

一种机械臂及其控制方法

技术领域

本发明涉及医疗器械技术领域，特别是涉及一种机械臂及其控制方法。

5 背景技术

随着医疗器械、计算机技术及控制技术的不断发展，微创手术以其手术创伤小、康复时间短、患者痛苦少等优点得到了越来越广泛的应用。而微创手术机器人以其高灵巧性、高控制精度、直观的手术图像等特点能够避免操作局限性，如过滤操作时手部的震颤等，广泛适用于腹腔、盆腔、胸腔等手术区域。

目前，微创手术机器人包括主操作臂和机械臂，主操作臂采集到医生的操作信号经控制系统处理后生成机械臂的控制信号，由机械臂执行手术操作。机器人手术过程中，机械臂卡接手术器械，手术器械通过插在患者体表切口上的戳卡进入患者体内。由于戳卡轴的中心线与体表的交点为“不动点”，手术过程中，手术器械杆必须通过戳卡经过此点，以免扩大患者体表创口甚至造成手术事故。现有实现不动点的方法包括两种：第一种机械不动点，基于平行四边形连杆机构，不动点位置相对于基座位置固定，需要将戳卡卡接到机械臂上，以确保不动点位置与创口位置重合，但是卡接过程需要满足较严格的匹配关系，操作复杂度较高，术前准备时间较长；第二种主动不动点，采用通用的工业机器人构型，使用运动控制算法约束手术器械通过一个固定的点，但是需要较复杂的运动学逆解运算，且考虑到关节运动范围、不动点虚拟约束等因素，易引入奇异性，绕不动点的运动需要机械臂各个关节的参与，当多臂组合使用时，易引起多臂干涉。

发明内容

基于此，有必要针对上述机械臂运动学逆解运算复杂并且存在多臂干涉的问题，提供一种机械臂及其控制方法。

一种机械臂，包括空间定位机构、平面运动机构及连接所述空间定位机构和所述平面运动机构的自转关节，其中：

所述空间定位机构包括基座及关节机构，所述关节机构包括依次安装的多个关节，且其首端的所述关节安装于所述基座，其末端的所述关节与所述自转关节转动相连；

所述平面运动机构的末端与手术器械相连接，且其所在平面的垂线与所述自转关节的旋转轴线相垂直；

所述自转关节的旋转轴线与所述手术器械的轴线交点为主动不动点。

在上述机械臂中,关节机构中的关节相对基座运动,以带动自转关节、平面运动机构及手术器械随之转动,使得自转关节、平面运动机构及手术器械在空间内的大范围运动,以实现主动不动点在空间大范围定位;平面运动机构在垂直于自转关节旋转轴线方向的平面内运动,以带动手术器械随之运动,使得主动不动点在平面运动机构所在平面上移动,以实现主动不动点在平面运动机构所在平面上的精细定位;在确定出主动不动点后,自转关节绕其旋转轴线转动,带动平面运动机构及手术器械随之转动,使得在保证主动不动点不动的情况下手术器械绕主动不动点以自转关节的旋转轴线为旋转轴的单自由度旋转,平面运动机构转动,带动手术器械随之转动,使得在保证主动不动点不动的情况下,手术器械绕主动不动点以垂直于自转关节的旋转轴线的方向为旋转轴进行单自由度旋转。由于手术器械绕主动不动点的转动无需空间定位机构运动就能够实现,减少了多臂组合运动时的碰撞情况的发生。并且通过限定自转关节的旋转轴线与手术器械的轴线交点为主动不动点,以能够较为方便地完成主动不动点的设置,通过空间定位机构、平面运动机构及自转关节的联动就可以实现手术器械同一姿态的无穷组解,使得运动学求解简单。

在其中一个实施例中,所述关节机构包括至少两个转动关节,其中至少一个所述转动关节的旋转轴线与所述自转关节的旋转轴线之间相垂直。

在其中一个实施例中,所述关节机构包括两个所述转动关节和一个移动关节,所述移动关节设置在两个所述转动关节之间或所述转动关节与所述基座之间,所述移动关节的移动方向与一个所述转动关节的旋转轴线相平行,两个所述转动关节的旋转轴线相垂直。

在其中一个实施例中,所述空间定位机构还包括三个连杆,所述基座以及三个所述连杆中相邻的两者之间通过所述移动关节或所述转动关节相连接,且三个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

在其中一个实施例中,所述关节机构包括三个转动关节,三个所述转动关节依次安装,且离所述自转关节最远的所述转动关节安装于所述基座,且靠近所述基座的两个转动关节的旋转轴线之间相垂直,远离所述基座的两个转动关节的旋转轴线相平行。

在其中一个实施例中,所述空间定位机构还包括三个连杆,所述基座以及三个所述连杆中相邻的两者之间通过所述转动关节相连接,且三个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

在其中一个实施例中，所述关节机构包括两个转动关节和两个移动关节，两个所述移动关节相邻设置，且移动方向之间相垂直并与一个所述转动关节的旋转轴线相平行，两个所述移动关节的一侧与所述基座之间设置一个所述转动关节，且另一侧设置另一个所述转动关节，两个所述转动关节的旋转轴线相垂直。

在其中一个实施例中，所述空间定位机构还包括四个连杆，所述基座以及四个所述连杆中相邻的两者之间通过所述移动关节或所述转动关节相连接，且四个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

在其中一个实施例中，所述平面运动机构包括四个连杆和三个转动关节，四个所述连杆依次设置，且相邻两个所述连杆之间通过一个所述转动关节连接，四个所述连杆中位于边缘位置的一个所述连杆通过所述自转关节连接于所述空间定位机构的末端，且另一个所述连杆与所述手术器械相连接，三个所述转动关节的旋转轴线相平行，且均与所述自转关节的旋转轴线相垂直。

在其中一个实施例中，所述主动不动点的运动控制满足如下约束关系：

$$\begin{aligned} \gamma &= \arccos\left(\frac{b^2+c^2-e^2}{2bc}\right); \\ \beta &= \arccos\left(\frac{a^2+d^2-e^2}{2ad}\right) + \arccos\left(\frac{b^2+e^2-c^2}{2be}\right); \\ e &= \sqrt{a^2+d^2-2ad*\cos\alpha}; \end{aligned}$$

其中， α 、 β 、 γ 依次为从所述平面运动机构的首端到末端相邻两个所述连杆之间的夹角， a 、 b 、 c 依次为从所述平面运动机构中相邻于首端到末端三个连杆的长度， d 为所述平面运动机构中相邻于首端的连杆靠近首端的端部与所述主动不动点之间的距离。

在其中一个实施例中，所述平面运动机构包括三个依次设置的连杆、滑块以及两个转动关节，所述滑块与一个所述转动关节连接为一体、另一个所述转动关节分别连接于相邻的两个所述连杆，与所述滑块相连的所述连杆直接连接于所述自转关节或间接连接于手术器械，两个所述转动关节的旋转轴线相平行，且均与所述自转关节的旋转轴线、所述滑块的移动方向相垂直。

在其中一个实施例中，所述平面运动机构的末端通过移动关节与所述手术器械相连接，所述移动关节的移动方向与所述自转关节的旋转轴线相垂直。

在其中一个实施例中，机械臂还包括设置在所述平面运动机构上的激光发生模块，所述激光发生模块与所述自转关节同轴设置，用于产生照射所述手术器械上的定位标记的激光，以表征出所述主动不动点。

另外，本发明还提供了一种如上述任一项技术方案所述的机械臂的控制方法，包括：

控制空间定位机构运动，以使得自转关节的旋转轴线通过戳卡创口；

控制平面运动机构运动，以使得手术器械的轴线通过戳卡创口；

- 5 控制自转关节以及平面运动机构运动，以围绕主动不动点操作手术器械。

在上述机械臂的控制方法中，首先，通过控制空间定位机构中关节机构的关节相对基座运动，以带动自转关节、平面运动机构及手术器械随之转动，使得自转关节、平面运动机构及手术器械在空间内的大范围运动，
10 以实现主动不动点在空间大范围定位，使得自转关节的旋转轴线通过戳卡创口；接着，通过控制平面运动机构运动，平面运动机构在垂直于自转关节旋转轴线方向的平面内运动，以带动手术器械随之运动，使得主动不动点在平面运动机构所在平面上移动，以实现主动不动点在平面运动机构所在平面上的精细定位，以使得手术器械的轴线通过戳卡创口；最后，控制
15 自转关节转动，自转关节绕其旋转轴线转动，带动平面运动机构及手术器械随之转动，使得在保证主动不动点不动的情况下，手术器械绕主动不动点以自转关节的旋转轴线为旋转轴进行单自由度旋转，控制平面运动机构转动，带动手术器械随之转动，使得在保证主动不动点不动的情况下手术器械绕主动不动点以垂直于自转关节的旋转轴线的方向为旋转轴的单自由
20 度旋转。上述机械臂的控制方法能够较为方便地精准地定位出不动点，并且保证手术器械绕主动不动点的转动无需空间定位机构运动就能够实现，减少了多臂组合运动时的碰撞情况的发生。

在其中一个实施例中，当所述机械臂中所述平面运动机构的末端通过移动关节连接手术器械时，在控制所述自转关节以及平面运动机构运动之后，还包括：

- 25 控制所述移动关节运动，以过主动不动点操作手术器械。

附图说明

- 图 1 为本发明提供的一种机械臂的结构示意图；
图 2 为本发明提供的一种机械臂中的空间定位机构的机构简图；
30 图 3 为本发明提供的另一种机械臂中的空间定位机构的机构简图；
图 4 为本发明提供的又一种机械臂中的空间定位机构的机构简图；
图 5 为本发明提供的一种机械臂中的平面运动机构的机构简图；
图 6 为本发明提供的另一种机械臂中的平面运动机构的机构简图；
图 7 为本发明提供的又一种机械臂中的平面运动机构的机构简图；

图8为本发明提供的一种机械臂的控制方法流程图。

附图标记：

10、机械臂；

A、主动不动点；

5 100、空间定位机构；110、基座；121、第一转动关节；122、第二转动关节；123、第三转动关节；124、第四转动关节；125、第五转动关节；126、第六转动关节；127、第七转动关节；131、第一移动关节；132、第二移动关节；133、第三移动关节；141、第一连杆；142、第二连杆；143、第三连杆；144、第四连杆；145、第五连杆；146、第六连杆；147、第七
10 连杆；148、第八连杆；149、第九连杆；150、第十连杆；

200、平面运动机构；211、第一平面连杆；212、第二平面连杆；213、第三平面连杆；214、第四平面连杆；215、第五平面连杆；216、第六平面
15 连杆；217、第七平面连杆；221、第一平面转动关节；222、第二平面转动关节；223、第三平面转动关节；224、第四平面转动关节；225、第五平面转动关节；230、第一平面移动关节；240、滑块；

300、自转关节；

20、手术器械。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施，本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进，因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”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、
25 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”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隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“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。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；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或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。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。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触，或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方，或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

需要说明的是，当元件被称为“固定于”或“设置于”另一个元件，它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“上”、“下”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的，并不表示是唯一的实施方式。

下面结合附图介绍本发明实施例提供的技术方案。如图1所示，本发明提供了一种机械臂10，用于微创手术机器人中，所述机械臂10的末端可拆卸地连接手术器械20，其在手术前能够定位主动不动点A，并在手术中驱动手术器械20过主动不动点A进行手术操作。该机械臂10包括空间定位机构100、平面运动机构200及自转关节300这三部分，而自转关节300连接空间定位机构100和平面运动机构200，其中：

空间定位机构100包括基座110及关节机构，关节机构包括多个关节，关节的数目可以为两个、三个或是三个以上，多个关节依次安装于基座110，并且关节机构首端的关节和基座110之间可以直接连接，关节机构末端的关节与自转关节300之间转动连接；

平面运动机构200的末端与手术器械20相连接，并且平面运动机构200所在平面的垂线与自转关节300的旋转轴线相垂直；

自转关节300的旋转轴线与手术器械20的轴线交点为主动不动点A，自转关节300的旋转轴线在手术中始终转过主动不动点A。

在上述机械臂10中，关节机构中的关节相对基座110运动，以带动自

转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,使得自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 在空间内能进行大范围运动,以实现主动不动点 A 在空间大范围定位;所述平面运动机构 200 的末端是结合附图对于与手术器械 20 连接的移动关节的位置的描述,平面运动机构 200 的末端
5 与手术器械 20 相连接指的是位于平面运动机构 200 末端的移动关节与手术器械 20 相连接;平面运动机构 200 在垂直于自转关节 300 旋转轴线方向的平面内运动,以带动手术器械 20 随之运动,使得主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上移动,以实现主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上的精细定位;自转关节 300 绕其旋转轴线转动,带动平面运动机构
10 200 及手术器械 20 随之转动,使得在保证主动不动点 A 不动的情况下手术器械 20 绕主动不动点 A 以自转关节 300 的旋转轴线为旋转轴的单自由度旋转,平面运动机构 200 转动,带动手术器械 20 随之转动,使得在保证主动不动点 A 不动的情况下手术器械 20 绕主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 的旋转轴线的方向为旋转轴的单自由度旋转。而由于手术器械 20 绕主动不
15 动点 A 的转动无需空间定位机构 100 运动就能够实现,减少了多臂组合运动时的碰撞情况的发生。并且通过限定自转关节 300 的旋转轴线与手术器械 20 的轴线交点为主动不动点 A,以能够较为方便地完成主动不动点 A 的设置,通过空间定位机构 100、平面运动机构 200 及自转关节 300 的联动就可以实现手术器械 20 同一姿态的无穷组解,使得运动学求解简单。

20 空间定位机构 100 的结构形式具有多种,一种优选实施方式,如图 1 以及图 2 所示,关节机构包括至少两个转动关节,其中至少一个转动关节的旋转轴线与自转关节 300 的旋转轴线之间相垂直。在具体设置时,转动关节的数目可以为两个、三个或是三个以上,在这些转动关节中可以有一个转动关节的旋转轴线与自转关节 300 的旋转轴线之间相垂直,还可以有
25 两个转动关节的旋转轴线与自转关节 300 的旋转轴线之间相垂直。

在上述机械臂 10 中,关节机构包括至少两个转动关节,两个转动关节分别运动,以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,实现自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 在空间内的大范围运动。通过限定转动关节中至少一个转动关节的旋转轴线与自转关节
30 300 的旋转轴线之间相垂直,以能够带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 沿着与自转关节 300 的旋转轴线相垂直的旋转轴线进行转动,便于控制自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 在空间内的大范围运动。当然,至少两个转动关节的旋转轴线也可以与自转关节 300 的旋转轴线不相垂直,而至少两个转动关节的旋转轴线的设置方式可以根据机械臂 10 的实际情况进行确定。
35

关节机构的结构形式具有多种，一种优选实施方式，关节机构包括两个转动关节和一个移动关节，如图 1 所示，关节机构包括第一转动关节 121、第二转动关节 122 和第一移动关节 131，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线相垂直，第一移动关节 131 设置在第一转动关节 121 和第二转动关节 122 之间，并且第一移动关节 131 的移动方向与第一转动关节 121 的旋转轴线相平行。如图 2 所示，关节机构包括第一转动关节 121、第二转动关节 122 和第一移动关节 131，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线相垂直，第一移动关节 131 设置在基座 110 和第一转动关节 121 之间，并且第一移动关节 131 的移动方向与第一转动关节 121 的旋转轴线相平行，在具体设置时时，第一移动关节 131 的移动方向与第一转动关节 121 的旋转轴线可以完全重合，第一移动关节 131 的移动方向与第一转动关节 121 的旋转轴线还可以错位平行设置。

在上述机械臂 10 中，第一转动关节 121、第一移动关节 131、第二转动关节 122 安装于基座 110 上，第一移动关节 131 的移动方向与第一转动关节 121 的旋转轴线相平行，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线相垂直，并且第一转动关节 121 和第二转动关节 122 分别与自转关节 300 的旋转轴线相垂直，空间定位机构 100 运动时，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的转动可以实现空间定位机构 100 在与自转关节 300 的旋转轴线相垂直的两个方向上的转动，以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动，使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的两个方向为旋转轴线进行的转动；第一移动关节 131 的移动可以实现空间定位机构 100 在与自转关节 300 的旋转轴线相垂直方向上的移动，以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之移动，使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的方向上移动，因此，通过限定空间定位机构 100 的结构为上述第一转动关节 121 和第二转动关节 122 和第一移动关节 131，以较为方便快捷地实现主动不动点 A 在空间大范围定位，并且结构简单，易于动作控制。当然，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线也可以不相垂直，并且，第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线也可以与自转关节 300 的旋转轴线不相垂直，而第一转动关节 121 和第二转动关节 122 的旋转轴线、第一移动关节 131 的移动方向的设置方式可以根据机械臂 10 的实际情况进行确定。

如图 1 以及图 2 所示，具体地，空间定位机构 100 包括第一连杆 141、第二连杆 142 以及第三连杆 143 这三个连杆，基座 110 以及三个连杆中相邻的两者之间通过移动关节或转动关节相连接，三个连杆中离基座 110 最远的第三连杆 143 通过自转关节 300 连接于平面运动机构 200。如图 1 所

示,基座 110 和第一连杆 141 通过第一转动关节 121 相连接,第一连杆 141 和第二连杆 142 之间通过第一移动关节 131 相连接,第二连杆 142 和第三连杆 143 之间通过第二转动关节 122 相连接。如图 2 所示,基座 110 和第一连杆 141 通过第一移动关节 131 相连接,第一连杆 141 和第二连杆 142 之间通过第一转动关节 121 相连接,第二连杆 142 和第三连杆 143 之间通过第二转动关节 122 相连接。

在上述机械臂 10 中,如图 1 所示,空间定位机构 100 运动时,第一转动关节 121 转动,带动第一连杆 141 随之转动,使得直接或间接连接于第一连杆 141 的第一移动关节 131、第二连杆 142、第二转动关节 122 以及第三连杆 143 随之转动,第三连杆 143 带动直接或间接连接于其的自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向为旋转轴线进行转动;第一移动关节 131 移动,带动第二连杆 142 随之移动,使得直接或间接连接于第二连杆 142 的第二转动关节 122 以及第三连杆 143 随之移动,第三连杆 143 带动直接或间接连接于其的自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之移动,使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向上进行移动;第二转动关节 122 转动,带动第三连杆 143 随之转动,第三连杆 143 带动直接或间接连接于其的自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向为旋转轴线进行转动,第一方向和第二方向相垂直,以实现使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的两个方向为旋转轴线进行的转动。

如图 2 所示,空间定位机构 100 运动时,第一移动关节 131 移动,带动第一连杆 141 随之移动,使得直接或间接连接于第一连杆 141 的第一转动关节 121、第二连杆 142、第二转动关节 122、第三连杆 143、自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之移动,使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向上进行移动;第一转动关节 121 转动,带动第二连杆 142 随之转动,使得直接或间接连接于第二连杆 142 的第二转动关节 122、第三连杆 143、自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向为旋转轴线进行转动;第二转动关节 122 转动,带动第三连杆 143 随之转动,第三连杆 143 带动直接或间接连接于其的自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动,使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的第二方向为旋转轴线进行转动,第一方向和第二方向相垂直,以实现使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的两个方

向为旋转轴线进行的转动。

空间定位机构 100 的结构形式具有多种，一种优选实施方式，如图 3 所示，关节机构包括第三转动关节 123、第四转动关节 124 以及第五转动关节 125 这三个关节，并且第三转动关节 123、第四转动关节 124 以及第五转动关节 125 这三个关节依次安装，这三个关节中离自转关节 300 最远的第三转动关节 123 安装于基座 110，这三个关节中靠近基座 110 的第三转动关节 123 和第四转动关节 124 的旋转轴线相垂直，这三个关节中远离基座 110 的第四转动关节 124 和第五转动关节 125 的旋转轴线相平行。

如图 3 所示，具体地，空间定位机构 100 还包括第四连杆 144、第五连杆 145 及第六连杆 146 这三个连杆，基座 110 以及三个连杆中相邻的两者之间通过转动关节相连接，并且这三个连杆中离基座 110 最远的第六连杆 146 通过自转关节 300 连接于平面运动机构 200。在具体设置时，基座 110 和第四连杆 144 之间通过第三转动关节 123 相连接，第四连杆 144 和第五连杆 145 之间通过第四转动关节 124 相连接，第五连杆 145 和第六连杆 146 之间通过第五转动关节 125 相连接。

在上述机械臂 10 中，空间定位机构 100 运动时，第三转动关节 123 转动和第四转动关节 124 的转动均能够实现空间定位机构 100 在以自转关节 300 的旋转轴线相垂直的两个方向为旋转轴线进行转动，以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动，使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的两个方向为旋转轴线进行的转动；第五转动关节 125 转动可以实现空间定位机构 100 在以与自转关节 300 的旋转轴线相垂直的方向为旋转轴线进行转动，以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动，使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的方向上转动；因此，通过限定空间定位机构 100 的结构为上述三个关节，以较为方便快捷地实现主动不动点 A 在空间大范围定位，并且结构简单，易于动作控制。当然，第三转动关节 123 和第四转动关节 124 的旋转轴线也可以不相垂直，并且，第三转动关节 123 和第四转动关节 124 的旋转轴线也可以与自转关节 300 的旋转轴线不相垂直，而第三转动关节 123、第四转动关节 124 以及第五转动关节 125 的旋转轴线的设置方式可以根据机械臂 10 的实际情况进行确定。

空间定位机构 100 的结构形式具有多种，如图 4 所示，一种优选实施方式，关节机构 120 包括第六转动关节 126、第七转动关节 127 这两个转动关节和第二移动关节 132、第三移动关节 133 这两个移动关节，第二移动关节 132 和第三移动关节 133 相邻设置，并且第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的移动方向之间相垂直，第三移动关节 133 的移动方向与第

六转动关节 126 的旋转轴线相平行,第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的一侧与基座 110 之间设置第六转动关节 126, 第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的另一侧设置第七转动关节 127, 第六转动关节 126 和第七转动关节 127 的旋转轴线相垂直。

5 如图 4 所示, 具体地, 空间定位机构 100 还包括第七连杆 147、第八连杆 148 及第九连杆 149 以及一个第十连杆 150 这四个连杆, 基座 110 和这四个连杆之间通过移动关节或转动关节相连接, 并且四个连杆中离基座 110 最远的第十连杆 150 通过自转关节 300 连接于平面运动机构 200。在具体设置时, 基座 110 和第七连杆 147 之间通过第六转动关节 126 相连接,
10 第七连杆 147 和第八连杆 148 之间通过第二移动关节 132 相连接, 第八连杆 148 和第九连杆 149 之间通过第三移动关节 133 相连接, 第九连杆 149 和第十连杆 150 之间通过第七转动关节 127 相连接。

在上述机械臂 10 中, 空间定位机构 100 运动时, 第六转动关节 126 和第七转动关节 127 的转动均能够实现空间定位机构 100 以与自转关节
15 300 的旋转轴线相垂直方向为旋转轴线进行转动, 以带动自转关节 300、平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动, 使得主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的两个方向为旋转轴线进行的转动; 第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的移动可以实现空间定位机构 100 在与自转关节 300 的旋转轴线相垂直方向上移动, 以带动自转关节 300、平面运动机构 200
20 及手术器械 20 随之移动, 使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的方向上移动; 因此, 通过限定空间定位机构 100 的结构为上述两个转动关节和两个移动关节, 以较为方便快捷地实现主动不动点 A 在空间大范围定位, 并且结构简单, 易于动作控制。当然, 第六转动关节 126 和第七转动关节 127 的旋转轴线也可以不相垂直, 并且, 第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的移动方向也可以不相垂直, 而第六转动关节 126 和第七转动关节 127 的旋转轴线、第二移动关节 132 和第三移动关节 133 的移动
25 方向的设置方式可以根据机械臂 10 的实际情况进行确定。

平面运动机构 200 的结构形式具有多种, 一种优选实施方式, 如图 1 以及图 5 所示, 平面运动机构 200 包括第一平面连杆 211、第二平面连杆
30 212、第三平面连杆 213、第四平面连杆 214 这四个连杆和第一平面转动关节 221、第二平面转动关节 222、第三平面转动关节 223 这三个转动关节, 第一平面连杆 211、第二平面连杆 212、第三平面连杆 213、第四平面连杆 214 依次设置, 并且相邻两个连杆之间通过一转动关节连接, 四个连杆中位于边缘位置的第一平面连杆 211 通过自转关节 300 连接于空间定位机构
35 100 的末端, 并且四个连杆中位于边缘位置的第四平面连杆 214 与手术器

械 20 相连接, 第一平面转动关节 221、第二平面转动关节 222、第三平面转动关节 223 的旋转轴线相平行, 并且第一平面转动关节 221、第二平面转动关节 222、第三平面转动关节 223 均与自转关节 300 的旋转轴线相垂直。在具体设置时, 第一平面连杆 211、第一平面转动关节 221、第二平面
5 连杆 212、第二平面转动关节 222、第三平面连杆 213、第三平面转动关节 223、第四平面连杆 214 依次相连接。

具体地, 主动不动点 A 的运动控制满足如下约束关系:

$$\begin{aligned} \gamma &= \arccos\left(\frac{b^2+c^2-e^2}{2bc}\right); \\ \beta &= \arccos\left(\frac{a^2+e^2-d^2}{2ae}\right) + \arccos\left(\frac{b^2+e^2-c^2}{2be}\right); \\ 10 \quad e &= \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad * \cos \alpha}; \end{aligned}$$

其中, α 为第一平面连杆 211 和第二平面连杆 212 之间的夹角, β 为第二平面连杆 212 和第三平面连杆 213 之间的夹角, γ 为第三平面连杆 213 和第四平面连杆 214 之间的夹角, a - c 依次为第二平面连杆 212、第三平面连杆 213、第四平面连杆 214 的长度, d 为第二平面连杆 212 靠近第一平面
15 连杆 211 的端部与主动不动点 A 之间的距离。

在上述机械臂 10 中, 平面运动机构 200 运动时, 第一平面转动关节 221 转动, 带动第二平面连杆 212、第二平面转动关节 222、第三平面连杆 213、第三平面转动关节 223、第四平面连杆 214 及手术器械 20 随之转动, 以带动主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内转动; 第二
20 平面转动关节 222 转动, 带动第二平面连杆 212、第三平面连杆 213、第三平面转动关节 223、第四平面连杆 214 及手术器械 20 随之转动, 使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内转动; 第三平面转动关节 223 转动, 带动第二平面连杆 212、第二平面转动关节 222、第三平面连杆 213、第三平面转动关节 223、第四平面连杆 214 及手术器械 20 随之转动, 使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内转动; 因此, 通过限定平面运动机构 200 的结构为上述平面四杆机构, 以较为方便快捷地实现主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上的精细定位, 并且结构简单, 易于动作控制。在确定出主动不动点 A 后, 第一平面转动关节 221、第二平面转动关节 222、第三平面转动关节 223 中的组合联动, 带动平面运动机构 200 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的方向为旋转轴线围绕主动不动点 A 转动。
25
30

为了便于手术器械 20 的安装, 具体地, 如图 1 所示, 第四平面连杆 214 通过第一平面移动关节 230 与手术器械 20 相连接, 并且第一平面移动关节 230 的移动方向与第一平面转动关节 221 的旋转轴线相垂直。

在上述机械臂 10 中,通过限定第一平面移动关节 230 连接第四平面连杆 214 和手术器械 20,并且第一平面移动关节 230 的移动方向与第一平面转动关节 221 的旋转轴线相垂直,以在保证主动不动点 A 位置不变的情况下在手术中通过控制第一平面移动关节 230 的移动实现手术器械 20 在创口内的移动,便于进行手术操作。

为了便于定位主动不动点 A,一种优选实施方式,机械臂 10 还包括激光发生模块,该激光发生模块设置在第一平面连杆 211 上,激光发生模块与自转关节 300 同轴设置,激光发生模块用于产生激光,该激光照射手术器械 20 上的定位标记,以表征出主动不动点 A。

在上述机械臂 10 中,手术器械 20 的器械杆表面涂覆有定位标记,激光发生模块沿自转关节 300 的旋转轴线方向发出激光,激光照射到的定位标记区域即为主动不动点 A 的位置,以能够较为方便快捷地确认主动不动点 A。

平面运动机构 200 的结构形式具有多种,一种优选实施方式,如图 6 所示,平面运动机构 200 包括第五平面连杆 215、第六平面连杆 216、第七平面连杆 217 这三个依次相连的连杆、滑块 240 以及第四平面转动关节 224、第五平面转动关节 225 这两个转动关节,滑块 240 与第四平面转动关节 224 连接为一体,滑块 240 连接第五平面连杆 215 并且沿着接第五平面连杆 215 滑动,第四平面转动关节 224 连接于第六平面连杆 216,第五平面转动关节 225 分别连接相邻的第六平面连杆 216 和第七平面连杆 217,第五平面连杆 215 可以与自转关节 300 直接相连,第四平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线相平行,并且第四平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线均与自转关节 300 的旋转轴线,第四平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线均与滑块 240 的移动方向相垂直。

如图 7 所示,平面运动机构 200 包括第七平面连杆 217、第五平面连杆 215、第六平面连杆 216 这三个依次相连的连杆、滑块 240 以及第四平面转动关节 224、第五平面转动关节 225 这两个转动关节,滑块 240 与第四平面转动关节 224 连接为一体,滑块 240 连接第五平面连杆 215 并且沿着接第五平面连杆 215 滑动,第四平面转动关节 224 连接于第六平面连杆 216,第五平面转动关节 225 分别连接相邻的第六平面连杆 216 和第五平面连杆 215,第五平面连杆 215 还可以通过第六平面连杆 216、滑块 240 以及第四平面转动关节 224 间接与手术器械 20 相连,第四平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线相平行,并且第四平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线均与自转关节 300 的旋转轴线,第四

平面转动关节 224 和第五平面转动关节 225 的旋转轴线均与滑块 240 的移动方向相垂直。

在上述机械臂 10 中，如图 6 所示，平面运动机构 200 运动时，滑块 240 滑动，带动第四平面转动关节 224、第六平面连杆 216、第五平面转动关节 225、第七平面连杆 217 及手术器械 20 随之移动，以使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内移动；第五平面转动关节 225 转动，带动第六平面连杆 216、第七平面连杆 217 及手术器械 20 随之运动，使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内转动；如图 7 所示，第五平面转动关节 225 转动，带动第五平面连杆 215、滑块 240、第四平面转动关节 224、第六平面连杆 216 及手术器械 20 随之运动，使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内转动；滑块 240 滑动，带动第四平面转动关节 224、第六平面连杆 216 及手术器械 20 随之移动，以使得主动不动点 A 在垂直于自转关节 300 旋转轴线的平面内移动；因此，通过限定平面运动机构 200 的结构，以较为方便快捷地实现主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上的精细定位，并且结构简单，易于动作控制。在确定出主动不动点 A 后，第四平面转动关节 224、第五平面转动关节 225 中的组合联动，带动平面运动机构 200 以垂直于自转关节 300 旋转轴线的方向为旋转轴线围绕主动不动点 A 转动。

值得注意的是，上文中的关节可通过电机驱动谐波减速器、行星减速器、RV 减速器或其他齿轮传动，也可通过 DD 马达直驱。上文中的移动关节可通过电机驱动丝杆螺母机构升降、直线电机直驱、电机驱动钢丝绳拉动等实现。

如图 8 以及图 5 所示，另外，本发明还提供了一种如上述任一项技术方案的机械臂 10 的控制方法，包括：

步骤 S801，控制空间定位机构 100 运动，以使得自转关节 300 的旋转轴线通过戳卡创口；在具体设置时，对空间定位机构 100 中关节机构进行零力控制，带动空间定位机构 100 中关节机构、自转关节 300、平面运动机构 200 以及手术器械 20 运动，以确保自转关节 300 的旋转轴线通过戳卡创口。

步骤 S802，控制平面运动机构 200 运动，以使得手术器械 20 的轴线通过戳卡创口；在具体设置时，保持空间定位机构 100 不动，对平面运动机构 200 零力控制，平面运动机构 200 运动带动手术器械 20 随之运动，在运动至手术器械 20 的轴线通过戳卡创口时精调主动不动点 A 的位置至与创口重合。

步骤 S803，控制自转关节 300 以及平面运动机构 200 转动，以围绕主

动不动点 A 旋转手术器械 20, 此时, 主动不动点 A 约束在最优位置, 满足上述主动不动点 A 的运动控制约束关系。

在上述机械臂 10 的控制方法中, 首先, 通过步骤 S801, 控制空间定位机构 100 中关节机构的关节相对基座 110 运动, 以带动自转关节 300、
5 平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动, 使得自转关节 300 节、平面运动机构 200 及手术器械 20 在空间内的大范围运动, 以实现主动不动点 A 在空间大范围定位, 使得自转关节 300 的旋转轴线通过戳卡创口; 接着, 通过步骤 S802, 控制平面运动机构 200 运动, 平面运动机构 200 在垂直于自转关节 300 旋转轴线方向的平面内运动, 以带动手术器械 20 随之运动, 使得
10 主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上移动, 以实现主动不动点 A 在平面运动机构 200 所在平面上的精细定位, 以使得手术器械 20 的轴线通过戳卡创口, 将主动不动点 A 定位至与创口重合; 最后, 通过步骤 S803, 控制自转关节 300 转动, 自转关节 300 绕其旋转轴线转动, 带动平面运动机构 200 及手术器械 20 随之转动, 使得在保证主动不动点 A 不动的情况下
15 手术器械 20 绕主动不动点 A 以自转关节 300 的旋转轴线为旋转轴的单自由度旋转, 控制平面运动机构 200 转动, 带动手术器械 20 随之转动, 使得在保证主动不动点 A 不动的情况下手术器械 20 绕主动不动点 A 以垂直于自转关节 300 的旋转轴线的方向为旋转轴的单自由度旋转。上述机械臂 10 的控制方法能够较为方便地精准地定位出不动点, 并且保证手术器械 20 绕主动
20 不动点 A 的转动无需空间定位机构 100 运动就能够实现, 减少了多臂组合运动时的碰撞情况的发生。

如图 1 所示, 一种优选实施方式, 当机械臂 10 中平面运动机构 200 的末端通过第一平面移动关节 230 连接手术器械 20 时, 在控制自转关节 300 以及平面运动机构 200 运动之后, 还包括:

25 控制第一平面移动关节 230 运动, 以过主动不动点 A 操作手术器械。

在上述机械臂 10 的控制方法中, 在步骤 S803 之后, 通过控制第一平面移动关节 230 移动, 以调节手术器械 20 在垂直于自转关节 300 的轴线方向上的位置, 便于进行手术操作。

以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 30 未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述, 然而, 只要这些技术特征的组合不存在矛盾, 都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是, 对于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
35 出若干变形和改进, 这些都属于本发明的保护范围。因此, 本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

权 利 要 求 书

1、一种机械臂，其特征在于，包括空间定位机构、平面运动机构及连接所述空间定位机构和所述平面运动机构的自转关节，其中：

5 所述空间定位机构包括基座及关节机构，所述关节机构包括依次安装的多个关节，且位于所述关节机构首端的所述关节安装于所述基座；位于所述关节机构末端的所述关节与所述自转关节连接；

所述平面运动机构的末端与手术器械相连接，且所述平面运动机构所在平面的垂线与所述自转关节的旋转轴线相垂直；

10 所述自转关节的旋转轴线与所述手术器械的轴线交点为主动不动点。

2、根据权利要求1所述的机械臂，其特征在于，所述关节机构包括至少两个转动关节，其中至少一个所述转动关节的旋转轴线与所述自转关节的旋转轴线之间相垂直。

3、根据权利要求2所述的机械臂，其特征在于，所述关节机构包括两个所述转动关节和一个移动关节，所述移动关节设置在两个所述转动关节之间或所述转动关节与所述基座之间，所述移动关节的移动方向与一个所述转动关节的旋转轴线相平行，两个所述转动关节的旋转轴线相垂直。

4、根据权利要求3所述的机械臂，其特征在于，所述空间定位机构还包括三个连杆，所述基座以及三个所述连杆中相邻的两者之间通过所述移动关节或所述转动关节相连接，且三个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

5、根据权利要求2所述的机械臂，其特征在于，所述关节机构包括三个转动关节，三个所述转动关节依次安装，且离所述自转关节最远的所述转动关节安装于所述基座，且靠近所述基座的两个转动关节的旋转轴线之间相垂直，远离所述基座的两个转动关节的旋转轴线相平行。

25 6、根据权利要求5所述的机械臂，其特征在于，所述空间定位机构还包括三个连杆，所述基座以及三个所述连杆中相邻的两者之间通过所述转动关节相连接；且三个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

7、根据权利要求2所述的机械臂，其特征在于，所述关节机构包括两个转动关节和两个移动关节，两个所述移动关节相邻设置；两个所述移动关节的移动方向互相垂直；两个所述移动关节的一侧与所述基座之间设置一个所述转动关节，且另一侧设置另一个所述转动关节，两个所述转动关节的旋转轴线相垂直；相邻于所述基座设置的所述转动关节的旋转轴线与远离于所述基座设置的移动关节的移动方向相平行。

35 8、根据权利要求7所述的机械臂，其特征在于，所述空间定位机构还包括四个连杆，所述基座以及四个所述连杆中相邻的两者之间通过所述移动关节或所述转动关节相连接；且四个所述连杆中离所述基座最远的所述连杆通过所述自转关节连接于所述平面运动机构。

9、根据权利要求1所述的机械臂，其特征在于，所述平面运动机构包括四个连杆和三个转动关节，四个所述连杆依次设置，且相邻两个所述连杆之间通过一个所述转动关节连接，四个所述连杆中位于边缘位置的一个所述连杆通过所述自转关节连接于所述空间定位机构的末端，且另一个所述连杆与
5 所述手术器械相连接，三个所述转动关节的旋转轴线相平行，且均与所述自转关节的旋转轴线相垂直。

10、根据权利要求9所述的机械臂，其特征在于，所述主动不动点的运动控制满足如下约束关系：

$$\begin{aligned} \gamma &= \arccos\left(\frac{b^2+c^2-e^2}{2bc}\right); \\ 10 \quad \beta &= \arccos\left(\frac{a^2+e^2-d^2}{2ae}\right) + \arccos\left(\frac{b^2+e^2-c^2}{2be}\right); \\ e &= \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad * \cos \alpha}; \end{aligned}$$

其中， α 、 β 、 γ 依次为从所述平面运动机构的首端到末端相邻两个所述连杆之间的夹角， a 、 b 、 c 依次为从所述平面运动机构中相邻于首端到末端三个连杆的长度， d 为所述平面运动机构中相邻于首端的连杆靠近首端的端部
15 与所述主动不动点之间的距离。

11、根据权利要求1所述的机械臂，其特征在于，所述平面运动机构包括三个连杆、滑块以及两个转动关节；所述三个连杆依次设置；所述滑块与一个所述转动关节连接为一体；另一个所述转动关节分别连接于相邻的两个所述连杆，与所述滑块相连的所述连杆直接连接于所述自转关节或间接连接
20 于手术器械，两个所述转动关节的旋转轴线相平行，且均与所述自转关节的旋转轴线、所述滑块的移动方向相垂直。

12、根据权利要求1所述的机械臂，其特征在于，所述平面运动机构的末端通过移动关节与所述手术器械相连接，所述移动关节的移动方向与所述自转关节的旋转轴线相垂直。

25 13、根据权利要求12所述的机械臂，其特征在于，还包括设置在所述平面运动机构上的激光发生模块，所述激光发生模块与所述自转关节同轴设置；所述激光发生模块用于产生照射所述手术器械上的定位标记的激光，以表征出所述主动不动点。

30 14、根据权利要求13所述的机械臂，其特征在于，所述定位标记涂覆在所述手术器械的器械杆的表面；所述定位标记被所述激光照射到的区域为所述主动不动点的位置。

15、一种如权利要求1-14任一项所述的机械臂的控制方法，其特征在于，包括：

控制空间定位机构运动，以使得自转关节的旋转轴线通过戳卡创口；
35 控制平面运动机构运动，以使得手术器械的轴线通过戳卡创口；
控制自转关节以及平面运动机构运动，以围绕主动不动点操作手术器械。
16、根据权利要求15所述的机械臂的控制方法，其特征在于，当所述机

械臂中所述平面运动机构的末端通过移动关节连接手术器械时，在所述控制自转关节以及平面运动机构运动之后，还包括：

控制所述移动关节运动，以过主动不动点操作手术器械。