



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115151214 A

(43) 申请公布日 2022.10.04

(21) 申请号 202180016703.1

格雷厄姆·约翰·维奇

(22) 申请日 2021.02.16

(74) 专利代理机构 北京汇思诚业知识产权代理
有限公司 11444

(30) 优先权数据

专利代理人 刘晔 葛强

2002643.1 2020.02.25 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(51) Int.CI.

2022.08.25

A61B 34/30 (2006.01)

A61B 34/00 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2021/050369 2021.02.16

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/170973 EN 2021.09.02

(71) 申请人 CMR外科有限公司

权利要求书3页 说明书12页 附图8页

地址 英国剑桥

(72) 发明人 卢克·戴维·罗纳德·黑尔斯

保罗·克里斯多夫·罗伯茨

戈登·托马斯·迪恩

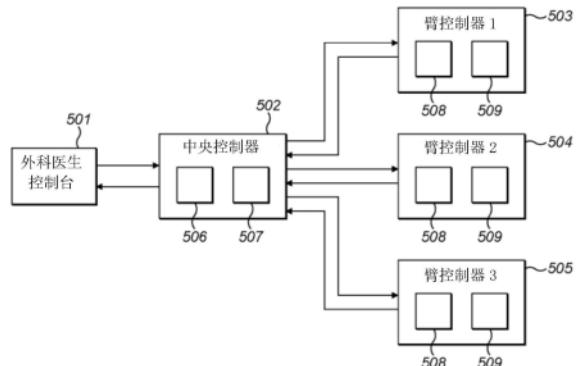
(54) 发明名称

控制手术机器人臂的运动

(57) 摘要

一种用于手术机器人的控制系统，所述手术机器人系统包括远程外科医生控制台(501)和铰接手术机器人臂(201)，所述铰接手术机器人臂包括从基座(201)延伸到用于附接到铰接手术器械(204)的末端(203)的一系列关节(205)。所述控制系统包括通信地耦合到所述手术机器人臂的臂控制器(503、504、505)并且远程地远离所述臂控制器定位的中央控制器(502)，所述中央控制器(502)还通信地耦合到所述外科医生控制台(501)的外科医生输入装置。所述中央控制器(502)被配置成：从所述外科医生输入装置接收指示所述手术器械(204)的远端的期望位置的命令；将远端的期望位置转换成(i)所述手术机器人臂(201)的腕部的期望的腕部位置，和(ii)驱动所述铰接手术器械(204)的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；以及向所述臂控制器(503、504、505)传输所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置。

CN 115151214 A



1. 一种用于手术机器人的控制系统，所述手术机器人系统包括远程外科医生控制台和铰接手术机器人臂，所述铰接手术机器人臂包括从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节，所述控制系统包括：

所述手术机器人臂的臂控制器，所述臂控制器与所述手术机器人臂共同定位；以及通信地耦合到所述臂控制器并且远程地远离所述臂控制器定位的中央控制器，所述中央控制器还通信地耦合到所述外科医生控制台的外科医生输入装置，所述中央控制器被配置成：

从所述外科医生输入装置接收指示所述手术器械的远端的期望位置的命令；

将所述远端的期望位置转换成：(i) 所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置，和(ii) 驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；以及

向所述臂控制器传输所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置。

2. 根据权利要求1所述的控制系统，其中所述手术机器人臂的腕部位于所述手术机器人臂上所述手术机器人臂的一组远侧关节的旋转轴线相交和/或所述铰接手术器械的关节的旋转轴线相交的位置，所述手术机器人臂的一组远侧关节位于所述基座的远侧。

3. 根据权利要求2所述的控制系统，其中所述一组远侧关节按顺序由滚动关节、俯仰关节、偏航关节和另一滚动关节组成。

4. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述铰接手术器械的期望位置包括所述远端的位置和所述远端的取向。

5. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述手术器械为手术内窥镜。

6. 根据权利要求1至4中任一项所述的控制系统，其中所述手术器械被构造成操纵组织，并且所述手术器械的远端为末端执行器，并且其中所述铰接手术器械的期望位置还包括所述末端执行器的两个末端执行器元件的展开。

7. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述器械驱动关节邻近所述手术机器人臂的末端定位。

8. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述器械驱动关节仅由三个关节组成。

9. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述中央控制器被配置成从所述臂控制器接收虚拟枢轴点，所述虚拟枢轴点为位于所述手术器械当在患者的身体内部时始终穿过的端口中的位置。

10. 根据任一前述权利要求所述的控制系统，其中所述中央控制器被配置成从所述臂控制器接收所述手术机器人臂相对于所述手术机器人臂的周围环境的取向的指示。

11. 根据从属于权利要求9时的权利要求10所述的控制系统，其中所述中央控制器使用所接收的虚拟枢轴点和所接收的所述手术机器人臂的取向的指示，将所述远端的期望位置转换成所述手术机器人臂的参考系中的期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置。

12. 一种用于手术机器人臂的臂控制器，所述手术机器人臂形成手术机器人系统的一部分，所述手术机器人系统包括远程外科医生控制台、中央控制器和所述手术机器人臂，所述手术机器人臂包括从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节，所述臂控制器与所述手术机器人臂共同定位并且被配置成：

接收所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置和驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；以及

对于所述手术机器人臂的剩余关节，确定关节位置，以便使所述手术机器人臂的腕部采用所述期望的腕部位置，所述手术机器人臂的剩余关节为不驱动所述铰接手术器械的关节的关节；以及

向所述手术机器人臂的关节控制器发送控制信号以将所述手术机器人臂的关节驱动到所述期望的器械驱动关节位置和确定的关节位置。

13. 根据权利要求12所述的臂控制器，其中所述手术机器人臂的腕部位于所述手术机器人臂上所述手术机器人臂的一组远侧关节的旋转轴线相交和/或所述铰接手术器械的关节的旋转轴线相交的位置，所述手术机器人臂的一组远侧关节位于所述基座的远侧。

14. 根据权利要求13所述的臂控制器，其中所述一组远侧关节按顺序由滚动关节、俯仰关节、偏航关节和另一滚动关节组成。

15. 根据权利要求12至14中任一项所述的臂控制器，其中所述剩余关节包括至少七个关节。

16. 根据权利要求15所述的臂控制器，其中所述剩余关节包括八个顺序关节，其中所述八个顺序关节按从所述基座的顺序为滚动关节、俯仰关节、滚动关节、俯仰关节、滚动关节、俯仰关节、偏航关节和滚动关节。

17. 根据权利要求12至16中任一项所述的臂控制器，其中确定的关节位置被确定为使得所述手术机器人臂采用最佳构造，所述最佳构造使得：(i) 避免所述剩余关节中的任何一个关节邻近关节极限；和/或(ii) 避免所述手术机器人臂靠近关节奇点。

18. 根据权利要求12至17中任一项所述的臂控制器，被配置成：

确定虚拟枢轴点，所述虚拟枢轴点位于所述手术器械当在患者的身体内部时始终穿过的端口中；以及

向所述中央控制器传输所述虚拟枢轴点。

19. 根据权利要求12至18中任一项所述的臂控制器，被配置成向所述中央控制器传输所述手术机器人臂相对于所述手术机器人臂的周围环境的取向的指示。

20. 一种手术机器人系统，包括：

手术机器人臂，所述手术机器人臂包括：

从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节；以及

与所述手术机器人臂共同定位的臂控制器；

包括外科医生输入装置的远程外科医生控制台；以及

通信地耦合到所述远程外科医生控制台和所述手术机器人臂的臂控制器的中央控制器，所述中央控制器被配置成：

从所述外科医生输入装置接收指示所述手术器械的远端的期望位置的命令；

将所述远端的该期望位置转换成：(i) 所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置，和(ii) 驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；

向所述臂控制器传输所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置；并且

所述臂控制器被配置成：

接收所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置；以及
对于所述手术机器人臂的剩余关节，确定关节位置，以便使所述手术机器人臂的腕部
采用所述期望的腕部位置，所述手术机器人臂的剩余关节为不驱动所述铰接手术器械的关
节的关节；以及
将所述手术机器人臂的关节驱动到所接收的期望的关节位置和确定的关节位置。

控制手术机器人臂的运动

背景技术

[0001] 使用机器人来辅助和执行手术是已知的。图1示出了典型的手术机器人系统。手术机器人100由基座102、臂104和器械106组成。基座支撑机器人，并且本身可以刚性地附接到例如手术室地面、手术室天花板或推车。臂在基座与器械之间延伸。臂借助于沿其长度的多个柔性关节108而铰接，所述多个柔性关节用于将手术器械相对于患者定位在期望位置。手术器械附接到机器人臂的远端。手术器械在端口处穿透患者的身体，以便进入手术部位。手术器械包括通过关节铰接连接到远端末端执行器110的轴。末端执行器参与手术程序。在图1中，所示的末端执行器为一对钳口。外科医生经由远程外科医生控制台112控制手术机器人100。外科医生控制台包括一个或多个外科医生输入装置114。这些可以采用手动控制器或脚踏板的形式。外科医生控制台还包括显示器116。

[0002] 控制系统118将外科医生控制台112连接到手术机器人100。控制系统从外科医生输入装置接收输入，并将这些输入转换成控制信号以移动机器人臂104的关节和末端执行器110。控制系统将这些控制信号发送至机器人，其中相应关节相应地被驱动。

发明内容

[0003] 根据本发明的一个方面，提供了一种用于手术机器人的控制系统的控制系统，所述手术机器人系统包括远程外科医生控制台和铰接手术机器人臂，所述铰接手术机器人臂包括从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节，所述控制系统包括：中央控制器，所述中央控制器通信地耦合到所述手术机器人臂的臂控制器并且远程地远离所述手术机器人臂的臂控制器定位，所述中央控制器还通信地耦合到所述外科医生控制台的外科医生输入装置，所述中央控制器被配置成：从所述外科医生输入装置接收指示所述手术器械的远端的期望位置的命令；将所述远端的期望位置转换成：(i) 所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置，和 (ii) 驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；以及向所述臂控制器传输所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置。

[0004] 所述手术机器人臂的腕部可以位于所述手术机器人臂上所述手术机器人臂的一组远侧关节的旋转轴线相交和/或所述铰接手术器械的关节的旋转轴线相交的位置，所述手术机器人臂的一组远侧关节位于所述基座的远侧。

[0005] 所述一组远侧关节按顺序可以由滚动关节、俯仰关节、偏航关节和另一滚动关节组成。

[0006] 所述铰接手术器械的期望位置可包括所述远端的位置和所述远端的取向。

[0007] 所述手术器械可以是手术内窥镜。

[0008] 所述手术器械可以被构造成操纵组织，并且所述手术器械的远端可以为末端执行器。

[0009] 所述铰接手术器械的期望位置还可包括所述末端执行器的两个末端执行器元件的展开。

- [0010] 器械驱动关节可以邻近所述手术机器人臂的末端定位。
- [0011] 所述器械驱动关节可以仅由三个关节组成。
- [0012] 所述中央控制器可以被配置成从所述臂控制器接收虚拟枢轴点,所述虚拟枢轴点为位于所述手术器械当在患者的身体内部时始终穿过的端口中的位置。
- [0013] 所述中央控制器可以被配置成从所述臂控制器接收所述手术机器人臂相对于所述手术机器人臂的周围环境的取向的指示。
- [0014] 所述中央控制器可以使用所接收的虚拟枢轴点和所接收的所述手术机器人臂的取向的指示,将所述远端的期望位置转换成所述手术机器人臂的参考系中的期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置。
- [0015] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于手术机器人臂的臂控制器,所述手术机器人臂形成手术机器人系统的一部分,所述手术机器人系统包括远程外科医生控制台、中央控制器和所述手术机器人臂,所述手术机器人臂包括从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节,所述臂控制器被配置成:接收所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置和驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置;以及对于所述手术机器人臂的剩余关节,确定关节位置,以便使所述手术机器人臂的腕部采用所述期望的腕部位置,所述手术机器人臂的剩余关节为不驱动所述铰接手术器械的关节;以及向所述手术机器人臂的关节控制器发送控制信号,以将所述手术机器人臂的关节驱动到所述期望的器械驱动关节位置和确定的关节位置。
- [0016] 所述手术机器人臂的腕部可以位于所述手术机器人臂上所述手术机器人臂的一组远侧关节的旋转轴线相交和/或所述铰接手术器械的关节的旋转轴线相交的位置,所述手术机器人臂的一组远侧关节位于所述基座的远侧。
- [0017] 所述一组远侧关节按顺序可以由滚动关节、俯仰关节、偏航关节和另一滚动关节组成。
- [0018] 所述剩余关节可包括至少七个关节。
- [0019] 所述剩余关节可包括八个顺序关节。
- [0020] 所述八个顺序关节按从所述基座的顺序可以为滚动关节、俯仰关节、滚动关节、俯仰关节、滚动关节、俯仰关节、偏航关节和滚动关节。
- [0021] 确定的关节位置可以被确定为使得所述手术机器人臂采用最佳构造,所述最佳构造使得:(i)避免所述剩余关节中的任何一个关节邻近关节极限;和/或(ii)避免所述手术机器人臂靠近关节奇点。
- [0022] 所述中央控制器可以被配置成:确定虚拟枢轴点,所述虚拟枢轴点位于所述手术器械当在患者的身体内部时始终穿过的端口中;以及向所述中央控制器传输所述虚拟枢轴点。
- [0023] 所述中央控制器可以被配置成向所述中央控制器传输所述手术机器人臂相对于所述手术机器人臂的周围环境的取向的指示。
- [0024] 根据本发明的一个方面,提供了一种手术机器人系统,包括:手术机器人臂,所述手术机器人臂包括从基座延伸到用于附接到铰接手术器械的末端的一系列关节,以及臂控制器;包括外科医生输入装置的远程外科医生控制台;以及通信地耦合到所述远程外科医生控制台和所述手术机器人臂的臂控制器的中央控制器,所述中央控制器被配置成:从所

述外科医生输入装置接收指示所述手术器械的远端的期望位置的命令；将所述远端的该期望位置转换成：(i) 所述手术机器人臂的腕部的期望的腕部位置，和(ii) 驱动所述铰接手术器械的关节的手术机器人臂的那些关节的期望的器械驱动关节位置；向所述臂控制器传输所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置；并且所述臂控制器被配置成：接收所述期望的腕部位置和所述期望的器械驱动关节位置；以及对于所述手术机器人臂的剩余关节，确定关节位置，以便使所述手术机器人臂的腕部采用所述期望的腕部位置，所述手术机器人臂的剩余关节为不驱动所述铰接手术器械的关节的关节；以及将所述手术机器人臂的关节驱动到所接收的期望的关节位置和确定的关节位置。

附图说明

- [0025] 现在将参考附图以举例的方式描述本发明。在附图中：
- [0026] 图1示出了用于执行手术程序的手术机器人系统；
- [0027] 图2示出了手术机器人；
- [0028] 图3示出了图2的手术机器人臂的关节的分解图；
- [0029] 图4示出了外科医生控制台的示例性手动控制器；
- [0030] 图5为示出了手术机器人系统的控制系统的示意图；
- [0031] 图6为示出了臂控制器的控制方法的流程图；
- [0032] 图7为示出了两个手术机器人臂的取向接口的示意图；
- [0033] 图8为示出了中央控制器的控制方法的流程图；以及
- [0034] 图9为示出了臂控制器的控制方法的流程图。

具体实施方式

[0035] 以下描述了控制手术机器人臂和附接的手术器械。控制系统是分布式的，具有与手术机器人臂共同定位的臂控制器，以及远程地远离手术机器人臂定位的中央控制器。手术机器人臂和手术器械连同远程外科医生控制台形成图1中所示的类型的手术机器人系统的一部分。手术机器人系统可包括多于一个手术机器人臂，每个手术机器人臂具有附接的手术器械和共同定位的臂控制器。

[0036] 下文描述的控制系统和方法是针对保持手术器械的手术机器人臂进行的，所述手术器械在其远端处具有用于在手术部位处操纵患者的组织的末端执行器。末端执行器可以是例如一对钳口、手术刀、缝合针等。然而，相同的手术机器人臂、控制系统和方法同样适用于为内窥镜的手术器械，所述内窥镜在其远端处具有用于捕获手术部位的视频馈送的摄像头。

[0037] 图2示出了示例性手术机器人200。机器人包括基座201，当正在执行手术程序时，所述基座固定在适当位置。适当地，基座201安装到底盘。在图2中，底盘是推车。此推车可以是用于将机器人安装在床高度的床侧推车。替代地，底盘可以是安装在天花板上的装置或安装在床上的装置。

[0038] 机器人臂202从机器人的基座201延伸到用于附接到手术器械204的末端203。臂是柔性的。它借助于沿着其长度的多个柔性关节205来铰接。在关节之间是刚性臂连杆206。适当地，关节是回转关节。机器人臂具有在基座与末端之间的至少七个关节。图2中所示的机

器人臂200具有在基座201与末端203之间的总共八个关节。图2中所示的机器人臂具有在基座与末端之间的仅八个关节。所述关节包括一个或多个滚动关节(其在关节的任一侧上具有沿着臂连杆的纵向方向的旋转轴线)、一个或多个俯仰关节(其具有横向于前一臂连杆的纵向方向的旋转轴线)以及一个或多个偏航关节(其也具有横向于前一臂连杆的纵向方向并且还横向于共同定位的俯仰关节的旋转轴线的旋转轴线)。在图2的实例中,关节205a、205c、205e和205h是滚动关节;关节205b、205d和205f是俯仰关节;并且关节205g是偏航关节。从机器人臂的基座201按顺序到机器人臂的末端203的关节的顺序是:滚动、俯仰、滚动、俯仰、滚动、俯仰、偏航、滚动。图2中不存在中间关节。

[0039] 图3中示出了图2的手术机器人臂的关节。机器人臂由肩部部分301、肘部部分302和腕部部分303铰接。肩部部分301邻近基座201,并且由邻近基座201的滚动关节J₁ 205a、随后为俯仰关节J₂ 205b构成。俯仰关节J₂具有垂直于滚动关节J₁的旋转轴线的旋转轴线。肘部部分302在肩部部分301与腕部部分303之间。肘部部分302由邻近肩部部分301的俯仰关节J₂的滚动关节J₃ 205c、随后为俯仰关节J₄ 205d组成。俯仰关节J₄具有垂直于滚动关节J₃的旋转轴线的旋转轴线。腕部部分303邻近肘部部分302。腕部部分303由邻近肘部部分302的俯仰关节J₄的滚动关节J₅ 205e、随后为俯仰关节J₆ 205f和偏航关节J₇ 205g、随后为滚动关节J₈ 205h组成。如图3上所示,俯仰关节J₆和偏航关节J₇形成复合关节,该复合关节可以是球形关节。俯仰关节J₆和偏航关节J₇具有相交的旋转轴线。

[0040] 机器人臂的在基座的远侧的端部可以通过臂的一个或多个关节的移动相对于基座铰接。腕部部分303中的一组远侧关节J₅、J₆、J₇和J₈的旋转轴线都在手术机器人臂上的点处相交。本文的描述是指腕部。适当地,腕部是在器械附接到机器人臂时刚性联接到该器械的远端的机器人臂的一部分。腕部具有位置和取向。例如,腕部的位置可以是J₅、J₆、J₇和J₈的旋转轴线的交点。替代地,腕部的位置可以是器械的关节的一个或多个旋转轴线的交点。替代地,腕部的位置可以是机器人臂的远侧关节的一个或多个旋转轴线与器械的关节的一个或多个旋转轴线的交点。图2和图3中所示的手术机器人臂具有冗余关节。对于腕部相对于手术机器人臂的基座的给定位置,关节J₁至J₄具有多于一个配置。因此,手术机器人臂可以采用不同的姿态,同时保持相同的腕部位置。

[0041] 手术机器人臂可以与图2和图3中所示的不同地接合。例如,臂可以具有少于八个或大于八个关节。臂可以包括允许除了在关节的相应侧之间旋转之外的运动的关节,例如伸缩关节。

[0042] 返回图2,手术机器人臂包括一组电机207。每个电机207驱动关节205中的一个或多个。每个电机207由关节控制器控制。关节控制器可以与电机207共同定位。关节控制器可以控制电机207中的一个或多个。机械人臂包括一系列传感器208、209。对于每个关节,这些传感器包括用于感测关节的位置的位置传感器208,以及用于感测围绕关节的旋转轴线施加的扭矩的扭矩传感器209。用于关节的位置传感器和扭矩传感器中的一者或两者可以与用于该关节的电机集成。传感器的输出被传递到控制系统。

[0043] 手术器械204附接到机器人臂203的末端处的驱动组件。此附接点始终在患者外部。手术器械204具有细长轮廓,其中轴跨越在其近端与其远端之间,所述近端附接到机器人臂,所述远端接近患者体内的手术部位。手术器械可以被构造成与臂的关节205h的旋转轴线线性平行地延伸。例如,手术器械可以沿着与臂的关节205h的旋转轴线重合的轴线延

伸。

[0044] 手术器械的近端和器械轴可以相对于彼此刚性，并且在附接到机器人臂时相对于机器人臂的远端刚性。向患者体内做出切口，通过所述切口插入端口。手术器械可以通过端口穿透患者身体以接近手术部位。替代地，手术器械可以通过身体的自然腔道穿透身体以接近手术部位。在器械的近端处，轴连接到器械接口。器械接口与机器人臂的远端处的驱动组件接合。具体地说，器械接口的各个器械接口元件各自接合驱动组件的相应各个驱动组件接口元件。器械接口可以与驱动组件可释放地接合。器械可以手动地从机器人臂上拆卸，而不需要任何工具。这使得器械能够在操作期间快速地从驱动组件上拆卸并附接另一器械。

[0045] 在手术器械的远端处，器械轴的远端通过铰接联接连接到末端执行器。末端执行器在手术部位处参与手术程序。末端执行器可以是例如一对钳口、一对单极剪子、持针器、有孔抓握器或手术刀。铰接联接包括若干关节。这些关节使得末端执行器的姿态能够相对于器械轴的方向改变。末端执行器本身还可以包括关节。图2和图3中所示的末端执行器具有一对相对的末端执行器元件307、308。末端执行器的关节在图3上示出为俯仰关节304、偏航关节305和夹紧关节306。俯仰关节304邻近器械的轴且围绕垂直于器械轴的纵向轴线的轴线旋转。偏航关节305具有垂直于俯仰关节304的旋转轴线的旋转轴线。夹紧关节306确定末端执行器元件的展开。在实践中，夹紧关节306可以是另一偏航关节，其具有与偏航关节305相同的旋转轴线。两个偏航关节305、306的独立操作可以使末端执行器元件一致地偏航，并且/或者相对于彼此打开和关闭。

[0046] 驱动力以任何合适的方式从机器人臂传输到末端执行器。例如，器械的关节可以由诸如电缆、推杆或推/拉杆的驱动元件驱动。这些驱动元件在器械的近端处接合器械接口。机器人臂的末端处的驱动组件包括器械驱动关节，所述器械驱动关节经由上述相应的接口元件将驱动力从手术机器人臂传输到器械接口，并且由此传输到器械关节。这些器械驱动关节在图3上示出为关节J₉、J₁₀和J₁₁。图3示出了三个器械驱动关节，每个器械驱动关节驱动器械的三个关节中的一个。

[0047] 适当地，器械驱动关节是将驱动力传输到器械关节的唯一装置。机器人臂可具有多于或少于三个器械驱动关节。手术器械可具有多于或少于三个关节。如图3中所示，器械驱动关节可具有与其驱动的器械关节的一对一映射。替代地，器械驱动关节可以驱动多于一个器械关节。

[0048] 外科医生控制台远程地远离手术机器人系统的一个或多个手术机器人臂定位。外科医生控制台包括一个或多个外科医生输入装置和显示器。每个外科医生输入装置使得外科医生能够向控制系统提供控制输入。例如，外科医生输入装置可以是手动控制器、脚控制器，例如踏板、将由手指或身体的另一部分控制的触敏输入件、语音控制输入装置、眼睛控制输入装置或手势控制输入装置。外科医生输入装置可以提供外科医生可以单独操作的若干输入件。

[0049] 图4示出了示例性手动控制器400。手动控制器例如由万向装置(未示出)连接到外科医生控制台。这使手动控制器能够相对于外科医生控制台以三个平移自由度移动。此类移动可用于命令器械的末端执行器的相应移动。手动控制器也可以相对于外科医生控制台旋转。此类移动可用于命令器械的末端执行器的相应旋转。

[0050] 所示手动控制器旨在由右手握住。可以用左手握住镜像手动控制器。手动控制器包括适合由手抓握的本体401。手动控制器可包括额外输入件，例如按钮、开关、杠杆、滑动输入件或电容性传感器输入件，例如跟踪板403。图4的手动控制器包括触发器402。触发器402可相对于本体401移动。在所示的手动控制器中，触发器402可相对于本体401旋转。替代地或另外，触发器可以相对于本体401线性地平移。触发器402相对于本体401的移动可用于命令打开和关闭器械的末端执行器元件。手动控制器可包括两个触发器，每个触发器用于独立地控制末端执行器元件中的单个不同的末端执行器元件。

[0051] 外科医生控制台可包括两个或更多个外科医生输入装置。每个外科医生输入装置可用于控制不同的手术器械。因此，外科医生可以使用左手中的手动控制器控制一个手术器械，并且使用右手中的手动控制器控制另一个手术器械。

[0052] 控制系统将外科医生控制台连接到一个或多个手术机器人。在图5中示出了这种控制系统。外科医生控制台501通过双向通信链路连接到中央控制器502。具体地说，外科医生控制台501的外科医生输入装置通信地耦合到中央控制器502。中央控制器502通过双向通信链路连接到手术机器人系统的每个手术机器人臂的臂控制器503、504、505。每个臂控制器与手术机器人臂共同定位。臂控制器可以位于支撑手术机器人臂的底盘中，例如位于臂的推车中。中央控制器远程地远离手术机器人臂中的至少一个定位。适当地，中央控制器远程地远离手术机器人系统中的所有手术机器人臂定位。中央控制器可以位于外科医生控制台处。替代地，中央控制器可以与臂控制器中的一个共同定位。中央控制器可以远离外科医生控制台和所有臂控制器定位。

[0053] 中央控制器包括处理器506和存储器507。存储器507以非暂态方式存储软件代码，所述软件代码可以由处理器506执行以使处理器以本文所述的方式控制外科医生控制台和一个或多个手术机器人臂和器械。

[0054] 臂控制器中的每一个包括处理器508和存储器509。存储器509以非暂态方式存储软件代码，所述软件代码可以由处理器508执行以使处理器以本文所述的方式控制外科医生控制台和一个或多个手术机器人臂和器械。

[0055] 中央控制器502从外科医生输入装置接收命令。来自一个外科医生输入装置的命令指示手术器械的远端的期望位置。手术器械的远端的期望位置包括末端执行器的位置。远端的期望位置还可包括远端的取向。远端的期望位置还可或替代地包括末端执行器的两个相对的末端执行器元件的展开。来自外科医生输入装置的命令可以指示末端执行器的期望绝对位置和/或取向和/或展开。替代地，来自外科医生输入装置的命令可以指示末端执行器的绝对位置和/或取向和/或展开的期望改变。

[0056] 控制系统将从外科医生输入装置接收的命令转换成驱动信号以驱动其相关联的手术机器人臂和/或手术器械的关节。由此驱动关节以使远端采用由外科医生输入装置命令的期望位置。由此，响应于外科医生输入装置的操纵，由控制系统控制手术器械的操纵。

[0057] 将从外科医生输入装置接收的命令处理为驱动信号以驱动手术机器人臂的关节分布在中央控制器502与该手术机器人臂的臂控制器503之间。如下文更详细地描述的，中央控制器502确定手术机器人臂的腕部位置和器械驱动关节位置。它将这些传递给臂控制器。然后，臂控制器确定剩余关节的关节位置以实现期望的腕部位置。臂控制器将命令发送至分布在臂中的关节控制器。关节控制器接着控制关节电机以驱动臂的关节移动到确定的

关节位置。

[0058] 图6是示出了可以由臂控制器在其手术机器人臂的设置模式期间执行的步骤的流程图。在步骤601处，臂控制器确定手术器械在患者的身体中的虚拟枢轴点。虚拟枢轴点是当具有刚性轴的器械在患者的身体中移动时，该器械的天然旋转中心。将端口插入患者的腹壁中。端口长约2-10厘米。器械通过端口插入患者的身体中。虚拟枢轴点位于端口的长度上。虚拟枢轴点的确切位置取决于患者的解剖结构，因此因患者而异。虚拟枢轴点可以使用以下方法确定。

[0059] 当器械位于端口中时，操作员在大体上横向于器械轴的方向上移动机器人臂的远端。这种运动使端口在器械轴穿过端口的情况下在器械轴上施加侧向力，结果是器械向臂的关节施加扭矩—在这种情况下是关节J₆ 205f和J₇ 205g—所述关节的轴线横向于器械轴的纵向轴线。每个臂关节的位置由其相关联的位置传感器208测量，且此感测的位置输出到臂控制器。每个臂关节处的扭矩由其相关联的扭矩传感器209测量，且此感测的扭矩输出到臂控制器。因此，当操作员横向移动机器人臂的远端时，臂控制器接收指示臂关节上的位置和力的感测的输入。该信息允许控制器估计：(a)机器人的远端相对于固定基座的位置和(b)器械轴相对于机器人的远端的矢量。由于器械轴穿过端口的通道，因此端口的通道必须位于该矢量上。当移动机器人臂的远端时，控制器计算多对远端位置和器械轴矢量。这些矢量都从各自的远端位置会聚在端口的通道中的虚拟枢轴点的位置上。通过收集一系列这些数据对，然后求解器械轴矢量会聚的平均位置，臂控制器确定相对于基座的虚拟枢轴点。

[0060] 在确定了机器人臂的参考系中即相对于机器人臂的固定基座的虚拟枢轴点之后，在步骤602处，臂控制器将该虚拟枢轴点传输到中央控制器。虽然机器人的基座保持在同一固定位置，并且患者相对于机器人的基座保持在相同位置，但器械在患者的身体中的天然旋转中心保持相同。因此，在进行手术程序之前，臂控制器可在设置机器人臂期间在校准模式下确定虚拟枢轴点，并且此时仅将虚拟枢轴点传输到中央控制器一次。替代地，当在手术期间移动机器人臂时，臂控制器可以在手术程序期间根据从传感器传递到臂控制器的传感器数据连续地或周期性地重新计算虚拟枢轴点。这些传感器可以是以下中的任何一个或组合：机器人臂上的传感器，例如传感器208和209；以及机器人臂外部的传感器，例如器械和/或端口上的传感器。机器人臂外部的传感器可以将感测数据无线地发送至臂控制器。然后，臂控制器可以在手术程序期间连续地或周期性地将重新计算的虚拟枢轴点传输到中央控制器。定期重新计算虚拟枢轴点的一个原因是，尽管机器人臂的基座在手术程序期间保持固定，但患者相对于机器人臂的基座的位置可由于患者在床上的移动（例如由于呼吸）而改变，并且因此器械的天然旋转中心会随时间移动。如果机器人臂的基座移动，例如，如果器械从身体移除，并且安装机器人臂的推车被推到患者床侧的不同位置，则重新执行上述方法以便计算出新的虚拟枢轴点。

[0061] 在步骤603处，臂控制器可以任选地将臂取向数据传输到中央控制器。如果手术机器人系统具有两个或更多个机器人臂，那么控制系统在同一参考系中评估机器人臂是有用的。例如，为了避免这些机器人臂在移动时发生碰撞。或者为了映射手动控制器的参考系中的左方向和右方向，以及如在来自内窥镜的视频馈送中所示的左末端执行器移动和右末端执行器移动。

[0062] 机器人臂基座或机器人臂固定在其上的底盘可具有取向接口，操作员可操纵所述

取向接口以识别机器人臂相对于机器人臂的周围环境的取向。图7示出了机器人臂702的取向接口701和机器人臂704的取向接口703。机器人臂702和704位于患者床705的相对侧上。取向接口可以是例如操作员(例如床侧团队的成员)可访问的按钮或一组按钮。每个取向接口可包括四个按钮,每个按钮指示四个方向中的一个,如图7中所示。这四个方向是相等间隔开的,每个方向之间具有90°,即在0°、90°、180°和270°处。替代地,可以指示任何数目的方向。例如,接口可包括可由操作员以1°的增量旋转的拨号盘。操作员可以向每个机器人臂的取向接口提供输入,以便识别每个机器人臂相对于周围环境的取向。例如,操作员可以从每个机器人臂识别共同方向。例如,操作员可以通过致动每个机器人臂上的面向壁706的按钮来识别手术室的壁706的方向。就图7而言,这将通过致动取向接口701上的按钮C,并致动取向接口703上的按钮B来进行。作为另一实例,操作员可以通过致动每个机器人臂上的按钮来识别保持内窥镜的机器人臂的方向。臂控制器从取向接口接收指示手术机器人臂相对于周围环境的取向的输入,并将该指示传输到中央控制器。

[0063] 步骤603为任选的。取向数据可以由中央控制器通过其它手段获取。例如,情况可能是手术机器人臂的相对取向是已知的,原因是这些机器人臂定位在预定取向中,例如如果它们在预定取向中附接到患者的床上。

[0064] 图8示出了可以由中央控制器在手术机器人臂的操作期间执行的步骤的流程图。在步骤801处,中央控制器从臂控制器接收虚拟枢轴点。在步骤802处,中央控制器可以(任选地)从臂控制器接收取向数据。在步骤803处,中央控制器从外科医生输入装置接收指示手术器械的远端的期望位置的命令。如上所述,此期望位置可包括末端执行器的期望位置和/或取向和/或展开。

[0065] 在步骤804处,中央控制器将远端的期望位置转换成期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置,如下所示。

[0066] 从臂控制器接收的虚拟枢轴点在机器人臂的参考系中,即相对于机器人臂基座。中央控制器使用取向数据将虚拟枢轴点从机器人臂参考系旋转到共同地面参考系。此取向数据可以是如上所述从臂控制器接收的取向数据。替代地,取向数据可以是预定的,如上所述,并且从中央控制器的参数值存储装置检索。

[0067] 图8示出了控制回路。在控制回路的每次迭代中,中央控制器从外科医生输入装置接收指示手术器械的远端的期望位置的命令。中央控制器使用所述命令更新其在控制回路的先前迭代中计算的机器人臂的一个或多个参数。被更新的所有参数或参数的子集存储在存储装置807中,然后在控制回路的下一次迭代中从存储装置807检索。这些参数可包括远端在共同地面参考系中的期望位置、期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置。

[0068] 期望的腕部位置包括腕部的位置。期望的腕部位置还可包括腕部的取向。

[0069] 为了在步骤804处确定期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置,中央控制器可以首先使用来自外科医生输入装置的命令来确定器械的远端相对于共同地面参考系的期望位置。适当地,中央控制器通过从存储装置807检索远端相对于共同地面参考系的最后期望位置来执行此操作。然后,使用来自外科医生输入装置的命令更新远端相对于共同地面参考系的最后期望位置。例如,利用图4的手动控制器,中央控制器可以将检测到的手动控制器的平移转换成末端执行器的平移,将检测到的手动控制器的旋转转换成末端执行器的旋转,并且将检测到的手动控制器的触发器的角度转换成末端执行器的末端执行器元件

的展开角。

[0070] 当使用从外科医生输入装置接收的命令更新手术器械的远端的期望位置时,中央控制器可以使用存储在存储器中的参数值。例如,中央控制器可以使用如从位置感测数据接收的识别当前内窥镜位置的存储的参数值,所述位置感测数据由中央控制器从保持内窥镜的机器人臂的臂控制器接收。外科医生响应于如在控制台显示器上看到的来自内窥镜的视图而操纵外科医生输入装置。因此,中央控制器旋转和/或平移外科医生操纵外科医生输入装置命令的移动,以便考虑外科医生看到的末端执行器的观察方向。更具体地,中央控制器使用内窥镜取向与手术器械取向之间的相对取向来确定手动控制器移动与末端执行器移动之间的旋转。

[0071] 中央控制器可以使用识别外科医生输入装置与手术器械的远端之间的映射的存储的参数值。例如,中央控制器可具有识别以下中的一者或多者的存储的参数:外科医生的手动控制器的平移移动与末端执行器的平移移动之间的比率;外科医生的手动控制器的旋转移动与末端执行器的旋转移动之间的比率;以及将触发器的位置映射到末端执行器元件的角展开的关系。当将来自外科医生输入装置的输入转换成手术器械的远端的更新的期望位置时,中央控制器应用这些映射。

[0072] 当更新末端执行器的期望位置时,中央控制器可以使用离合器模型。离合器模式用于允许重新定位外科医生输入装置。如果外科医生输入装置处于人体工程学不良位置,或者如果外科医生输入装置已达到运动范围的限制,则这可能是期望的。当外科医生接合离合器模式时,外科医生输入装置脱离对手术机器人臂的控制。在接合的离合器模式期间外科医生输入装置的移动不转换成末端执行器的移动。当外科医生脱离离合器模式时,外科医生输入装置重新接合对手术机器人臂的控制。在与当前末端执行器位置重新接合之后,中央控制器通过同步从外科医生输入装置接收的第一命令的末端执行器位置来响应离合器的使用。因此,如果外科医生输入装置在离合器联结时已平移或旋转穿过外科医生输入装置的工作区,则不会导致末端执行器突然移动以采用外科医生输入装置的位置从接合离合器模式时到脱离离合器模式时的变化。

[0073] 当更新末端执行器的期望位置时,中央控制器可以使用同步模型。同步模型用于考虑手术机器人臂的关节或器械何时达到关节极限,或者腕部何时太靠近虚拟枢轴点。同步模型与离合器模型的相似之处在于中央控制器通过在将同步模型与当前末端执行器位置一起使用之后,同步从外科医生输入装置接收的第一命令的末端执行器位置来响应同步功能的使用。

[0074] 一旦中央控制器已经使用来自外科医生输入装置的命令和上述参数中的一个或多个确定手术器械的远端相对于共同地面参考系的期望位置,中央控制器就使手术器械的远端的期望位置从共同地面参考系旋转到机器人臂参考系。

[0075] 接下来,中央控制器使用逆运动学来确定器械驱动关节位置和腕部位置,以实现手术器械的远端在机器人臂参考系中的期望位置。可以使用本领域已知的任何适当的逆运动学方程。

[0076] 手术机器人臂的腕部的位置相对于手术器械的远端在机器人臂参考系中的位置固定。器械是刚性的,并且腕部的位置(如上文定义的)是位于器械轴的纵向轴线上的点。手术器械的远端与腕部的位置之间的距离是已知的:它是腕部与臂的末端之间的臂的长度加

上器械的长度减去臂和器械的任何重叠部分。当器械在患者的身体内部时，器械轴始终穿过虚拟枢轴点。由于虚拟枢轴点是已知的，因此对于手术器械位置的给定远端，存在唯一的腕部位置。因此，在远端位置与腕部位置之间存在一对一关系。因此，中央控制器根据远端在机器人臂的参考系中的期望位置、已知的虚拟枢轴点以及远端与腕部的位置之间的已知距离确定机器人臂的参考系中的期望的腕部位置。

[0077] 中央控制器将确定的末端执行器的旋转和确定的末端执行器元件的展开转换成期望的器械驱动关节位置。为此，中央控制器使用器械的每个关节的移动与驱动该器械关节的机器人臂的器械驱动关节的移动之间的存储的映射。可以在操作程序之前或期间在校准驱动组件期间更改此映射。对于图3的示例性机器人，中央控制器确定三个器械驱动关节位置。

[0078] 在步骤806处，中央控制器将期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置传输到臂控制器。

[0079] 然后，控制回路返回到步骤803，在该步骤中，中央控制器从外科医生输入装置接收下一命令。

[0080] 图9示出了控制回路，其由臂控制器实施以控制手术机器人臂如外科医生输入装置所命令的移动。在步骤901处，臂控制器从中央控制器接收期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置。

[0081] 在步骤902处，臂控制器确定不驱动器械的关节的机器人臂的剩余关节(即包括关节J₁到J₈)的关节位置。确定的关节位置使得腕部具有从中央控制器接收的期望位置。考虑到已知的固定基座位置和期望的腕部位置，臂控制器使用逆运动学方法来确定臂的剩余关节J₁至J₈的关节位置。可以使用本领域已知的任何合适的逆运动学方法。臂控制器使用已知参数值903来确定关节位置。这些已知参数值包括：机器人臂的已知结构；机器人臂的每个连杆和关节的已知尺寸和质量；附接的手术器械的已知尺寸和质量；以及关节的惯量。关节的惯量根据关节加速度计算。可以使用来自先前迭代的存储的关节位置和计算位置的频率来确定关节加速度。可以使用存储的关节速度和计算关节位置的频率来确定关节加速度。

[0082] 如果机器人臂具有比实现期望的腕部位置所需的关节更多的关节，则称该臂具有冗余。这意味着存在使腕部具有期望的腕部位置的臂关节的多于一个构造。在这种情况下，臂控制器确定使机器人臂具有最佳构造的机器人臂的一组关节位置。最佳构造可以由以下标准中的任何一个或组合定义：

[0083] -避免一个或多个臂关节靠近关节极限的构造。

[0084] -避免手术机器人臂靠近关节奇点的构造。手术机器人臂的某些姿态可能变得单一，这意味着不可能以有限的关节速度在所有方向上进行末端执行器的后续移动。

[0085] -避免与手术机器人臂的工作区内的另一物体碰撞的构造。

[0086] -手术室工作人员更期望的构造。例如，冗余可以使得肘部部分302能够对同一腕部位置采用一个或多个位置。肘部部分的一个位置可能优于另一个位置，以使得床侧团队能够更容易地接近患者侧。

[0087] 一旦臂控制器已经确定机器人臂的剩余关节的所有关节位置，其接着移动到步骤904。在步骤904处，臂控制器将控制信号发送至关节控制器以控制关节电机将机器人臂的关节驱动到期望的器械驱动关节位置和对于剩余关节确定的关节位置。由臂控制器发送至

关节控制器的控制信号可包括所请求的关节扭矩。每个关节控制器将针对关节请求的关节扭矩转换成该关节处的物理扭矩。关节控制器可以使用附接到其以驱动关节的无刷DC电机的闭环电流控制来实施此操作。关节控制器首先确定电机电流以递送所请求的扭矩。此确定基于与关节的电机类型和齿轮箱有关的存储的参数进行。关节控制器还测量在电机的每个相位中流动的电流，所述电流用作电机的闭合回路扭矩控制的输入。

[0088] 然后，控制回路返回到步骤901，在该步骤中，臂控制器从中央控制器接收下一组期望的腕部位置和期望的器械驱动关节位置。

[0089] 在上述控制方法中，将来自外科医生输入装置的命令处理为用于手术机器人臂的关节的驱动信号分布在中央控制器与臂控制器之间。

[0090] 中央控制器确定器械驱动关节位置和腕部位置。需要知道器械的构造及其长度，以便确定器械驱动关节位置和腕部位置。通过分配如本文所述的处理，臂控制器不需要保持附接的器械的细节。因此，如果要升级器械使得其尺寸或功能改变，或者要向系统添加新器械，则仅需要对中央控制器进行软件升级。这可以通过从器械本身上的存储器下载更新的器械数据来完成。替代地，更新的器械尺寸可以视觉方式测量并输入到中央控制器。系统的所有手术机器人臂上的臂控制器将不需要软件升级。因此，如本文所述的在中央控制器与臂控制器之间拆分控制功能使得手术机器人系统作为一个整体的维护方案更有效。

[0091] 通过分配如本文所述的处理，臂控制器执行较少的计算，并且因此消耗较低水平的处理功率。与执行本文所述的所有处理相比，这减少了由臂控制器产生的热量。出于安全原因，在操作程序期间允许手术机器人臂的表面达到的温度受到严格限制。由于手术机器人臂在程序期间由于无菌原因而被盖布覆盖，因此臂的表面温度由于来自关节电机和臂内部的其它电路的热损耗而增加。通过在如本文所述的中央控制器与臂控制器之间拆分控制功能，臂控制器能够消耗较少的处理功率，并且因此产生较少的热损耗，并且因此减少其对加热臂的表面的贡献。

[0092] 中央控制器通信地耦合到手术机器人系统中的每个机器人臂。各个臂控制器彼此不通信地耦合。因此，每个臂控制器不知道系统中的任何其它机器人臂的位置或甚至存在。通过使中央控制器确定每个机器人臂的腕部在系统中位置，其可识别两个相邻机器人臂的工作区的重叠，并且因此识别两个机器人臂之间的潜在碰撞。

[0093] 臂控制器对其它事项具有高计算工作量，所述其它事项包括：驱动机器人臂的关节，从关节传感器接收感测数据，与机器人臂外部的实体通信，控制对机器人臂的功率施加，机器人臂中的故障检测。另一方面，中央控制器不具有较大的计算工作量。执行关节位置的一些计算的中央控制器减小了臂控制器的计算要求，因此使得臂控制器能够将处理功率以及因此速度专用于其它事项。选择拆分工作量使得中央控制器向臂控制器提供腕部位置和器械驱动关节位置意味着臂控制器只需要在机器人臂的参考系中执行计算。臂控制器不需要执行任何坐标变换。这些全部由中央控制器执行。

[0094] 本文所述的机器人可以用于除手术之外的目的。例如，端口可以是制造物品如汽车发动机中的检查端口，并且机器人可以控制观察工具以观察发动机内部。

[0095] 申请人在此独立地公开了本文描述的每个单独的特征以及两个或更多个这种特征的任意组合，只要这些特征或组合能够基于本说明书作为一个整体根据本领域技术人员的公知常识来实施，而不管这些特征或特征的组合是否解决本文公开的任何问题，并且不

限制权利要求的范围。申请人指出，本发明的各方面可以由任何这样的单个特征或特征组合组成。鉴于以上描述，对于本领域技术人员来说显而易见的是，可以在本发明的范围内进行各种修改。

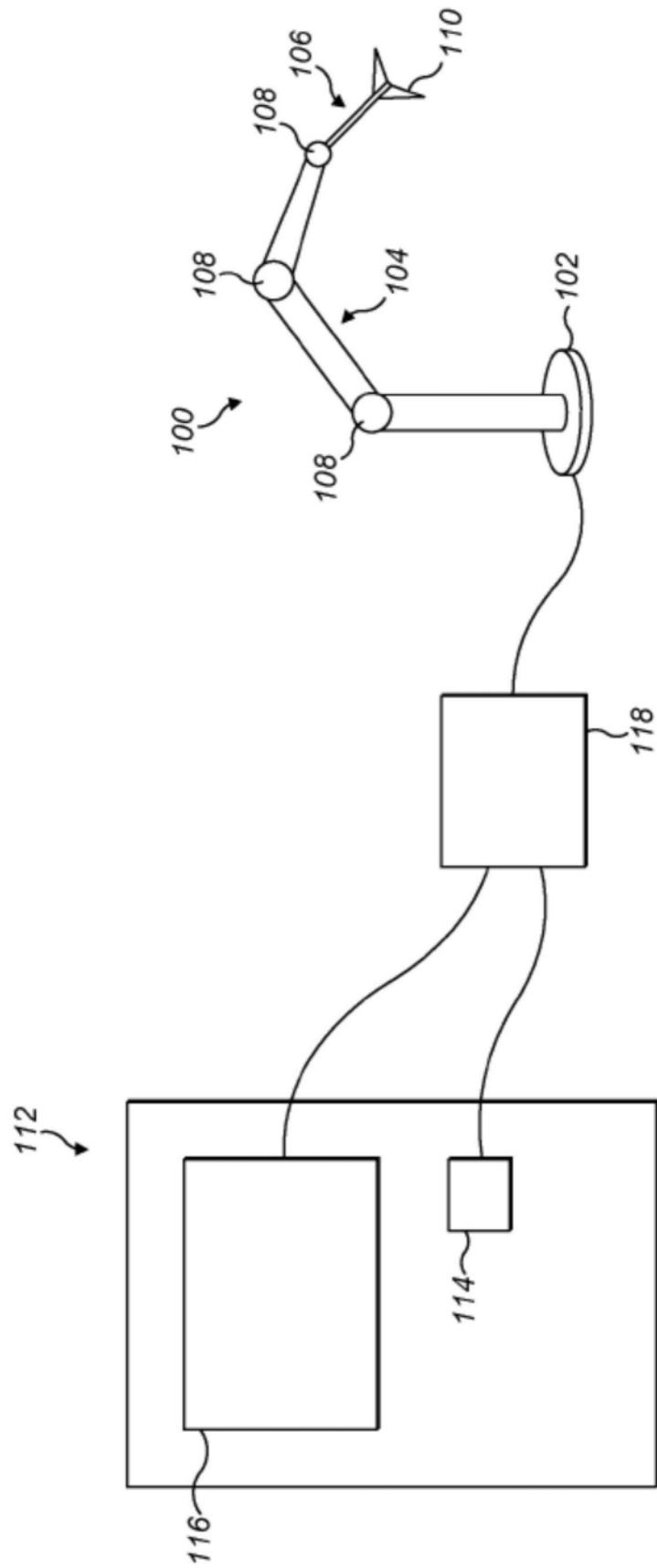


图1

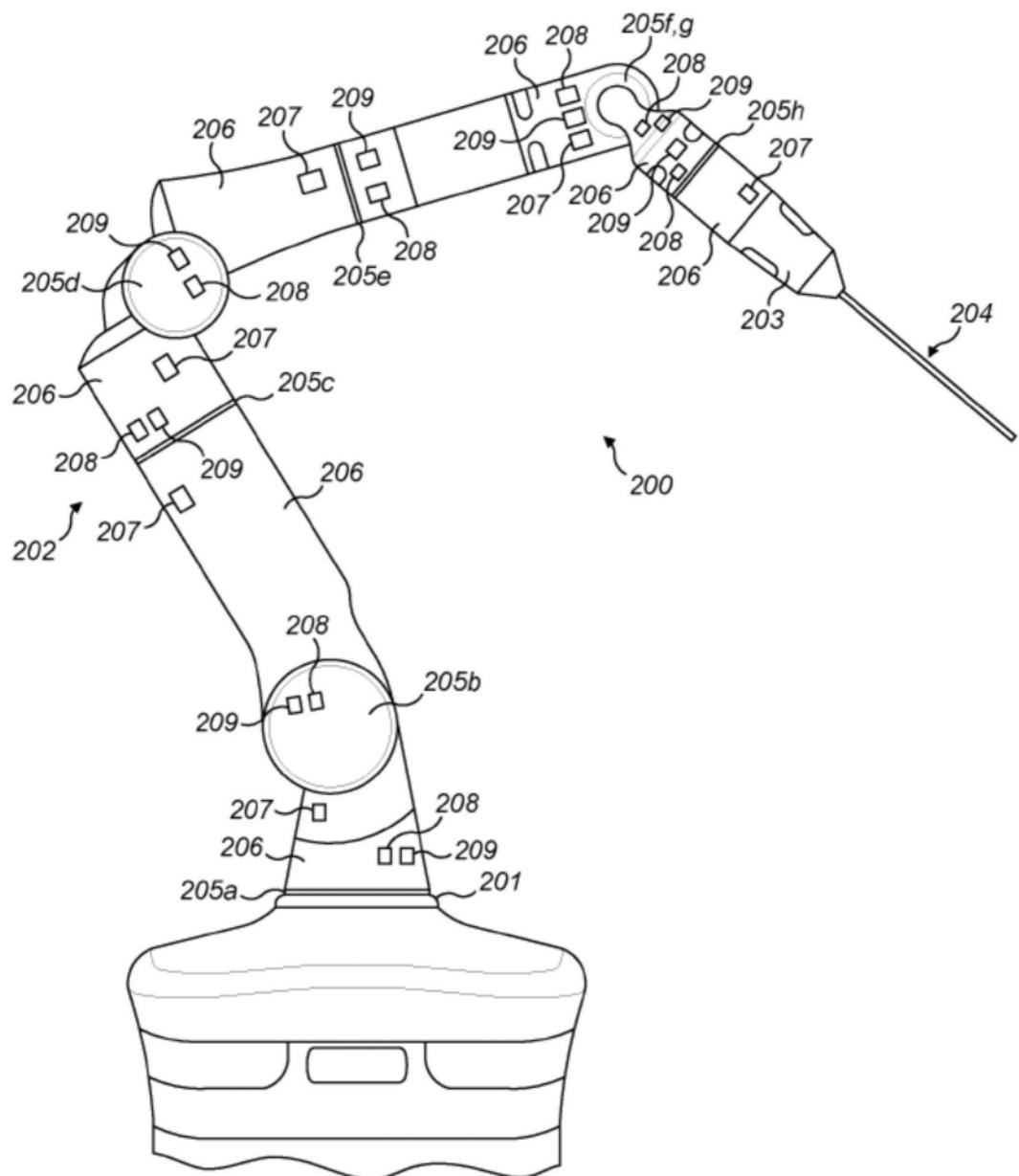


图2

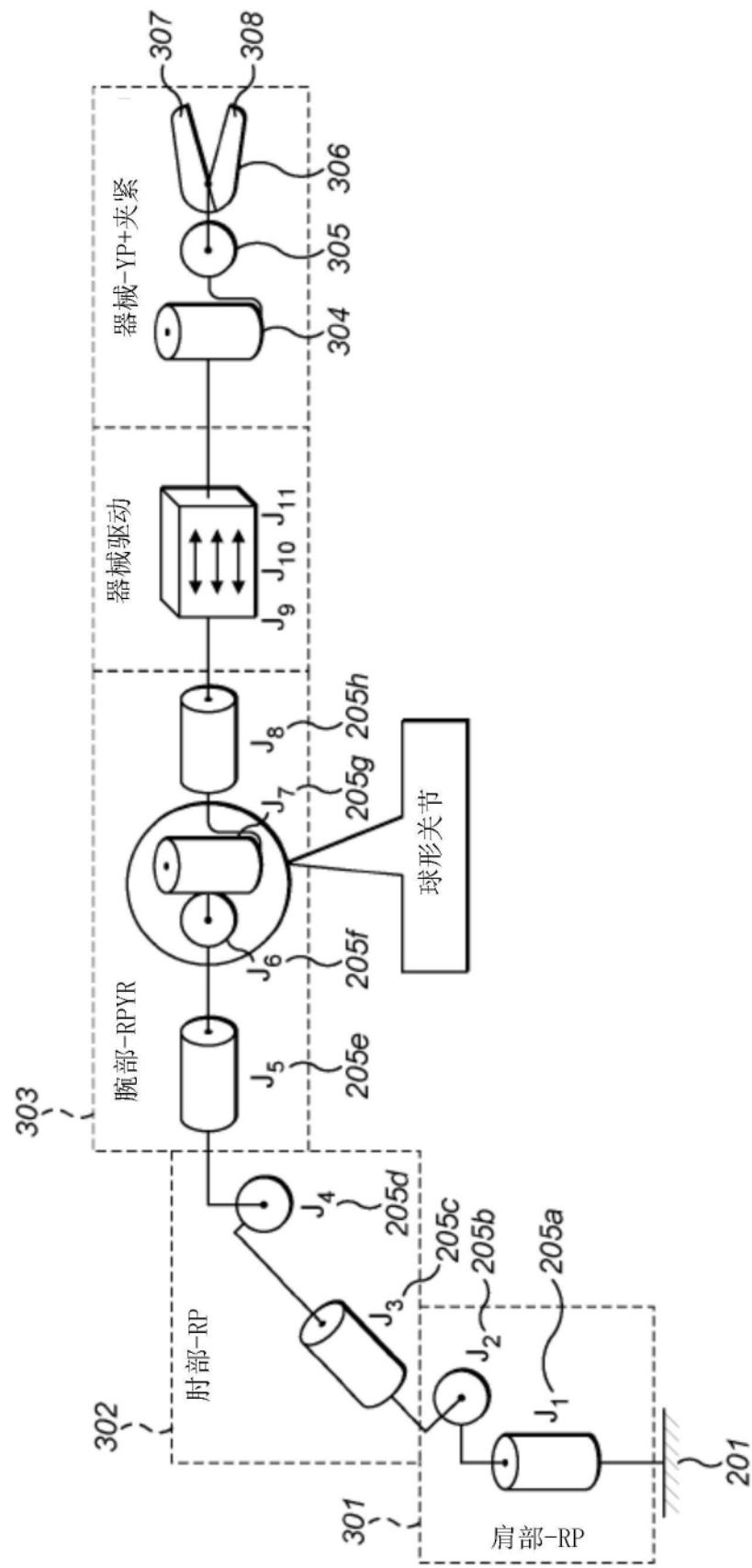


图3

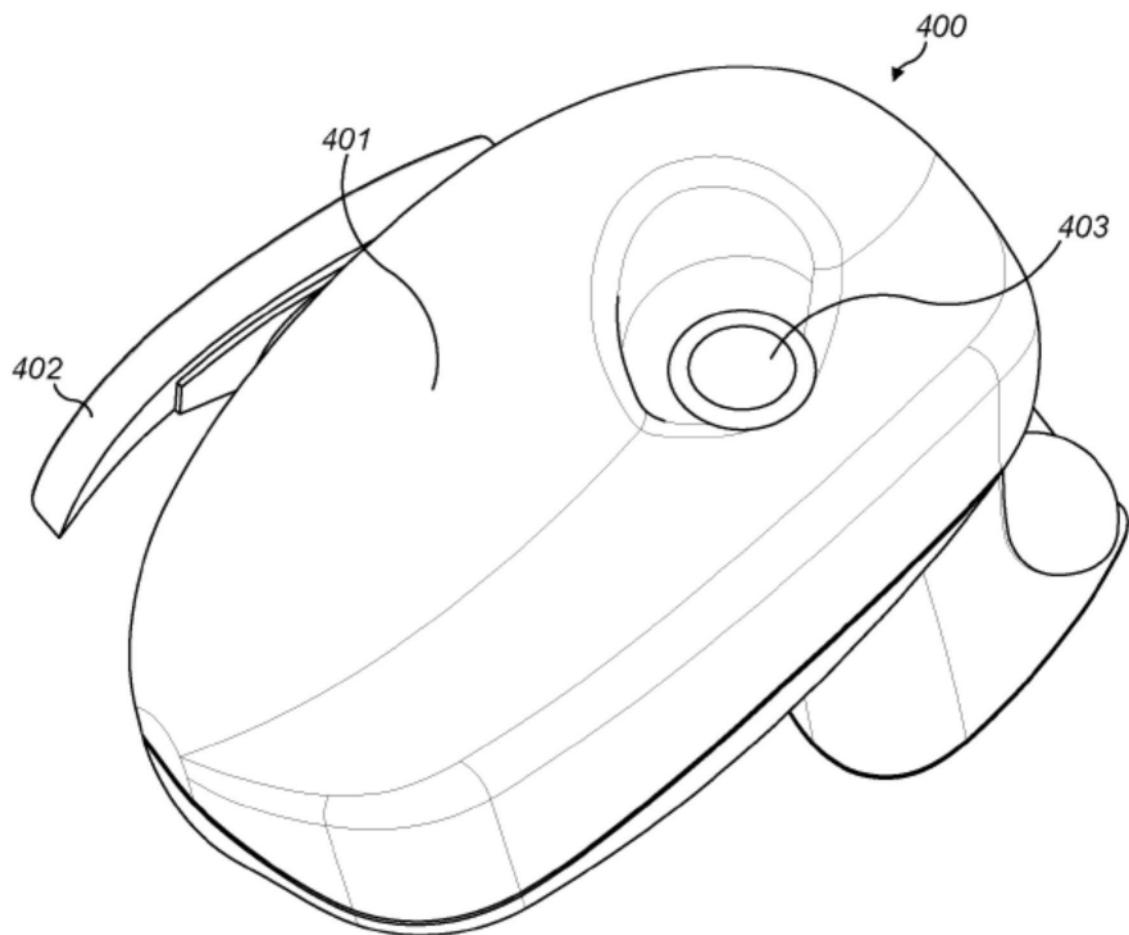


图4

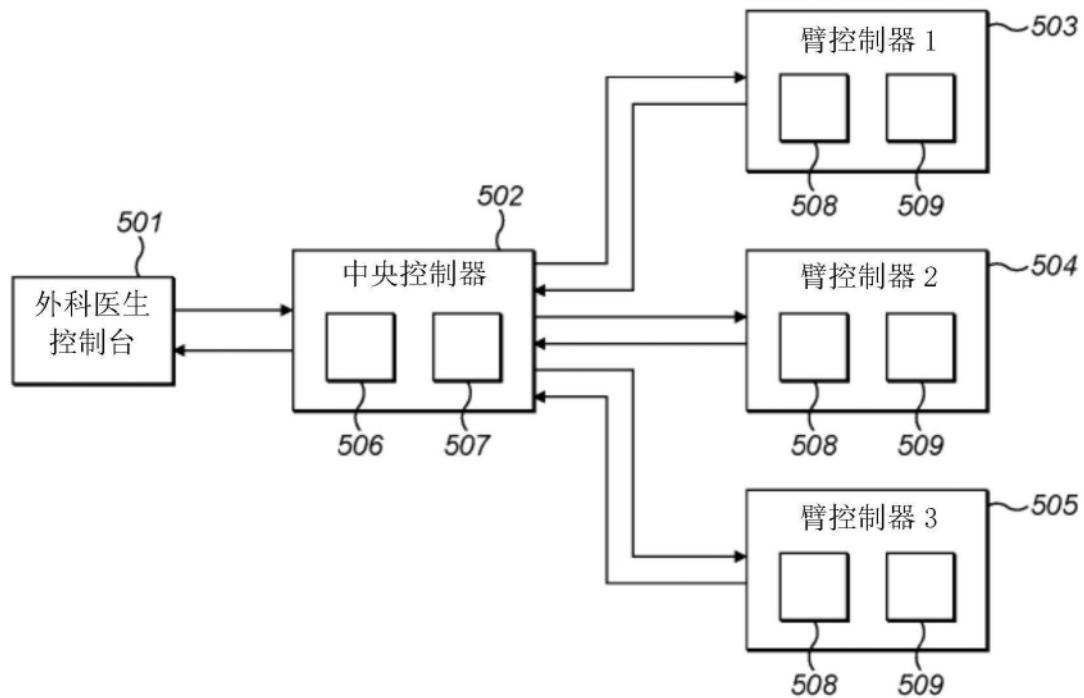


图5



图6

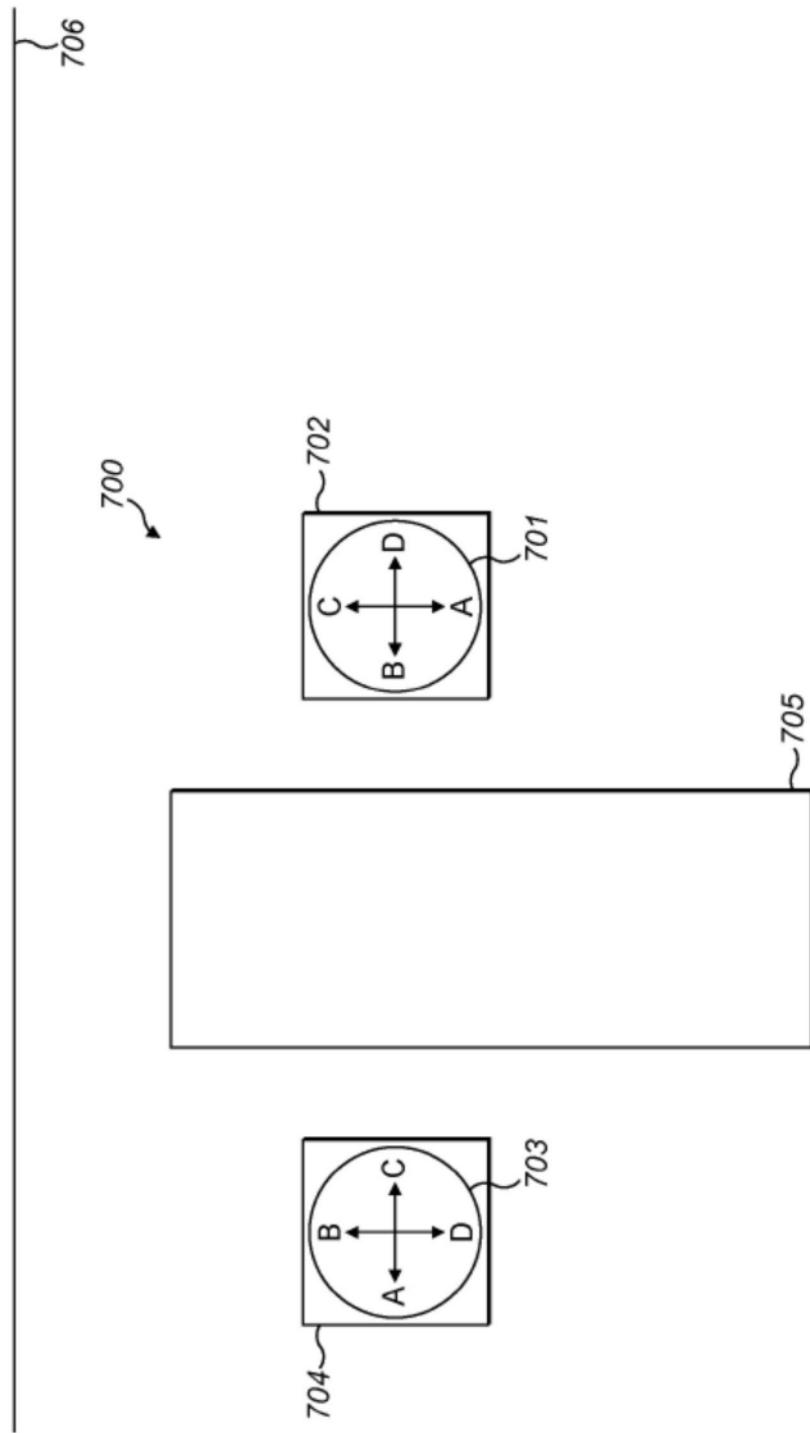


图7

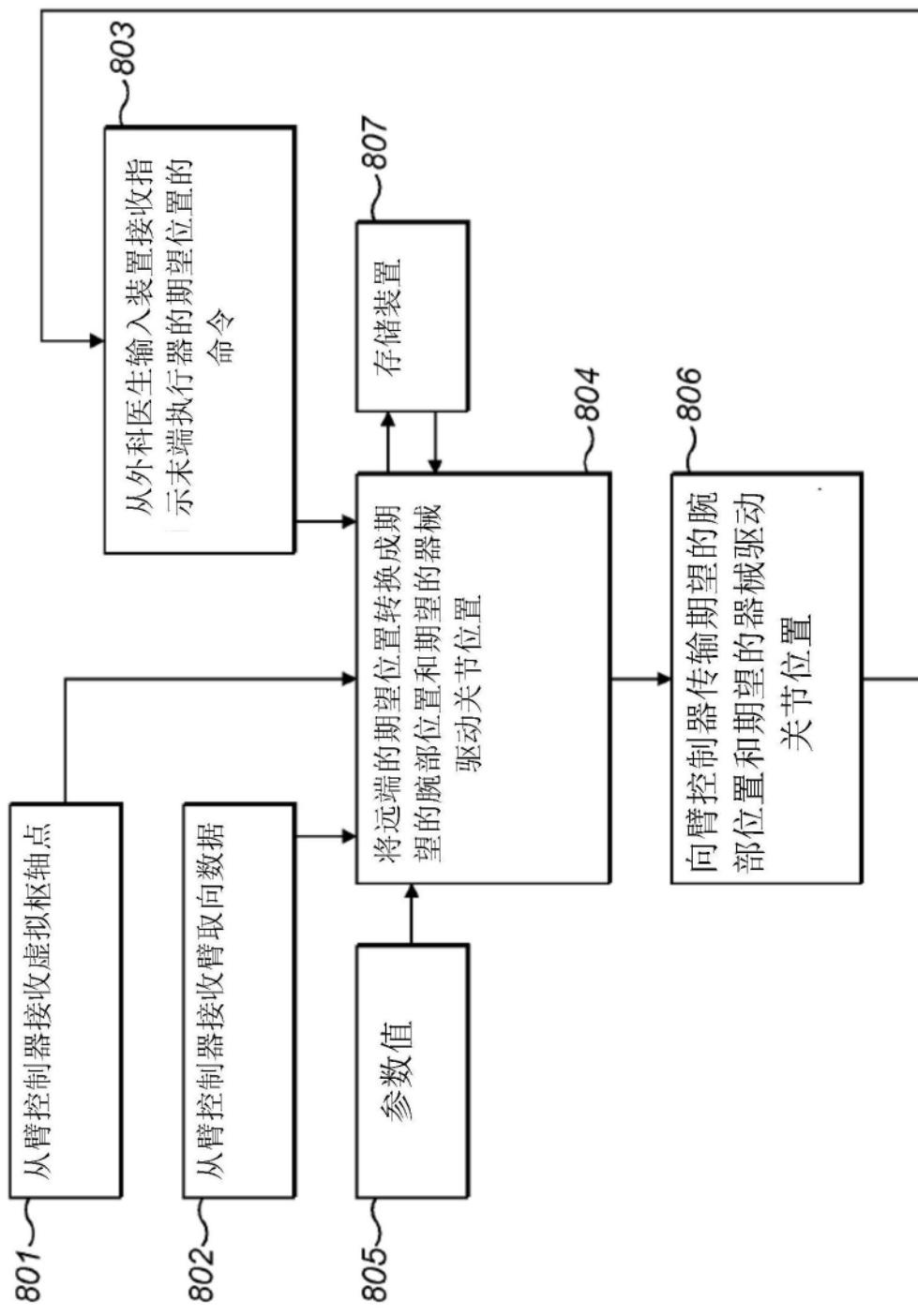


图8

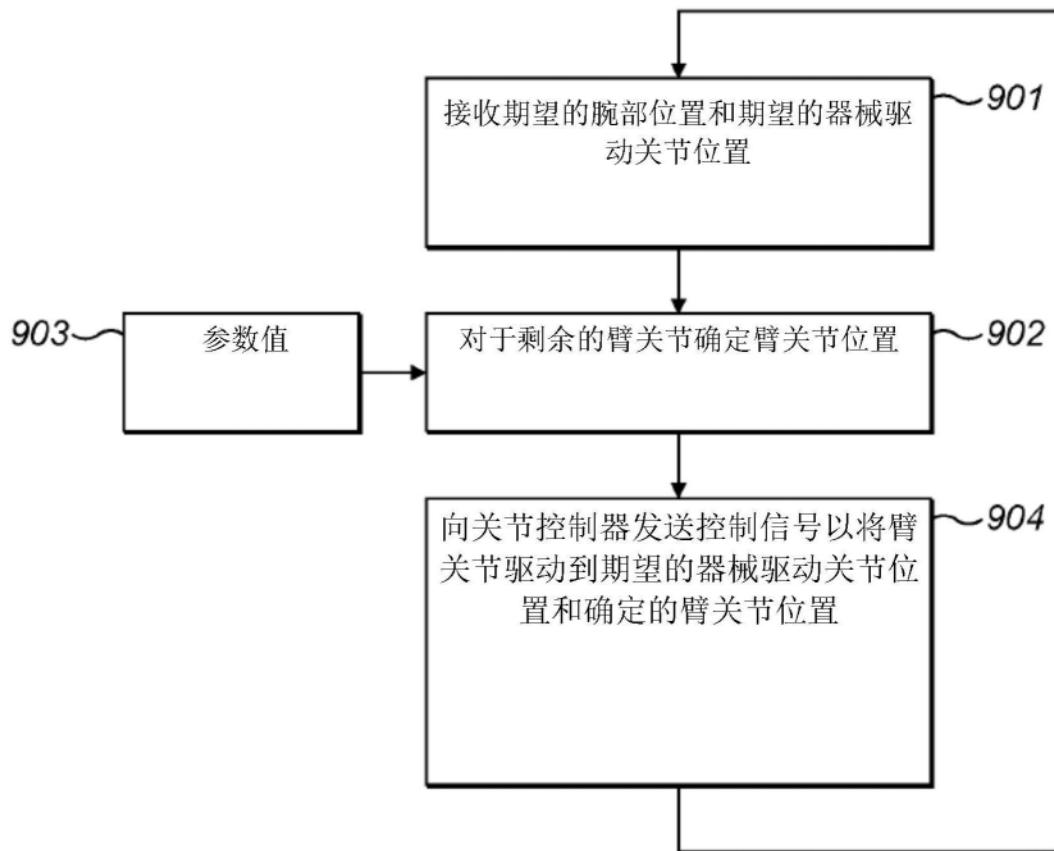


图9