

(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 12 月 3 日 (03.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/238337 A1

(51) 国际专利分类号:
G01B 11/16 (2006.01) **H04L 12/24** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/079403

(22) 国际申请日: 2020 年 3 月 14 日 (14.03.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910461090.7 2019 年 5 月 30 日 (30.05.2019) CN

(71) 申请人: 南方科技大学(SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区学苑大道 1088 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 宋超阳(SONG, Chaoyang); 中国广东省深圳市南山区南方科技大学创园 7 栋 606,

Guangdong 518055 (CN)。 万芳(WAN, Fang); 中国广东省深圳市南山区南方科技大学创园 7 栋 606, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京汇信合知识产权代理有限公司(BEIJING HUI & XIN IP LAW OFFICE); 中国北京市海淀区上地东路 1 号院 5 号楼 4 层 401-B4, Beijing 100085 (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,

(54) **Title:** ROBOTIC NETWORK STRUCTURE AND SENSING SYSTEM SUITABLE FOR UNSTRUCTURED ENVIRONMENT

(54) 发明名称: 适用于非结构化环境的机器人网络结构及传感系统

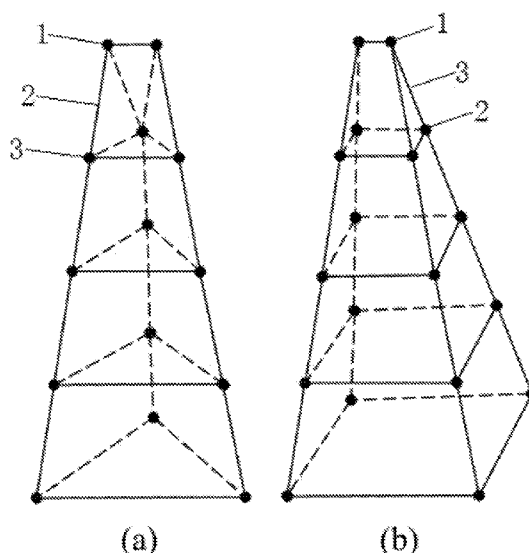


图 2

(57) **Abstract:** A robotic network structure and a sensing system suitable for an unstructured environment. The robotic network structure is a base unit or a superposition of a plurality of base units; the base unit has an upper layer structure comprising at least two first nodes (1) and a lower layer structure comprising at least two second nodes (2), the at least two first nodes (1) and the at least two second nodes (2) being not coplanar; and all the first nodes (1) and all the second nodes (2) form a three-dimensional network structure by means of connecting rods (3). When a lateral force from an external environment is applied, the connecting rods (3) of the three-dimensional network structure deform in a space in a recessed manner, so as to self-adapt to the geometric structure of the external environment, thereby enabling physical interaction of a robot in an unstructured environment; on this basis, the hollow structure of the connecting rods

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))。

(3) can be directly used as an optical path or have single or multiple optical fiber loops embedded therein, and the physical deformation amount of the connecting rods (3) is measured by measuring the change of the amount of light, so as to enable physical perception of a robot in an unstructured environment during interaction.

(57) 摘要: 一种适用于非结构化环境的机器人网络结构及传感系统, 其为一个基本单元或多个基本单元的叠合; 基本单元的上层结构包含至少两个第一节点(1), 下层结构包含至少两个第二节点(2), 至少两个第二节点(2)与至少两个第一节点(1)不共面; 所有第一节点(1)和所有第二节点(2)通过连杆(3)构成三维网络结构。当受到来自外部环境的侧向作用力时, 三维网络结构的连杆(3)在空间中进行凹陷式形变, 形成与外部环境几何结构的自适应性, 从而使机器人实现非结构化环境下的物理交互; 在此之上, 可直接利用连杆(3)的中空结构作为光路或内嵌单根或多根光纤回路, 通过测量通光量的变化检测连杆(3)的物理形变量, 从而使机器人在交互时实现非结构化环境的物理感知。

适用于非结构化环境的机器人网络结构及传感系统

技术领域

本发明属于机器人设计技术领域，涉及一种自适应通用空间网络机器人及传感系统，具体涉及一种适用于非结构化环境下进行物理交互的机器人网络结构及传感系统。

背景技术

现有机器人常采用刚性材质进行结构设计，在应对结构化环境问题中已经形成较为成熟的设计方法，如工业机器人等，但在应对更加广泛的非结构化环境交互时，该设计方法仍具有较大的局限性，往往需要采用较为复杂的机械结构、传动部件、驱动部件等实现复杂的运动功能，在这个过程中，机器人结构的自适应性成为一个重要的设计问题。

通常具有较高环境适应性的机器人可以借助单一结构或仅通过少量改动即可在更加广泛的应用场景下，特别是非结构化环境下，实现各种复杂的功能，这是机器人自适应性的一个重要体现。比如机器人的机械爪设计中，一种极限的设计方法是仿造人手的灵活结构，但这将引入类似人手肌肉一样多达几十个驱动器和零件、通过复杂的运动控制才能实现类似的功能(如 Shadow Robotics 生产的人工气动肌肉驱动的机械手)，这类机器人往往结构复杂且造价昂贵，具有自适应性的机械手希望可以通过较少的驱动(如仅一个驱动器)，较少的零件，以适用于各种不同几何形状物体的稳定抓取，以及更加复杂的物理环境(如水下、无尘等环境)。另一个例子是移动机器人的设计中，往往需要机器人不仅可以在平地上通过一个轮式结构进行高效移动，同时更加希望其可以在复杂崎岖的各种地形环境下进行移动，具有自适应性的移动机器人需要可以在不同的地形下(如高低起伏、崎岖不平等)、不同的环境中(如陆地、沼泽、沙石、水下等)进行高效移动。足式机器人可以有效解决复杂地形下的移动问题(如 boston dynamics 的大狗机器人)，但往往需要十分复杂的机械结构和特殊设计的驱动器通过高等传感和控制以应对复杂地形的挑战，具有自适应性的足式机器人需要通过相对简单的足式结构，在尽可能少量的驱动器下，即可实现可应对复杂环境的自适应性步态。另一个例子是在水下

操作的机械手臂，水下作业往往需要对包括珊瑚在内水下脆弱的生态环境进行保护，传统机械臂需要进行复杂的结构、防水、传感设计来实现机械臂运行过程中对水下环境的避障以产生尽可能小的影响，具有自适应性的水下机械臂需要可以通过自身的结构特点在即便产生碰撞的情况下仍然可以通过自身结构的自适应性最大程度上降低对物理环境的伤害等。为了应对以上问题，现有技术往往通过集成更加复杂的机械结构、驱动方式、传感器件以及控制方法等，实现可以应对以上困难的机器人设计。这类设计往往存在结构复杂、造价昂贵、零件繁多、空间狭小、控制复杂、在特种环境下保护困难等多方面的困难，而提出一个具有通用自适应性的机器人设计方法仍是目前在应对非结构化环境下特殊应用需求的机器人设计领域的一大挑战。

发明内容

针对上述问题中存在的不足之处，本发明提供一种适用于非结构化环境下进行物理交互的机器人网络结构及传感系统。

本发明的第一目的在于提供一种适用于非结构化环境的机器人网络结构，所述机器人网络结构为一个基本单元或多个基本单元的叠合；

所述基本单元包括上层结构和下层结构；

所述上层结构包含至少两个第一节点；

所述下层结构包含至少两个第二节点，至少两个所述第二节点与至少两个所述第一节点不共面；

所有所述第一节点和所有所述第二节点通过连杆构成三维网络结构，所述连杆连接在两个所述第一节点之间、两个所述第二节点之间或所述第一节点与第二节点之间。

作为本发明的进一步改进，所述连杆为中空柔性杆。

作为本发明的进一步改进，任一所述第一节点和与之距离最近的第一节点通过所述连杆连接；

任一所述第二节点和与之距离最近的第二节点通过所述连杆连接；

基于就近原则，一个或多个所述第一节点和一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

作为本发明的进一步改进，任一所述第一节点和与之未连接的一个或多

个第一节点通过所述连杆连接。

作为本发明的进一步改进，任一所述第二节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

作为本发明的进一步改进，任一所述第一节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

本发明的第二目的在于提供一种机器人网络结构的传感系统，包括：光源器件、光敏器件和光信号处理器；

所述机器人网络结构上设有光路入口和光路出口，所述光源器件、光敏器件与所述光信号处理器相连，所述光源器件置于所述光路入口处，所述光敏器件置于所述光路出口处；

所述光源器件发出的光经所述光路入口进入所述连杆的中空通道中，并经所述光路出口传输至所述光敏器件；

所述光信号处理器对所述光源器件和光敏器件的光信号进行处理，转化为所述机器人网络结构的形变信号，实现传感功能。

本发明的第三目的在于提供一种机器人网络结构的传感系统，包括：光源器件、光敏器件和光信号处理器；

所述机器人网络结构上设有光路入口和光路出口，所述连杆的中空通道中内嵌单根或多根光纤回路；

所述光源器件、光敏器件与所述光信号处理器相连，所述光源器件置于所述光路入口处，所述光敏器件置于所述光路出口处；

所述光源器件发出的光经所述光路入口进入所述光纤回路中，并经所述光路出口传输至所述光敏器件处；

所述光信号处理器对所述光源器件和光敏器件的光信号进行处理，转化为所述机器人网络结构的形变信号，实现传感功能。

与现有技术相比，本发明的有益效果为：

本发明基于节点的位置并采用连杆在空间中进行有序组合，形成一个空间三维网络结构；当受到来自外部环境的侧向作用力时，三维网络结构的连杆在空间中进行凹陷式形变，形成与外部环境几何结构的自适应性，从而使机器人实现非结构化环境下的物理交互；

在此之上，本发明可直接利用连杆的中空结构作为光路或内嵌单根或多

根光纤回路，通过光信号处理器测量通光量的变化检测连杆的物理形变量，从而使机器人在交互时实现非结构化环境的物理感知。

附图说明

图 1 为本发明一种实施例公开的机器人网络结构的基本单元的结构示意图；

图 2 为本发明一种实施例公开的机器人网络结构的多个基本单元叠合的结构示意图；

图 3 为本发明一种实施例公开的机器人网络结构的传感系统的侧视剖视图；

图 4 为本发明一种实施例公开的物品 X 与基本单元接触前后的自适应形变示意图；

图 5 为图 4 中基本单元对物品 X 自适应调整后的示意图；

图 6 为本发明另一种实施例公开的物品 X 与基本单元接触前后的自适应形变示意图。

图中：

1、第一节点；2、第二节点；3、连杆；4、光源器件；5、光敏器件；6、光信号处理器；7、光路入口；8、光路出口；9、可导入侧面连杆的光路开口；10、形变信号。

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，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，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的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。

在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理

解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

在本发明的描述中，还需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

本发明的目的为：机器人设备在物理交互过程中，在相对有限的结构空间中实现对非结构化环境的自适应交互与感知。

为达到上述目的：本发明从理论层面、方法层面、加工层面和应用层面上依次进行研究；其中：

在理论层面上，如何在机械结构设计的过程中，借助空间机构自身的运动学和材料特性，在高度融合传感、驱动、电子、建模等技术手段的基础上，在有限的物理空间中实现复杂且智能的环境交互与智能感知；

在方法层面上，如何优化机械结构，设计一个相对简单且具有通用功能的机械构型，通过较少的机械零部件数量，实现可以承载更加复杂或高等功能的机器人构型设计；

在加工层面上，如何借助加工工艺和材料特性，降低加工成本和工艺难度，实现可以承载更加复杂或高等功能的机器人构型；

在应用层面上，如何以单一机械构型设计为载体，实现面向多种不同场景下机器人与非结构化物理环境的交互应用。

为达到上述目的，本发明适用于非结构化环境下进行物理交互的机器人网络结构的设计依据为：

根据经典结构力学理论，当任一结构杆件受到来自外部环境的侧向作用力时，由于杆件自身的材料弹性，将沿着受力方向产生相应的弹性形变，同时杆件的两端产生朝向受力方向的形变趋势，而施加作用力的外部环境或外部物体受到来自杆件的反作用力。

为此，

本发明提出一种适用于非结构化环境下进行物理交互的机器人网络结构

及传感系统，其基于上下层节点的位置并采用连杆在空间中进行有序组合，形成一个空间三维网络结构；当受到来自外部环境的侧向作用力时，三维网络结构的连杆在空间中进行凹陷式形变，形成与外部环境几何结构的自适应性，从而使机器人实现非结构化环境下的物理交互；在此之上，本发明可直接利用连杆的中空结构作为光路或内嵌单根或多根光纤回路，通过光信号处理器测量通光量的变化检测连杆的物理形变量，从而使机器人在交互时实现非结构化环境的物理感知。

下面结合附图对本发明做进一步的详细描述：

如图 2 所示，本发明提供一种适用于非结构化环境的机器人网络结构，机器人网络结构为一个基本单元或多个基本单元的叠合，基本单元的网络结构如图 1 所示；其中：

如图 1 所示，本发明的基本单元包括上层结构和下层结构；

上层结构包含至少两个第一节点 1；

下层结构包含至少两个第二节点 2，至少两个第二节点 2 与至少两个第一节点 1 不共面；

所有第一节点 1 和所有第二节点 2 通过连杆 3 构成三维网络结构，连杆 3 为中空柔性杆（即具有较高杨氏模量以及形变比例弹性或超弹性材料），也可采用符合需求的其他实心杆件，优选采用中空柔性杆；当选用实心杆件时可在实心杆件上设置供光路通过的通道；连杆 3 连接在两个第一节点 1 之间、两个第二节点 2 之间或第一节点 1 与第二节点 2 之间。其中，本发明的所有节点（包含第一节点和第二节点）连接成一整体，并不对第一节点 1 与第二节点 2 的具体连接方式进行限定，第一节点 1 与第二节点 2 的具体连接方式可根据不同的需求进行设计。

优选的，本发明在上层结构中，任一第一节点和与之距离最近的第一节点通过连杆连接；在下层结构中，任一第二节点和与之距离最近的第二节点通过连杆连接；在上下两层结构中，基于就近原则，一个或多个第一节点和一个或多个第二节点通过连杆连接。

进一步优选的，本发明可根据不同场景的实际设计需要，在上层结构中，任一第一节点和与之未连接的一个或多个第一节点通过连杆连接；在下层结构中，任一第二节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过连杆连接；在

上下两层结构中，任一第一节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过连杆连接。

更进一步优选的，需要指出的是，此类基本结构单元也可视为前述基本结构单元的一种特例，即两个具有相同下层节点构型但不同单一上层节点构型的基本单元之间的组合。此时，可以通过连接这两个基本单元的单一上层节点，同时去除其他与该上层节点相连但长度更长的连杆的方式进行结构简化，避免连杆交错的结构。

如图 1 所示，本发明示出了上层为 2 个第一节点 (A/B)、下层为 2 个第二节点 (a/b)，上层为 2 个第一节点 (A/B)、下层为 3 个第二节点 (a/b/c)，上层为 2 个第一节点 (A/B)、下层为 4 个第二节点 (a/b/c/d)，上层为 3 个第一节点 (A/B/C)、下层为 3 个第二节点 (a/b/c)，上层为 4 个第一节点 (A/B/C/D)、下层为 4 个第二节点 (a/b/c/d) 的基本单元结构；其中：

如图 1a 所示的【四边形式】ABab 构型，通过类似前述第一种具体示例中的分析方法可知该基本结构单元可以实现对以物品 X 为例的外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果；

如一种如图 1b 所示的【双三边双四边式】ABabc 构型，可以等效为两个【四面体式】基本结构单元 Aabc 和 Babc 通过下层 abc 的叠加形成的一个复合结构单元，然后将上层的两个节点 A 和 B 进行连接，由于 A 与 a 和 b 的空间距离较近，而 B 仅与 c 的空间距离较近，则可以通过去除 Ac, Ba, Bb 这三根连杆的方式完成结构简化，避免连杆交错的结构，通过类似前述分析可知该基本结构单元可以实现对以物品 X 为例的外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果。

如另一种如图 1c 所示的【单四边四三边式】ABabc 构型，可以等效为两个【四面体式】基本结构单元 Aabc 和 Babc 通过下层 abc 的叠加形成的一个复合结构单元，但 Ac 和 Bc 的空间距离基本相等，Aa 和 Bb 的空间距离也基本相等，此时可以通过去除 Ab、Ba 的方式完成结构简化，避免连杆交错的结构，该构型还可以视为是一个以 c 为第一层，ABba 为第二层的金字塔型基本结构单元，通过类似前述分析可知该基本结构单元可以实现对以物品 X 为例的外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果。。

如另一种如图 1d 所示【三四边双三边式】ABabcd 构型，可以等效为两

个【金字塔式】基本结构单元 Aabcd 和 Babcd 通过下层 abcd 的叠加形成一个复合结构单元，但 Aa 和 Ab 的空间距离基本相等，Bc 和 Bd 的空间距离也基本相等，此时可以通过去除 Ac、Ad、Ba、Bb 的方式完成结构简化，避免连杆交错的结构，通过类似前述分析可知该基本结构单元可以实现对以物品 X 为例的外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果。

其他情况可根据以上分析以此类推获得其他基本网络结构单元。

此类基本结构单元的另一个特例是当上下两层包含相同数量的连接节点，每层内仅需通过连杆依次连接各相邻节点形成单一闭环结构，两层间通过连杆依次连接对应节点形成三维网络结构，且每层内的各节点可不共面。

如图 1e 所示【双层三边式】ABCabc 构型，上下两层分别包含三个连接节点；

如图 1f 所示【双层四边式】ABCDabcd 构型，上下两层分别包含四个连接节点

如图 2 所示，在上述基本单元基础上，本发明所设计的机器人空间网络结构可通过采用多个上述基本结构组合堆叠的方式，每层基本结构单元可分别对物品 X 的不同位置的几何尺寸进行相应的凹陷式形变，通过每层基本结构的自适应性和运动稳定效果的叠加，包括网络结构通过扭转形变产生的自适应性包覆和运动稳定效果，综合提升整体空间网络结构对外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果，本发明所涉及的机器人本体空间网络结构的一个显著特点是可以从任意侧向角度实现对外部环境进行几何结构自适应以及运动稳定：

如图 2a 所示【一种多层复合式】结构：包含顶层的【单四边三三边式】基本结构单元以及底部的多个双层【三边式】基本结构单元组成；

如图 2b 所示【另一种多层复合式】结构：包含顶层的【三四边双三边式】基本结构单元以及底部的多个双层【四边式】基本结构单元组成；

根据不用场景的实际需求，可根据本发明所描述的设计方法进行相应的结构设计，实现机器人本体对外部环境的结构自适应性和运动稳定效果，这一方法可实现的多样化机器人结构。

优选的，本发明根据不同场景的实际设计需要，每个连杆的几何形状，可以是一般直线，也可以是某种特殊设计的复杂曲线，每个连杆的截面形状

可以是圆形、方形或其他任意截面形状。

优选的，每个连杆采用具有一定弹性的材料，即在外力作用下可产生可被检测到的弹性形变，任意连杆内部可采用中空结构，通过检测杆件内部的通光量，实现对杆件弹性形变的感知。

优选的，根据不同场景的实际设计需要，连接节点处实现连杆间连接的方式可以是一般的结构固接（无自由度即连杆间无相对运动自由度）、铰链连接（一个自由度即连杆间有一个相对转动的运动自由度）、球铰连接（三个自由度即连杆间有两个相对转动加一个绕轴自旋的运动自由度）等多种连接方式。

本发明可以通过采用具有内部光路的柔性杆件（即具有较高杨氏模量以及形变比例弹性或超弹性材料），当杆件产生形变时，通过测量其光路内或光路内部如光纤的通光介质的通光量变化实现对杆件形变量的计量，从而实现整体机器人网络结构在交互时对物理环境的感知。

具体的：

如图 3 所示，其所示的结构仅为图 2 中侧面三角的剖视图；本发明提供一种机器人网络结构的传感系统，包括：光源器件 4、光敏器件 5 和光信号处理器 6；其中：

机器人网络结构上设有光路入口 7 和光路出口 8，并在连接点处设有可导入侧面连杆的光路开口 9；光源器件 4、光敏器件 5 与光信号处理器 6 相连，光源器件 4 置于光路入口 7 处，光敏器件 5 置于光路出口 8 处。

使用时，光源器件 4 发出的光经光路入口 7 进入连杆 3 的中空通道中，并经光路出口 8 传输至光敏器件 5；光信号处理器 6 对光源器件 4 和光敏器件 5 的光信号进行处理，转化为机器人网络结构的形变信号 10，实现传感功能。

进一步，本发明传感系统光路具体的走向可根据实际需求具体设计，底部有光路出入口并连接至机器人底座部分，光源器件可采用发光二极管，光敏器件可采用光敏传感器。

本发明还提供另一种机器人网络结构的传感系统，包括：光源器件 4、光敏器件 5 和光信号处理器 6；其中：

机器人网络结构上设有光路入口 7 和光路出口 8，连杆 3 的中空通道中内嵌单根或多根光纤回路；并在连接点处设有可导入侧面连杆的光路开口 9；光

源器件 4、光敏器件 5 与光信号处理器 6 相连，光源器件 4 置于光路入口 7 处，光敏器件 5 置于光路出口 8 处。

使用时，光源器件 4 发出的光经光路入口 7 进入光纤回路中，并经光路出口 8 传输至光敏器件 5；光信号处理器 6 对光源器件 4 和光敏器件 5 的光信号进行处理，转化为机器人网络结构的形变信号，实现传感功能。

进一步，本发明传感系统光路具体的走向可根据实际需求具体设计，底部有光路出入口并连接至机器人底座部分，光源器件可采用发光二极管，光敏器件可采用光敏传感器。

本发明还可基于上述机器人网络结构、传感器系统并配合底座可构成机器人，光源器件 4、光敏器件 5 和光信号处理器 6 可安装在底座上；上述机器人结构可以在不借助额外驱动器、传感器等在内的任何电子元器件的情况下对外部物理环境的非结构化几何特征产生自适应性形变形成几何包覆，同时由于其自身的网络结构特征可以在交互中产生具有自适应性的运动稳定效果，相比传统机器人结构设计具有结构简单、零件数量少、设计灵活、无需额外驱动、设计空间充足、应用场景灵活等特征；显著提高了在包括深海、深空、深地、及其他极端恶劣环境下的适应性。

实施例：

本发明基本单元的自适应过程为：

本发明以图 1b 所示的【双三边双四边式】ABabc 构型为例，其可以等效为两个【四面体式】基本结构单元 Aabc 和 Babc 通过下层 abc 的叠加形成的一个复合结构单元，然后将上层的两个节点 A 和 B 进行连接。

为此，本发明以【四面体式】基本结构单元 Aabc 为例对自适应过程进行如下说明：

当【四面体式】基本结构单元 Aabc 受到来自具有一定三维几何尺寸物品 X 的外部环境作用力时，与物品 X 接触的边分别产生不同程度的弹性形变对物品 X 的三维几何尺寸形成空间包覆，实现几何形状的自适应性。

如图 4 所示，具有一定空间几何形状的外部环境物品 X 在【四面体式】的一个三边形 Abc 中间的空白区域内；

产生接触前，物品 X 与【四面体式】基本结构单元的相对合运动方向沿虚线箭头所指，虚线箭头指向【四面体式】基本结构单元的一个三边形 Abc

中间空白区域内；

产生接触后，物品 X 与【四面体式】基本结构单元的三边形 Abc 产生接触，三边形 Abc 产生相应的弹性形变；即，原始的连接节点 A 、 b 、 c 分别向内侧产生一定量的位移至 A' 、 b' 、 c' 位置，三根杆件通过产生的弹性形变实现对物品 X 几何尺寸的适应性。

如图 5 所示，在图 4 所示接触后示意图的情况中，可能由于虚线箭头所表示的作用力不均，加上 A' 点额外受到来自杆件 $A'a$ 的限制，使得三边形 $A'bc$ 产生绕杆件 $A'a$ 的旋转，造成整个【四面体式】基本结构单元的扭转运动，所产生的整体形变进一步加强对物品 X 几何结构的适应性，当图示三个箭头所示各力瞬时均等式，实现对物品 X 运动稳定的效果。

如图 6 所示，具有一定空间几何形状的外部环境物品 X 在【四面体式】的位置几乎均匀分布在其三边形 Abc 和三边形 Aac 区域内。

产生接触前，物品 X 与【四面体式】基本结构单元的相对合运动方向沿虚线箭头所指，此时由于物品 X 相对【四面体式】基本结构单元几乎同时均匀分布在其三边形 Abc 和三边形 Aac 区域内，即虚线箭头主要指向杆件 Ac 方向；

产生接触后，物品 X 与【四面体式】基本结构单元的杆件 Ac 产生接触，杆件 Ac 产生相应的弹性形变；即，物品 X 主要与杆 Ac 产生接触，使得杆 Ac 产生弹性形变形成对物品 X 几何尺寸的适应性，原始的连接节点 A 、 c 分别向内侧产生一定量的位移至 A' 、 c' 位置。

同时，基于图 5 的原理，本发明当物品 X 的对该构型不同连杆作用力不均时，会对其所施加力的那一面形成扭转作用，使得整个【四面体式】构型也随之扭转，进一步加强对物品 X 的自适应性几何包覆，进而实现对物品 X 的运动稳定。

由于本发明的基本单元【双三边双四边式】 $ABabc$ 是由两个【四面体式】基本结构单元 $Aabc$ 和 $Babc$ 叠合而成；因此，图 1b 所示的【双三边双四边式】 $ABabc$ 构型可通过类似以上方法实现对以物品 X 为例的外部环境的自适应性包覆和运动稳定效果。

进一步，本发明的机器人网络结构是多个基本单元叠合而成，图 2 所示的机器人网络结构可通过类似以上方法实现对以物品 X 为例的外部环境的自

适应性包覆和运动稳定效果。

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。

1、一种适用于非结构化环境的机器人网络结构，其特征在于，所述机器人网络结构为一个基本单元或多个基本单元的叠合；

所述基本单元包括上层结构和下层结构；

所述上层结构包含至少两个第一节点；

所述下层结构包含至少两个第二节点，至少两个所述第二节点与至少两个所述第一节点不共面；

所有所述第一节点和所有所述第二节点通过连杆构成三维网络结构，所述连杆连接在两个所述第一节点之间、两个所述第二节点之间或所述第一节点与第二节点之间。

2、如权利要求1所述的机器人网络结构，其特征在于，所述连杆为中空柔性杆。

3、如权利要求1所述的机器人网络结构，其特征在于，任一所述第一节点和与之距离最近的第一节点通过所述连杆连接；

任一所述第二节点和与之距离最近的第二节点通过所述连杆连接；

基于就近原则，一个或多个所述第一节点和一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

4、如权利要求3所述的机器人网络结构，其特征在于，任一所述第一节点和与之未连接的一个或多个第一节点通过所述连杆连接。

5、如权利要求3所述的机器人网络结构，其特征在于，任一所述第二节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

6、如权利要求3所述的机器人网络结构，其特征在于，任一所述第一节点和与之未连接的一个或多个第二节点通过所述连杆连接。

7、一种如权利要求1-6所述的机器人网络结构的传感系统，其特征在于，包括：光源器件、光敏器件和光信号处理器；

所述机器人网络结构上设有光路入口和光路出口，所述光源器件、光敏器件与所述光信号处理器相连，所述光源器件置于所述光路入口处，所述光敏器件置于所述光路出口处；

所述光源器件发出的光经所述光路入口进入所述连杆的中空通道中，并经所述光路出口传输至所述光敏器件；

所述光信号处理器对所述光源器件和光敏器件的光信号进行处理，转化

为所述机器人网络结构的形变信号，实现传感功能。

8、一种如权利要求 1-6 所述的机器人网络结构的传感系统，其特征在于，包括：光源器件、光敏器件和光信号处理器；

所述机器人网络结构上设有光路入口和光路出口，所述连杆的中空通道中内嵌单根或多根光纤回路；

所述光源器件、光敏器件与所述光信号处理器相连，所述光源器件置于所述光路入口处，所述光敏器件置于所述光路出口处；

所述光源器件发出的光经所述光路入口进入所述光纤回路中，并经所述光路出口传输至所述光敏器件处；

所述光信号处理器对所述光源器件和光敏器件的光信号进行处理，转化为所述机器人网络结构的形变信号，实现传感功能。

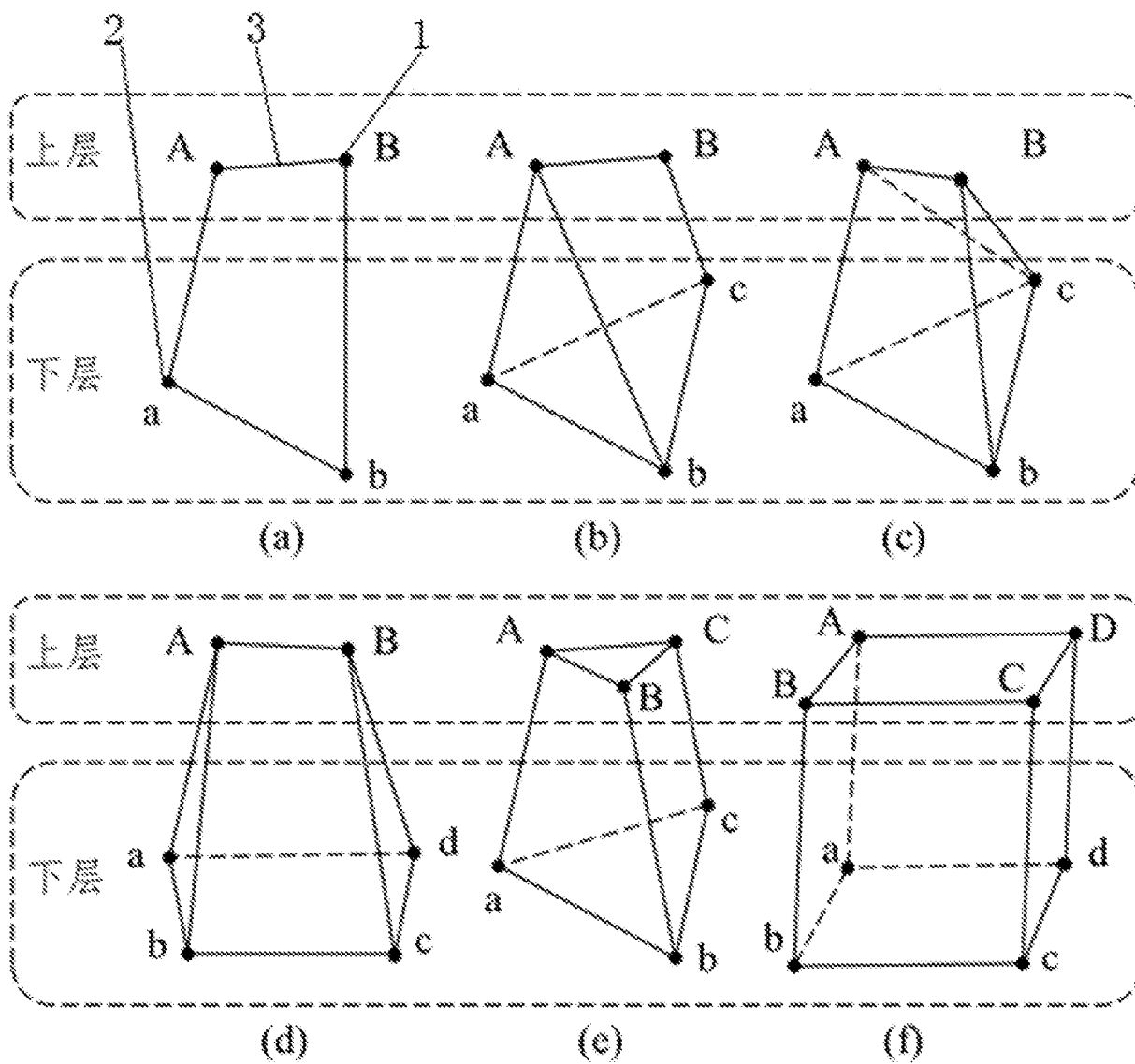


图 1

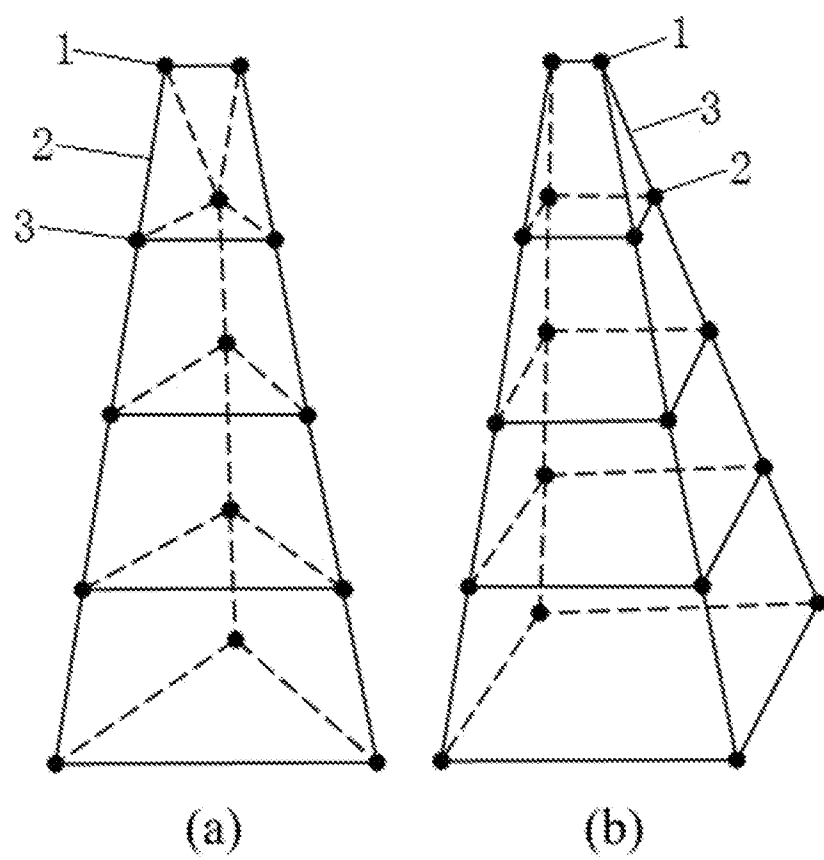


图 2

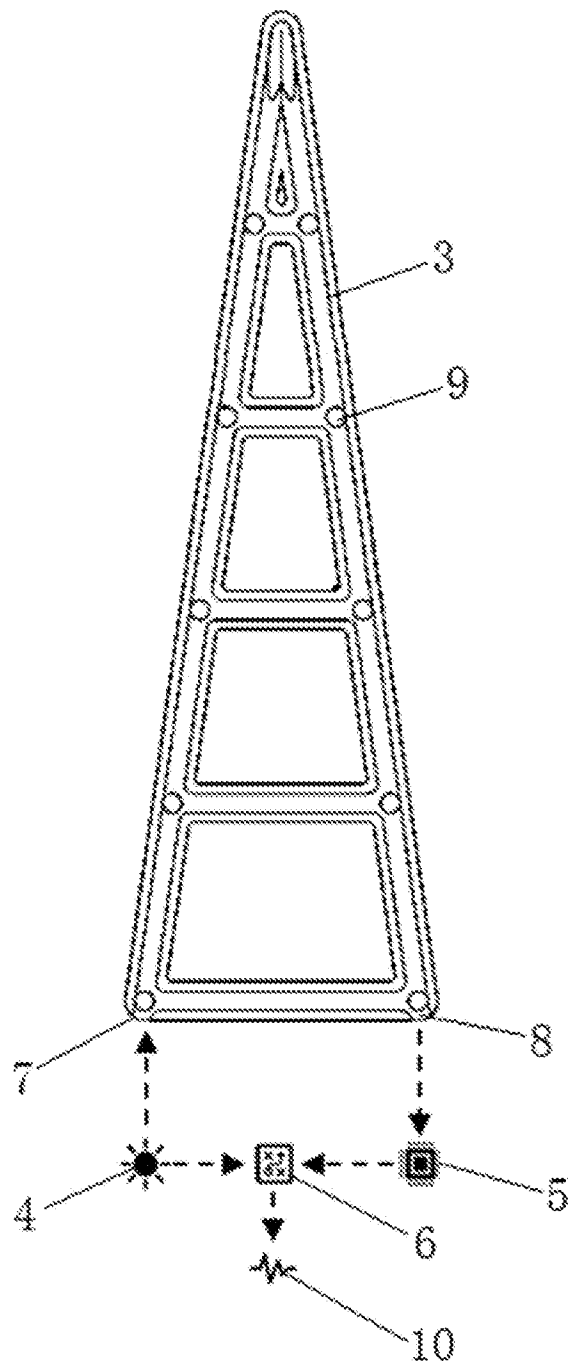


图 3

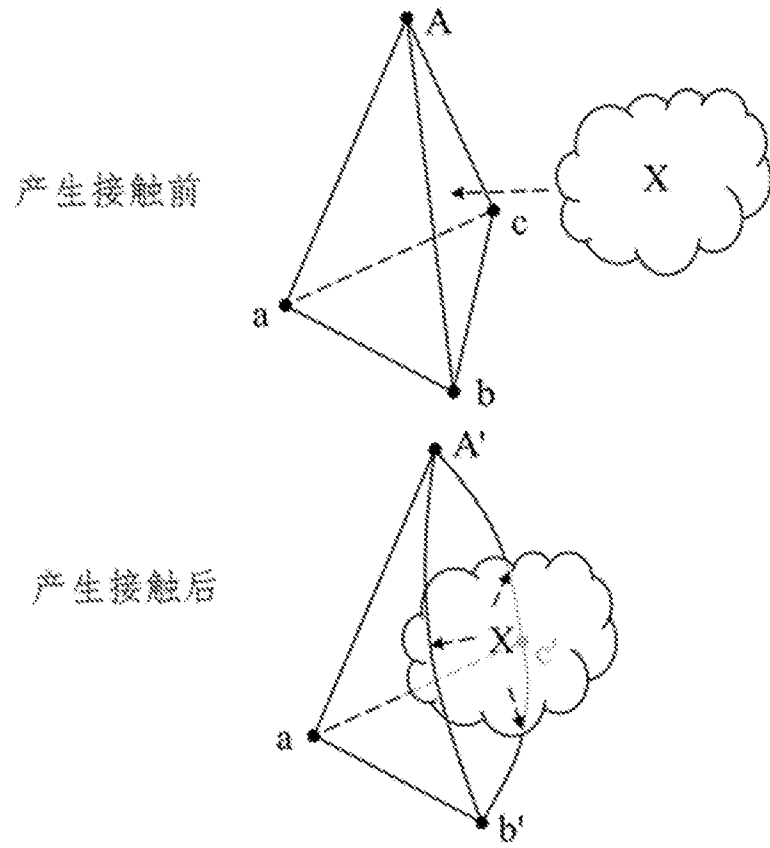


图 4

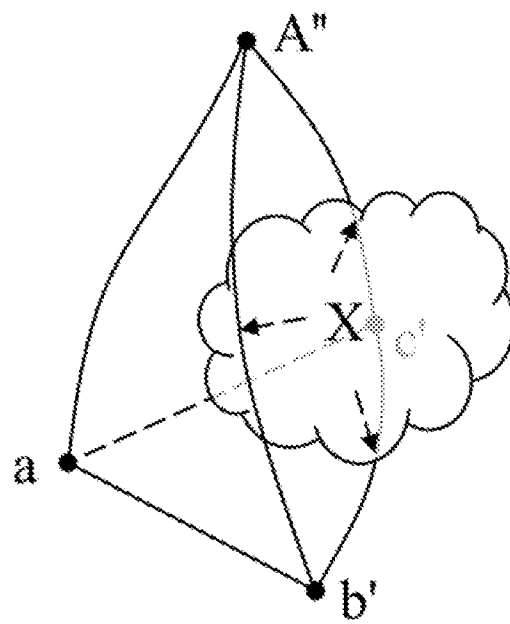


图 5

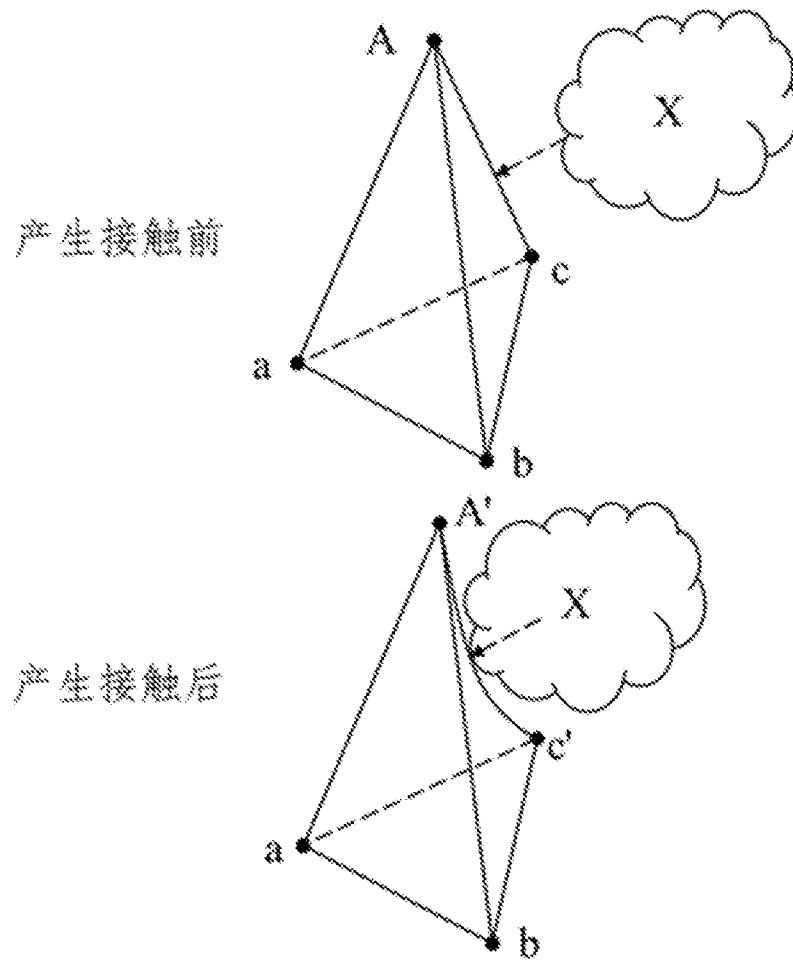


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/079403

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/16(2006.01)i; H04L 12/24(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)

G01B11,H04L12,H04B10,B25J5,B25J25

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 机器人, 网络, 非结构, 节点, 关节, 杆, 自适应, 距离, 层, 南方科技大学, 叠合, 传感, robot, network, pole, shaft, node?, joint

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110174069 A (SOUTH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 27 August 2019 (2019-08-27) claims 1-8	1-8
PX	CN 110174070 A (SOUTH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 27 August 2019 (2019-08-27) description, paragraphs [0061]-[0115], and figures 1-8	1-8
PX	CN 110174071 A (SOUTH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 27 August 2019 (2019-08-27) description, paragraphs [0047]-[0077], and figures 1-5	1-8
A	CN 103754282 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 30 April 2014 (2014-04-30) description, paragraphs [0024]-[0052], and figure 1	1-8
A	CN 207157327 U (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 30 March 2018 (2018-03-30) entire document	1-8
A	CN 103533553 A (TIANJIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND EDUCATION) 22 January 2014 (2014-01-22) entire document	1-8



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

21 May 2020

Date of mailing of the international search report

15 June 2020

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/CN2020/079403**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 203888924 U (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES et al.) 22 October 2014 (2014-10-22) entire document	1-8
A	CN 103568008 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 12 February 2014 (2014-02-12) entire document	1-8
A	CN 103264735 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, SHANDONG ACADEMY OF SCIENCES) 28 August 2013 (2013-08-28) entire document	1-8
A	JP 2017209781 A (KURION INC.) 30 November 2017 (2017-11-30) entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/079403

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110174069	A	27 August 2019	None			
CN	110174070	A	27 August 2019	None			
CN	110174071	A	27 August 2019	None			
CN	103754282	A	30 April 2014	CN	103754282	B	13 January 2016
CN	207157327	U	30 March 2018	None			
CN	103533553	A	22 January 2014	None			
CN	203888924	U	22 October 2014	None			
CN	103568008	A	12 February 2014	US	2014031982	A1	30 January 2014
				JP	2014024162	A	06 February 2014
CN	103264735	A	28 August 2013	CN	103264735	B	09 March 2016
JP	2017209781	A	30 November 2017	US	2019329426	A1	31 October 2019
				EP	3266571	A2	10 January 2018
				US	10384353	B2	20 August 2019
				EP	3266571	B1	10 July 2019
				EP	3581344	A1	18 December 2019
				US	2017326737	A1	16 November 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/079403

A. 主题的分类

G01B 11/16(2006.01)i; H04L 12/24(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)

G01B11, H04L12, H04B10, B25J5, B25J25

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))

CNKI, CNPAT, WPI, EP0D0C: 机器人, 网络, 非结构, 节点, 关节, 杆, 自适应, 距离, 层, 南方科技大学, 叠合, 传感, robot, network, pole, shaft, node?, joint

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 110174069 A (南方科技大学) 2019年 8月 27日 (2019 - 08 - 27) 权利要求1-8	1-8
PX	CN 110174070 A (南方科技大学) 2019年 8月 27日 (2019 - 08 - 27) 说明书第 [0061] - [0115] 段, 图1-8	1-8
PX	CN 110174071 A (南方科技大学) 2019年 8月 27日 (2019 - 08 - 27) 说明书第 [0047] - [0077] 段, 图1-5	1-8
A	CN 103754282 A (北京交通大学) 2014年 4月 30日 (2014 - 04 - 30) 说明书第 [0024] - [0052] 段, 附图1	1-8
A	CN 207157327 U (南京邮电大学) 2018年 3月 30日 (2018 - 03 - 30) 全文	1-8
A	CN 103533553 A (天津职业技术师范大学) 2014年 1月 22日 (2014 - 01 - 22) 全文	1-8
A	CN 203888924 U (中国科学院沈阳自动化研究所 等) 2014年 10月 22日 (2014 - 10 - 22) 全文	1-8

☒ 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

2020年 5月 21日

国际检索报告邮寄日期

2020年 6月 15日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

孙世新

电话号码 86-(10)-53962612

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 103568008 A (精工爱普生株式会社) 2014年 2月 12日 (2014 - 02 - 12) 全文	1-8
A	CN 103264735 A (山东省科学院自动化研究所) 2013年 8月 28日 (2013 - 08 - 28) 全文	1-8
A	JP 2017209781 A (KURION INC.) 2017年 11月 30日 (2017 - 11 - 30) 全文	1-8

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/079403

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	110174069	A	2019年 8月 27日	无			
CN	110174070	A	2019年 8月 27日	无			
CN	110174071	A	2019年 8月 27日	无			
CN	103754282	A	2014年 4月 30日	CN	103754282	B	2016年 1月 13日
CN	207157327	U	2018年 3月 30日	无			
CN	103533553	A	2014年 1月 22日	无			
CN	203888924	U	2014年 10月 22日	无			
CN	103568008	A	2014年 2月 12日	US	2014031982	A1	2014年 1月 30日
				JP	2014024162	A	2014年 2月 6日
CN	103264735	A	2013年 8月 28日	CN	103264735	B	2016年 3月 9日
JP	2017209781	A	2017年 11月 30日	US	2019329426	A1	2019年 10月 31日
				EP	3266571	A2	2018年 1月 10日
				US	10384353	B2	2019年 8月 20日
				EP	3266571	B1	2019年 7月 10日
				EP	3581344	A1	2019年 12月 18日
				US	2017326737	A1	2017年 11月 16日