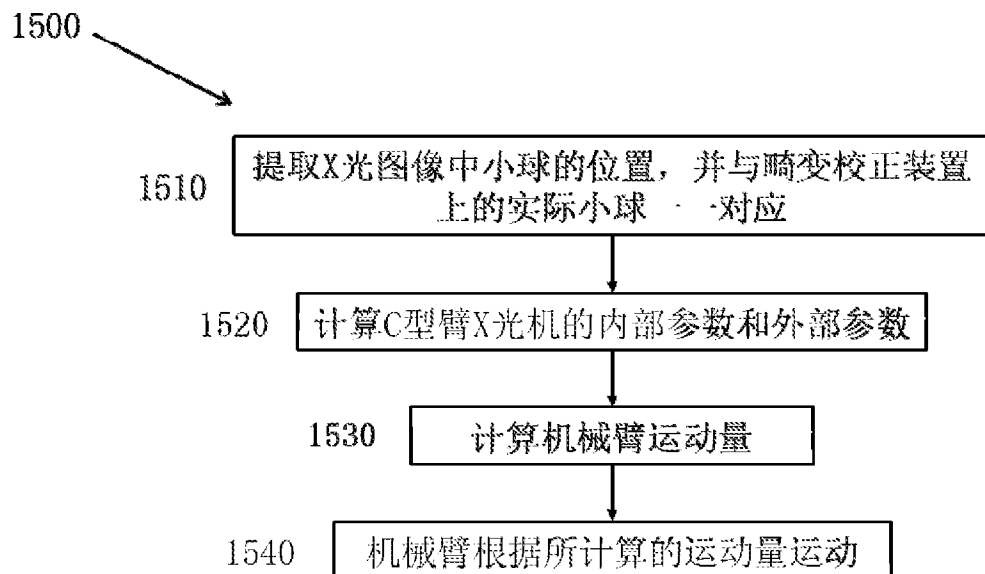


图 3

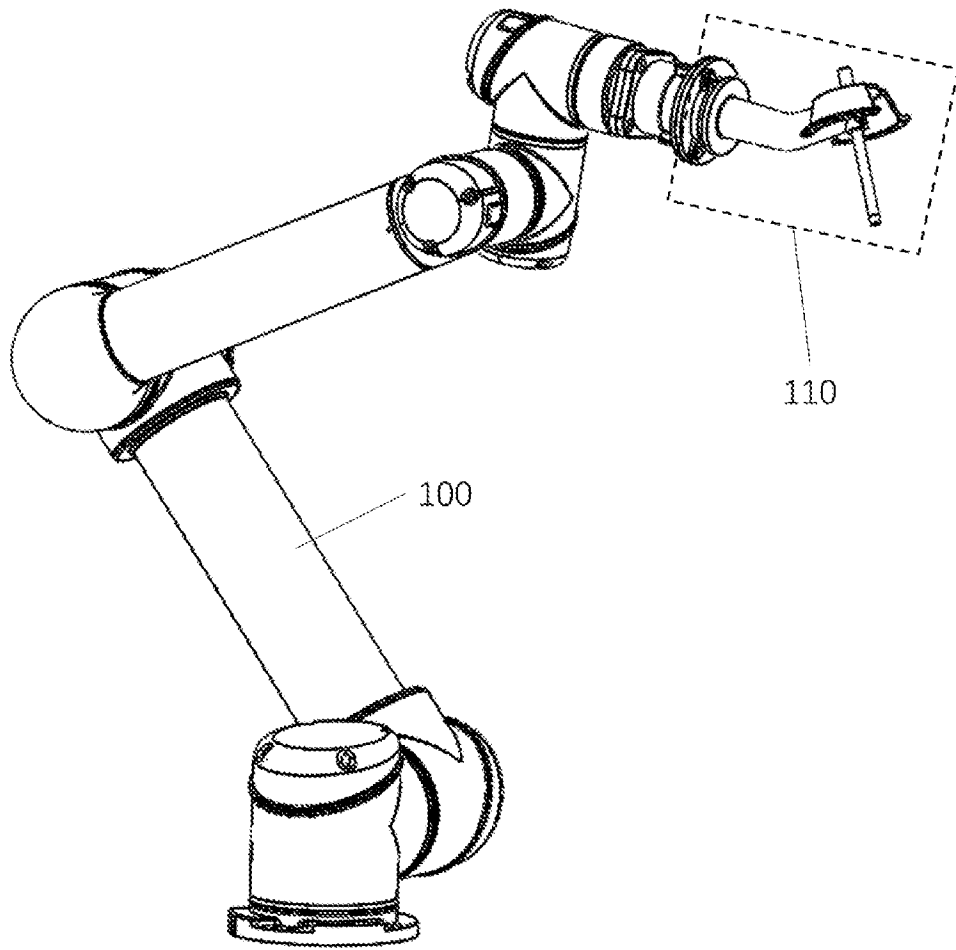


图 4

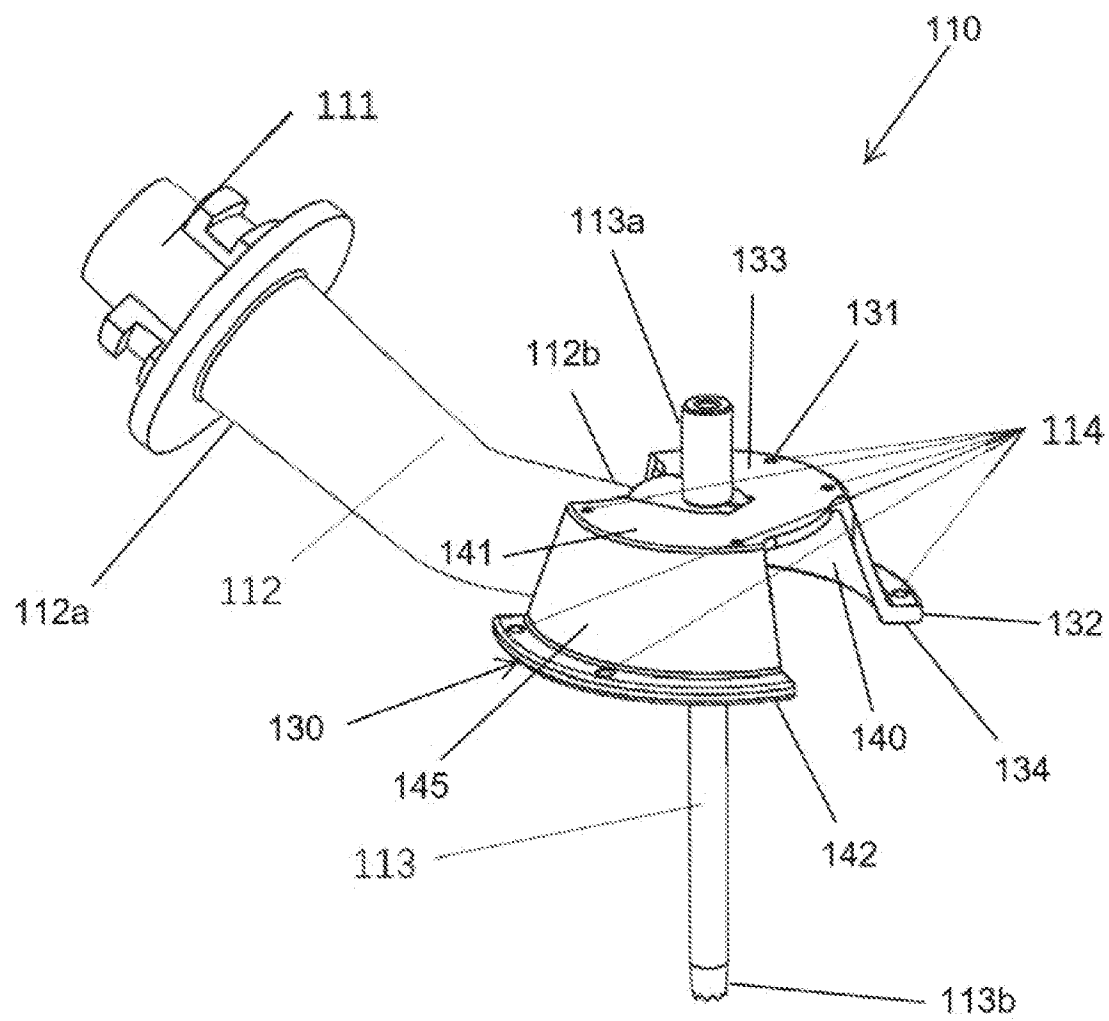


图 5

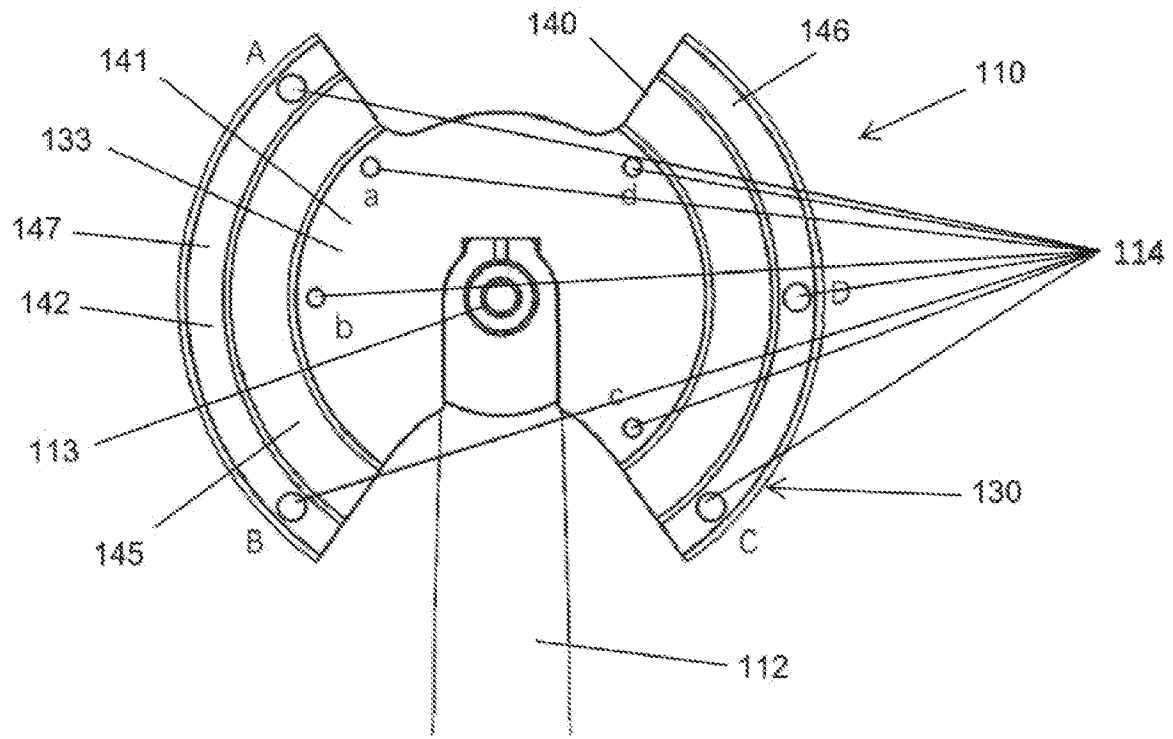


图 6

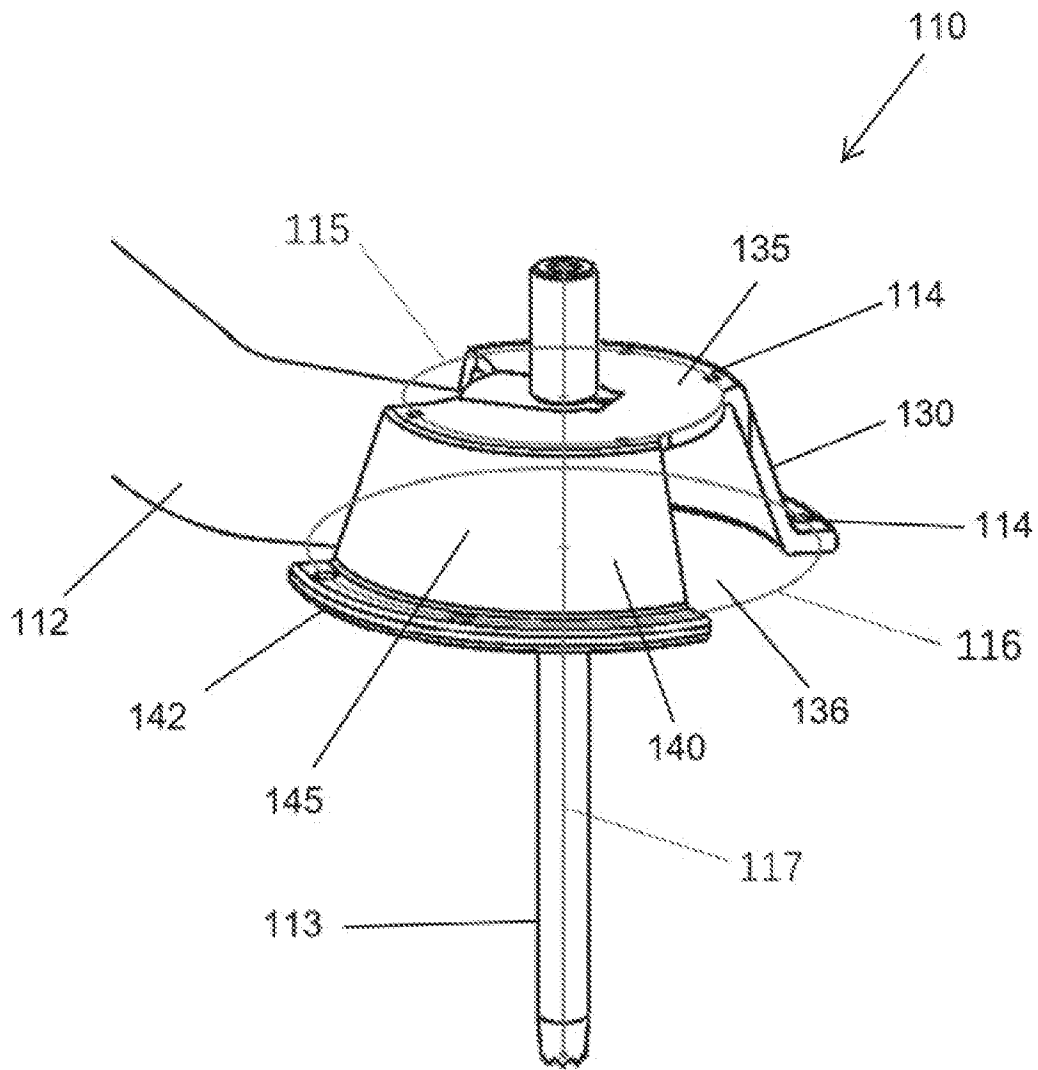


图 7

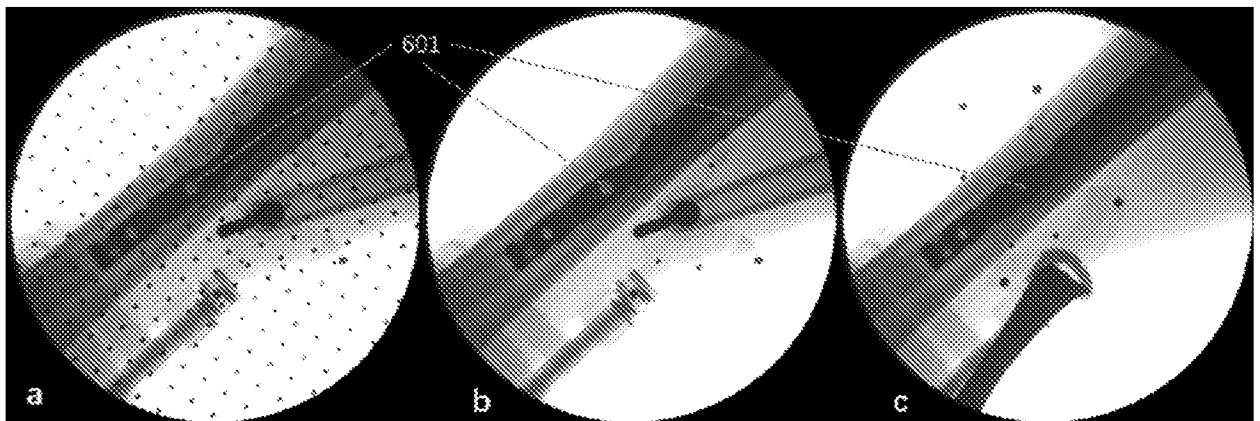


图 8

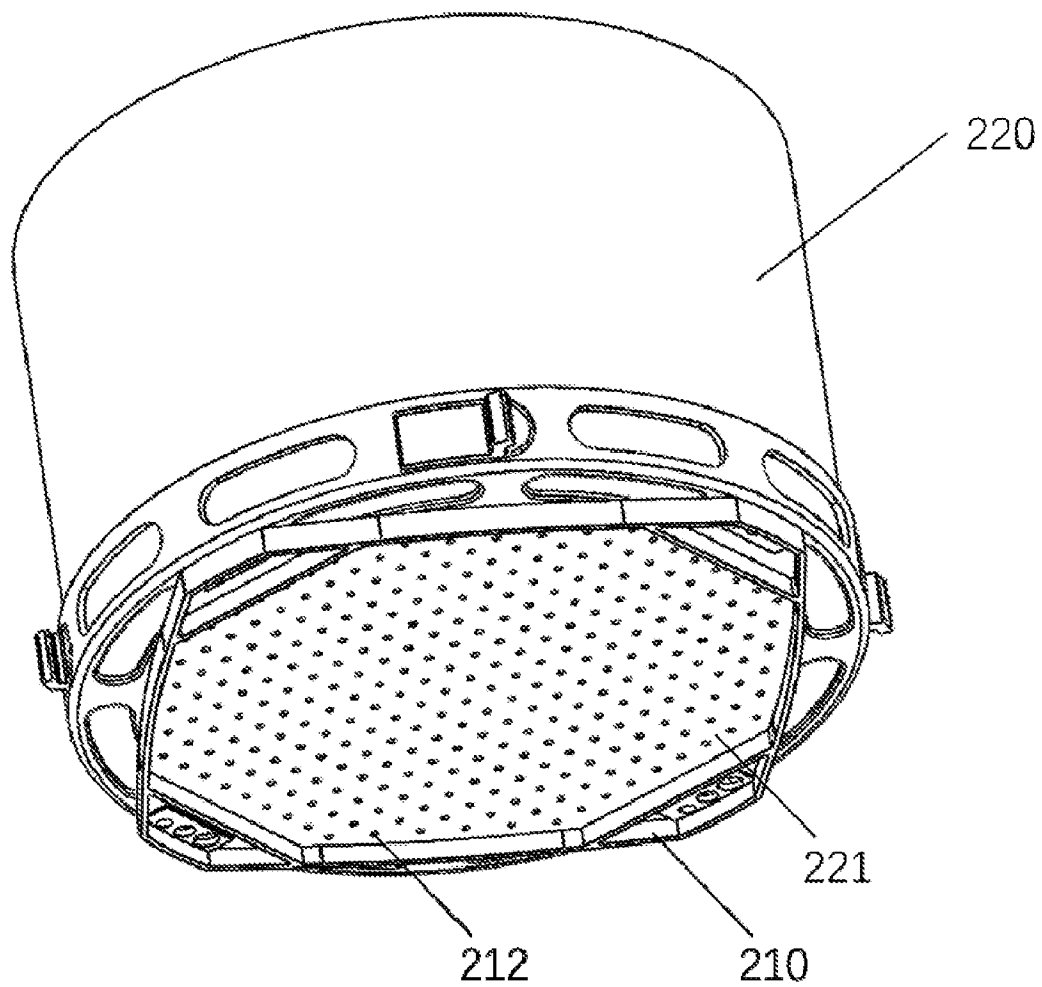


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/115410

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 17/17(2006.01)i; A61B 17/72(2006.01)i; A61B 34/30(2016.01)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)

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, EXTXT, WPABSC, VEN: 骨, 髓, 机器人, 导航, 定位, 引导, bone?, medulla+, robot, guid+, orient+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112869856 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 01 June 2021 (2021-06-01) claims 1-9	1-9
X	CN 111297479 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 19 June 2020 (2020-06-19) description, pp. 5-15, and figures 1-11	1-9
X	US 2019274775 A1 (MEDTECH) 12 September 2019 (2019-09-12) description, pp. 4-8, and figures 1-15	1-9
Y	CN 112006777 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 01 December 2020 (2020-12-01) description, pp. 4-9, and figures 1-8	1-9
Y	CN 109363771 A (ANHUI AIKESUO MEDICAL ROBOT CO., LTD.) 22 February 2019 (2019-02-22) description, pp. 3-4, and figures 1-6	1-9
Y	US 2010249800 A1 (UNIV SOGANG IND UNIV COOP FOUN) 30 September 2010 (2010-09-30) description, pp. 3-7, and figures 1-11	1-9
A	US 2020390503 A1 (CASAS, C. Q. et al.) 17 December 2020 (2020-12-17) 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

19 November 2021

Date of mailing of the international search report

29 November 2021

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

International application No.

PCT/CN2021/115410

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 1424673 A (WANG, Tianmiao et al.) 18 June 2003 (2003-06-18) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/115410

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: **10**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
[1] A method for treatment of a human body or an animal body by surgery (PCT Rule 39.1(iv)).
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/115410

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112869856	A	01 June 2021	None			
CN	111297479	A	19 June 2020	None			
US	2019274775	A1	12 September 2019	WO	2018073452	A1	26 April 2018
				US	2020330180	A1	22 October 2020
				FR	3057757	A1	27 April 2018
				FR	3057757	B1	16 April 2021
				US	10675116	B2	09 June 2020
				CN	110352042	A	18 October 2019
				EP	3528738	A1	28 August 2019
				CA	3050516	A1	26 April 2018
				CA	3050516	C	13 April 2021
CN	112006777	A	01 December 2020	None			
CN	109363771	A	22 February 2019	None			
US	2010249800	A1	30 September 2010	US	8046054	B2	25 October 2011
				KR	100731052	B1	22 June 2007
US	2020390503	A1	17 December 2020	None			
CN	1424673	A	18 June 2003	CN	1203435	C	25 May 2005

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/115410

A. 主题的分类

A61B 17/17(2006.01)i; A61B 17/72(2006.01)i; A61B 34/30(2016.01)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)

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))

CNABS, CNTXT, CNKI, EXTXT, WPABSC, VEN: 骨, 髓, 机器人, 导航, 定位, 引导, bone?, medulla+, robot, guid+, orient+

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
PX	CN 112869856 A (清华大学) 2021年 6月 1日 (2021 - 06 - 01) 权利要求1-9	1-9
X	CN 111297479 A (清华大学) 2020年 6月 19日 (2020 - 06 - 19) 说明书第5-15页, 图1-11	1-9
X	US 2019274775 A1 (MEDTECH) 2019年 9月 12日 (2019 - 09 - 12) 说明书第4-8页, 图1-15	1-9
Y	CN 112006777 A (清华大学) 2020年 12月 1日 (2020 - 12 - 01) 说明书第4-9页, 图1-8	1-9
Y	CN 109363771 A (安徽埃克索医疗机器人有限公司) 2019年 2月 22日 (2019 - 02 - 22) 说明书第3-4页, 图1-6	1-9
Y	US 2010249800 A1 (UNIV SOGANG IND UNIV COOP FOUN) 2010年 9月 30日 (2010 - 09 - 30) 说明书第3-7页, 图1-11	1-9
A	US 2020390503 A1 (CASAS CARLOS QUILES等) 2020年 12月 17日 (2020 - 12 - 17) 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

2021年 11月 19日

国际检索报告邮寄日期

2021年 11月 29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

授权官员

张清楠

电话号码 (86-10)62085610

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 1424673 A (王田苗) 2003年 6月 18日 (2003 - 06 - 18) 全文	1-9

第II栏 某些权利要求被认为是不能检索的意见(续第1页第2项)

根据条约第17条(2)(a)，对某些权利要求未做国际检索报告的理由如下：

1. ☒ 权利要求： 10
因为它们涉及不要求本单位进行检索的主题，即：
[1] 对人体或动物体的外科手术处置方法（PCT Rule 39.1(iv)）。
2. ☐ 权利要求：
因为它们涉及国际申请中不符合规定的要求的部分，以致不能进行任何有意义的国际检索， 具体地说：
3. ☐ 权利要求：
因为它们是从属权利要求，并且没有按照细则6.4(a)第2句和第3句的要求撰写。

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/115410

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	112869856	A	2021年 6月 1日	无			
CN	111297479	A	2020年 6月 19日	无			
US	2019274775	A1	2019年 9月 12日	WO	2018073452	A1	2018年 4月 26日
				US	2020330180	A1	2020年 10月 22日
				FR	3057757	A1	2018年 4月 27日
				FR	3057757	B1	2021年 4月 16日
				US	10675116	B2	2020年 6月 9日
				CN	110352042	A	2019年 10月 18日
				EP	3528738	A1	2019年 8月 28日
				CA	3050516	A1	2018年 4月 26日
				CA	3050516	C	2021年 4月 13日
CN	112006777	A	2020年 12月 1日	无			
CN	109363771	A	2019年 2月 22日	无			
US	2010249800	A1	2010年 9月 30日	US	8046054	B2	2011年 10月 25日
				KR	100731052	B1	2007年 6月 22日
US	2020390503	A1	2020年 12月 17日	无			
CN	1424673	A	2003年 6月 18日	CN	1203435	C	2005年 5月 25日