

# (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 10 月 13 日 (13.10.2022)



(10) 国际公布号  
**WO 2022/213614 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
*G01D 21/02* (2006.01) *H02N 1/04* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/132342
- (22) 国际申请日: 2021 年 11 月 23 日 (23.11.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
202110385001.2 2021年4月9日 (09.04.2021) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号陈涛, Jiangsu 215131 (CN)。
- (72) 发明人: 陈涛(CHEN, Tao); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号陈涛, Jiangsu 215131 (CN)。 侯绪研(HOU, Xuyan); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号侯绪研, Jiangsu 215131 (CN)。 李龙(LI,

Long); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号李龙, Jiangsu 215131 (CN)。 刘会聪(LIU, Huicong); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号刘会聪, Jiangsu 215131 (CN)。 杨湛(YANG, Zhan); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号杨湛, Jiangsu 215131 (CN)。 王凤霞(WANG, Fengxia); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号王凤霞, Jiangsu 215131 (CN)。 孙立宁(SUN, Lining); 中国江苏省苏州市相城区济学路 8 号孙立宁, Jiangsu 215131 (CN)。

(74) 代理人: 北京权智天下知识产权代理事务所(普通合伙)(BEIJING SKYINTEL PATENT AGENCY); 中国北京市丰台区菜户营 58 号财富西环大厦 1506 室李婷, Beijing 100054 (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,

(54) Title: SPACE-ENVIRONMENT-ORIENTED SELF-POWERED MULTI-MODE SENSING METHOD

(54) 发明名称: 一种面向空间环境的自供电多模态感知方法

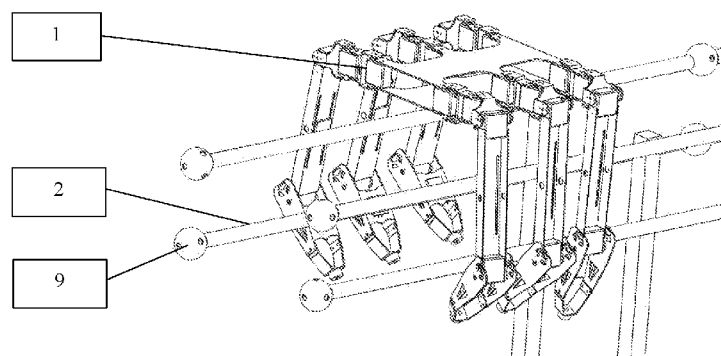


图 1

(57) Abstract: A space-environment-oriented self-powered multi-mode sensing method, comprising: using an on-orbit assembly robot (1) for assembling a truss-rod-spherical structure, wherein a truss rod (2) is inserted into an insertion hole of a spherical structure (9), such that the truss rod (2) is extended; installing sliding sense integrated sensors (5) on legs (4) and a clamping end (6) of a crawling robot, and checking, by means of the sliding sense integrated sensors (5), whether the legs (4) and the clamping end (6) of the crawling robot come into contact with the truss rod (2) and whether sliding occurs; and adjusting a posture of the crawling robot based on a detection result. Further provided is a space-oriented self-powered multi-mode sensing device of the on-orbit assembly robot (1).

(57) 摘要: 一种面向空间环境的自供电多模态感知方法, 在轨装配机器人(1)用于装配桁架杆-球状结构, 桁架杆(2)插入到球状结构(9)的插孔中, 从而延长桁架杆(2); 在爬行机器人的腿部(4)和夹持端(6)安装触滑觉集成传感器(5), 通过触滑觉集成传感器(5)能够检测到爬行机器人的腿部(4)和夹持端(6)与桁架杆(2)是否接触、是否发生滑移; 根据上述检测结果, 爬行机器人进行姿态的调整。还提供一种面向空间的在轨装配机器人(1)的自供电多模态感知装置。

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

**(84)** 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

# 一种面向空间环境的自供电多模态感知方法

## 技术领域

本申请涉及空间装配机器人领域，更具体地说，尤其涉及一种面向空间环境的自供电多模态感知方法。

## 背景技术

面向以空间站和大口径天线等为代表的大型航天器及空间结构在轨装配需求，国内外普遍提出采用爬行移动装配机器人的新型零件级装配方式，大大提高了大型空间桁架的建设效率。然而，如何在太空极端环境（真空、高低温、辐照）下，简单、高效、低成本的对移动机器人运动状态和桁架球-杆装配状态进行感知，是空间大型桁架结构零件级装配亟需解决的重要问题。

针对于空间机器人的传感应用，加拿大、德国等国家在为国际空间站研发的遥操作机械臂系统和专用灵巧机械臂关节处安装了基于电阻应变式的触觉、力觉传感器。日本空间探索局在为国际空间站研制的实验舱机械手系统上配备了1个基于电阻应变式的六维力/力矩传感器。荷兰空间中心在为欧空局研制的空间机械臂上安装了两个电阻应变式的力/力矩传感器，并在机械臂末端装有红外相机，该机械臂主要用于对国际空间站的俄罗斯舱段的装配和维护。我国的载人航天工程在国际上处于领先地位，航天五院、航天八院，哈尔滨工业大学（CN1807032A、CN106571097A）、北京航空航天大学（CN106313031A）、东南大学、北京控制工程研究所、合肥智能机械研究所等单位都陆续开展了与空间机械臂相关的研究工作，包括与空间六维力/力矩传感器应用相关的研究工作。

常规的触觉传感器包括压阻式、电容式、光电式、电磁式等类型，但结合空间极端环境，此类传感器普遍存在易受干扰、结构复杂、信号传输困难等缺陷，尤其是该类器件很容易受高低温影响，以及受到各种粒子和射线的辐照而产生带电现象，引起材料特性尤其是表面特性的变化，甚至引起器件的损坏。此外，上述触觉传感器需要使用外界供电，增加了传感器系统的复杂性以及能耗。

## 发明内容

本申请的目的在于针对上述现有技术的不足，提供一种面向空间环境的自供电多模态感知方法。

本申请的技术方案如下：

一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知方法，在轨装配机器人用于装配桁架

杆-球状结构，桁架杆插入到球状结构的插入孔中，从而延长桁架杆；

所述在轨装配机器人为爬行机器人，其包括：腿部（4）、夹持端、触滑觉集成传感器（5）；在爬行机器人的腿部（4）和夹持端安装触滑觉集成传感器（5），通过触滑觉集成传感器能够检测到爬行机器人的腿部和夹持端与桁架杆是否接触、是否发生滑移；

其中，检测到爬行机器人的腿部和夹持端与桁架杆否发生滑移时，能够检测到滑移大小以及滑移方向；

根据上述检测结果，爬行机器人进行姿态的调整。

进一步，桁架杆为金属杆；在爬行机器人的夹持端设置有脉冲电信号接收装置；

在球状结构（9）的插孔的侧壁上设置有三片侧壁铜电极（10），在插孔的底面设置有一片底面铜电极（11）；三片侧壁铜电极（10）分别设置在球状结构（9）的插孔的侧壁不同的深度处；在桁架杆的端部的径向设置有径向接触电极（12），在端部面上设置有底端接触电极（13）；

上述设计能够实现装配过程和装配到位的检测：

当金属桁架杆（2）插入球状结构（9）的插孔的过程中，三条铜电极依次与桁架杆下端外侧的径向接触电极（12）（PDMS 摩擦电极）相接触摩擦，输出三个脉冲信号；

当桁架杆 2 到插孔的最底部时（即最深处），底端接触电极（13）与底面铜电极（11）接触，输出一个脉冲信号，表明装配顺利完成；。

上述脉冲信号直接由桁架杆传递到机器人夹持端接收装置中。

一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知装置，所述在轨装配机器人为爬行机器人，其包括：腿部（4）、夹持端、触滑觉集成传感器（5）；

其中，触滑觉集成传感器（5），包括：滑觉模块（7）、触觉模块（6）；

触觉模块（6），包括：上 PMMA 基底（6-1）、下 PMMA 基底（6-2）、顶部铜电极（6-3）、底部铜电极（6-4）、摩擦层（6-5）、弹簧（6-6）；在上 PMMA 基底的下侧的镀有一层铜电极，称为顶部铜电极（6-3），其同时用作电极和摩擦层；

在下 PMMA 基底的部分区域的上侧镀有一层铜电极，称为底部铜电极（6-4）；在底部铜电极（6-4）上侧旋涂的一层 PDMS 摩擦层（6-5），上 PMMA 基底与下 PMMA 基底通过弹簧连接在一起；初始状态下，顶部铜电极（6-3）和摩擦层（6-5）间有一层空气间隙；

滑觉模块（7）包括：PDMS 硅胶滑移模块（7-1）、位移方位及位移量检测电极（7-2）；所述 PDMS 硅胶滑移模块（7-1 滑动设置在位移方位及位移量检测电极的上侧；

下 PMMA 基底（6-2）部分区域分区域不镀铜，位移方位及位移量检测电极设置在下 PMMA 基底的部分下侧未镀铜的那片区域上。

进一步，位移方位及位移量检测电极（7-2）包括：基座和三条电极，在基座下部的四个方位上均设计出三条电极：第一电极（8-1）、第二电极（8-2）、第三电极（8-3），对应着滑觉检测的三个等级，根据三种分级的电信号能够判断出滑动的位移量：

当有滑动产生时，硅胶滑动模块首先与第一电极（8-1）接触，并产生电信号；随着滑动位移量的增大，依次与第二电极（8-2）、第三电极（8-3）相继接触而产生相应的电信号；当第一条或者第一、二两条电极有信号输出时，认为滑动趋势为安全范围；当第三条电极有信号输出，则会发生相对移动造成步态失稳，此时则需要爬行机器人重新调整进行二次抱紧；

位移方位及位移量检测电极也能够检测出滑动的方向：

当硅胶滑动模块向各个方向产生滑动时，相对应的电极就是产生相对应的电信号，从而判断出爬行机器人脱离桁架的方向，从而使机器人重新调整姿态。

进一步，在摩擦层（6-5）表面刻蚀微细结构。

进一步，弹簧（6-6）的数量为4个以上。

本申请的有益效果在于：

第一，面向空间在轨装配需求特点，提出一种基于纳米摩擦发电的多模态自供电传感方法，并揭示其真空、高低温、辐照等空间多环境场耦合下的自供电感知信号转化机理。

第二，提出了适用于空间极端条件的新型多模态传感器信号检测方法。更为特别的，提出了适用的传感器（传感器可以作为单独的商品出售，因此，对于传感器的技术方案的保护另案申请）具有极端环境下性能稳定、结构简单易集成、无源自供电的优点。

第三，提出的触滑觉集成式摩擦电传感器既可以准确的检测出机器人接触状态，又可以通过创新的滑觉模块部分检测到机器人滑动时的具体方向和位移量。

第四，基于摩擦电机理，提出一种桁架球-杆装配（轴孔配合）的新型检测方法。具有结构简单，无需外接引线的优点。

## 附图说明

下面结合附图中的实施例对本申请作进一步的详细说明，但并不构成对本申请的任何限制。

图1是机器人在轨爬行姿态图。

图2是爬行机器人结构图。

图3是触滑觉集成传感器的三维设计示意图。

图4是触滑觉集成传感器的结构设计剖面图。

图5是滑觉模块的工作原理图。

图6是八方位滑动检测原理俯视图。

图 7 是装配过程的检测原理示意图。

图 1-7 附图标记说明如下：

机器人 1、桁架杆 2、舵机 3、腿部 4、传感器 5、足端 6、机体 7、关节 8；

上 PMMA 基底 6-1、下 PMMA 基底 6-2、顶部铜电极 6-3、底部铜电极 6-4、摩擦层 6-5、  
弹簧 6-6；

PDMS 硅胶滑动模块 7-1、位移方位及位移量检测电极 7-2；

第一电极 8-1、第二电极 8-2、第三电极 8-3；

球状结构 9；

侧壁铜电极 10；

底面铜电极 11；

径向接触电极 12；

底端接触电极 13。

### 具体实施方式

实施例 1：本申请研究了一种面向空间环境的自供电多模态感知方法。

图 1 给出了空间爬行装配机器人在轨任务示意图：机器人装配桁架杆 2，桁架杆 2 与桁架杆 2 之间通过球状结构 9 连接；球状结构 9 上设置有插孔，桁架杆 2 插入到球状结构 9 的插孔内，实现两者的固定。

图 2 给出了爬行机器人的结构，包括机器人的舵机 3、腿部 4、触滑觉集成传感器 5、足端 6、机体 7、关节 8；

触滑觉集成传感器 5 设置在腿部 4 和足端 6 上。

对于爬行机器人而言，通过触滑觉集成传感器 5 实现多点多模态传感信号，上述信号采集后，然后进行分析以提供准确的反馈信息，以实现在轨装配机器人的运动控制。

传感器部分设计是基于摩擦发电原理的纳米摩擦发电装置，可以把机械能转化为电能。根据不同电极性材料摩擦产生电荷转移的特性，下面给出了空间极端环境下纳米摩擦发电自供电传感器结构界面电特性。

图 3 给出了触滑觉集成传感器 5 的设计，触滑觉集成传感器 5，包括：滑觉模块 7、触觉模块 6；

图 4 给出了上述两个模块的具体构造设计。

触觉模块 6 的构造如下：

包括：上 PMMA 基底 6-1、下 PMMA 基底 6-2、顶部铜电极 6-3、底部铜电极 6-4、摩擦层 6-5、弹簧 6-6；

在上 PMMA 基底的下侧的镀有一层铜电极，称为顶部铜电极 6-3（顶部的铜电极同时用作电极和摩擦层）；

在下 PMMA 基底 6-2 的部分上侧镀有一层铜电极（下 PMMA 基底 6-2 部分区域镀铜，部分区域不镀铜），称为底部铜电极 6-4；

在底部铜电极 6-4 上侧旋涂的一层聚二甲基硅氧烷(PDMS)摩擦层 6-5，上 PMMA 基底与下 PMMA 基底通过 4 个弹簧连接在一起（即将上 PMMA 基底、下 PMMA 连接成一个整体），使得顶部铜电极 6-3 和摩擦层 6-5 间有一层空气间隙，便于接触后恢复形变；

进一步说明的设计细节是：在摩擦层 6-5 表面刻蚀微细结构，增加了接触时摩擦面积，从而可以增加信号输出强度。

进一步说明的设计细节是：弹簧 6-6 的数量为 4 个以上。

触觉模块 6 的工作原理：当摩擦层 6-5 与顶部铜电极 6-3 接触/分离时，从而有对应的摩擦电信号产生。

滑觉模块 7 的构造如下：

滑觉模块 7 包括：PDMS 硅胶滑移模块 7-1（负摩擦电极）、位移方位及位移量检测电极（正摩擦电极）7-2；所述 PDMS 硅胶滑移模块 7-1（负摩擦电极）滑动设置在位移方位及位移量检测电极（正摩擦电极）7-2 的上侧；

位移方位及位移量检测电极（正摩擦电极）设置在下 PMMA 基底的部分下侧未镀铜的那片区域上。

滑觉模块 7 的工作原理如下：当 PDMS 硅胶滑移模块 7-1 发生偏摆与位移方位及位移量检测电极接触或分离（即正负电极相接触或分离）时，从而有对应的电信号产生。

进一步说明的设计细节是：位移方位及位移量检测电极（正摩擦电极）7-2 包括：基座和三条电极（四个方位均设置有三条电极），在基座下部的四个方位上均设计出三条电极（不同的方位设置电极，能够检测位移方位）：第一电极 8-1、第二电极 8-2、第三电极 8-3，对应着滑觉检测的三个等级，根据三种分级的电信号就可以判断出滑动的位移量。

当有滑动产生时，硅胶滑移模块首先与第一电极 8-1 接触，并产生电信号。随着滑动位移量的增大，依次与第二电极 8-2、第三电极 8-3 相继接触而产生相应的电信号。

当第一条或者第一、二两条电极有信号输出时，认为滑动趋势为安全范围。当第三条电极有信号输出，则会发生相对移动造成步态失稳，此时则需要机器人重新调整该足部机构进行二次抱紧。

进一步说明的设计细节是：所述 PDMS 硅胶滑移模块 7-1 为碗状，所述基座也为碗状。

滑觉模块 7 结构还可以准确的判断机器人发生滑动的方向，图 6 为滑觉的定向检测示意

图，用 E1 表示北，E2 表示东，E3 表示南，E4 表示西。东北方向则用 E1+E2 表示，东南方向用 E1+E3 表示，西南方向用 E3+E4 表示，西北方向则用 E1+E4 表示。当硅胶滑动模块向各个方向产生滑动时，相对应的电极就是产生相对应的电信号，从而判断出爬行机器人脱离桁架的方向，从而使机器人重新调整姿态。

为实现机器人在桁架装配过程中桁架杆-球装配效果的多模态感知，更好的采集多路传感信号，拟在桁架杆外侧、桁架球内腔设计增加基于触觉感知的位置检测功能，更好的完成爬行机器人运动及装配作业控制。

图 7 给出了装配过程的检测原理示意图，其意义在于判断装配是否到位。

如图 1 所示，桁架杆的端部连接有球状结构 9，在球状结构 9 的插孔的侧壁上设置有三片侧壁铜电极 10，在插孔的底面设置有一片底面铜电极 11；三片侧壁铜电极 10 分别设置在球状结构 9 的插孔的侧壁不同的深度处，上述设计可以实现装配过程和装配到位的检测。

当金属桁架杆 2 插入过程中，三条铜电极依次与杆下端外侧的 PDMS 摩擦电极相接触摩擦，输出三个脉冲信号，当桁架杆 2 到插孔的最底部时（即最深处），输出一个脉冲信号，则表明装配顺利完成。

其中，桁架杆为金属杆，脉冲信号直接由桁架杆传递到机器人夹持端接收装置中（此时金属杆既充当传感器的金属电极，同时又当作是导线传出电信号），同时根据纳米摩擦发电机理，球体内部的四个电极均无需导线引出，因此大大简化了传感器的结构，提高了稳定性和可靠性。这种检测方式具有一定的普遍适用性，可以用于各种轴孔装配检测的模型中。

以上所举实施例为本申请的较佳实施方式，仅用来方便说明本申请，并非对本申请作任何形式上的限制，任何所属技术领域中具有通常知识者，若在不脱离本申请所提技术特征的范围内，利用本申请所揭示技术内容所作出局部更动或修饰的等效实施例，并且未脱离本申请的技术特征内容，均仍属于本申请技术特征的范围内。

## 权利要求书

1. 一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知方法，其特征在于，在轨装配机器人用于装配桁架杆-球状结构，桁架杆插入到球状结构的插入孔中，从而延长桁架杆；

所述在轨装配机器人为爬行机器人，其包括：腿部（4）、夹持端、触滑觉集成传感器（5）；在爬行机器人的腿部（4）和夹持端安装触滑觉集成传感器（5），通过触滑觉集成传感器能够检测到爬行机器人的腿部和夹持端与桁架杆是否接触、是否发生滑移；

其中，检测到爬行机器人的腿部和夹持端与桁架杆否发生滑移时，能够检测到滑移大小以及滑移方向；

根据上述检测结果，爬行机器人进行姿态的调整。

2. 根据权利要求1所述的一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知方法，其特征在于，桁架杆为金属杆；在爬行机器人的夹持端设置有脉冲电信号接收装置；

在球状结构（9）的插孔的侧壁上设置有三片侧壁铜电极（10），在插孔的底面设置有一片底面铜电极（11）；三片侧壁铜电极（10）分别设置在球状结构（9）的插孔的侧壁不同的深度处；在桁架杆的端部的径向设置有径向接触电极（12），在端部面上设置有底端接触电极（13）；

上述设计能够实现装配过程和装配到位的检测：

当金属桁架杆（2）插入球状结构（9）的插孔的过程中，三条铜电极依次与桁架杆下端外侧的径向接触电极（12）（PDMS 摩擦电极）相接触摩擦，输出三个脉冲信号；

当桁架杆 2 到插孔的最底部时（即最深处），底端接触电极（13）与底面铜电极（11）接触，输出一个脉冲信号，表明装配顺利完成；。

上述脉冲信号直接由桁架杆传递到机器人夹持端接收装置中。

3. 一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知装置，其特征在于，所述在轨装配机器人为爬行机器人，其包括：腿部（4）、夹持端、触滑觉集成传感器（5）；

其中，触滑觉集成传感器（5），包括：滑觉模块（7）、触觉模块（6）；

触觉模块（6），包括：上 PMMA 基底（6-1）、下 PMMA 基底（6-2）、顶部铜电极（6-3）、底部铜电极（6-4）、摩擦层（6-5）、弹簧（6-6）；在上 PMMA 基底的下侧的镀有一层铜电极，称为顶部铜电极（6-3），其同时用作电极和摩擦层；

在下 PMMA 基底的部分区域的上侧镀有一层铜电极，称为底部铜电极（6-4）；在底部铜电极（6-4）上侧旋涂的一层 PDMS 摩擦层（6-5），上 PMMA 基底与下 PMMA 基底通过弹簧连接在一起；初始状态下，顶部铜电极（6-3）和摩擦层（6-5）间有一层空气间隙；

滑觉模块（7）包括：PDMS 硅胶滑移模块（7-1）、位移方位及位移量检测电极（7-2）；所述 PDMS 硅胶滑移模块（7-1 滑动设置在位移方位及位移量检测电极的上侧；

下 PMMA 基底（6-2）部分区域分区域不镀铜，位移方位及位移量检测电极设置在下 PMMA 基底的部分下侧未镀铜的那片区域上。

4. 根据权利要求 3 所述的一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知装置，其特征在于，位移方位及位移量检测电极（7-2）包括：：基座和三条电极，在基座下部的四个方位上均设计出三条电极：第一电极（8-1）、第二电极（8-2）、第三电极（8-3），对应着滑觉检测的三个等级，根据三种分级的电信号能够判断出滑动的位移量：

当有滑动产生时，硅胶滑移模块首先与第一电极（8-1）接触，并产生电信号；随着滑动位移量的增大，依次与第二电极（8-2）、第三电极（8-3）相继接触而产生相应的电信号；当第一条或者第一、二两条电极有信号输出时，认为滑动趋势为安全范围；当第三条电极有信号输出，则会发生相对移动造成步态失稳，此时则需要爬行机器人重新调整进行二次抱紧；

位移方位及位移量检测电极也能够检测出滑动的方向：

当硅胶滑移模块向各个方向产生滑动时，相对应的电极就是产生相对应的电信号，从而判断出爬行机器人脱离桁架的方向，从而使机器人重新调整姿态。

5. 根据权利要求 3 所述的一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知装置，其特征在于，在摩擦层（6-5）表面刻蚀微细结构。

6. 根据权利要求 3 所述的一种面向空间在轨装配机器人的自供电多模态感知装置，其特征在于，弹簧（6-6）的数量为 4 个以上。

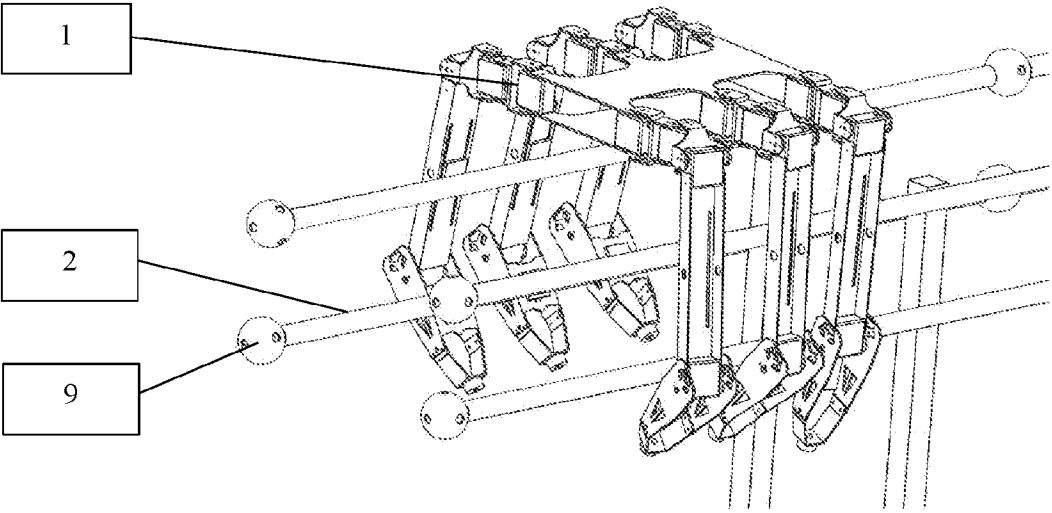


图 1

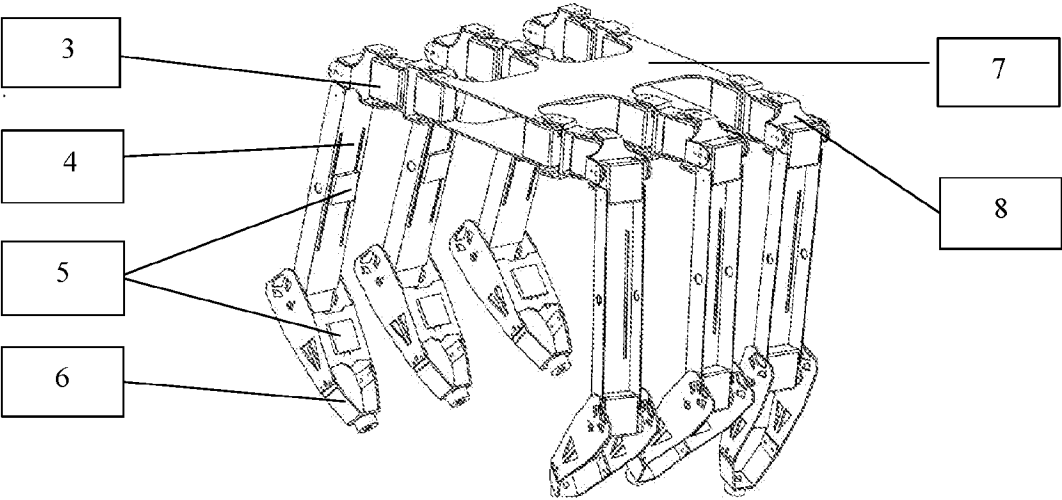


图 2

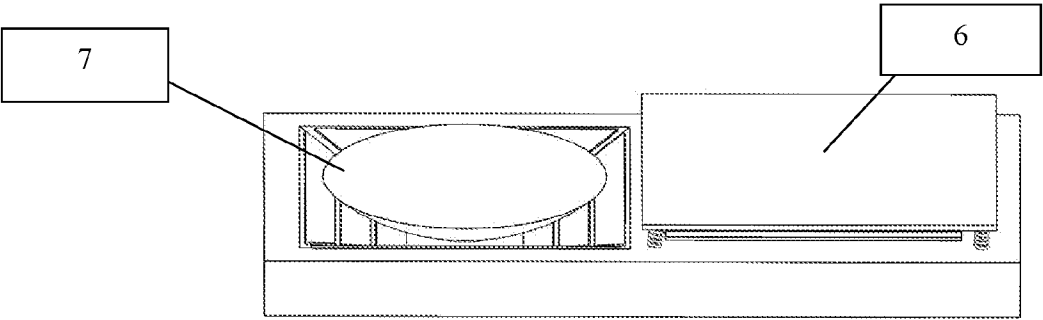


图 3

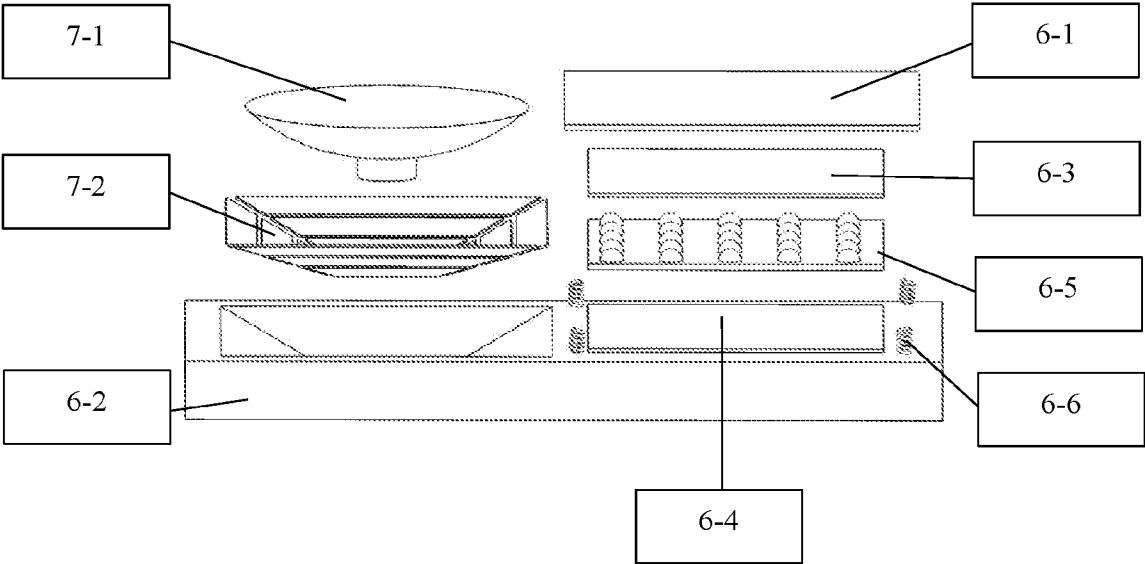


图 4

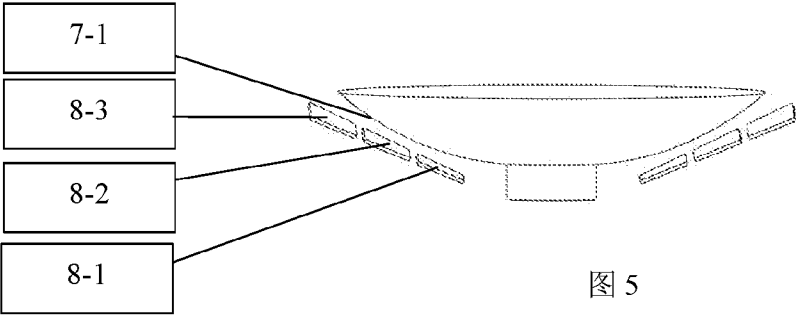


图 5

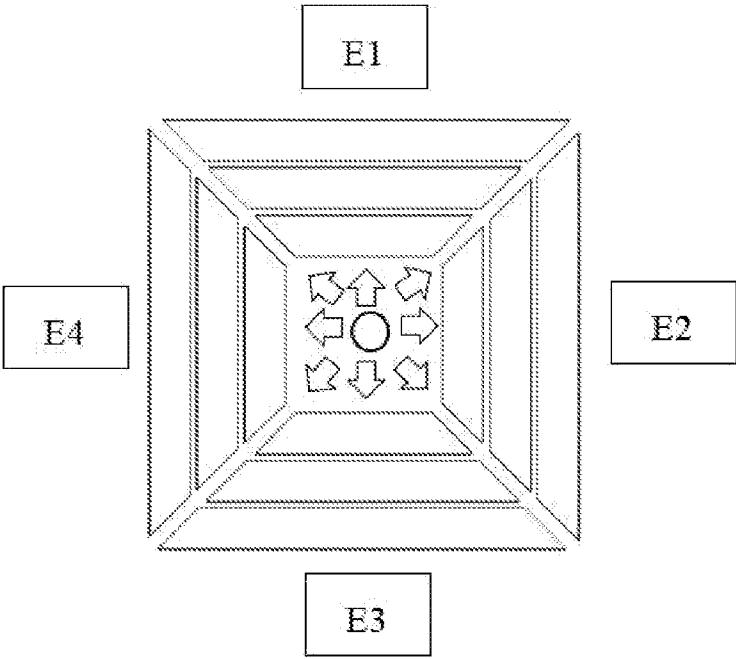


图 6

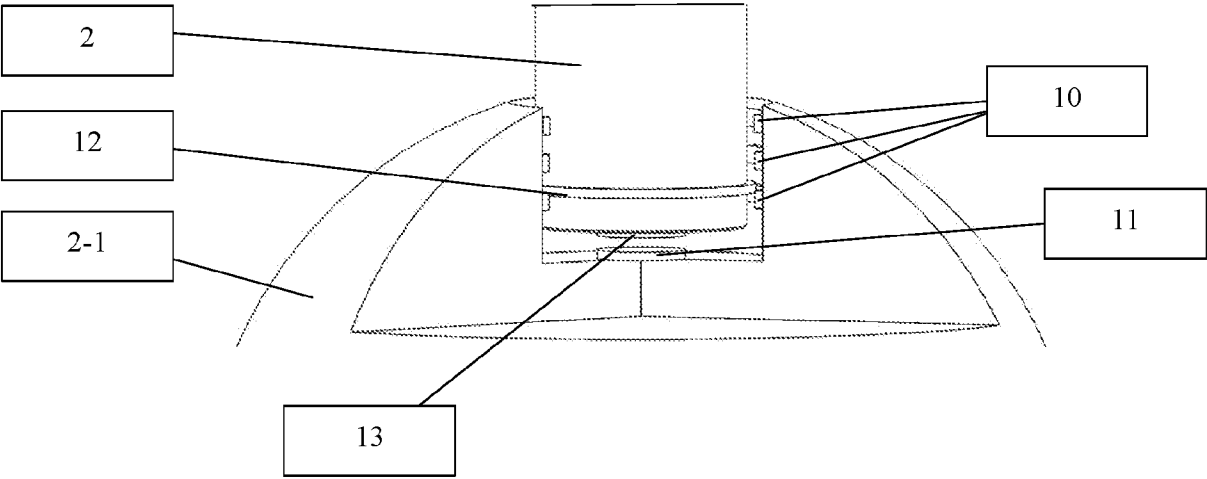


图 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/132342

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01D 21/02(2006.01)i; H02N 1/04(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)

B25J9; B25J, B23P19, B64G, B62D57; H02N1/04; G01D; G01B; G01L

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)

CNTXT, VEN, ENTXT, CNKI: 机器人, 爬行, 机械臂, 机器臂, 空间, 在轨, 装配, 组装, 桁架杆, 桁架, 触觉, 滑觉, 接触, 滑动, 滑移, 偏摆, 摩擦电, 摩擦, 带电, 起电, 杆, 电极, 导通, 接通, 到位, 定位, Robot, crawl, crawling, arm, space, rail, on-orbit, orbiting, assembling, assembly, truss, triboelectri, teng, slide, sliding, touch+, contact+, rod, bar, pole, friction

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                        | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| PX        | CN 113188591 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 30 July 2021 (2021-07-30)<br>description, paragraphs [0053]-[0081], and figures 1-7                                   | 1-6                   |
| PX        | CN 113203503 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 03 August 2021 (2021-08-03)<br>description, paragraphs [0047]-[0075], and figures 1-4                                 | 1, 3-6                |
| Y         | CN 108827349 A (GRADUATE SCHOOL AT SHENZHEN, TSINGHUA UNIVERSITY) 16 November 2018 (2018-11-16)<br>description, paragraphs [0024]-[0036], and figures 1-3 | 1-6                   |
| Y         | CN 112238465 A (BEIHANG UNIVERSITY) 19 January 2021 (2021-01-19)<br>description, paragraphs [0099]-[0141], and figures 14-15                              | 1-6                   |
| Y         | CN 105988144 A (NANJING SIEMENS NUMERICAL CONTROL LTD.) 05 October 2016 (2016-10-05)<br>description, paragraphs [0038]-[0042], and figures 1-3            | 2                     |
| Y         | US 2014338458 A1 (WANG, Z. L. et al.) 20 November 2014 (2014-11-20)<br>description, paragraphs [0048]-[0179], and figures 1-16                            | 1-6                   |



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

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 February 2022

Date of mailing of the international search report

24 February 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/132342

| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                                                                              |                       |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                              | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                           | Relevant to claim No. |
| A                                      | CN 109483192 A (BEIJING SATELLITE MANUFACTURING FACTORY CO., LTD.) 19 March 2019 (2019-03-19)<br>entire document                                             | 1-6                   |
| A                                      | CN 110697090 A (SHANGHAI AEROSPACE SYSTEM ENGINEERING INSTITUTE et al.) 17 January 2020 (2020-01-17)<br>entire document                                      | 1-6                   |
| A                                      | CN 104076084 A (NATIONAL CENTER FOR NANOSCIENCE AND TECHNOLOGY) 01 October 2014 (2014-10-01)<br>entire document                                              | 1-6                   |
| A                                      | US 2018145244 A1 (OTAGIRI, M. et al.) 24 May 2018 (2018-05-24)<br>entire document                                                                            | 1-6                   |
| A                                      | CN 111721456 A (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 29 September 2020 (2020-09-29)<br>entire document | 1-6                   |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2021/132342**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 113188591  | A  | 30 July 2021                         | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 113203503  | A  | 03 August 2021                       | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 108827349  | A  | 16 November 2018                     | CN                      | 208296855  | U  | 28 December 2018                     |
| CN                                        | 112238465  | A  | 19 January 2021                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 105988144  | A  | 05 October 2016                      | CN                      | 105988144  | B  | 24 August 2018                       |
| US                                        | 2014338458 | A1 | 20 November 2014                     | US                      | 9790928    | B2 | 17 October 2017                      |
| CN                                        | 109483192  | A  | 19 March 2019                        | CN                      | 109483192  | B  | 12 November 2019                     |
| CN                                        | 110697090  | A  | 17 January 2020                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 104076084  | A  | 01 October 2014                      | WO                      | 2014154017 | A1 | 02 October 2014                      |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 104076084  | B  | 25 August 2017                       |
| US                                        | 2018145244 | A1 | 24 May 2018                          | US                      | 10714676   | B2 | 14 July 2020                         |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2018087801 | A  | 07 June 2018                         |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 6891525    | B2 | 18 June 2021                         |
| CN                                        | 111721456  | A  | 29 September 2020                    | None                    |            |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/132342

## A. 主题的分类

G01D 21/02 (2006.01) i; H02N 1/04 (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)

B25J9; B25J, B23P19, B64G, B62D57; H02N1/04; G01D; G01B; G01L

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))

CNTEXT, VEN, ENTXT, CNKI, 机器人, 爬行, 机械臂, 机器臂, 空间, 在轨, 装配, 组装, 桁架杆, 桁架, 触觉, 滑动, 接触, 滑动, 滑移, 偏摆, 摩擦电, 摩擦, 带电, 起电, 杆, 电极, 导通, 接通, 到位, 定位, Robot, crawl, crawling, arm, space, rail, on-orbit, orbiting, assembling, assembly, truss, triboelectric, teng, slide, sliding, touch+, contact+, rod, bar, pole, friction

## 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 113188591 A (苏州大学) 2021年7月30日 (2021 - 07 - 30)<br>说明书第[0053]-[0081]段, 附图1-7                | 1-6     |
| PX   | CN 113203503 A (苏州大学) 2021年8月3日 (2021 - 08 - 03)<br>说明书第[0047]-[0075]段, 附图1-4                 | 1, 3-6  |
| Y    | CN 108827349 A (清华大学深圳研究生院) 2018年11月16日 (2018 - 11 - 16)<br>说明书第[0024]-[0036]段, 图1-3          | 1-6     |
| Y    | CN 112238465 A (北京航空航天大学) 2021年1月19日 (2021 - 01 - 19)<br>说明书第[0099]-[0141]段, 图14-15           | 1-6     |
| Y    | CN 105988144 A (西门子数控南京有限公司) 2016年10月5日 (2016 - 10 - 05)<br>说明书第[0038]-[0042]段, 图1-3          | 2       |
| Y    | US 2014338458 A1 (WANG ZHONG LIN等) 2014年11月20日 (2014 - 11 - 20)<br>说明书第[0048]-[0179]段, 附图1-16 | 1-6     |
| A    | CN 109483192 A (北京卫星制造厂有限公司) 2019年3月19日 (2019 - 03 - 19)<br>全文                                | 1-6     |

☒ 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

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年2月19日

国际检索报告邮寄日期

2022年2月24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

徐丹

电话号码 (86-10)62085172

## 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 110697090 A (上海宇航系统工程研究所 等) 2020年1月17日 (2020 - 01 - 17)<br>全文      | 1-6     |
| A    | CN 104076084 A (国家纳米科学中心) 2014年10月1日 (2014 - 10 - 01)<br>全文           | 1-6     |
| A    | US 2018145244 A1 (OTAGIRI MIZUKI等) 2018年5月24日 (2018 - 05 - 24)<br>全文  | 1-6     |
| A    | CN 111721456 A (中国科学院上海微系统与信息技术研究所) 2020年9月29日 (2020 - 09 - 29)<br>全文 | 1-6     |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/132342

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|------------|----|----------------|
| CN          | 113188591  | A  | 2021年7月30日     | 无    |            |    |                |
| CN          | 113203503  | A  | 2021年8月3日      | 无    |            |    |                |
| CN          | 108827349  | A  | 2018年11月16日    | CN   | 208296855  | U  | 2018年12月28日    |
| CN          | 112238465  | A  | 2021年1月19日     | 无    |            |    |                |
| CN          | 105988144  | A  | 2016年10月5日     | CN   | 105988144  | B  | 2018年8月24日     |
| US          | 2014338458 | A1 | 2014年11月20日    | US   | 9790928    | B2 | 2017年10月17日    |
| CN          | 109483192  | A  | 2019年3月19日     | CN   | 109483192  | B  | 2019年11月12日    |
| CN          | 110697090  | A  | 2020年1月17日     | 无    |            |    |                |
| CN          | 104076084  | A  | 2014年10月1日     | WO   | 2014154017 | A1 | 2014年10月2日     |
|             |            |    |                | CN   | 104076084  | B  | 2017年8月25日     |
| US          | 2018145244 | A1 | 2018年5月24日     | US   | 10714676   | B2 | 2020年7月14日     |
|             |            |    |                | JP   | 2018087801 | A  | 2018年6月7日      |
|             |            |    |                | JP   | 6891525    | B2 | 2021年6月18日     |
| CN          | 111721456  | A  | 2020年9月29日     | 无    |            |    |                |