

(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 2022/166183 A1

(51) 国际专利分类号:
G01L 1/24 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/115524

(22) 国际申请日: 2021 年 8 月 31 日 (31.08.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110169237.2 2021年2月7日 (07.02.2021) CN

(71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(72) 发明人: 高安柱 (GAO, Anzhu); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 邹运 (ZOU,

Yun); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 杨广中 (YANG, Guangzhong); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 陈卫东 (CHEN, Weidong); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海段和段律师事务所 (DUAN & DUAN LAW FIRM); 中国上海市浦东新区金科路2966号2幢406室, Shanghai 200336 (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,

(54) **Title:** FORCE OR FORCE SHAPE SENSING INTEGRATED DRIVING WIRE FOR FLEXIBLE ROBOT AND APPLICATION METHOD OF INTEGRATED DRIVING WIRE

(54) 发明名称: 柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法

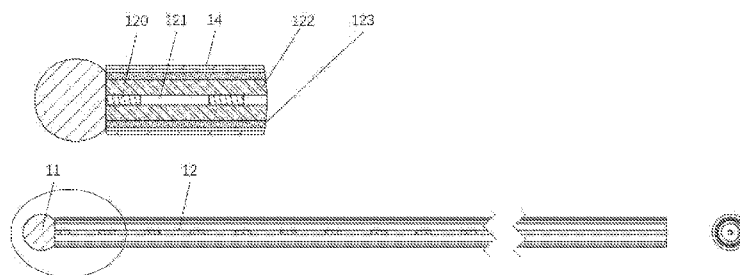


图 1

(57) **Abstract:** The present invention provides a force or force shape sensing integrated driving wire for a flexible robot and an application method of the integrated driving wire, comprising: an optical fiber sensor, wherein the optical fiber sensor comprises an optical fiber Bragg grating which is etched along a length direction of the optical fiber main body according to use requirements, and an optical fiber material, which has strength and toughness that reach preset requirements, is used as a main body of the optical fiber main body. The present invention implements that a combination of a single driving wire and the optical fiber sensor is concentrated in a single working channel so that the flexible robot has a small structural size, can be applied to a plurality of types of wire-driven flexible medical robots, has important application values for minimal invasiveness, effectiveness, safety and the like of a flexible robot-assisted medical operation, and can ensure rapid and safe diagnosis and treatment to safeguard national health and bring benefits to human beings. Moreover, the present invention can also be applied to wire-driven flexible robots in other fields.

(57) **摘要:** 本发明提供了一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法, 包括: 光纤传感器; 所述光纤传感器包括光纤布拉格光栅根据使用需求沿所述光纤主体长度方向刻蚀; 所述光纤主体采用强度、韧性达到预设要求的光导纤维材料为主体。本发明实现单根驱动丝和光纤传感器的结合体集中在单个工作通道内, 从而使柔性机器人具备较小的结构尺寸, 可应用于多种类别的丝驱动柔性医疗机器人, 对柔性机器人辅助医疗手术的微创性、有效性、安全性等具有重要的应用价值, 能够保证快速且安全的开展诊断和治疗来保障国民健康和造福于人类。同时, 本发明也可应用于其他领域的丝驱动柔性机器人。

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))。

柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法

技术领域

本发明涉及医疗机器人技术领域，具体地，涉及柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法。

背景技术

柔性医疗机器人主要应用于医疗手术中的各类微创手术、介入手术等，通过人体外部较小的创口或借助人体的自然腔道来进行诊断和治疗，机器人本体尺寸较小，结构可控性强，集成了多类辅助传感器及操作器械，具有较好的微创性、灵活性、安全性等特点。柔性机器人可控段的驱动有多种方式，利用驱动丝控制可控段来实现其灵活形变从而完成手术操作是一种较为常见的方式，目前丝驱动柔性机器人可控段多集成了各类传感器、驱动丝、摄像头、照明组件、操作器械等配合装置，使得各部分的位置空间较为拥挤，因此也在一定程度上不利于柔性机器人整体尺寸小型化，对于一些手术的微创性要求具有一定的不足。

现阶段丝驱动柔性机器人可控段结构及驱动丝应用存在的不足在于，（1）柔性机器人可控段需集成摄像头、传感器、驱动丝等装置，整体结构尺寸不易小型化；（2）所用驱动丝的功能性单一，只能够进行拉伸驱动操作。

专利文献 CN110269693A（申请号：201810210926.1）公开了一种驱动丝驱动的连接组件及应用该连接组件的操作臂、手术机器人。连接组件包括：多个依次连接的连接单元及驱动丝，多个依次连接的连接单元，至少两个所述连接单元形成可转动的关节组件，至少两个所述关节组件耦合，且均为主动关节组件；驱动丝用于驱动所述关节组件，所述驱动丝具有主驱动丝，用于驱动所述主动关节组件转动。

发明内容

针对现有技术中的缺陷，本发明的目的是提供一种柔性机器人的力或力形状感

知一体化驱动丝及其应用方法。

根据本发明提供一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，包括：光纤传感器；

所述光纤传感器包括光纤布拉格光栅根据使用需求沿所述光纤主体长度方向刻蚀；

所述光纤主体采用强度、韧性达到预设要求的光导纤维材料为主体。

优选地，所述柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括具有预设波长间隔的单芯光纤传感器或多芯光纤传感器。

优选地，还包括：所述光纤本体外表面根据需求设有包覆管。

优选地，所述包覆管采用超弹性特点的材料，包括镍钛合金和聚合物。

根据本发明提供一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的应用方法，运用上述所述的一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括：

将多根一体化驱动丝第一端部通过驱动丝工作通道穿出机器人可控弯曲段结构，一体化驱动丝第二端部设置为圆球体结构，且直径大于所述驱动丝工作通道直径；

所述驱动丝工作通道是在机器人可控弯曲段结构的轴线横截面根据需求在不同位置分布设置。

优选地，所述机器人可控弯曲段结构根据不同需求设有不同的类型；

所述机器人可控弯曲段结构包括：对称槽式结构的机器人可控弯曲段结构、非对称槽式的机器人可控弯曲段结构、自接触式的机器人可控弯曲段结构和交叉轴式的机器人可控弯曲段结构。

优选地，还包括：所述多根一体化驱动丝装配在所述柔性机器人可控段的驱动丝工作通道内，穿过支撑结构与驱动机构和光纤光栅解调仪相连接。

优选地，包括：

步骤 M1：根据所应用柔性机器人的结构特点和预设弯曲变形状态需求来确定一体化驱动丝的数量、长度和在柔性机器人可控段上驱动丝工作通道的具体位置；

步骤 M2：根据所应用柔性机器人需要获取的力或力形状感知需求确定每根一体化驱动丝中光纤传感器上光纤布拉格光栅的数量和位置；

步骤 M3：驱动机构对所连接的多根一体化驱动丝按照一定次序施加不同的驱动拉力，柔性机器人可控段获得所需的空间弯曲形状；

步骤 M4：一体化驱动丝末端连接的光纤光栅传感器解调仪获得光纤传感器反馈的实时数据，再通过数据处理获得每根驱动丝沿轴向的力或力形状感知信息分布。

与现有技术相比，本发明具有如下的有益效果：

1、本发明利用基于 FBG 的光纤传感器与驱动丝集成于一体的特点，能够减小不同类型柔性机器人可控段的整体尺寸，可实现更微小创口或腔道介入的手术等相关操作；

2、本发明利用基于 FBG 的光纤传感器本身的功能特点，能够根据实际需求进行数据获取，可实现柔性机器人可控段的多根驱动丝的驱动内力分布数据采集，或力和形变数据采集；

3、本发明利用集成基于 FBG 的光纤传感器的驱动丝的功能特点，能够承受较大的拉力，对不同位置分布的驱动丝进行拉伸操作，可实现柔性机器人可控段的灵活可控变形。

4、本发明实现单根驱动丝和基于 FBG 的光纤传感器的结合体集中在单个工作通道内，从而使柔性机器人具备较小的结构尺寸，可应用于多种类别的丝驱动柔性医疗机器人，对柔性机器人辅助医疗手术的微创性、有效性、安全性等具有重要的应用价值，能够保证快速且安全的开展诊断和治疗来保障国民健康和造福于人类。同时，本发明也可应用于其他领域的丝驱动柔性机器人。

附图说明

通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

图 1 是包含单芯光纤传感器的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的结构示意图；

图 2 是包含多芯光纤传感器的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的结构示意图；

图 3 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种对称槽式结构的柔性机器人的整体示意图；

图 4 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的装配结构示意图；

图 5 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的装配分解示意图；

图 6 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段的装配结构示意图；

图 7 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种非对称槽式结构的柔性机器人的装配分解示意图；

图 8 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种自接触式的柔性机器人可控段的装配结构示意图；

图 9 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种自接触式的柔性机器人可控段的装配分解示意图；

图 10 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种交叉轴式的柔性机器人可控段的装配结构示意图；

图 11 是力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种交叉轴式的柔性机器人可控段的装配分解示意图；

其中，1-一体化驱动丝；2-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段；3-一种非对称槽式的柔性机器人可控段；4-一种自接触式的柔性机器人可控段；5-一种交叉轴式的柔性机器人可控段；6-支撑结构；7-驱动机构；8-光纤光栅传感器解调仪；11-驱动丝头端部分；12-单芯光纤传感器；13-多芯光纤传感器；14-包覆管；120-光纤布拉格光栅（FBG）；121-纤芯；122-包层；123-涂覆层；130-光纤布拉格光栅（FBG）；131-纤芯；132-包层；133-涂覆层；201-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的前端可控段；202-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的后端可控段；203-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的前端部分放大示意结构；204-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的一体化驱动丝工作通道；205-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的其他装置通道；206-一种对称槽式结构的柔性机器人可控段的操作器械通道；21-全向弯曲变形状态下的一种对称槽式结构的柔性机器人可控段；301-一种非对称槽式的柔性机器人可控段的前端可控段；302-一种非对称槽式的柔性机器人可控段的后端可控段；303-一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段的前端部分放大示意结构；304-一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段的一体化驱动丝工作通道；305-一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段的操作器械通道；31-双向弯曲变形状态下的一种非对称槽式的柔性机器人可控段；401-一种自接触式的柔性机器人可控段的圆柱关节件；402-一种自接触式的柔性机器人可控段的骨架梁件；403-一种自接触式的柔性机器人可控段的自接触关节件；404-一种自接触式

的柔性机器人可控段的前端可控段；405-一种自接触式的柔性机器人可控段的后端可控段；406-一种自接触式的柔性机器人可控段的后端可控段的前端部分放大示意结构；407-一种自接触式的柔性机器人可控段的后端可控段的一体化驱动丝工作通道；408-一种自接触式的柔性机器人可控段的后端可控段的骨架梁件装配通道；41-双向弯曲变形状态下的一种自接触式的柔性机器人可控段；501-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的外侧件；502-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的内侧件；503-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的前端可控段；504-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的后端可控段；505-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的前端部分放大示意结构；506-一种交叉轴式的柔性机器人可控段的一体化驱动丝工作通道；51-双向弯曲变形状态下的一种交叉轴式的柔性机器人可控段。

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

实施例 1

为解决上述技术问题，本发明提出了柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法，该方法所用驱动丝采用高强度、高韧性的光导纤维材料为主体，根据使用需求在光纤传感器上沿长度方向刻蚀一系列具有一定波长间隔的光纤布拉格光栅（FBG），刻有光纤布拉格光栅（FBG）的光纤传感器可以是单芯光纤或多芯光纤，针对每一根驱动丝的多点离散拉力值进行插值计算，从而计算每根驱动丝在机器人内部的连续拉力分布，当驱动丝为多芯光纤时，可同时计算出其形状信息，光纤传感器主体表面也可根据需求采用镍钛合金或其他超弹性材料的包覆管进行保护并提高强度。实现单根驱动丝和基于 FBG 的光纤传感器的结合体集中在单个工作通道内，从而使柔性机器人具备较小的结构尺寸，可应用于多种类别的丝驱动柔性医疗机器人，对柔性机器人辅助医疗手术的微创性、有效性、安全性等具有重要的应用价值，能够保证快速且安全的开展诊断和治疗来保障国民健康和造福于人类。同时，本发明也可应用在领域的丝驱动柔性机器人。

根据本发明提供的一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，包括：光纤传感器；

所述光纤传感器包括光纤布拉格光栅根据使用需求沿所述光纤主体长度方向刻蚀；

所述光纤主体采用强度、韧性达到预设要求的光导纤维材料为主体。

具体地，所述柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括具有预设波长间隔的单芯光纤传感器或多芯光纤传感器。

具体地，还包括：所述光纤本体外表面根据需求设有包覆管。

具体地，所述包覆管采用超弹性特点的材料，包括镍钛合金和聚合物。

根据本发明提供的一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的应用方法，运用上述所述的一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括：

将多根一体化驱动丝第一端部通过驱动丝工作通道穿出机器人可控弯曲段结构，一体化驱动丝第二端部设置为圆球体结构，且直径大于所述驱动丝工作通道直径；

所述驱动丝工作通道是在机器人可控弯曲段结构的轴线横截面根据需求在不同位置分布设置。

具体地，所述机器人可控弯曲段结构根据不同需求设有不同的类型；

所述机器人可控弯曲段结构包括：对称槽式结构的机器人可控弯曲段结构、非对称槽式的机器人可控弯曲段结构、自接触式的机器人可控弯曲段结构和交叉轴式的机器人可控弯曲段结构。

具体地，还包括：所述多根一体化驱动丝装配在所述柔性机器人可控段的驱动丝工作通道内，穿过支撑结构与驱动机构和光纤光栅解调仪相连接。

具体地，包括：

步骤 M1：根据所应用柔性机器人的结构特点和预设弯曲变形状态需求来确定一体化驱动丝的数量、长度和在柔性机器人可控段上驱动丝工作通道的具体位置；

步骤 M2：根据所应用柔性机器人需要获取的力或力形状感知需求确定每根一体化驱动丝中光纤传感器上光纤布拉格光栅的数量和位置；

步骤 M3：驱动机构对所连接的多根一体化驱动丝按照一定次序施加不同的驱动拉力，柔性机器人可控段获得所需的空间弯曲形状；

步骤 M4：一体化驱动丝末端连接的光纤光栅传感器解调仪获得光纤传感器反馈的实时数据，再通过数据处理获得每根驱动丝沿轴向的力或力形状感知信息分布，可用于后续的柔性机器人状态监测。

实施例 2

实施例 2 是实施例 1 的变化例

如图 1 和图 2 所示, 包含单芯光纤传感器或多芯光纤传感器的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝;

一体化驱动丝 1 包含单芯光纤的一体化驱动丝 1 包括驱动丝头端部分 11、单芯光纤传感器 12、光纤布拉格光栅 (FBG) 120、纤芯 121、包层 122、涂覆层 123 和包覆管 14;

包含多芯光纤的一体化驱动丝 1 包括驱动丝头端部分 11、多芯光纤传感器 13、光纤布拉格光栅 (FBG) 130、纤芯 131、包层 132、涂覆层 133 和包覆管 14;

用于将一体化驱动丝 1 顶部定位在柔性机器人可控段工作通道上的驱动丝头端部分 11 设计在一体化驱动丝 1 的最前面;

用于获取力感知数据的单芯光纤传感器 12 根据需求沿所包含纤芯 121 的长度方向上刻蚀一定数量和间距的光纤布拉格光栅 (FBG) 120, 纤芯 121 外表面设有包层 122, 起到保护作用的涂覆层 123 设在包层 122 的外表面;

用于获取力和形状感知数据的多芯光纤传感器 13 根据需求在截面沿着周向均布多根纤芯 131, 该光纤传感器 13 沿所包含每一根纤芯 131 的长度方向上刻蚀一定数量和间距的光纤布拉格光栅 (FBG) 130, 多根纤芯 131 外表面及间隙间设有包层 132, 起到保护作用的涂覆层 133 设在包层 132 的外表面;

该单芯光纤传感器 12 或多芯光纤传感器 13 主体采用高强度、高韧性的光导纤维材料为主体, 具有较高的承载力, 可满足柔性机器人变形的驱动需求;

用于保护驱动丝表面的包覆管 14 设计在单芯光纤传感器 12 或多芯光纤传感器 13 的外表面上, 其顶部设计在驱动丝头端部分 11 和单芯光纤传感器 12 (或多芯光纤传感器 13) 的连接处;

该包覆管 14 可采用超弹性等特点的镍钛合金材料, 也可采用其他材料, 对驱动丝主体具有较好的保护作用, 同时可提高整体的强度。

如图 1、图 2、图 3、图 4 和图 5 所示, 柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝应用在一种对称槽式结构的柔性机器人之中, 装配整体主要包括所述一体化驱动丝 1、一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2、支撑结构 6、驱动机构 7 和光纤光栅传感器解调仪 8。

如图 3 所示, 多根一体化驱动丝 1 应用在一种对称槽式结构的柔性机器人之中, 其中, 一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 通过支撑结构 6 与驱动机构 7 相连接, 所

述一体化驱动丝 1 穿过驱动机构 7 最终与光纤光栅传感器解调仪 8 相连接；

通过驱动机构 7 对多根一体化驱动丝 1 末端按一定次序施加不同的驱动力，所述一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 可以获得预设的三维空间弯曲形状；

通过光纤光栅传感器解调仪 8 获得一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 变形状态下的多根所述一体化驱动丝 1 的相关数据，最终通过数据处理得到一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 的力或力形状感知信息。

如图 4 所示，一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 包括前端可控段 201 和后端可控段 202，通过对多根所述一体化驱动丝 1 末端按一定次序施加不同驱动力获得全向弯曲变形状态下的一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 21。

如图 5 所示，一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 的前端部分放大示意结构 203，其截面设有不同数量和位置的一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 的驱动丝工作通道 204、其他装置通道 205 和操作器械通道 206。

如图 4 和图 5 所示，用于驱动和感知一体化集成的驱动丝 1 根据一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 2 的结构特性和预设弯曲形状在前端可控段 201 和后端可控段 202 位置所属的八个驱动丝工作通道 204 内前后两段各装配四根，所述一体化驱动丝 1 的驱动丝头端部分 11 布置在对应驱动丝工作通道 204 的不同轴向位置。

通过对多根一体化驱动丝 1 尾端按一定次序施加不同力的拉伸操作，可以实现全向弯曲变形状态下的一种对称槽式结构的柔性机器人可控段 21 的不同弯曲变形状态，以提高柔性机器人操作的灵活性和高效性，根据柔性机器人不同结构特性设计可实现三维空间的弯曲变形状态。

如图 1、图 2、图 6 和图 7 所示，一种非对称槽式的柔性机器人可控段的装配结构，该装配结构主要包括所述一体化驱动丝 1 和一种非对称槽式的柔性机器人可控段 3。

如图 6 所示，一种非对称槽式的柔性机器人可控段 3 的装配结构段可分为前端可控段 301 和后端可控段 302。

如图 7 所示，一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段 3 的前端部分放大示意结构 303，其截面设有不同数量及位置的一种非对称槽式结构的柔性机器人可控段 3 的驱动丝工作通道 304 和操作器械通道 305。

如图 6 和图 7 所示，用于驱动和感知一体化集成的驱动丝 1 在前端可控段 301 和后端可控段 302 处位置的工作通道内的不同位置各装配两根，通过对多根一体化驱动丝 1 尾端按一定次序施加不同力的拉伸操作，可以实现双向弯曲变形状态下的一种非对称槽

式的柔性机器人可控段 31 的不同形态，可以提高柔性机器人操作的灵活性和高效性，根据柔性机器人不同结构特性设计可实现三维空间的弯曲变形状态。

如图 1、图 2、图 8 和图 9 所示，一种自接触式的柔性机器人可控段的装配结构，该装配结构主要包括所述驱动丝 1 和一种自接触式的柔性机器人可控段 4。

如图 8 所示，一种自接触式的柔性机器人可控段 4 的装配结构段可分为前端可控段 404 和后端可控段 405；

一种自接触式的柔性机器人可控段 4 的装配体包括可控段本体的圆柱关节件 401、可控段的骨架梁件 402 和可控段的自接触关节件 403；

如图 9 所示，一种自接触式的柔性机器人可控段 4 的前端部分放大示意结构 406，其截面设有不同数量及位置的一种自接触式的柔性机器人可控段 4 的驱动丝工作通道 407 和骨架梁件装配通道 408。

如图 8 和图 9 所示，可控段的圆柱关节件 401 和可控段的自接触关节件 403 按照需求在可控段的骨架梁件 402 长度方向上进行一定数量和间距的布置并固定，其中可控段的自接触关节件 403 之间进行首尾接触式布置，可控段的骨架梁件 402 穿过可控段的圆柱关节件 401 和可控段的自接触关节件 403 所设有的矩形骨架梁件安装通道 408；

用于驱动和感知一体化集成的驱动丝 1 在前端可控段 404 和后端可控段 405 所处位置的工作通道内分别装配一根，通过对多根一体化驱动丝 1 尾端按一定次序施加不同力的拉伸操作，可以实现双向弯曲变形状态下的一种自接触式的柔性机器人可控段 41 的不同形态，以提高柔性机器人操作的灵活性和高效性，根据柔性机器人不同结构特性设计可实现三维空间的弯曲变形状态。

如图 1、图 2、图 10 和图 11 所示，一种交叉轴式的柔性机器人可控段的装配结构，该装配结构主要包括所述一体化驱动丝 1 和一种交叉轴式的柔性机器人可控段 5。

如图 10 所示，一种交叉轴式的柔性机器人可控段装配结构段可分为前端可控段 503 和后端可控段 504；

一种交叉轴式的柔性机器人可控段 5 装配体包括可控段的外侧件 501 和可控段的外侧件 502；

可控段的外侧件 501 和可控段的内侧件 502 同轴心外内嵌套装配，其中外侧件 501 的内表面与内侧件 502 外表面上所设计的驱动丝工作通道进行同轴心装配，外侧件 501 和内侧件 502 尾部表面的定位通孔进行同轴心装配；

如图 11 所示，一种交叉轴式的柔性机器人可控段的前端部分放大示意结构 505，其

截面设有两个对称位置的一种交叉轴式的柔性机器人可控段的驱动丝工作通道 506。

如图 10 和图 11 所示，用于驱动和感知一体化集成的驱动丝 1 在前端可控段 503 和后端可控段 504 所处位置的工作通道内各装配一根，所述一体化驱动丝 1 的安装位置根据预设弯曲形状布置，通过对不同的一体化驱动丝 1 尾端按一定次序施加不同力的拉伸操作，可以实现双向弯曲变形状态下的一种交叉轴式的柔性机器人可控段 51 的不同形态，以提高柔性机器人操作的灵活性和高效性，根据柔性机器人不同结构特性设计可实现三维空间的弯曲变形状态。

本发明公开了柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝及其应用方法，属于医疗机器人应用领域，同时也适用于其他应用领域。该方法所用驱动丝包括驱动丝头端部分、定制化波长光纤布拉格光栅（FBG）的光纤传感器和根据使用需求可增加的包覆管部分，根据需求在光纤传感器的每根纤芯上沿长度方向上刻蚀定制数量和间隔的布拉格光纤光栅，可以是单芯光纤或者多芯光纤，根据使用需求的包覆管可设在光纤表面上；本发明能够根据实际情况进行定制化应用，适合多种应用场景。本发明能够补充传统丝驱动柔性机器人可控段中传感器及驱动丝应用存在的不足，克服传统丝驱动柔性机器人不易小型化设计、驱动丝应用功能性单一的缺点，能够实现单根驱动丝和基于 FBG 的光纤传感器的结合体集中在单个工作通道内、柔性机器人形状和结构体多点外部接触力实时一体化感知以及柔性机器人形变的灵活驱动，可适用于大多数类型的丝驱动柔性机器人，对辅助医疗手术的微创性、有效性、安全性等具有重要的应用价值，同时对其他领域内的丝驱动柔性机器人的应用存在着适用性。

在本申请的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“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申请和简化描述，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申请的限制。

本领域技术人员知道，除了以纯计算机可读程序代码方式实现本发明提供的系统、装置及其各个模块以外，完全可以通过将方法步骤进行逻辑编程来使得本发明提供的系统、装置及其各个模块以逻辑门、开关、专用集成电路、可编程逻辑控制器以及嵌入式微控制器等的形式来实现相同程序。所以，本发明提供的系统、装置及其各个模块可以被认为是一种硬件部件，而对其内包括的用于实现各种程序的模块也可以视为硬件部件内的结构；也可以将用于实现各种功能的模块视为既可以是实现方法的软件程序又可以

是硬件部件内的结构。

以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改，这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下，本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

权利要求书

1、一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，其特征在于，包括：光纤传感器；

所述光纤传感器包括光纤布拉格光栅根据使用需求沿所述光纤主体长度方向刻蚀；

所述光纤主体采用强度、韧性达到预设要求的光导纤维材料为主体。

2、根据权利要求1所述的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，其特征在于，所述柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括具有预设波长间隔的单芯光纤传感器或多芯光纤传感器。

3、根据权利要求1所述的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，其特征在于，还包括：所述光纤本体外表面根据需求设有包覆管。

4、根据权利要求3所述的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝，其特征在于，所述包覆管采用超弹性特点的材料，包括镍钛合金和聚合物。

5、一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的应用方法，其特征在于，运用权利要求1-4任一权利要求所述的一种柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝包括：

将多根一体化驱动丝第一端部通过驱动丝工作通道穿出机器人可控弯曲段结构，一体化驱动丝第二端部设置为圆球体结构，且直径大于所述驱动丝工作通道直径；

所述驱动丝工作通道是在机器人可控弯曲段结构的轴线横截面根据需求在不同位置分布设置。

6、根据权利要求5所述的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的应用方法，其特征在于，所述机器人可控弯曲段结构根据不同需求设有不同的类型；

所述机器人可控弯曲段结构包括：对称槽式结构的机器人可控弯曲段结构、非对称槽式的机器人可控弯曲段结构、自接触式的机器人可控弯曲段结构和交叉轴式的机器人可控弯曲段结构。

7、根据权利要求5所述的柔性机器人的力或力形状感知一体化驱动丝的应用方法，其特征在于，还包括：所述多根一体化驱动丝装配在所述柔性机器人可控段的驱动丝工作通道内，穿过支撑结构与驱动机构和光纤光栅解调仪相连接。

8、根据权利要求5所述柔性机器人的力和形状感知一体化驱动丝的应用方法，其特征在于，包括：

步骤 M1：根据所应用柔性机器人的结构特点和预设弯曲变形状态需求来确定一体化驱动丝的数量、长度和在柔性机器人可控段上驱动丝工作通道的具体位置；

步骤 M2：根据所应用柔性机器人需要获取的力或力形状感知需求确定每根一体化驱动丝中光纤传感器上光纤布拉格光栅的数量和位置；

步骤 M3：驱动机构对所连接的多根一体化驱动丝按照一定次序施加不同的驱动拉力，柔性机器人可控段获得所需的空間弯曲形状；

步骤 M4：一体化驱动丝末端连接的光纤光栅传感器解调仪获得光纤传感器反馈的实时数据，再通过数据处理获得每根驱动丝沿轴向的力或力形状感知信息分布。

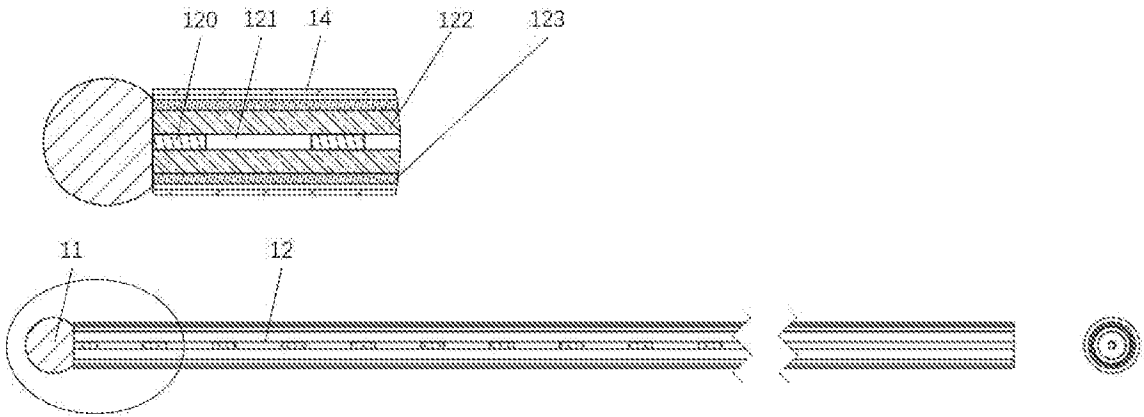


图 1

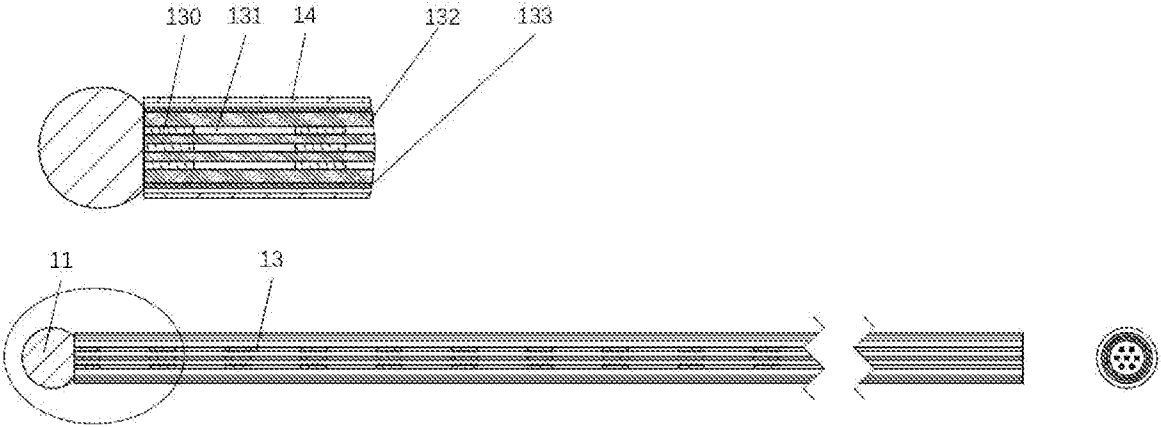


图 2

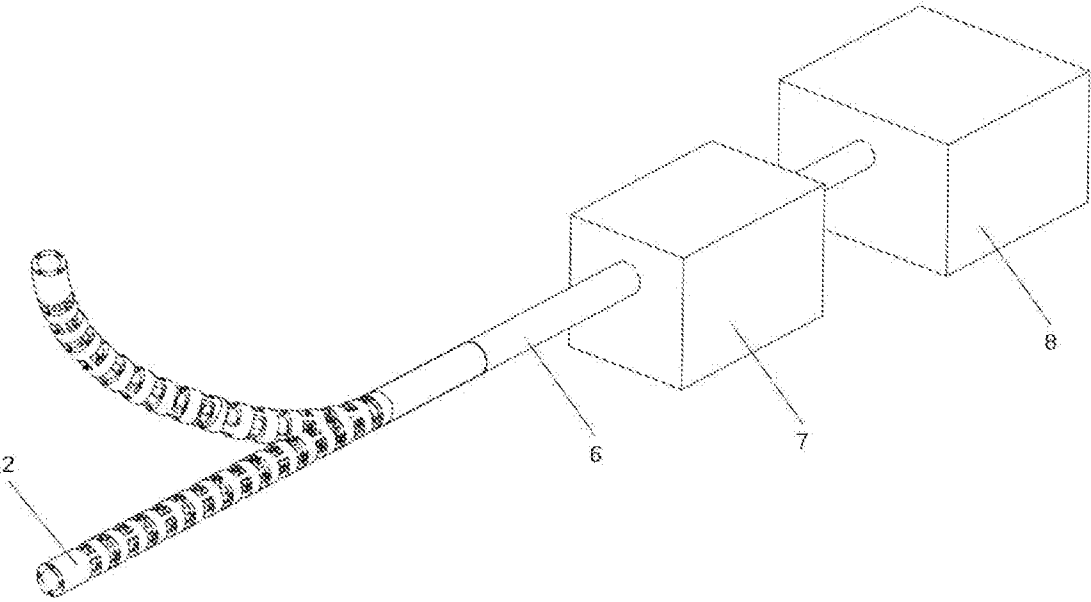


图 3

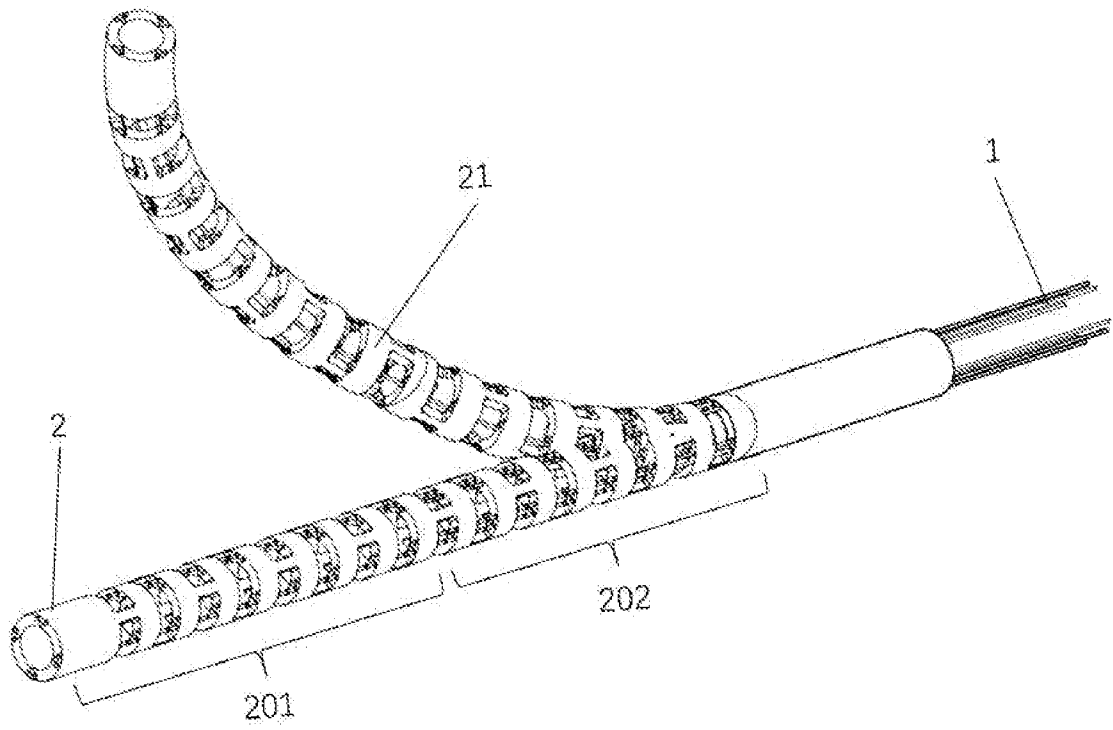


图 4

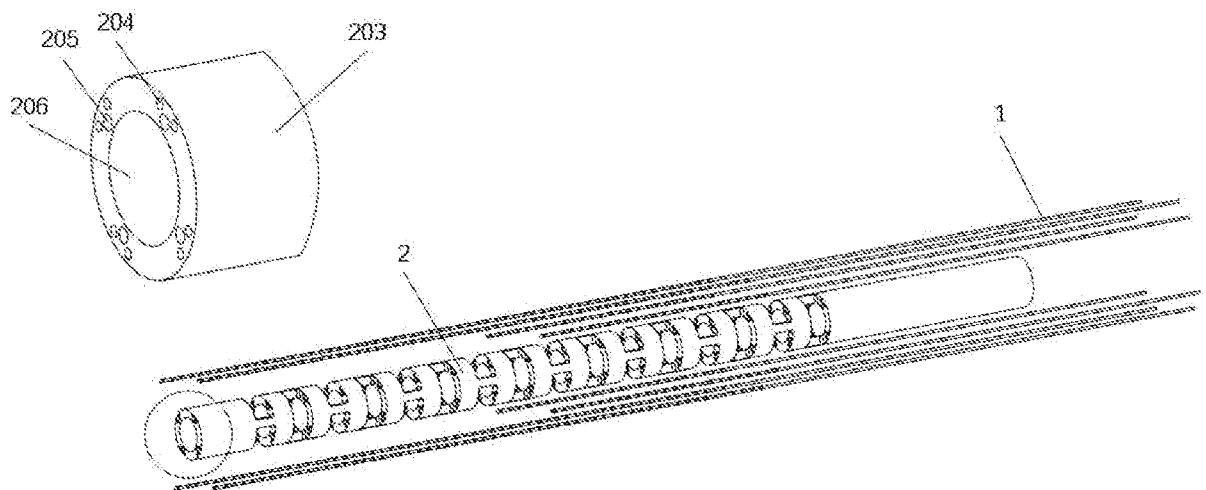


图 5

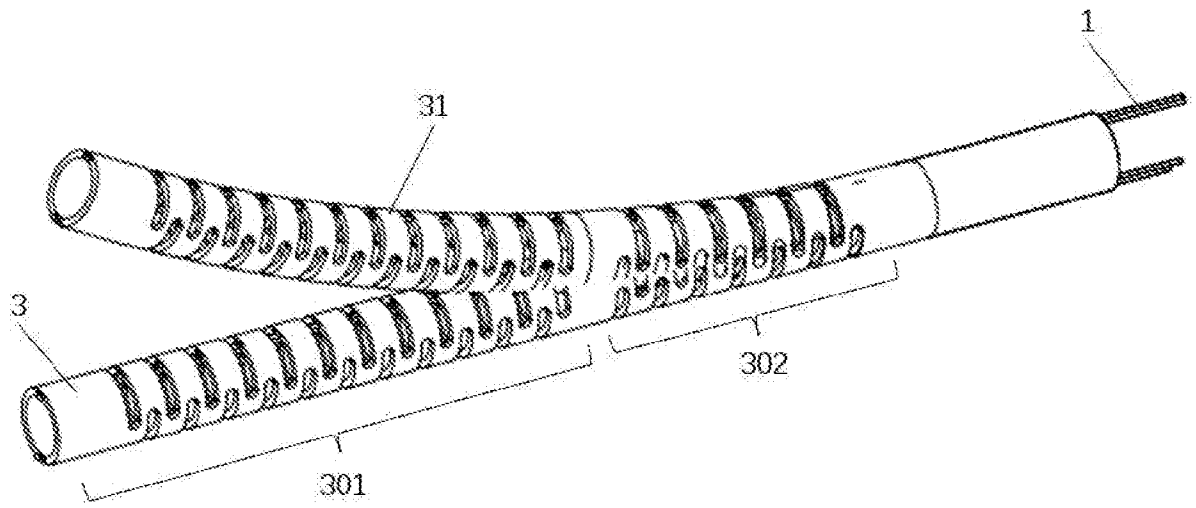


图 6

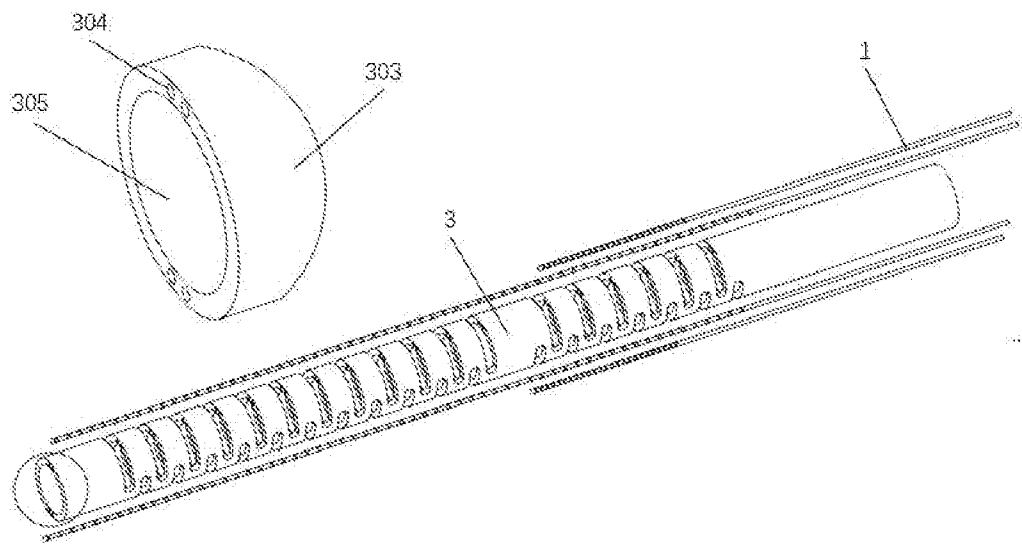


图 7

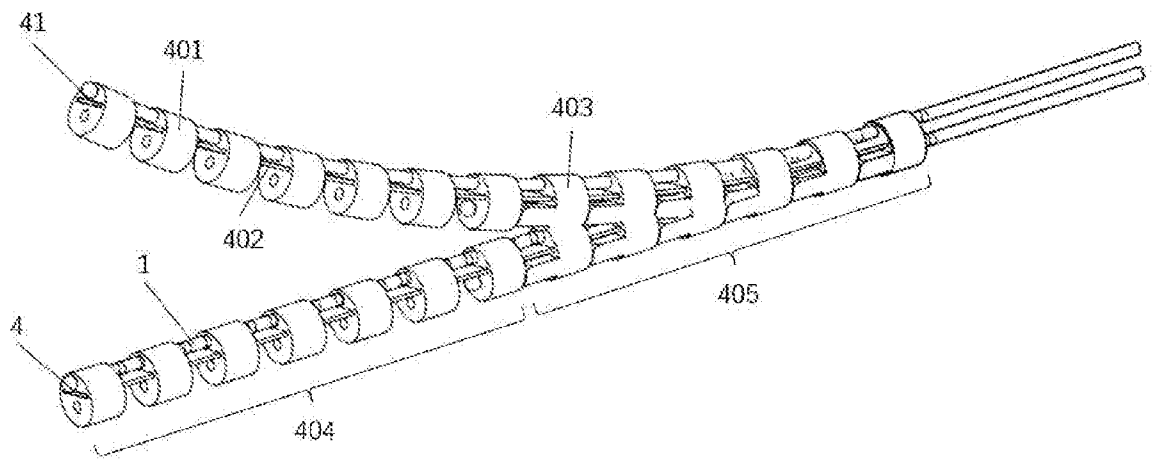


图 8

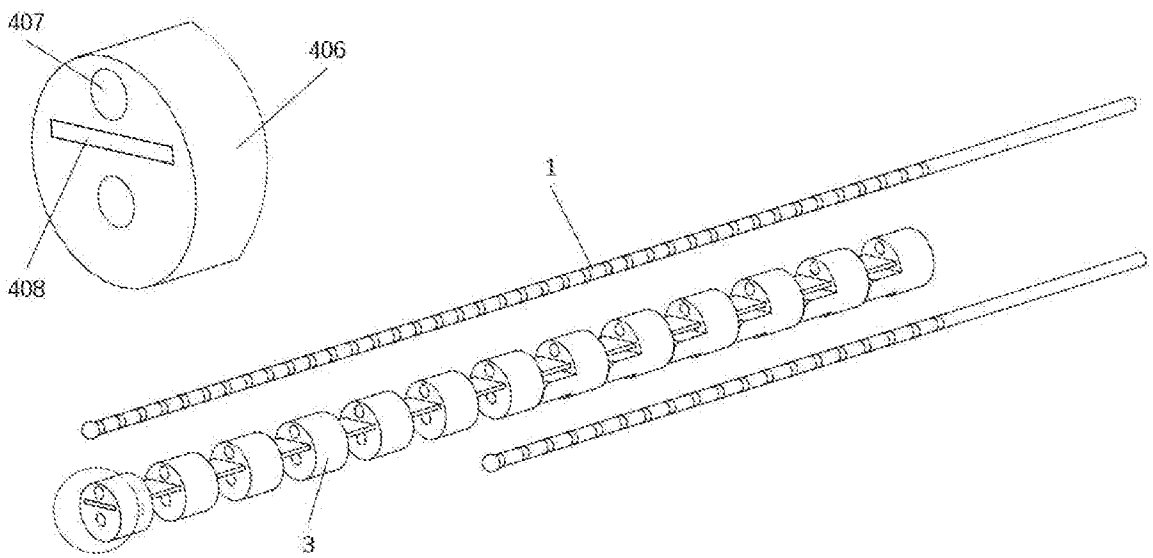


图 9

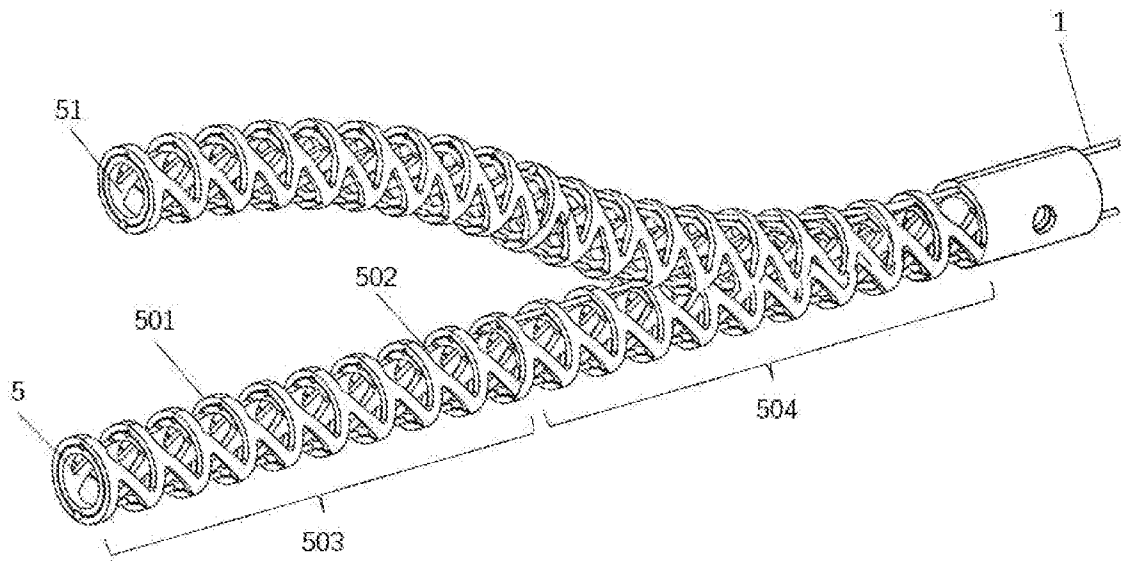


图 10

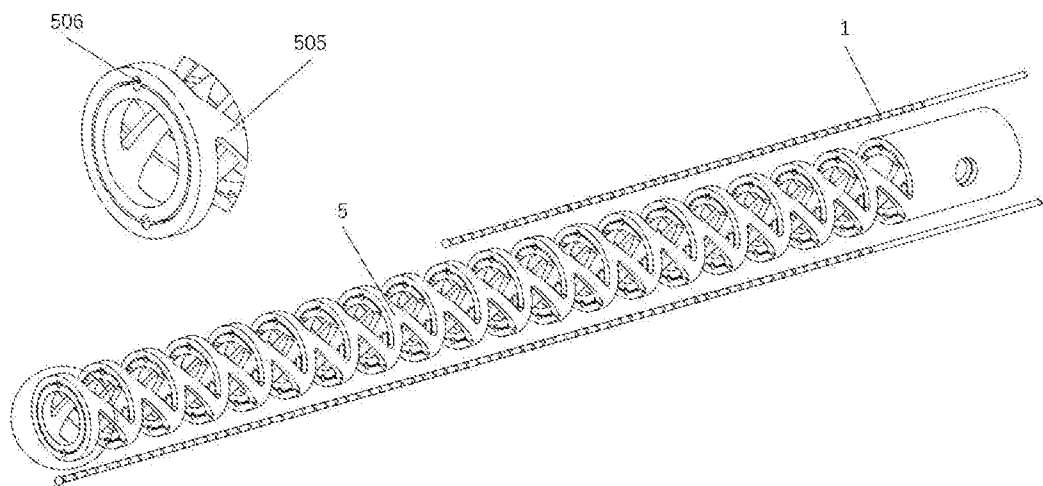


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/115524

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L 1/24(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)

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)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; IEEE: 柔性, 布拉格, 光栅, 机器人, 球, 直径, 半径, 孔径, 管径, 通道, 弯曲, 段, 壳, 形状, 传感器, shape, sensor, fiber bragg grating, FBG, soft, flexible, robot, optical, wave, length, sphere, diameter

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112985656 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 18 June 2021 (2021-06-18) claims 1-8	1-8
X	US 2016166341 A1 (THE JOHNS HOPKINS UNIVERSITY) 16 June 2016 (2016-06-16) description paragraphs [0054]-[0067], [0123]-[0162], figures 1A, 13A-23C	1-4
A	CN 110553771 A (HE'NAN UNIVERSITY) 10 December 2019 (2019-12-10) entire document	1-8
A	CN 108593161 A (NANKAI UNIVERSITY) 28 September 2018 (2018-09-28) entire document	1-8
A	US 2009324161 A1 (INTUITIVE SURGICAL INC.) 31 December 2009 (2009-12-31) 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

08 October 2021

Date of mailing of the international search report

08 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
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/115524

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112985656	A	18 June 2021	None			
US	2016166341	A1	16 June 2016	US	10226304	B2	12 March 2019
CN	110553771	A	10 December 2019	None			
CN	108593161	A	28 September 2018	None			
US	2009324161	A1	31 December 2009	US	7720322	B2	18 May 2010

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/115524

A. 主题的分类

G01L 1/24 (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)

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))

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT; IEEE: 柔性, 布拉格, 光栅, 机器人, 球, 直径, 半径, 孔径, 管径, 通道, 弯曲, 段, 壳, 形状, 传感器, shape, sensor, fiber bragg grating, FBG, soft, flexible, robot, optical, wave, length, sphere, diameter

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 112985656 A (上海交通大学) 2021年 6月 18日 (2021 - 06 - 18) 权利要求1-8	1-8
X	US 2016166341 A1 (UNIV JOHNS HOPKINS) 2016年 6月 16日 (2016 - 06 - 16) 说明书第[0054]-[0067]、[0123]-[0162]段, 附图1A、13A-23C	1-4
A	CN 110553771 A (河南大学) 2019年 12月 10日 (2019 - 12 - 10) 全文	1-8
A	CN 108593161 A (南开大学) 2018年 9月 28日 (2018 - 09 - 28) 全文	1-8
A	US 2009324161 A1 (INTUITIVE SURGICAL INC) 2009年 12月 31日 (2009 - 12 - 31) 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

2021年 10月 8日

国际检索报告邮寄日期

2021年 11月 8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

刘妍

电话号码 (86-512) 88997613

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/115524

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	112985656	A	2021年 6月 18日	无	
US	2016166341	A1	2016年 6月 16日	US 10226304 B2	2019年 3月 12日
CN	110553771	A	2019年 12月 10日	无	
CN	108593161	A	2018年 9月 28日	无	
US	2009324161	A1	2009年 12月 31日	US 7720322 B2	2010年 5月 18日