



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108472028 A

(43)申请公布日 2018.08.31

(21)申请号 201780004133.8

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22)申请日 2017.09.15

代理人 李晨 邓雪萌

(30)优先权数据

62/395704 2016.09.16 US

(51)Int.Cl.

A61B 17/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.05.23

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/051908 2017.09.15

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/053349 EN 2018.03.22

(71)申请人 威博外科公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 K.S.克尼希 P.E.加西亚基尔罗伊

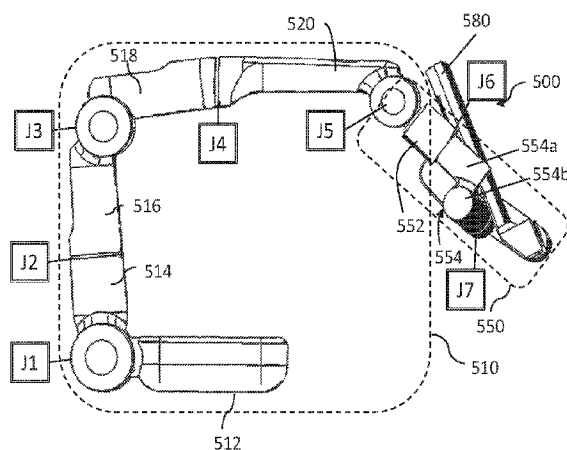
权利要求书3页 说明书27页 附图38页

(54)发明名称

机器人臂

(57)摘要

本发明公开了一种机器人外科系统,该机器人外科系统包括机器人臂,该机器人臂包括第一区段和第二区段,该第一区段具有第一多个联接件和为机器人臂提供至少五个自由度的第一多个致动关节模块,该第二区段具有耦接到第一区段的远侧端部的近侧端部,并且包括第二多个联接件和为机器人臂提供至少两个自由度的第二多个致动关节模块。该机器人外科系统还包括耦接到第二区段并且被构造成能够保持外科器械的器械驱动器。该第二臂区段被构造成能够使外科器械在大致球形的工作区内移动,并且第一臂区段被构造成能够移动球形工作区的位置。



1. 一种机器人外科系统,包括:
机器人臂,所述机器人臂包括:
第一臂区段,所述第一臂区段包括为所述机器人臂提供至少五个自由度的第一多个联接件;和
第二臂区段,所述第二臂区段包括为所述机器人臂提供至少两个自由度的第二多个联接件,其中所述第二多个联接件包括联接辊、能够在第一平面内旋转并且具有耦接到所述联接辊的远侧端部的近侧端部的第一联接件、以及能够在第二平面内旋转并且具有耦接到所述第一联接件的远侧端部的近侧端部的第二联接件;以及
被构造成能够保持外科器械的器械驱动器,其中所述器械驱动器耦接到所述第二联接件的远侧端部,使得所述器械驱动器不平行于所述第一平面和所述第二平面中的至少一者。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述机器人臂能够折叠成紧凑构型,在所述紧凑构型中所述器械驱动器被定位在所述第一联接件和所述第二联接件中的至少一者和所述联接辊之间。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中所述联接辊的至少一部分沿着辊轴线取向并且所述器械驱动器的至少一部分从所述辊轴线成角度地偏移。
4. 根据权利要求1所述的系统,其中所述第二臂区段被构造成能够使所述外科器械在大致球形的工作区内移动,并且其中所述第一臂区段被构造成能够移动所述球形工作区的位置。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中所述机器人臂的第一自由度由所述联接辊相对于所述第一臂区段的旋转来提供。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述联接辊相对于所述第一臂区段的旋转致使所述器械驱动器沿翻转方向运动。
7. 根据权利要求5所述的系统,其中所述机器人臂的第二自由度由所述第一联接件和第二联接件相对于所述联接辊的同步旋转来提供。
8. 根据权利要求7所述的系统,其中所述第一联接件和所述第二联接件的同步旋转致使所述器械驱动器沿俯仰方向运动。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中所述器械驱动器被构造成能够使所述外科器械围绕远程运动中心旋转。
10. 根据权利要求9所述的系统,其中所述第二臂区段被构造成能够使所述器械驱动器围绕翻转轴线和俯仰轴线旋转,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线彼此偏移。
11. 根据权利要求10所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线不与所述远程运动中心相交。
12. 根据权利要求10所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者从所述远程运动中心偏移约2厘米或更小。
13. 根据权利要求1所述的系统,其中所述第一联接件和所述第二联接件具有不同长度。
14. 根据权利要求13所述的系统,其中所述第一联接件比所述第二联接件短。
15. 根据权利要求1所述的系统,其中所述第一联接件和所述第二联接件与滑轮装置可

操作地耦接。

16. 根据权利要求1所述的系统,其中所述机器人臂耦接到手术台。

17. 一种机器人外科系统,包括:

机器人臂,所述机器人臂包括联接辊、能够在第一平面内旋转并且具有耦接到所述联接辊的远侧端部的近侧端部的第一联接件、以及能够在第二平面内旋转并且具有耦接到所述第一联接件的远侧端部的近侧端部的第二联接件;以及

被构造成能够保持外科器械的器械驱动器,其中所述器械驱动器耦接到所述第二联接件的远侧端部,使得所述器械驱动器不平行于所述第一平面和所述第二平面中的至少一者。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中所述机器人臂能够折叠成紧凑构型,在所述紧凑构型中所述器械驱动器被定位在所述第一联接件和所述第二联接件中的至少一者和所述联接辊之间。

19. 根据权利要求17所述的系统,其中所述联接辊的至少一部分沿着翻转轴线取向并且所述器械驱动器的至少一部分从所述翻转轴线成角度地偏移。

20. 根据权利要求17所述的系统,其中所述器械驱动器被构造成能够使所述外科器械围绕远程运动中心旋转。

21. 根据权利要求20所述的系统,其中所述机器人臂被构造成能够使所述器械驱动器围绕翻转轴线和俯仰轴线旋转,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者不与所述远程运动中心相交。

22. 根据权利要求21所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线不与所述远程运动中心相交。

23. 根据权利要求21所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者从所述远程运动中心偏移约2厘米或更小。

24. 根据权利要求23所述的系统,其中所述机器人臂耦接到手术台。

25. 一种机器人外科系统,包括:

机器人臂,所述机器人臂包括:

第一臂区段,所述第一臂区段包括为所述机器人臂提供至少五个自由度的第一多个联接件;和

第二臂区段,所述第二臂区段包括为所述机器人臂提供至少两个自由度的第二多个联接件;和

器械驱动器,所述器械驱动器被构造成能够保持外科器械并且被构造成能够使所述外科器械围绕远程运动中心旋转,

其中所述第二臂区段被构造成能够使所述器械驱动器围绕翻转轴线和俯仰轴线旋转,并且其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者不与所述远程运动中心相交。

26. 根据权利要求25所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线不与所述远程运动中心相交。

27. 根据权利要求25所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者从所述远程运动中心偏移约5厘米或更小。

28. 根据权利要求27所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线中的至少一者从

所述远程运动中心偏移约2厘米或更小。

29. 根据权利要求27所述的系统,其中所述翻转轴线和所述俯仰轴线从所述远程运动中心偏移约2厘米或更小。

30. 根据权利要求25所述的系统,其中所述第二臂区段被构造成能够使所述外科器械在大致球形的工作区内移动,并且其中所述第一臂区段被构造成能够移动所述球形工作区的位置。

31. 根据权利要求25所述的系统,其中所述第二多个联接件包括联接辊、第一俯仰联接件和第二俯仰联接件,其中所述联接辊相对于所述第一臂区段的旋转致使所述器械驱动器围绕所述翻转轴线运动,并且其中所述第一俯仰联接件和所述第二俯仰联接件的同步旋转致使所述器械驱动器围绕所述俯仰轴线运动。

32. 根据权利要求31所述的系统,其中所述机器人臂耦接到手术台。

机器人臂

[0001] 相关申请的交叉引用

本申请要求2016年9月16日提交的美国专利申请序列号62/395,704的优先权,该文献据此全文以引用方式并入本文。

技术领域

[0002] 本公开整体涉及机器人或机器人辅助系统,并且更具体地涉及用于机器人或机器人辅助外科系统的机器人臂。

[0003] 发明背景

微创手术(MIS)诸如腹腔镜式手术涉及旨在减少外科规程中组织损伤的技术。例如,腹腔镜式手术通常涉及在患者体内(例如,在腹腔)形成许多小切口,并且通过这些切口将一个或多个工具和至少一个相机引入至患者体内。然后通过使用引入的工具和由相机提供的可视化辅助来执行外科规程。

[0004] 一般来讲,MIS提供多种益处,诸如减少患者瘢痕、减轻患者疼痛、缩短患者恢复期并且减少与患者恢复相关的医疗费用。但是,标准MIS系统有许多不足之处。例如,非机器人MIS系统对外科医生提出了更高的要求,部分原因是它们要求外科医生通过工具以不自然的方式间接操纵组织。传统的机器人系统可包括基于来自操作者的命令操纵工具的机器人臂,可以在减少对外科医生的需求的同时提供微创手术的许多益处。然而,此类机器人臂往往很大,并且难以设置和管理。此外,许多常规机器人臂具有显著有限数量的臂构型,使得这些臂限制了对人体内部器官的可及性。因此,希望具有用于机器人辅助外科系统的机器人臂,这些机器人臂更易于使用并且为更多种类的手术和患者类型提供更多的临床选择。

发明内容

[0005] 一般来讲,机器人外科系统可包括机器人臂和被构造成能够保持外科器械的器械驱动器。该机器人臂可包括联接辊、能够在第一平面内旋转并且具有耦接到基部联接件的远侧端部的近侧端部的第一联接件、以及能够在第二平面内旋转并且具有耦接到所述第一联接件的远侧端部的近侧端部的第二联接件。器械驱动器耦接到第二联接件的远侧端部,使得该器械驱动器不平行于第一平面和第二平面中的至少一者。在一些变型中,机器人臂可以被折叠成紧凑构型,其中器械驱动器被定位在联接辊和第一联接件和/或第二联接件之间。例如,联接辊的至少一部分可以沿着辊轴线取向,并且器械驱动器的至少一部分可以从辊轴线成角度地偏移。

[0006] 机器人臂中的第一联接件和第二联接件可具有不同的长度。例如,第一联接件可比第二联接件短。第一联接件和第二联接件可与滑轮装置操作地耦接(例如,以操作平行四边形或其他合适的四杆连杆,如本文所述)。

[0007] 在一些变型中,机器人臂可包括第一臂区段,该第一臂区段包括为机器人臂提供至少五个自由度的第一多个致动联接件。机器人臂可包括第二臂区段,该第二臂区段包括为机器人臂提供至少两个自由度的第二多个致动联接件。在一些变型中,第二多个致动联

接件可包括联接辊、第一联接件和第二联接件(例如,上述的联接辊、第一联接件和第二联接件)。在一些变型中,第二臂区段可被构造成能够使外科器械在大体球形的工作区内移动,并且第一臂区段可被构造成能够移动该球形工作区的位置。

[0008] 例如,机械臂的自由度(例如,在第二臂区段中)可通过联接辊相对于第一臂区段的旋转来提供。例如,联接辊相对于第一臂区段的旋转可致使器械驱动器沿辊方向的运动。又如,机器人臂的自由度(例如,在第二臂区段中)可通过第一联接件和第二联接件相对于联接辊的同步旋转来提供。例如,第一联接件和第二联接件的同步旋转可致使器械驱动器沿俯仰方向的运动。

[0009] 在一些变型中,器械驱动器可被构造成能够使外科器械围绕远程运动中心旋转。在这些变型中的一些变型中,第二臂区段可被构造成能够使器械驱动器围绕辊轴线和俯仰轴线旋转,其中辊轴线和俯仰轴线中的至少一者不与远程运动中心相交。例如,辊轴线和/或俯仰轴线可从远程运动中心偏移约5厘米或更小、或者约2厘米或更小。在一些变型中,辊轴线和俯仰轴线两者可能都不与远程运动中心相交。

[0010] 一般来讲,在一些变型中,机器人外科系统可包括机器人臂和器械驱动器。机器人臂可包括第一臂区段和第二臂区段,第一臂区段具有为机器人臂提供至少五个自由度的第一多个联接件,第二臂区段具有为机器人臂提供至少两个自由度的第二多个联接件。器械驱动器可被构造成能够保持外科器械并且被构造成能够使外科器械围绕远程运动中心旋转。第二臂区段可被构造成能够使器械驱动器围绕辊轴线和俯仰轴线旋转,其中辊轴线和/或俯仰轴线不与远程运动中心相交。例如,在一些变型中,辊轴线和俯仰轴线中的至少一者可从远程运动中心偏移约5厘米或更小、或者约2厘米或更小。

[0011] 第二臂区段可被构造成能够使由器械驱动器保持的外科器械在大体球形的工作区内移动,并且第一臂区段可被构造成能够移动该大体球形的工作区的位置。在一些变型中,第二多个联接件可包括联接辊、第一俯仰联接件和第二俯仰联接件。联接辊相对于第一臂区段的旋转可致使器械驱动器围绕辊轴线的移动。第一俯仰联接件和第二俯仰联接件的同步旋转可致使器械驱动器围绕俯仰轴线的移动。在一些变型中,第一俯仰联接件和第二俯仰联接件可具有不同的长度(例如,第一俯仰联接件可比第二俯仰联接件短)。

[0012] 在一些变型中,机器人外科系统可包括被构造成能够致动第一多个致动联接件和第二多个致动联接件的多个关节模块。控制器可被构造成能够基于多个控制模式中的至少一个来致动至少一个关节模块。例如,在重力补偿模式中,控制器可确定作用在联接件的至少一部分上的重力,并且致动至少一个关节模块以抵消所确定的重力。又如,在摩擦补偿模式中,控制器可确定用户施加的力的存在,该力用于反向驱动至少一个关节模块,并且致动该至少一个关节模块以减少反向驱动该至少一个关节模块所需的用户施加的力。在摩擦补偿模式中,控制器可例如基于抖动信号来致动至少一个关节模块,直到控制器确定用户施加的力的存在。

[0013] 在一些变型中,机器人外科系统可包括精确定位离合器,该精确定位离合器被构造成能够基本上限制第二多个联接件中的至少一部分在第二臂区段中的相对位置,同时实现第一臂区段中的第一多个联接件之间的相对运动。其他合适的手动操作和/或控制器操作特征可用于操作机器人外科系统,诸如本文所述的那些。

附图说明

[0014] 图1A至图1D是用于机器人辅助外科系统的机器人臂的一种变型的示意图。图1E是用于机器人臂的球形俯仰组件的一种变型的符号示意图。

[0015] 图2A是用于机器人臂的球形俯仰组件的一种变型的示意图。图2B是图2A所示的球形俯仰组件的示意图,该球形俯仰组件通过移动的远程运动中心在一系列构型中移动。

[0016] 图3A和图3B是用于机器人臂的球形俯仰组件的一种变型的示意图。

[0017] 图4是具有偏移球形辊、球形俯仰和器械旋转轴线的机器人臂的球形俯仰组件的另一变型的示意图。

[0018] 图5A至图5C是用于机器人辅助外科系统的机器人臂的另一变型的侧视图、俯视图和前视图。

[0019] 图6A和图6B是机器人臂的变型的示例性折叠构型的示意图。

[0020] 图7A和图7B是机器人外科系统的侧视图和仰视图,该机器人外科系统包括处于折叠构型并且耦接到手术台的多个机器人臂。

[0021] 图8A和图8B是机器人臂的一种变型的“低”和“翻转”臂构型的示意图。

[0022] 图9A是示例性关节模块的透视图。图9B是图9A所示的关节模块的高负载部分的透视图。图9C是图9A所示的关节模块中的马达部分和电子器件外壳的透视图。图9D是图9A所示的关节模块中的暴露的电子器件外壳的透视图。

[0023] 图10A是用于双稳态安全制动器的辅助致动器的一种变型的示意图。图10B是图10A所示的辅助致动器的控制图。

[0024] 图10C至图10G是用于致动双稳态制动器的处于各种状态的辅助致动器的示意图。

[0025] 图11A是具有双稳态安全制动器的一种变型的示例性关节模块的纵向剖面图。图11B至图11F是图11A所示的双稳态安全制动器中的各种子组件的示意图。

[0026] 图12A至图12C是处于“制动器关闭”模式的图11A所示的制动器的示意图。

[0027] 图13A至图13D是处于“制动器开启”模式的图11A所示的制动器的示意图。

[0028] 图14A和图14B分别是双稳态安全制动器的另一变型的透视图和纵向剖面图。图14C是图14A和图14B所示的制动器的详细纵向剖面图。

[0029] 图15A和图15B是用于关节模块的带式制动型安全制动器的另一变型的局部透视图。图15C是图15A和图15B所示的制动器的分解透视图。图15D是图15A和图15B所示的制动器中的带组件的透视图。图15E和图15F分别是处于“制动器关闭”模式和“制动器开启”模式中的图15A和图15B所示的制动器的侧视图。图15G和图15H是用于控制图15A和图15B中所示的制动器的示例性控制图。

[0030] 图16A至图16C是机器人臂上接触点的示例性变型。图16D是机器人臂上的用于向用户传递信息的显示屏的示例性变型。

[0031] 图17A是机器人臂的一种变型中的用于向用户传递信息的照明模块组件的示意图。图17B和图17C是图17A所示的照明模块组件的示例性照明图案。

[0032] 图18是用于控制机器人臂的一种变型的关节模块的致动的示例性控制系统设置的概要示意图。

[0033] 图19是概述用于机器人臂的控制系统的一种变型的原始模式和用户模式的状态

图。

具体实施方式

[0034] 本文描述了本发明的各个方面和变型的非限制性示例并且在附图中示出。

[0035] 机器人臂概述

一般来讲, (例如, 用于实现微创外科手术操作的) 机器人或机器人辅助外科系统可诸如在微创手术过程中包括用于操纵外科器械的一个或多个机器人臂。机器人臂可包括多个联接件、能够实现相邻联接件之间的相对移动的多个致动关节模块。例如, 如图1A所示, 机器人臂可包括具有近侧端部和远侧端部的第一区段110和具有(耦接到第一区段110的远侧端部的)近侧端部和远侧端部的第二区段150。另外, 器械驱动器180可耦接到第二区段150的远侧端部并且被构造成能够保持并致动穿过插管190的外科器械。

[0036] 在使用机器人臂100进行外科规程时, 第一区段110的近侧端部可在外科规程期间被安装或以其他方式耦接到患者附近的安装点处的结构(例如, 手术台、手推车、壁、天花板等)。在一些变型中, 第一区段110可被称为“笛卡尔臂”区段, 因为第一区段110可相对于第一区段110的安装点在三维空间(例如, $x-y-z$ 坐标)中定位机械远程运动中心(在下文进一步描述)。此外, 第二区段150可被称为“球形臂”区段, 因为第二区段150可使由器械驱动器保持的外科器械的尖端在由第二区段150的运动范围限定的近似球形体积的空间内移动。笛卡尔臂区段和球形臂区段的组合可提供用于操作各种手术类型和患者类型的外科器械的高度的设置灵活性和灵活度。

[0037] 机器人臂联接件

在一些变型中, 如图1B所示, 第一区段110可包括第一多个联接件和用于相对于彼此致动第一多个联接件的第一多个致动关节模块。例如, 第一区段110可包括串联布置的至少五个联接件: 基部联接件112、肩部俯仰联接件114、肩部联接辊116、肘部联接件118以及前臂联接件120。相邻联接件连接的方式可使得相邻的联接件基本上被约束为相对于彼此围绕一个轴线运动。例如, 基部联接件112和肩部俯仰联接件114可诸如通过“U”型夹关节构造基本上被约束为围绕俯仰轴线作相对运动(例如, 基部联接件112的纵向轴线和肩部俯仰联接件114的纵向轴线之间的角度可以增加或减少)。肩部俯仰联接件114和肩部联接辊116可基本上被约束为围绕辊轴线作相对运动(例如, 肩部俯仰联接件114和肩部联接辊116的纵轴可以基本上同轴)。肩部联接辊116和肘部联接件118可诸如通过“U”型夹关节构造基本上被约束为围绕另一个俯仰轴线作相对运动(例如, 肩部联接辊116的纵向轴线和肘部联接件118的纵向轴线之间的角度可以增加或减少)。肘部联接件118和前臂联接件120可基本上被约束为围绕另一个辊轴线作相对运动(例如, 肘部联接件118和前臂联接件120的纵轴可以基本上同轴)。

[0038] 另外, 第一区段110可包括被配制成以至少五个自由度(DOF)致动第一区段110的第一多个致动关节模块132, 所述至少五个自由度中包括在三维空间中定位机械远程运动中心的3个DOF任务之外的至少两个冗余DOF。例如, 如图1C所示, 第一关节模块132a可将肩部俯仰联接件114耦接到基部联接件112, 并且包括至少一个致动器, 该至少一个致动器被构造成能够使肩部俯仰联接件114相对于基部联接件112围绕轴线A枢转。第二关节模块132b可将肩部联接辊116耦接到肩部俯仰联接件114, 并且包括至少一个致动器, 该至少一

个致动器被构造成能够使肩部联接辊116相对于肩部俯仰联接件114围绕轴线B旋转。第三关节模块132c可将肘部联接件118耦接到肩部联接辊116,并且包括至少一个致动器,该至少一个致动器被构造成能够使肘部联接件118相对于肩部联接辊116围绕轴线C枢转。第四关节模块132d可将前臂联接件120耦接到肘部联接件118,并且包括至少一个致动器,该至少一个致动器被构造成能够使前臂联接件120相对于肘部联接件118围绕轴线D旋转。第五关节模块132e可将机器人臂的第二区段(例如,经由球形基部联接件152)耦接到第一区段(例如,前臂联接件120)的远侧端部,并且包括至少一个致动器,该至少一个致动器被构造成能够使机器人臂的第二区段相对于前臂联接件120围绕轴线E枢转。下面进一步详细描述联接件的示例性致动和控制方案。

[0039] 第二区段150可包括第二多个联接件和用于使第二多个联接件相对于彼此致动的第二多个致动关节模块。例如,如图1B所示,第二区段150可包括至少四个联接件:分别为形成球形俯仰组件156的球形基座连杆152、球形联接辊154以及第一俯仰联接件和第二俯仰联接件156a和156b。如上所述,球形基部联接件152可耦接到第一区段(例如,前臂联接件120)的远侧端部以连接第一臂区段110和第二臂区段150。如在第一区段110中那样,第二区段150中的相邻联接件连接的方式可使得相邻联接件基本上被约束为相对于彼此围绕一个轴线运动。例如,如图1A所示,球形基部联接件152可通过允许仅围绕轴线E作相对运动的“U”型夹关节构造耦接到前臂联接件120。另外,球形基部联接件152和球形联接辊154可基本上被约束为围绕辊轴线作相对运动(例如,球形基部联接件152和球形联接辊154的纵向轴可以基本上同轴)。

[0040] 另外,第二区段150可包括第二多个致动关节模块,该第二多个致动关节模块被构造成能够向第二区段150提供至少两个DOF。例如,如图1C所示,第六关节模块134f可将球形联接辊154耦接到球形基部联接件152,并且包括至少一个致动器,该至少一个致动器被构造成能够使球形联接辊154相对于球形基部联接件152围绕辊轴线F旋转。第七关节模块134g可将球形俯仰组件(经由第一俯仰联接件156a)耦接到球形联接辊154,并且包括至少一个致动器,该至少一个致动器被构造成能够使第一俯仰联接件156相对于球形联接辊154围绕轴线G枢转。下面进一步详细描述联接件的示例性致动和控制方案。

[0041] 如图1D所示,第二区段150可包括球形俯仰组件156,其包括第一俯仰联接件156a和第二俯仰联接件156b。器械驱动器180可被耦接到第二俯仰联接件156b的远侧端部。例如,如图1E所示,第一俯仰联接件156a、第二俯仰联接件156b和器械驱动器可以作为平行四边形或四杆连杆的三个联接件移动,用比例为1:1的驱动机构(诸如下面进一步描述的)约束,以便将第一俯仰联接件156a围绕轴线G的旋转对器械驱动器围绕机械远程运动中心处的俯仰轴线G'的旋转(RCM)重复,其中轴线G'偏移并且平行于轴线G。换句话说讲,第七关节模块134g可致动第一俯仰联接件156a以使其围绕轴线G枢转,该第七关节模块通过球形俯仰组件156间接致动器械驱动器(和由器械驱动器保持的外科器械)以使其围绕RCM处的轴线G'枢转。与其他常规的俯仰组件机构相比,俯仰组件156可被构造成能够以更容易、更快速且更灵活的方式围绕RCM操作外科器械。

[0042] 在一些变型中,俯仰组件156可包括不同长度的第一俯仰联接件和第二俯仰联接件,其中在俯仰联接件的端部上的枢转点之间测量长度。例如,如图1D所示,第一俯仰联接件156a可比第二俯仰联接件156b短。例如,在一些变型中,第一俯仰联接件156a可具有介于

第二俯仰联接件156b的(在枢转点之间测量的)长度的约10%和约80%之间的(在枢转点之间测量的)长度。在一些变型中,第一俯仰联接件的长度可介于第二俯仰联接件的长度的约20%和约70%之间,或者介于第二俯仰联接件长度的约25%和约65%之间。例如,第一俯仰联接件156a可相对于第二俯仰联接件156b旋转而没有物理干扰,并且允许俯仰组件156相对于其自身塌缩或折叠成较小的体积或更紧凑的构型。另外,较短的俯仰联接件长度可减小俯仰组件操作所需的工作区体积,因为较短的俯仰联接件在其整个旋转过程中将扫过较小的体积。这种构型可例如用于存储、运输、用于降低俯仰组件与患者或外科人员之间的碰撞风险,以及/或者用于降低俯仰组件与机器人臂的其他部件之间的碰撞风险等等。

[0043] 例如,在一些变型中,俯仰组件可以是作为不完全的平行四边形移动的四杆连杆的一部分。例如,如图2A所示,第一俯仰联接件156a上的枢转点之间的距离可以是距离“A”,第二俯仰联接件156b上的枢转点之间的距离可以是距离“B”,第二俯仰联接件156b上的远侧枢转点与RCM之间的距离可以是距离“C”,并且沿RCM与第一俯仰联接件156a上的近侧枢转点之间的虚拟联接件的距离可以是距离“D”。距离“A”可小于距离“C”,使得随着俯仰组件156和器械驱动器180移动,具有有效长度“A”的第一联接件156a和具有有效长度“C”的联接件的旋转并不总是平行的。

[0044] 此外,随着图2A所示的俯仰组件156移动,RCM往往略微移动。例如,图2B示出了俯仰组件156的一系列四个示例性姿势,这些姿势是第一俯仰联接件156a围绕轴线G在其近侧端部处旋转(例如,如图1D所示)的结果。当俯仰组件在图2B中移动经历姿势“a”到“d”时,由于部分由俯仰联接件形成的平行四边形的不完善性质,RCM行进而不是保持完全静止。在一些变型中,由于正在执行的手术任务的性质,第一俯仰联接件156a围绕轴线G的运动可能受到限制。例如,在一个示例性变型中,第一俯仰联接件156a可具有介于约2英寸和约4英寸之间的(在上文描述为距离“A”的枢转点之间测量的)长度,并且第二俯仰联接件156b可具有介于约7英寸和约9英寸之间的(在上文描述为距离“B”的枢轴点之间测量的)长度。在该示例性变型中,当臂和器械驱动器正在执行典型手术任务时,第七关节模块134g中的俯仰运动范围可例如通常介于约10度和约30度之间。在此类示例性条件下,该示例性变型中的RCM的行进距离可能往往介于约1cm和约3cm之间。应当理解,在其他变型中,第一俯仰联接件和第二俯仰联接件156a和156b可具有其他合适的长度,并且/或者用于正在执行的手术任务的运动的俯仰范围可以变化,这可致使RCM行进小于约1cm或大于约3cm。在一些变型中,可基于保持RCM点固定或基本固定在空间中的控制算法来控制接近俯仰组件的第一臂区段(例如,笛卡尔臂区段),从而补偿否则会发生RCM的移动。用于补偿偏离的RCM的此类控制算法或控制模式可例如类似于本文中描述的用于保持虚拟RCM的那些控制算法或控制模式。

[0045] 在图3A和图3B所示的示例性变型中,球形俯仰连杆组件356包括一系列滑轮和连接便于四杆连杆运动的滑轮的一系列带。第一俯仰联接件356a耦接到关节模块致动器的输出轴,该关节模块致动器驱动第一俯仰联接件356a围绕轴线G旋转,而第二俯仰联接件356b旋转地耦接到器械驱动器。第一俯仰联接件356a包括第一滑轮310,该第一滑轮耦接到关节模块致动器的外壳,并且在第一俯仰联接件356a的内侧空间内通常位于第一俯仰联接件356a的近侧点处。第一俯仰联接件356a还包括第二滑轮312,该第二滑轮在第一俯仰联接件356a的内部空间内通常位于第一俯仰联接件356a的远侧点处。第二滑轮312被刚性地固定

到第二俯仰联接件356b的近侧点。

[0046] 另外,第二俯仰联接件356b包括第三滑轮314,该第三滑轮通常位于第二俯仰联接件356b的近侧点处,安装并且被刚性地固定到第一俯仰联接件356a的延伸到第二俯仰联接件356b的内部体积中的轴上,使得当第一俯仰联接件356a旋转时,第三滑轮314相应地旋转。第二俯仰联接件356b还包括第四滑轮316,该第四滑轮在第二俯仰联接件356b的内部空间内,通常位于第二俯仰联接件356b的远侧点处。器械驱动器旋转地耦接到第二俯仰联接件356b的远侧点,并因此当第四滑轮316旋转时被限制移动。

[0047] 至少一个带(未在图3A和图3B中示出)缠绕第一滑轮和第二滑轮,使得当关节模块驱动第一俯仰联接件356a围绕轴线G旋转时,第二俯仰联接件356b的取向相对于关节模块致动器的外壳的取向保持固定。类似地,至少一个带(未示出)缠绕第三滑轮和第四滑轮,使得当第二俯仰联接件356b旋转时,器械驱动器取向相对于第一俯仰联接件356a的取向保持固定。总之,第一俯仰联接件356a围绕轴线G的旋转通过俯仰联接件、滑轮和带的系统转换成器械驱动器围绕轴线G'的旋转。在另选的实施方式中,滑轮可与缆线、带和/或其他合适的驱动构件接合。

[0048] 连接第一滑轮和第二滑轮310和312以及第三滑轮和第四滑轮314和316的带应当被适当地张紧,以便于上述旋转运动的转换。因此,俯仰组件356还可以包括张紧组件。例如,张紧组件可包括与第一滑轮和第二滑轮310和312以及对应的带位于同一平面中的至少一个张紧滑轮,并且所述至少一个张紧滑轮与第三滑轮和第四滑轮314和316以及对应的带位于同一平面中。张紧滑轮的平面内位置可被(例如,利用紧固件)调整和设定以便校准带的张力。然而,俯仰组件356可包括螺丝扣或任何合适的张紧组件。在组装俯仰组件的过程中,带可以被张紧到预定张力水平,并且在机器人臂的使用期间和过程中被监控和再张紧。另选地,俯仰组件的至少一部分可以是可交换的,以使用适当张紧的俯仰组件部分替换,诸如常规维护的部分。

[0049] 用于机器人臂中的俯仰组件的滑轮装置(例如,用于将驱动构件附接到滑轮的组件、张紧机构等)的示例性变型在与本申请同时提交的标题为“BELT TERMINATION AND TENSIONING IN A PULLEY ARRANGEMENT FOR A ROBOTIC ARM”,序列号为15/706,582的美国专利申请中进一步详细描述,该文献据此全文以引用方式并入本文。

[0050] 器械驱动器180可被构造成能够沿着图1C中示出的器械轴线H使外科器械在插管190内取向。器械驱动器180能够例如使器械围绕轴线H旋转并且沿着轴线H平移,从而提供两个附加的DOF。表达两个冗余DOF的另选方式可包括针对包括器械驱动器的机器人臂的总共八个DOF,使用来自第一臂区段和第二臂区段的七个DOF使器械轴围绕轴线H(驻留在器械驱动器中的DOF)旋转,然后考虑机器人臂的目的,将矢量(外科器械)定位在空间中作为六个DOF任务。因此,可用于执行这种六个DOF任务的八个DOF产生两个冗余自由度。球形辊轴线F、偏移俯仰轴线G'和器械轴线H的交点限定了用于插管190内的外科器械的机械远程运动中心(“RCM”)。一般来讲,机械RCM可与外科器械的端口放置紧密地重合(例如,插管190耦接到端口)。

[0051] 在另一变型中,如图4所示,与图1D和图1E中所示的变化相反,第二臂区段(球形臂)的至少一些旋转轴线不在公共点处相交。相反,球形臂中的联接件可被构造成能够使得轴线F(球形辊轴线,球形联接辊454围绕其旋转)、轴线G'(球形俯仰轴线,关节模块434g通

过俯仰联接件456a和456b远程控制围绕该轴线的运动)和轴线H(器械旋转轴线,器械驱动器480使器械围绕该轴线旋转)通常在共同区域中相遇,但彼此偏移预定距离(例如,介于约1厘米至5厘米之间、或介于约2厘米至4厘米之间、或为约3厘米)。在一些变型中,器械轴线(轴线H)可在RCM处相交,而辊轴线(轴线F)和/或俯仰轴线(轴线G')不与RCM相交。例如,辊轴线和/或俯仰轴线可从远程运动中心偏移约5厘米或更小、或者从远程运动中心偏移约2厘米或更小。臂联接件的各种长度可被调节以实现该偏移(例如,较短的第一俯仰联接件456a)。

[0052] 例如,为了使外科器械在3D空间中围绕相同点移动,就好像该点是机械RCM一样,臂的控制算法在器械的命令运动期间计算臂中的一些或所有关节(包括第一区段或笛卡尔臂)中的适当致动,以便补偿轴线偏移。例如,在一些变型中,辊轴线(轴线F)和器械轴线(轴线H)之间的偏移可以是约2厘米。如果球形联接辊454如图4中所示围绕辊轴线顺时针旋转约90度,则具有关节J1-J5的第一区段(例如,如上所述的笛卡尔臂)可以共同地移动以使球形联接辊454沿着具有端点向上约2cm和向右约2cm的圆弧平移(如从图4的角度来看),以便补偿轴线偏移并且保持相同的有效RCM。每个关节J1-J5的特定旋转运动可取决于机器人臂在这种运动时的特定姿势。

[0053] 在一些区域中,用于补偿偏移的控制算法可类似于在下面进一步详细描述虚拟RCM控制模式中实现的控制算法。因此,可以在不牺牲在远程操作期间保持围绕有效RCM的期望的弓形运动范围的能力的情况下实现紧凑的臂设计。体现这些偏移球形辊、球形俯仰和/或器械旋转轴线的机器人臂的一个益处是机器人臂可被构造成能够更紧凑地塌缩成折叠构型。这样的紧凑构型可能是期望的,例如用于有效地存储在手术台下(或者在另一合适的存储位置,诸如在移动的手推车中),使得机器人臂不妨碍或以其他方式限制手术台的运动范围(例如倾斜),也不妨碍成像视野(例如,医疗成像如CT扫描)。另外,如上所述,在其中球形辊轴线、球形俯仰轴线和器械旋转轴线中的至少一者被偏移的机器人臂布置中,可能需要减小的工作区体积来使俯仰组件操作,因为较短的俯仰联接件在其整个旋转过程中将扫过较小的体积。

[0054] 在一些变型中,如图5A至图5C所示,机器人臂500可包括具有近侧端部和远侧端部的第一区段510,具有耦接到第一区段510的远侧端部的近侧端部并且还具有远侧端部的第二区段550,以及耦接到第二区段550的远侧端部并且被构造成能够保持并致动穿过插管的外科器械的器械驱动器580。第一区段510和第二区段550通常可类似于上述第一区段110和第二区段150,其中除了如下所述之外,元件的编号与图1A至图1C中所示的相似。例如,类似于上面参考图1A至图1C描述的机器人臂,第一区段510可包括提供至少五个自由度的多个联接件,并且第二区段550可包括提供至少两个自由度的多个联接件度。

[0055] 第一区段510可被构造成能够移动第二区段520在内移动的工作区的位置。此外,在图5A所示的变型中,第一区段510的至少一些纵向轴线可从相邻联接件之间的关节偏离。例如,肩部联接辊516的纵向轴线和/或肘部联接件518的纵向轴线可从关节J3的中心(例如,肘关节)侧向偏移。例如,该侧向偏移可使得肩部联接辊516和肘部联接件518能够更紧凑地彼此折叠。合适的侧向偏移可以是例如至联接件的直径的约四分之一(或约半径)的距离。类似地,可包括机器人臂中的其他联接件相对于相邻关节的侧向偏移,以进一步实现机器人臂的紧凑折叠构型。

[0056] 如图5B和图5C所示,机器人臂500的第二区段可包括球形基部联接件552、耦接到球形基部联接件552的球形联接辊554、具有耦接到球形联接辊554的远侧端部的近侧端部的第一俯仰联接件556a以及具有耦接到第一俯仰联接件556a的远侧端部的近侧端部的第二俯仰联接件556b。

[0057] 球形联接辊554可包括近侧部分554a和耦接到近侧部分554a的远侧部分554b。如图5A至图5C所示,球形联接辊554的近侧部分和远侧部分554a和554b可以是大体圆柱形的并且沿着各自的纵向轴线对齐。近侧部分和远侧部分554a和554b可具有相似的直径。然而,在其他变型中,近侧部分和远侧部分554a和554b可具有任何合适的形状(例如,棱柱形、不规则形状等)。近侧部分和远侧部分554a和554b可以一体形成(例如,通过注塑成型、从共同件机械加工等等),或者可以单独地形成并且(例如,经由紧固件、焊接或其他接合)彼此耦接。如下所述,桥接部分或连接特征结构可促进近侧部分和远侧部分554a和554b之间的平移和/或角度偏移。

[0058] 近侧部分554a可以沿着球形联接辊554的辊轴线取向,使得近侧部分554a相对于球形基部联接件552的旋转提供器械驱动器580围绕球形辊轴线的运动(例如,类似于图1C中所示的轴线F)。球形联接辊554的远侧部分554b可以沿着与俯仰轴线(例如,类似于轴线G')相关的远程成角度的轴线(例如,类似于图1C所示的轴线G)取向,其中成角度的轴线位于与球形辊轴线不同的平面中。例如,远程成角度的轴线可以是平行四边形(至少部分地由第一俯仰联接件和第二俯仰联接件556a和556b形成)围绕其移动的轴线。在图5A至图5C所示的机器人臂500中,远侧部分554b(及其远程成角度的轴线)既不正交也不平行于近侧部分554a(及其球形辊轴线)。

[0059] 在一些变型中,近侧部分554a和远侧部分554b可以在一个或多个方向(例如,至少两个方向)上偏移。例如,远侧部分554b可从近侧部分554a在第一方向上平移地偏移(例如,如图5A中所示的侧视透视图所示)。第一方向上的平移偏移(例如,如在近侧部分554a和远侧部分554b的纵向轴线之间所测量的)可以例如是介于近侧部分554a或远侧部分554b的直径的约1倍和约2倍之间,介于近侧部分554a或远侧部分554b的直径的约1倍和约1.75倍之间,或者介于近侧部分554a或远侧部分554b的直径的约1倍和约1.5倍之间。

[0060] 除此之外或另选地,远侧部分554b可以从近侧部分554a沿第二方向成角度地偏移(例如,如图5B中所示的俯视透视图和图5C中所示的正视透视图所示)。例如,近侧部分554a的纵向轴线(例如,球形辊轴线)与远侧部分554b的纵向轴线(例如,远侧成角度的轴线)之间的角度偏移可以是钝角。如从顶视图的角度(例如,如图5B所示)所测量的,球形联接辊的近侧部分和远侧部分中的角度偏移可例如介于约90度和约135度之间、介于约90度和约125度之间、或者介于约90度和约105度之间,等等。如从正视图的角度(例如,如图5C所示)所测量的,球形联接辊的近侧部分和远侧部分中的角度偏移可例如介于约90度和约135度之间、介于约90度和约125度之间、或者介于约90度和约105度之间,等等。因此,在图5A至图5C中所示的机器人臂500中,球形辊轴线和远侧部分554b的远程成角度的轴线的非正交性通过球形联接辊的平移偏移部分和角度偏移部分来实现。

[0061] 或者,在一些变型中,球形联接辊554本身可以仅沿着球形辊轴线取向。在这些变型中,第一俯仰联接件556a可包括耦接到球形联接辊554的横向成角度的突出部,以便实现其围绕成角度的远程轴线的旋转。除此之外或另选地,在这些变型中,第一俯仰联接件556a

可经由任何适当的成角度的联接(例如,直接耦接到类似于球形联接辊的近侧部分554a的部分)耦接到球形联接辊554。因此,在这些变型中,球形辊轴线和远程成角度轴线的非正交性可通过球形联接辊554和第一俯仰联接件556a的平移偏移和角度偏移耦接部分来实现。

[0062] 第一俯仰联接件556a可以在第一平面内旋转,并且第二俯仰联接件556b可以在第二平面内旋转。例如,第一平面和第二平面可以大体偏移并且彼此平行。第一俯仰联接件和第二俯仰联接件556a和556b通常可类似于上述俯仰组件156。器械驱动器580可耦接到第二俯仰联接件556b的远侧端部,使得器械驱动器不平行于第一平面和第二平面中的至少一者(例如,从至少部分由第一俯仰联接件和第二俯仰联接件形成的平行四边形偏移)和/或不平行于球形联接辊554的至少一部分(例如,偏离球形辊轴线)。

[0063] (例如,球形联接辊的至少近侧部分554a的)球形辊轴线和(例如,球形联接辊的远侧部分554b的)远程成角度轴线的非正交性的一个效果是俯仰组件的至少一部分可相对于球形联接辊554的至少一部分成角度(例如,至少部分由第一俯仰联接件和第二俯仰联接件形成的平行四边形可与辊轴线成角度地偏移)。因此,可以提供俯仰组件和球形联接辊554之间的空间,以使机器人臂的另一部分和器械组件能够嵌套并进一步塌缩到更紧凑的空间中。例如,如图5A至图5C所示,机器人臂500的至少第二区段550可被折叠成紧凑构型,其中器械驱动器580定位在球形联接辊554与俯仰联接件556a和556b中的至少一者之间,诸如当俯仰联接件556a和556b彼此折叠并抵靠球形联接辊554时。因此,机器人臂的第二区段550在整个折叠和展开构型中可具有更大的运动范围,使得相邻的联接件之间可能没有物理干扰,由此提供更大的灵活度。另外,球形联接辊、俯仰组件和器械驱动器的偏移性质可增加机器人臂折叠成较小体积的一般能力,诸如用于存储和/或运输目的。

[0064] 在一些变型中,一些或全部联接件可包括缓冲器,该缓冲器可帮助保护机器人臂的部分在与其他联接件、其他关节模块、其他机器人臂、外科手术助理或其他用户、其他手术设备(例如,手术台)和/或其他附近障碍物碰撞的情况下免受损坏。除此之外或另选地,缓冲器可帮助保护机器人臂在包装和运输期间免受损坏。在一个示例中,缓冲器可包括覆盖联接件的一个或多个柔性板(例如,薄金属片),其中该板在受到撞击时弯曲并吸收能量,由此减少传递到下面的部件的撞击能量。在其他示例中,缓冲器可包括泡沫、橡胶、可充胀套管或其他覆盖物。缓冲器可以基本上覆盖机器人臂的整个长度,或者可以仅覆盖机器人臂的选定部分(例如,选定的联接件、关节模块)。例如,一个或多个缓冲器可以仅覆盖臂的球形区段的一部分或全部长度、仅覆盖臂的笛卡尔区段的一部分或全部长度、或者覆盖笛卡尔区段的一部分和球形区段的一部分。又如,一个或多个缓冲器可以仅覆盖机器人臂中的一些或全部关节模块。再如,缓冲器可以基本上围绕臂的一部分(例如,围绕臂的周向)或者可以仅覆盖臂的一部分周边(例如,具有弓形横截面的套管)。一些或全部缓冲器可以连接到传感器(例如,压力传感器、电容传感器等),使得机器人臂可以感测到与环境中的物体的碰撞和/或十分接近环境中的物体(例如,其他机器人臂、手术台装置、人员等)。在检测到碰撞或即将发生的碰撞时,控制系统可自动调整臂的控制以停止当前方向的运动和/或沿不同的方向移动以反向或避免碰撞。

[0065] 一般来讲,每个联接件可包括内部体积,用于接纳至少一个关节模块的,并且/或者用于沿着机器人臂的长度传递布线(例如,用于通信或供电)。例如,联接件可以是大体管状结构。联接件可由金属(例如,铝、钢等)或其他合适的刚性材料制成,并且可包括通过任

何合适的制造工艺加工、铸造、模制和/或形成的部件。此外,联接件可包括多个联接件部件(例如,壳体部件),这些联接件部件被焊接或以其他方式紧固在一起以形成大体管状结构。

[0066] 臂的构型

为了不同的目的,机器人臂中的各种联接件可以按任何数量的预定构型布置。例如,机器人臂(例如,如以上参考图1F所述,具有球形辊、球形俯仰和器械旋转的偏移轴线的变化)可以按紧凑的折叠构型布置,例如用于在手术台下存放、存储和/或运输。折叠臂构型还可以包括与机器人臂耦接的部件的折叠、回缩或其他紧凑存储,诸如将机器人臂耦接到手术台、手推车或其他表面的手术台适配器。图6A和图6B更详细地示出了机器人臂的示例性折叠构型(例如,如以上参考图1A和图1B所述,没有球形辊、球形俯仰和器械旋转的偏移轴线的变化)。肩部俯仰联接件614和肩部联接辊616同轴以形成肩部肢体615,并且肘部联接件618和前臂联接件620共轴以形成前臂肢体619。在折叠构型中,肩部肢体615和前臂肢体619可以朝向彼此折叠,通常布置在第一平面或“层”中。球形基部联接件652和球形联接辊654可以抵靠前臂肢体619折叠,使得俯仰组件(俯仰联接件656a和656b)通常布置在第二平面或“层”中。器械驱动器680可被缩拢在第一“层”和第二“层”之间。

[0067] 图7A和图7B示出以外科手术台下方的示例性折叠构型布置的机器人臂的示例性变型(类似于上面参考图5A至图5C描述的机器人臂500)。例如,该示例性折叠构型可用于存储和/或运输目的。参考图7B中的机器人臂700A,在一些变型中,机器人臂可包括基部联接件712,该基部联接件被构造成能够诸如用销或其他合适的适配器耦接到手术台T。例如,基部联接件712可耦接到将手术台T固定到地面的手术台T的柱。机器人臂可包括耦接到基部联接件712的肩部俯仰联接件714以及与肩部俯仰联接件714同轴并耦接到该肩部俯仰联接件的肩部联接辊716。肘部联接件718枢转地耦接到肩部俯仰联接件714,使得机器人臂的前臂部分(包括肘部联接件718和前臂联接件720)可抵靠机器人臂的肩部部分(包括肩部俯仰联接件714和肩部联接辊716)折叠。例如,机器人臂的前臂部分通常可以在机器人臂的肩部部分上回折,其中机器人臂的肩部部分和前臂部分通常位于相同的平面或“层”中。如图7A最佳地示出,(耦接到前臂联接件720的)球形基部联接件752可以与肩部部分和前臂部分不同的平面的角度取向。至少机器人臂的球形臂部分的其余部分,包括(耦接到球形基部联接件752的)球形联接辊754、第一俯仰联接件756a和第二俯仰联接件756b可以布置在机器人臂的肩部部分和前臂部分的平面之外。例如,球形联接辊754的至少近侧部分可与球形基部联接件752同轴,以继续在机器人臂的更近侧部分的平面之外。第一俯仰联接件和第二俯仰联接件756a和756b可以布置在机器人臂的肩部部分和前臂部分的平面下方。器械驱动器780可以类似于以上参考图5A至图5C描述的球形臂区段构型的方式,在球形联接辊与第一俯仰联接件和第二俯仰联接件756a和756b中的至少一者之间缩拢或折叠。在一些变型中,例如,图7A和图7B中所示的臂的存放构型可占据的体积为约8英寸至约12英寸高(沿手术台的垂直高度),约8英寸至约12英寸宽(沿手术台的宽度),以及约18英寸至22英寸长(沿手术台的纵向长度)。在一个示例性变型中,例如,臂的存放构型可占据的体积为约10英寸高、约10英寸宽以及约20英寸长。

[0068] 虽然图7B示出了以 2×2 布置(即,使得每个机器人臂服务于或耦接到手术台T的相应象限)布置的四个机器人臂700A、700B、700C和700D,但应当理解,机器人手术系统可包括以任何合适的方式布置的更少(例如,一个、两个或三个)或更多(四个、五个、六个等)的机

机器人臂。此外,在一些变型中,一个或多个机器人臂可以永久地耦接到手术台,而在其他变型中,一个或多个机器人臂可以可移除地耦接到手术台。例如,系统的至少一部分可以是模块化的,其中一个或多个机器人臂可选择性地移除和/或重新布置)。将机器人臂耦接到手术台的联接机构的示例性变型在与本申请同时提交的标题为“LINKAGE MECHANISMS FOR MOUNTING ROBOTIC ARMS TO A SURGICAL TABLE”,序列号为15/706,112的美国专利申请,以及在与本申请同时提交的标题为“TABLE ADAPTERS FOR MOUNTING ROBOTIC ARMS TO A SURGICAL TABLE”,序列号为15/706,087的美国专利申请中进行了更详细的描述,这些文献全文以引用方式并入本文。

[0069] 在外科规程中使用,机器人臂可通过在各种姿势下进行配置,便于器械到达各种工作区。例如,机器人臂可以配置在“低”(或“缩拢”)臂位置、“高”臂位置以及“翻转”臂位置。在“低”臂位置(或“高”臂位置)和“翻转”臂位置之间,器械驱动器可完全围绕臂旋转,使得器械驱动器的重量可由臂从不同方向支撑。例如,如图8A所示,在“低”臂位置,机器人臂800可从器械驱动器的下方支撑器械驱动器880(其中臂800位于手术台或手推车的侧面和/或下面,或者笛卡尔臂的至少一些位于基部联接件下方。类似地,在“高”臂位置,机器人臂800可类似地从器械驱动器下方支撑器械驱动器(但机器人臂通常位于手术台或手推车上)。在“低”臂位置和“高”臂位置中,机器人臂的至少一部分(例如,笛卡尔臂的至少一部分)可被折叠和/或定位在患者水平以下,以便定位器械驱动器下方的臂。如图8B所示,在“翻转”臂位置中,机器人臂800可从器械驱动器上方支撑器械驱动器880。在“翻转”臂位置中,机器人臂800的大部分可以延伸和/或定位在患者水平以上,以便将臂定位在器械驱动器上方。机器人臂可以另外定位在“低”臂位置或“高”臂位置和“翻转”臂位置之间的其他臂位置,以将器械驱动器定位在围绕臂360度旋转的任何位置。此外,为了改善器械驱动器相对于臂的间隙,臂联接件的至少一些(包括例如肩部俯仰联接件、肩部联接辊、肘部联接件和前臂联接件)可被弯曲。例如,如图1B所示,至少肘部联接件118和前臂联接件120可形成具有凹面的前臂联接件,其中凹面通常面向器械驱动器的工作区。

[0070] 在一些变型中,机器人臂可被构造成能够与外科手术类型相关的多个模板姿势中的任何一种。不同的端口位置(即,外科器械可通过插管进入患者体内的位置)通常优选用于不同类型的腹腔镜式手术。例如,特定外科规程可能需要患者腹腔右下象限中的特定位置中的至少第一端口和患者腹腔左上象限中另一特定位置中的第二端口。另外,患者周围可能存在不同的位置,手术助理最佳地位于这些位置以在外科手术中协助(例如,操纵一个或多个机器人臂、监测患者)。用于该过程的模板可包括将第一机器人臂置于“低”臂位置以使第一机器人臂能够到达第一端口,并且使第二机器人臂位于“高”臂位置以使第二机器人臂到达第二端口。第一机器人臂和第二机器人臂的基部联接件可被安装在手术台周围的合适位置以容纳手术助理。换句话说讲,机器人臂的共同安排和姿势可形成用于特定外科规程的模板构型,其可针对特定患者稍作定制或调整(例如,针对患者特征诸如身高、腰围、体重、性别等)。在一些变型中,模板姿势或其他姿势(例如,“低”臂位置、“高”臂位置和/或“翻转”臂位置)以及臂中的相关关节角位置等可被存储在存储设备(例如,硬盘驱动器)中,并且在期望将臂移动到存储的姿势时从存储设备中调用。此外,在一些变型中,可实现特定姿势(例如,通过致动器控制和/或机器人臂的手动移动),并且在用户输入保存命令等时可可将臂中的与特定姿势相关联的一组关节角位置存储到存储设备。将来可以调用这种存储的姿

势以重新定位臂。

[0071] 关节模块

如上所述,相邻臂联接件之间的相对运动由一个或多个关节模块产生。在一些变型中,关节模块可包括包含伺服马达或其他合适的马达的关节模块。一般来讲,每个关节模块可包括一个马达或多个马达(例如,具有用于组合各个马达输出的差动齿轮传动装置)。另外,致动器组件可包括耦接到马达输出端的齿轮箱,诸如谐波驱动器、行星齿轮箱、摆线驱动器等,以增加总体扭矩输出。关节模块还可包括至少一个传感器(例如,编码器),其检测并提供关于致动器的旋转位置的反馈。一般来讲,关节模块被设计成稳固、轻便且紧凑,以便有助于从物理空间限制和医疗设备要求来看同样稳固、轻便且紧凑的机器人臂。另外,关节模块可包括围绕转子轴的至少一个密封件,用于将润滑剂保持在齿轮箱内。在理想情况下,这种密封件在转子轴上具有低且一致的摩擦量,以便不会显著地干扰由关节模块引起的致动。

[0072] 在一些变型中,至少一些关节模块可包括模块组件,该模块组件具有包括马达部分的第一外壳、包括负载(高负载)部分的第二外壳以及包括电子器件部分的第三外壳。关节模块可通过易于构建和维护的模块化的方式组合多个外壳。例如,如图9A和图9B所示,关节模块900包括具有马达部分910的第一外壳、包括耦接到马达部分910的第一端部的负载部分920的第二外壳,以及包括耦接到马达部分910的第二端部的电子部分930的第三外壳。第三外壳还可包括被构造成能够将电子器件包封在第三外壳内的盖940。如图9A所示,各种外壳可使用将耦接特征结构954结合的可移除的紧固件952(例如螺钉)彼此耦接,使得紧固件952可被移除以拆卸关节模块的外壳,诸如用于维护。另选地,外壳可以用其他合适的机构诸如机械锁或卡扣彼此耦接。用于负载部分、马达部分和电子器件部分的外壳的组装可进一步被包封在模块外壳940中,可以通过可移除盖942进入该模块外壳。

[0073] 关节模块的马达部分910可包括与马达相关联的各种部件,诸如定子和转子(例如,在伺服马达中)、安全制动器(例如,下面描述的变化之一或另一合适的失效保护制动器)、用于测量马达、轴承等的旋转位置的编码器。在耦接到马达输出端的齿轮箱包括谐波驱动的示例中,马达部分910可包括谐波驱动波发生器。如图9C所示,可以容易地从负载部分920(例如,以模块化方式)移除马达部分910。另外,马达部分910中可存在至少一个密封件,诸如迷宫式密封件,其通过曲折通道保持润滑剂并且由于与转子不接触而本质上是低摩擦的。

[0074] 如图9B所示,关节模块的负载部分920可包括高负载部件,诸如输出轴承、谐波驱动或齿轮箱的其他部分的长条部件922(例如,圆形长条和柔性长条)、用于限制相邻致动联接件的运动范围的机械关节限制等等。在马达部分的直接输出端之后的其他合适的部件可包括在负载部分920的外壳中。如上所述,负载部分920可以容易地从关节模块的其余部分移除。

[0075] 如图9D所示,关节模块的电子器件部分930可包括与马达相关联并且耦接到马达的各种电子器件。例如,电子器件部分930可包括电路板932上的马达驱动器和/或信号处理器,该电路板位于电子器件部分930的外壳内的马达的后端。通过拆卸模块外壳940的至少一部分,诸如通过移除后盖942(例如,移除紧固件),可以实现对电子器件的访问。

[0076] 虽然机器人臂中的各种关节模块通常可具有与图9A至图9D中所示相同的模块化

结构,但机器人臂中的不同关节模块可具有不同的尺寸(例如,不同的额定值和尺寸的马达),这取决于机器人臂每个关节的空间限制和/或扭矩要求。为了配合在臂联接件或机器人臂中的其他位置,关节模块可具有大体圆柱形轮廓,以便尺寸被设计成在合适的联接件内。

[0077] 安全制动器

一个或多个关节模块可包括安全制动器或失效保护制动器,用于在致动器故障时停止关节模块以及由关节模块连接的臂联接件的运动。例如,致动器故障可能是由功率损耗(例如,由于电路故障、主电源故障)或用于驱动关节模块中致动器的电流损失引起的。故障的另一个示例是多个编码器传感器之间的差异,所述多个编码器传感器用于测量致动器输出或单个关节模块中的关节的旋转位置,这可能指示例如机械部件可能的滑动。由于机器人臂需要动力来操作,任何突然失去该动力可能导致机器人臂的至少一部分由于重力或其他外力而塌缩。如果在外科规程中出现故障,机器人臂的塌缩可能会导致患者受伤、机器人辅助外科系统附近的操作者受伤、机器人臂或外科器械受损、以及/或者其他周围设备和周围环境受损。在发生故障时向致动器施加制动力的失效保护制动器可帮助减少致动器故障和/或其他系统故障的不期望的后果。

[0078] 在一些变型中,安全制动器可以被构造成能够由用户手动地接替,以使得尽管安全制动器被激活,机器人臂也能够移动。例如,在发生系统故障的情况下,机器人臂可能不得不从操作区域拆卸。然而,这种拆卸需要对机器人臂进行命令控制(由于系统故障,这可能是不可能的)和/或人为蛮力操作(由于失效保护制动器将臂关节锁定到位,这可能是不可能的)。相应地,机器人臂可以包括用于接替安全制动器的机构。例如,安全制动器可以被来自用户的手动力所压制,该手动力可能会或可能不会被齿轮箱或用于增加杠杆作用的机构等放大。在一个变型中,机器人臂可包括检修面板(例如,靠近一个或多个关节模块),其例如例用专用工具或曲柄提供进入以便手动压制安全制动器(例如,通过人工为关节模块中的转子提供动力)。除此之外或另选地,安全制动器可以脱离接合,诸如利用按钮或手柄,但是在一些变型中,这种脱离接合机构的位置可以限于用户可能能够手动防止手塌缩的位置(例如,靠近远侧端部,在这里用户只需要支撑器械驱动器的重量等)。

[0079] 优选地,安全制动器重量轻、结构紧凑,并且在启动和接合时产生相对较少的热量(或温度低)。通常,安全制动器具有“制动器打开”模式和“制动器关闭”模式。在一些变型中,制动器可以是偏置制动器(例如,施加弹簧的制动器或永磁体制动器),器在“制动器打开”模式下机械地偏置并且需要一些力来将制动器保持在“制动器关闭”模式,这意味着在发生电源故障时,“制动器打开”模式正在工作。在其他变型中,制动器可以是由储能源(例如,电容器或电池)供电的辅助致动器致动的双稳态制动器。在发生电源故障时,储能源迅速将其存储的能量释放到辅助致动器,后者进入“制动器打开”模式。下面详细描述失效保护制动器的示例性变型。

[0080] 双稳态制动器

如上所述,双稳态制动器由储能源(例如电容器或电池)供电的辅助致动器来致动。图10A至图10G中示出了辅助致动器的一个示例。如图10A所示,用于双稳态制动器的示例性步进器和线圈制动器致动器组件包括具有磁场的磁体1020、磁性地吸引到磁体1020的从动元件1030、配置成选择性地消除磁场的线圈1040,以及被构造成能够激活线圈1040以消除磁

场的至少一个电容器1054。磁体1020可以例如包括具有可以适当地位于线圈1040内部,使得线圈1040在被激活时消除磁场的特征结构(例如,插针)的永磁体。从动元件1030可以由合适的磁性材料诸如铁制成。

[0081] 辅助致动器组件可另外包括步进马达1010,或利用在导螺杆1012上行进并且与磁体1020接合(例如,通过销)的螺母1014来驱动导螺杆1012的其他合适的致动器。可以另外提供PCB 1050或其他电子组件来控制并触发辅助组件。PCB 1050可以例如包括用于步进马达1010的驱动器、一个或多个电容器1054(例如,钽电容器、陶瓷电容器等)或一个或多个小电池、至少一个开关晶体管、状态传感器1056a和/或1056b、状态指示器LED、其他控制元件等。可以在PCB 1050上提供冗余元件,诸如多个电容器和/或多个电池(包括备用电池)。

[0082] 在关节模块的正常或典型操作期间,辅助致动器如图10C所示,处于“制动器关闭”模式。线圈1040未被激活,由此允许来自磁体1020的磁场保持从动元件1030关闭(例如,被无源磁场“休眠”或锁定)。在这种状态下,能量被存储在一个或多个电容器1804中。状态传感器1056a可以根据“制动器关闭”模式检测到从动元件被定位。如图10B的控制示意图所示,PCB 1050可连续地监测所提供的功率(例如24V或48V)并将其与触发阈值水平(例如15V)比较。只要所监测的功率高于触发阈值水平,软件就可以采用高频(例如,每1毫秒)方式周期性地发送“制动器关闭”命令或信号。除此之外或另选地,状态传感器1056a和/或1056b可以验证步进马达的位置和制动器致动的状态。例如,状态传感器1056a可以是检测磁体1020(或螺母1014等)是否处于对应于“制动器关闭”模式的位置的光反射或磁传感器。

[0083] 当PCB 1050由于系统功率低于触发阈值水平而未能发送“制动器关闭”命令或信号时,可能表示电源故障。在表示电源故障(或有意的制动器命令)的情况下,PCB 1050上的电路自动触发一个或多个电容器1054以释放其存储的能量,诸如被动地通过PCB上的开关晶体管以激活线圈1040,该线圈通常抵消磁场。一旦线圈1840被激活,从动元件1020就从磁体1020被释放,如图10D所示。从动元件1020可以行进预定距离(例如,由弹簧控制),继而致动整个双稳态制动器的部件。

[0084] 辅助致动器组件可以自行重新设置以返回到图10C中所示的构型。如图10E所示,步进马达1010可以旋转导螺杆1012以驱动螺母1014、磁体1020(其通过销或其他合适的附接机构与螺母1014接合),和/或线圈1040向远侧朝向释放的从动元件1020。由于此时线圈已经消耗了从电容器接收的能量并且不再抵消磁场,因此磁体1020的磁场可以用于捕获从动元件1020(图10F)。如图10G所示,步进马达1010然后可以沿相反方向驱动导螺杆,以致使螺母1014、磁体1020、从动元件1020和线圈1040移回到“制动器关闭”构型。另选地,可以使用另一合适的机械特征结构(例如,弹簧)来取出从动元件1020并将其返回到“制动器关闭”构型。一旦这些部件返回到“制动器关闭”位置,位于导螺杆近侧端部附近的状态传感器1056a可以验证其存在(和/或位于相对于马达远侧的状态传感器1056b可以验证部件的不存在)来确认制动系统的状态在如“制动器关闭”位置那样。

[0085] 双稳态安全制动器的一个变型例如可以与上述的辅助致动器1000配对,该变型在图11至图13中示出。如图11A所示,棘轮安全制动器模块1100可以设置在转子1110周围的关节模块中,诸如在关节模块中的编码器和控制PCB板之间。

[0086] 参见图11B至图11F,辅助致动器1000的从动元件可以耦接到拉伸弹簧1124的一端,而拉伸弹簧1124的另一端可以耦接到销1122。销1122与设置在安全制动器模块1100内

的凸轮或环1120成一体或耦接到该凸轮或环。安全制动器模块1100还可以包括弹簧偏移和枢转的棘爪1130,其具有在凸轮1120的内表面上进行关联运动的辊1132。每个棘爪1130还包括被构造成能够接合棘轮1140的尖端1134。棘轮1140通过轴承1142设置在转子1110周围。如图11E所示,压力螺母1180(顶板或顶盘)也围绕该转子设置,该螺母螺纹对接到转子1110上。压力螺母1180与棘轮1140配合以压缩包括摩擦垫1150、中间压力板1160和波形弹簧1170的叠堆。该压缩的程度与制动力相关,该制动力在组装期间可通过顶板1162沿着转子轴的位置调节。如图11F所示,压力板1160包括接合转子轴上的纵向凹槽的键1162。

[0087] 图12A至图12C示出了处于“制动器关闭”模式的安全制动器模块1100。与其他双稳态制动器一样,不需要电力来保持这种状态。辅助致动器1000接合磁性闩锁,使得辅助致动器1000中的从动元件被磁性地保持到磁体1020,从而允许销1122(经由弹簧1124附接到从动元件)和凸轮1120保持“制动器关闭”位置。在此位置,枢转棘爪1130的辊1132与凸轮1120内表面上的凸角关联接合,从而保持棘爪尖端1134与棘轮1140脱离接合。

[0088] 图13A至图13D示出了处于“制动器打开”模式的安全制动器模块1100。在电力损失的情况下,辅助致动器1000使磁性闩锁脱离接合(当从动元件被释放时),并且弹簧1124突然拉动凸轮1120旋转(沿图13B所示的逆时针方向)。弹簧加载的棘爪辊1132远离凸轮1120内表面上的凸角做关联运动,从而允许棘爪尖端1134接合并且停止棘轮1140的旋转。当棘轮1140停止时,摩擦垫1150(位于棘轮1140与压力板1160之间)在压力板1160上遭受阻力而停止。由于转子与压力板1160上的轴向键1162接合,因此转子与压力板1160一起遭受阻力而停止,由此导致转子和由关节模块提供的所有致动停止。在此“制动器打开”模式下,安全制动器组件作为单个设定离合器工作。不需要电力就能使制动器保持在这种“制动器打开”模式下。

[0089] 随后,安全制动器模块1100可以被停用并返回到“制动器关闭”状态。如以上关于图10E至图10G所述,辅助致动器可以被重新设置,使得磁性闩锁被重新接合。磁性闩锁的重新接合致使凸轮1120(沿着与图13B中所示相反的顺时针方向)旋转,并棘爪从棘轮1140枢转并且其尖端1134与该棘轮脱离接合。随着棘爪与棘轮1140脱离接合,棘轮1140随着转子在轴承1142上自由旋转。同样,不需要电力就能保持这种“制动器关闭”模式。

[0090] 双稳态安全制动器的另一个变型例如可以与上述的辅助致动器1000的一个或多个实例配对,该变型在图14A至图14C中示出。如图14A所示,关节模块1400可以包括具有马达外壳1412的马达部分1410和具有制动器外壳1422的制动器部分1420。如图14B所示,马达部分1410包括旋转的转子1414和保持静止的定子1416。设置在转子1414周围的是棘轮制动器组件的两个实例,其类似于上面关于图12A至图12C以及图13A至图13D所述的棘轮制动器组件。第一棘轮制动器组件1430可作为具有高扭矩的拦阻制动器起作用,而第二棘轮制动器组件1440可作为具有低扭矩(低于第一棘轮制动器组件1430的扭矩)的离合器制动器组件起作用。

[0091] 如果发生电源故障或系统故障,第一棘轮制动器组件1430可以接合其相应的摩擦垫并且致使转子停止,如上所述。此外,第二棘轮制动器组件1440还可以接合其相应的摩擦垫并提供辅助力(以与第一棘轮制动器组件1430协作以停止转子,或者在转子已经停止之后帮助保持转子的静态位置)。如果转子需要能够在第一棘轮制动器组件停止转子之后移动(例如,用于手动使机器人臂休眠、反向驱动等),则第一棘轮制动器组件1430可从停止的

转子脱离接合(例如,停用并重新接合其磁性门锁),保持第二棘轮制动器组件1440接合。由于第二棘轮制动器组件1440具有较低的扭矩,因此可以用人力克服。而且,尽管图14B和图14C将第二棘轮制动器组件(离合器制动器)描绘为比第一棘轮制动器组件(拦阻制动器)更靠近转子的远侧,另选地第一棘轮制动器组件(拦阻制动器)可以比第二棘轮制动器组件(离合器制动器)处于更远侧。

[0092] 图15A至图15F示出了安全制动器的另一个变型,其可以是双稳态制动器。在该变型中,安全制动器1500可以包括围绕马达的转子布置的至少一个制动带。在电力损失或其他类似故障的情况下,辅助致动器引起制动带绷紧,由此导致制动器处于“制动器打开”模式,在该模式下,其向转子提供夹紧力,从而以摩擦方式阻止转子运动。此外,制动带可以通过有意地命令辅助致动器将制动带释放到“制动器打开”模式而被致动。另选地,制动器1500可以是朝“制动器打开”模式偏置的偏置制动器,其中制动器1500主动要求电力来将制动器保持在“制动器关闭”模式。

[0093] 如图15A所示,安全制动器1500包括包在转子1514周围或以其他方式环绕该转子的一个或多个制动带1530。制动带可以是例如钢或具有适当高拉伸强度的其他材料(或者另选地,橡胶或具有高摩擦性的其他弹性体)。在一些变型中,关节模块可以包括附加制动带(例如,第三制动带和第四制动带)。如图15C和图15D所示,制动带围绕转子包裹多于一个整圆周的总距离,每个端部连接到带连接器块1564a或1564b,使得当带连接器块1564a和1564b被推开时,围绕转子的包裹环收紧。这种包裹构型允许制动器具有用于停止转子的相当大扭矩(即使带由具有低摩擦系数的材料制成),这是由于“绞盘”效应,其以指数方式依赖于总包角,从而导致对辅助致动器的低力要求以及低摩擦要求。例如,最终的制动扭矩可以由capstan公式 $T_{\text{负载}} = T_{\text{保持}} * e^{\mu\phi}$ 来控制,其中 $T_{\text{负载}}$ 是施加在带上的张力, $T_{\text{保持}}$ 是施加在转子另一端的合力, μ 是带与转子之间的摩擦系数, ϕ 是转子周围带的总圈数所扫过的总角(以弧度测量)。

[0094] “制动器打开”和“制动器关闭”模式之间的切换由辅助致动器1550控制。例如,辅助致动器1550可以包括双极步进马达。步进马达可驱动导螺杆,致使致动器螺母1560沿垂直于制动带1530和1540的平面的方向线性移动。致动器螺母1560耦接到弯曲连杆1562,该连杆被构造成能够将带连接器块1564a和1564b拉到一起以及将其推开。如图15E所示,当辅助致动器1550主动地朝向致动器螺母1560推动并致使弯曲连杆1562将带连接器块1564a和1564b拉在一起时,制动带在“制动器关闭”模式下径向扩展。相反,如图15F所示,当辅助致动器1550拉回致动器螺母1560时,弯曲连杆1562将带连接器块推开并且制动带在“制动器打开”模式下收紧。此外,辅助致动器组件可以包括扭力弹簧1570,该扭力弹簧被构造成能够使致动器螺母1560朝向用于“制动器打开”模式的构型推动或稍微偏置。相应地,制动器接合所需的能量部分地由扭力弹簧1570提供,并且与脱离接合制动器所需的扭矩相比,可以使用较低扭矩来驱动(并且以较快速度驱动,以便更快地对电力损失或系统故障做出反应)步进马达以接合制动器。

[0095] 辅助致动器1550可以由图15所示的PCB 1570控制,其中PCB 1570可以包括各种电子部件,诸如用于产生步进马达驱动信号的微处理器、马达驱动器集成电路,以及用于为在系统电源故障情况下为步进马达的致动供电的至少一个备用电池(例如锂离子)。备用电池可以在机器人臂系统通电时自动充电,使得备用电池在机器人臂系统丢失电力的情况下始

终有电。发送到步进马达的驱动信号可以致使步进马达沿一个方向(对应于“制动器关闭”)或相反方向(对应于“制动器打开”)旋转。例如,在借助图15G和15H所示的一个示例性实施方案中,PCB 1570可以被设计成使得在系统电力损失(例如,约24V的系统电源突然下降到约零)时,备用电池自动地致使到辅助致动器的电源线跳到阈值功率水平(例如,从约4.8V到约5V),由此自动触发致动到“制动器打开”模式。在系统电力恢复(例如,系统电源再次为约24V)时,辅助致动器然后可以使制动器脱离接合。在一些变型中,在使制动器脱离接合之前,辅助致动器可以等待延迟时间(例如,一些毫秒数),这可以允许关节模块致动器驱动器重新进行控制。除此之外或另选地,PCB 1570可以具有开关输入以根据命令激活“制动器打开”或“制动器打开”动作。除此之外或另选地,PCB 1570可以还包括用于监测电源并将功率与触发阈值进行比较的电子器件,类似于上文关于辅助致动器1000所述。

[0096] 接触点和其他用户界面元素

在一些变型中,如图16A至图16C所示,机器人臂可以包括多个“接触点”,这些“接触点”是臂的被构造成能够接收特定用户交互的区域。接触点可以与接收在接触点处接收到的命令并且基于接收到的接触点命令向一个或多个关节模块提供致动(和/或输出其他合适的命令)的控制系统电连通。除此之外或另选地,接触点可以直接耦接机器人臂的一部分以用于控制该手臂的一个方面(例如,与某个关节模块致动器直接通信以控制相关联的关节)。例如,机器人臂联接件中的至少一个可以包括方向垫(例如,十字形按键、一组上下左右按钮等),其可以用于当例如机器人臂在重新定位模式下操作时(下面进一步描述)控制期望的臂运动。其他特征结构,诸如手柄、操纵杆、带、按钮开关、电容式传感器(例如,倾斜电容式传感器、电容式滚轮等)、机械滚轮、压力传感器、力阻抗传感器和/或照相机等,可以除此之外或另选地用于提供用于手动操纵机器人臂的用户交互点。例如,如图16A和图16B所示,机器人臂可以包括用于电容感测、压力感测和/或力感测的模块1610。又如,如图16C所示,机器人臂可以包括倾斜盘形盖1620。在其他变型中,用于操纵机器人臂的一个或多个接触点可以位于系统中的其他地方,诸如器械驱动器上的按钮处。

[0097] 一个或多个接触点可以被构造成能够接收指示用户对特定控制模式(例如,下面进一步描述的任何控制模式)的选择的人工输入。在一些变型中,力阻抗传感器也可以提供位置信息,使得控制模式可以相对于力的位置和/或取向来打开/关闭。除此之外或另选地,可以使用其他力和/或扭矩传感器来提供信息以补充到接触点控制机构的输入。对这些接触点的用户操纵可以导致模拟信号或数字信号(可以定义阈值来识别模拟信号是否表示肯定选择或输入)。

[0098] 可以实现对接触点的操纵的不同定时和组合。例如,可以在“按压并保持”交互时选择一个或多个控制模式(例如,只要压力传感器或电容式传感器检测到足够的力或在触摸点上存在用户接触,该控制模式就会持续)。又如,可以在单次接触或足够的力(或持续预定阈值持续时间的接触或超过预定力阈值的力)时选择和/或随后取消选择一个或多个控制模式。

[0099] 另外,机器人臂可以包括被构造成能够向用户提供关于机器人臂和/或器械驱动器的信息的多个电子器件。例如,机器人臂可以包括提供关于臂和/或器械驱动器的操作状态的听觉指示的扬声器。又如,机器人臂可以在至少一个机器人臂联接件上包括一个或多个指示灯(例如,LED)。指示灯可以通过颜色和/或频率或照明持续时间(例如,闪烁频率)来

传达信息。这样的信息可以包括例如控制模式、控制状态、系统故障、臂关节限制的到达或接近、方向、冲突解决、器械更换、器械寿命、器械类型等。例如,单个指示灯可以用绿色来表示正常运行状态,用黄色或红色表示故障或其他错误。又如,一些或全部的指示灯可以以特定的颜色模式被照亮以表示器械类型(例如,图17B)。另外,一组多个指示灯的照明图案可以传送与特定类型的错误相关的代码(例如,四个灯上的开-关-开-开照明图案,诸如图17C所示,可以传达特定故障)。指示灯可以除此之外或另选地传达关于机器人辅助外科系统的其他部分的信息。在图17A至图17C所示的一个示例性实施方案中,指示灯可以是与用户通信的照明模块的一部分。如图17A所示,光环模块可以包括多个LED(例如,以环形、条形或其他合适的图案布置在底座1710上),设置在这多个LED上以均匀地漫射光的光管边框1720,以及用于控制所有这些多个LED的照明的微控制器(例如,在PCB上)。其他照明元件(例如,激光二极管等)可以除此之外或另选地包括在照明模块中。光管边框可以坐落在用于臂联接件的外壳1730中、器械驱动器的一部分中或在机器人臂上或附近的任何其他合适的位置。光管边框可以例如包括丙烯酸或任何合适的光耗散或光传播材料。在一些变型中,接触点,诸如操纵杆或按钮,可以被定位在照明模块附近。

[0100] 又如,如图16D所示,机器人臂可以包括显示器屏幕1630,其被构造成能够以文本方式和/或图形方式显示操作状态、故障、其他错误和/或其他合适的信息。指示器电子器件可以安装在例如前臂联接件上(或者在图1C所示的关节模块134e和134f之间),其可以是指示器电子装置对站在患者侧(例如,手术台旁边)的用户通常至少部分可见的位置。在一些变型中,显示器屏幕可以包括通过用户界面(例如,具有菜单、按钮、滑块的GUI和/或用于操作机器人臂的其他合适的控件)接受用户输入的触摸屏。显示器屏幕可以包括任何合适的屏幕,诸如LCD和/或电容式触摸屏。

[0101] 此外,如图1D所示,机器人臂可以包括精确定位离合器170,在被接合时,它被构造成能够基本上限制或锁定(或基本上限制偏离)第二臂区段150(球形臂区段)的姿势的至少一部分,同时使得第一臂区段110(笛卡尔臂区段)的关节模块能够移动。限制第二臂区段150的姿势的至少一部分例如可以通过向第二臂区段150中的一些或全部关节模块发送保持其各自旋转位置的电流命令来实现,即使通过重新放置第一臂区段110而使整个第二臂区段150整体地休眠。例如,在将机器人臂对接到位于患者的端口中的插管时,该功能性可能是有用的,以便提供精确定位功能(即,促进臂响应于用户定位引导的小幅运动)。在一个示例性实施方案中,当精确定位离合器170接合时,球形臂中只有第七关节模块134g基本上受到限制(例如,限制为在相对于与离合器170接合时的参考锁定位置的一个或两个方向的10度内、5度内或2度内等内移动)或锁定(例如限制为基本上不相对于参考锁定位置移动),而该臂中的其他关节模块(例如,第一、第二、第三、第四、第五和第六关节模块)可以被致动而不受限制地移动。在另一个示例性实施方案中,当精确定位离合器170接合时,第六关节模块134f和/或第七关节模块134g两者被基本上限制或锁定,而第一臂区段110中的关节模块可以被致动而不受限制地移动。在精确定位离合器接合后,受到限制和/或锁定的关节模块和活动关节模块的其他组合也是可能的。在一些变型中,精确定位离合器170可以位于第二臂区段150上,诸如在俯仰连杆组件156上或靠近器械驱动器的另一合适位置处,在该处精确定位离合器170可以容易地由靠近病人的端口站立的用户触及。

[0102] 精确定位离合器170可以包括任何合适的机构。例如,上述任何接触点都可以作为

精确定位离合器工作。在机器人臂的一些控制模式中,精确定位离合器170可以朝“脱离接合”模式偏置,以便默认地改变整个机器人臂的姿势,并且只有在精细定位离合器170接合使才会限制球形臂的运动。除此之外或另选地,在一些控制模式下,诸如在对接模式的一个变型中,精确定位离合器170可以朝“接合”模式偏置,以便能够改变仅第一臂区段110的姿势,除非精确定位离合器170脱离接合。此外,在一些变型中,机器人臂100可以包括一个或多个其他离合器,这些离合器类似地以当前姿势锁定一组联接件,同时以任何合适的组合实现另一组联接件之间的相对移动。

[0103] 控制器

机器人辅助外科系统可以包括控制机器人臂(或多个机器人臂,如果机器人辅助外科系统包括多于一个的机器人臂)的动作的控制系统。如图18所示,该控制系统可以包括一个或多个处理器1850(例如,微处理器、微控制器、专用集成电路、现场可编程门阵列和/或其它逻辑电路)。处理器1850可以物理地位于机器人臂本身上、位于车载单元或其他合适的结构中,可以能够通信的方式链接到控制台(例如,用户界面)。控制系统还可以包括一组多个马达控制器(例如,1854a、1856a、1858a、1860a、1862a、1864a和1866a),每个马达控制器以能够通信的方式耦接到处理器1850并专用于控制和操作在机器人臂的相应关节模块中的至少一个致动器(例如,1854b、1856b、1858b、1860b、1862b、1864b和1866b)。

[0104] 来自马达控制器的信号可以通过捆扎的(例如,在线束中)并且在机器人臂的臂联接件和关节模块的内部容积内通过的有线连接被传送到致动器。在一些变型中,有线连接可以捆扎在一起,诸如在线束中。此外,联网硬件的物理层可以被设计成减少由开关瞬态或由马达驱动器在致动关节模块时产生的突然能量爆发引起的电干扰。例如,物理层可以包括RS485型收发器、光电隔离和/或变压器耦接接口以减少这种干扰。

[0105] 在一些变型中,可能需要减少机器人臂内的全部导线的数量,这将减小导线束或线束的轮廓并且简化通过联接件和活动关节模块的导线的布线。例如,布线连接可以以菊花链环构型布置,其中用于与节点(例如,致动器或传感器)进行通信的布线被减少为前往节点的一个线对以及从节点出来的另一个线对。此外,机器人臂内部布线的菊花链环形构型可以延伸到机器人辅助外科系统的其余部分(例如,其他机器人臂)。因此,菊花链环构型的延伸例如可以减少节点与控制系统之间的数据交换(例如,命令和反馈信息)的时间延迟。菊花链环构型还可以分配可用于将所有致动器节点锁相或同步到控制系统的定时信息,这有助于确保来自所有致动器节点的反馈信息被同步生成,由此能够实现更精确的控制回路以控制一个或多个机器人臂的行为。

[0106] 如图19所示,控制系统可以被构造成能够基于一个或多个控制模式来致动至少一个关节模块。例如,控制模式可以被分类为原始模式(其控制用于致动至少一个关节模块的基础行为)或者分类为用户模式(其控制更高级别的任务特定行为并且可以利用一个或多个原始模式)。在一些变型中,用户可以通过用户界面设备(例如,从操作命令列表中选择特定模式)或者通过激活按钮、触摸屏或其他接触点表面(诸如上述的在机器人臂表面上的那些)来选择特定控制模式。在用户接合特定接触点表面时,各种控制模式之间的切换可以例如由状态机/控制器来处理。

[0107] 原始模式

在一些变型中,原始模式可以是使机器人臂能够执行特定任务(例如,致动关节模块来

增大或减小关节模块任一侧上的臂联接件之间的角度)的最小功能块。如图19所示,原始控制模式的一个示例是关节命令模式,其允许用户单独地直接控制单个关节模块致动器,和/或共同地控制多个关节模块致动器。在关节命令模式下,可以逐关节地指挥机器人臂。这些命令是直接的或“直通”的,因为输出与输入相同。例如,控制系统的输入/输出包括关节模块索引(例如,定义哪个关节模块与该命令相关联的索引)、命令模式的指示(定义命令是控制关节模块中的一个或多个致动器的电流还是电源,关节模块中的一个或多个致动器的旋转位置,关节模块中的一个或多个致动器的旋转速度等)以及参考命令的指示(指示的电流、位置、速度等的值)。在一些变型中,关节命令模式可以包括关节模块和/或致动器级别上的一些错误处理步骤。例如,关节命令模式可以包括检查关节命令将不会致使关节模块超过其物理限制,和/或检查关节命令将不会超过一个或多个致动器的电流限制。在一些变型中,关节命令模式可以例如用于系统调试和测试。

[0108] 如图19所示,原始控制模式的另一个示例是重力补偿模式,其中机器人臂将自身保持在特定姿势(即,联接件和关节模块的特定位置和取向),而不会因重力向下漂移。在重力补偿模式下,控制系统确定作用在机器人臂中的联接件的至少一部分上的重力。作为响应,控制系统致动至少一个关节模块以抵消所确定的重力,使得机器人臂可以保持当前姿势。为了确定重力,控制器可以基于测量的相邻联接件之间的关节角度、机器人臂和器械驱动器的已知运动学和/或动力学性质、和/或致动器的已知特性(例如齿轮比、马达扭矩常数)等。此外,机器人臂可以包括至少一个加速度计或其他被构造成能够确定施加到臂上的重力的方向的合适传感器。基于这些计算,控制器可以在算法上确定需要在每个关节模块处施加什么力才能补偿作用在该关节模块上的重力。例如,控制器可以利用正向运动学算法、逆向动力学算法或任何合适的算法。控制器然后可以生成一组命令以向关节模块中的致动器提供将机器人臂保持在相同姿势的适当水平的电流。重力补偿模式可以例如单独地使用或与下面描述的用户模式中的其他模式组合使用,诸如对接模式、盖布模式、设置模式和/或器械更改模式(例如,将外科器械耦接到器械保持器,用新的外科器械更换器械保持器中的现有外科器械等)。

[0109] 如图19所示,原始控制模式的另一个示例是摩擦补偿模式或主动反向驱动模式。通常,用户可能想要直接操纵(例如,拉动或推动)一个或多个臂联接件以将机器人臂布置成特定的姿势。这些动作反向驱动机器人臂的致动器。然而,由于机械方面的摩擦,诸如关节模块中的高齿轮比,用户必须施加相当大的力才能克服摩擦并成功地移动机器人臂。为了解决这个问题,摩擦补偿模式使得机器人臂能够通过沿着实现用户期望的姿势所需的方向主动地反向驱动适当的关节模块,来帮助用户移动机器人臂的至少一部分。因此,用户可以用更不容易感知的摩擦或者具有明显的“轻量”感觉来手动操纵机器人臂。在一些变型中,控制器还可以结合预定义参数(例如,力的持续时间)以帮助区分偶然的运动(例如,臂的短暂颠簸)和臂位置中的突然预期变化,然后在运动被确定为偶然的情况下校正或者重新确定臂位置。在摩擦补偿模式下,控制系统确定作用在至少一个关节模块上的用户施加的力的存在和方向(直接地或间接地作为一个或多个臂联接件上的力)以反向驱动该关节模块中的致动器。作为响应,控制系统以与用户施加的力相同的方向致动该关节模块,以帮助用户克服静摩擦或动摩擦。为了确定用户施加的力的存在、大小和方向,控制系统可以监测关节模块或机器人联接件的速度和/或位置(例如,利用力或扭矩传感器、加速度计

等)。此外,当处于摩擦补偿模式时,控制系统可以将抖动电流信号发送到(例如以零为中心的正弦波或方波,频率为约0.5Hz至1.0Hz或其他合适的频率,并且幅值处于两个方向上的摩擦带内)一个或多个关节模块,使得关节模块准备好接近但不完全克服任一致动器方向上的摩擦。响应于确定用户施加的力的存在和方向,控制系统然后可以生成一组命令以向关节模块中的致动器提供合适的电流水平,从而以更高的响应性来克服摩擦。摩擦补偿模式可以例如在器械更改等期间单独使用或与其他模式组合使用。

[0110] 如图19所示,原始控制模式的另一个示例是轨迹跟随模式,其中机器人臂可以移动以跟随一个或多个笛卡尔轨迹命令组成的序列。轨迹命令可以包括例如速度命令(根据线性和/或角度运动而构建)或目标姿势命令(根据联接件和关节模块的最终目标位置和取向而构建,诸如用于特殊类型的外科手术的模板姿势)。如果命令是需要大量联接件运动才能从当前姿势转变到目标姿势的目标姿势,则控制系统可以生成轨迹(定义必要的联接件运动)。如果该命令涉及与当前姿势相同的目标姿势,则控制系统可以有效地生成轨迹命令,从而导致符合命令的“保持”位置。例如,轨迹可以基于输入,包括:符合命令的速度或姿势(例如,变换矩阵、旋转矩阵、3D矢量、6D矢量等);待控制的臂联接件;测量的关节参数(角度、速度、加速度等);工具参数(类型、重量、尺寸等);和环境参数(例如,臂联接件被阻止或禁止进入的预定义区域等)。然后控制系统可以使用一个或多个算法来生成固件的符合命令的关节参数(位置、速度、加速度等)的输出和/或作为固件的电流前馈的符合命令的马达电流。用于确定这些输出命令的合适的算法包括基于正向运动学、逆向运动学、逆向动力学、和/或碰撞避免(例如,臂联接件之间的碰撞、机器人臂的不同实例之间的碰撞、臂与环境之间的碰撞等)。轨迹跟随模式可以例如单独地使用或者与下面描述的用户模式中的其他模式组合使用,诸如对接台模式、盖布模式、设置模式和/或器械更改模式。

[0111] 如图19所示,原始控制模式的另一个示例是阻抗控制模式,其允许机器人臂在不使用力和/或扭矩传感器的情况下顺应虚拟环境。通常,阻抗控制调节机械系统的机械阻抗。系统的机械阻抗被定义为系统的力输出与系统运动输入之比。通过控制系统的机械阻抗,可以控制系统对环境施加的外部运动的抵抗力大小。例如,阻抗控制模式可以使用弹簧和阻尼系统来模拟周围环境,其中弹簧常数限定了模拟弹簧的力输出,并且阻尼常数限定了给定速度输入的力输出。在一些变型中,阻抗控制模式的一个应用是创建和使用虚拟夹具或触觉,使得机器人臂可以完成顺应定义的限制的操作(即移动),诸如环境和/或应用于机器人臂的一种或多种虚拟几何约束。虚拟夹具的一种示例性类型是“禁止区域”虚拟夹具,其防止臂进入环境中的预定空间(例如,为了避免碰撞)。虚拟夹具的另一个示例性类型是“引导”虚拟夹具,其通过以几何方式约束臂的运动范围(例如,约束臂联接件的相对运动)来向臂提供引导运动。阻抗控制模式中的控制技术可以被构建为控制关节空间(控制每个关节模块的致动)和/或笛卡尔空间(控制空间中的臂位置)。控制算法的输入可以包括机器人臂的一个或多个部分的测量关节角度和/或速度、所选虚拟夹具构型以及机器人臂上目标控制点的位置。控制系统然后可以使用一个或多个算法来生成命令关节致动器参数(所需的电流/扭矩等)和/或遵从施加的约束的状态。用于确定这些输出命令的合适的算法包括基于正向运动学、逆向运动学、逆向动力学、碰撞避免(例如,臂联接件之间的碰撞、机器人臂的不同实例之间的碰撞、臂与环境之间的碰撞等)和/或虚拟力渲染(使用虚拟模型诸如几何形状、质量、弹簧和阻尼等)。阻抗控制模式可以例如在器械更改期间单独使用或

与其他模式组合使用。

[0112] 如图19所示,原始控制模式的另一个示例是导纳控制模式,其允许机器人臂根据虚拟模型(例如,虚拟质量/惯性属性)响应于感测到的用户力。例如,响应于测量指向机器人臂的用户力的一个或多个力/扭矩传感器,实际机器人臂可以采用与虚拟臂模型在用户以相同方式在虚拟臂模型上推/拉时相同的方式移动。在一些变型中,至少利用臂中的一个或多个关节模块中的扭矩传感器来测量用户力。在其他变型中,至少利用机器人臂的一个或多个联接件上的六DOF力/扭矩传感器(例如,诸如上述的六DOF传感器)或综合检测六个DOF的多个传感器(例如,两个3 DOF传感器)来测量用户力。控制系统可以将以下内容作为输入:实际的力/扭矩传感器读数;将实际机器人臂映射到虚拟模型的力/扭矩传感器变换;将参数映射到机器人臂的已知参考系的虚拟模型变换;其他虚拟模型属性;和/或机器人臂和器械驱动器运动学。然后,控制系统可以使用一个或多个算法来生成命令以使关节模块致动器产生特定的电流、扭矩、关节位置和/或其他合适的关节模块参数,从而致使机器人臂根据虚拟模式移动。用于确定这些输出命令的合适算法包括基于虚拟模型的正向运动学、逆向运动学、逆向动力学、碰撞避免和/或正向动力学的算法。例如,导纳控制模式可以在端口对接或器械更换期间单独地使用或与其他模式组合使用。

[0113] 用户模式

在一些变型中,用户模式可以是在原始模式之上的控制模式,因为用户模式可以结合上述的一个或多个原始模式。用户模式允许用户在外科手术的不同阶段期间(例如,在术前设置和测试、外科手术、术后拆除和存储期间)采用多种不同方式与机器人臂进行物理交互。例如,某些用户模式允许机器人臂根据所结合的原始模式的特定组合而以某种方式作出反应。另外,某些用户模式可涉及预定序列的自动化移动步骤,其被设计为提高外科手术的特定阶段的效率。许多用户模式彼此互斥并且不能同时被选择,但是一些用户模式(例如,遥控操作模式和虚拟RCM模式)可以并行操作。

[0114] 如图19所示,用户模式的一个示例是空闲模式,其中机器人臂可以处于当前臂姿势或默认臂姿势,等待进一步的命令或指令。在一个变型中,空闲模式结合上述的轨迹跟随模式,将目标姿势定义为与当前姿势相同,由此形成符合命令的“保持”位置。在另一个变型中,空闲模式除此之外或另选地结合上述重力补偿模式。

[0115] 如图19所示,用户模式的另一个示例是设置模式,其中机器人臂可以从第一姿势(例如,用于存储和运输的折叠构型)转变到默认姿势(例如至少部分地延长),诸如默认设置姿势或针对特定类型的外科手术的预定模板姿势。另外,机器人臂可以通过完成动作项目的预定检查表(例如,安全性和功能检查)来初始化自己。向默认姿势和/或检查表完成的转变可以是至少部分自动的或自主的。机器人臂的准备可以由用户和/或监督控制系统来确认。当机器人臂处于设置模式时,用户可以在机器人臂上执行各种术前任务,诸如检查(例如以目视或手动方式)、清洁、盖布等。

[0116] 如图19所示,用户模式的另一个示例是安装模式,其中机器人臂连接到操作平台(例如手术台或手推车)和/或被初始化以便于设置。例如,在连接到操作平台的同时,机器人臂可以处于当前臂姿势(例如,在设置模式中的动作序列结束时实现的默认姿势)。类似于空闲模式,对接台模式可结合轨迹跟随模式,从而形成符合命令的“保持位置”,和/或可结合上述的重力补偿模式。

[0117] 如图19所示,用户模式的另一个示例是盖布模式,其中机器人臂有利于无菌屏障耦接到机器人臂(以保持机器人臂与外科器械之间的无菌屏障)的过程。例如,在盖布模式下,机器人臂可以自动地将其自身移动到预定的盖布姿势,诸如远离患者并且更靠近外科手术助手,这改善了进入需要附接无菌屏障的区域的通路(例如,在器械驱动器上的器械附接点)。外科手术助手可以例如在手术台周围走动到处于盖布姿势的多个机器人臂中的每一个,以依次将无菌屏障附接到每个单独的机器人臂。或者,多个机器人臂可以自动移动成更靠近外科手术助手,使得外科手术助手可以保持不动,从而提高设置效率。例如,当第一机器人臂上的无菌盖布操作完成并且第二机器人臂准备好以类似的方式盖布时,控制系统可以将第一机器人臂移动到另一个位置并且可以使第二机器人臂更接近外科手术助手(例如,在使用传感器自动检测无菌屏障附接之后,和/或在用户命令表明盖布完成之后)。此外,在盖布期间,用户可以能够调节机器人臂的形状和位置以适应特定环境,诸如房间中的杂乱、患者的体型和/或执行盖布的外科手术助手的有限高度。在一些变型中,盖布模式可以结合关节命令模式和/或重力补偿模式来控制机器人臂。

[0118] 如图19所示,用户模式的另一个示例是对接模式,其中机器人臂促进用户将机器人臂附接到患者上的端口(通过预先插入患者体内的插管)的过程。为了进行微创手术,机器人臂的远侧端部通常使用粗略定位或粗定位以及精确定位步骤刚性地门锁到该端口。在粗略定位期间,外科手术助手可以通过抓取、推、拉或以其他方式手动地直接操纵臂(或者在抓住手柄时,或者通过操纵操纵杆、十字按键或其他用户界面接触点)来手动引导机器人臂的远侧端部更靠近端口(例如,在大约6英寸内,或距离端口其他合适的距离内)。在粗定位期间,可以如上所述在臂关节施加重力补偿和/或摩擦补偿。此外,在一些变型中,为了防止意外或无意的颠簸致使臂不期望地移动,可能需要用户手动施加的力来在用户的力导致臂移动之前克服阈值虚拟弹簧力。在精确定位期间,外科手术助手可以进一步手动引导机器人臂的远侧端部以耦接到插入端口中的插管。通过使用精确定位离合器170(例如,位于球形臂150上,靠近器械驱动器,如图1D所示并且如上所述),诸如触发器、按钮、开关等,可以进一步实现精确定位。在精确定位离合器170接合时,第一臂区段(笛卡尔臂区段)的连杆可以在类似于粗略定位期间的用户引导下移动,同时锁定第二臂区段(球形臂区段)的连杆的至少一些关节模块,使得第二臂区段的至少一些连杆不会相对于彼此移动。在这些步骤期间,控制系统可以在上述重力补偿模式和/或摩擦补偿模式下操作机器人臂。

[0119] 如图19所示,用户模式的另一示例是遥控操作模式,其中机器人臂在外科手术期间由用户界面设备远程控制。当处于远程操作模式时,笛卡尔臂区段通常可以在空间中固定(由此保留机械RCM和端部执行器的相应运动范围),并且端部执行器的运动可以由球形臂区段和器械驱动器控制。远程操作模式可以结合上述的重力补偿模式、轨迹跟随模式和/或阻抗控制模式。在一些变型中,当机器人臂处于远程操作模式时,轨迹跟随模式和/或阻抗控制模式可以关注于避免碰撞(例如,与其他机器人臂碰撞)。

[0120] 如图19所示,用户模式的另一个示例是重新定位模式,其中用户可以在不改变端部执行器器械位置和取向的情况下使机器人臂移动到新姿势。由于机器人臂的冗余自由度,这种重新定位是可能的。例如,当机器人臂在器械驱动器周围移动时,机器人臂的远侧端部可以保持停对端口(允许机械RCM和器械在空间中保持固定)(例如,在上述“低”或“高”臂位置和“翻转”臂位置之间切换)。在重新定位模式中,控制系统知道器械位于何处,

并且在用户重新定位机器人臂时跟踪臂的运动,以避免与机器人臂碰撞。或者,机器人臂可以在器械仍然插入患者体内时与器械脱离接合,然后机器人臂可以会重新定位并随后重新接合器械。在机器人臂稳定到新姿势并与器械重新接合之后,控制系统可以启动检查以帮助确保器械的功能和控制正常工作。重新定位模式可以结合上述的重力补偿模式、轨迹跟随模式和/或阻抗控制模式。

[0121] 作为一个示例性实施方案,当机器人臂处于重新定位模式时,整个机器人臂可以通过重力补偿来操作。机器人臂的第一区段的至少一部分(例如,笛卡尔臂区段的至少一部分)可以是被动的,其中关节模块被动地反向驱动。机器人臂的第二区段的至少一部分(例如,球形臂区段的至少一部分)可以是主动的,其中关节模块在轨迹跟随模式下被锁定在活动的“保持”位置,以便保持RCM和端部执行器位置/取向。在机器人臂接收机器人臂上的用户力(例如,推力或拉力)之后,用户力被传播到被动关节模块并且致使被动关节通常根据用户力运动,并且存在某些约束(例如,通过阻抗控制来实现)。特别地,某些特征结构(例如,被动臂区段的最远侧端部)可以被约束在虚拟夹具的表面上,诸如大致球形的表面,使得被动臂区段只能够在未被虚拟夹具禁止的区域内移动。虽然被动臂区段在移动,但主动臂区段中的关节模块可被主动地驱动以保持基本恒定/稳定的器械和RCM位置和角度,尽管被动臂区段被推到虚拟球面上的新位置。如图19所示,用户模式的另一示例是虚拟RCM模式,其中机器人臂建立与机械远程运动中心不重合的虚拟远程运动中心。虚拟远程运动中心是软件与机械设计相结合的结果。通常,在外科手术中,通过固定笛卡尔臂区段的姿势并移动球形臂区段(即,在远程操作模式期间)来保留机械RCM。然而,在虚拟RCM模式下,机械RCM可以移动以便在机器人臂和患者之间产生更好的物理间隙,同时保持端部执行器在虚拟RCM的先前有效的运动范围。虚拟RCM是通过移动笛卡尔臂区段和球形臂区段两者来实现的,因为笛卡尔臂区段形成机械RCM和虚拟RCM之间的偏移。与机械RCM相反,虚拟RCM可以动态地改变,诸如在外科手术期间或在不同的外科手术之间。在一些变型中,虚拟RCM模式可以结合重力补偿模式和轨迹跟随模式,或者可以结合重力补偿模式和阻抗控制模式。

[0122] 在一些情况下,虚拟RCM可以具有顺应性,因为虚拟RCM不是被约束到一个点,而是可以被约束到一个平面,该平面通常垂直于器械轴轴线并且在相对于机械RCM的指定高度与器械轴轴线相交。在这些情况下,笛卡尔臂的关节以重力补偿模式、主动反向驱动模式和/或阻抗控制模式下操作,使得关节允许臂响应与虚拟平面一致的力,但抵抗垂直于该平面的力。球形臂的关节(例如J6和J7)和器械驱动器的关节仍处于轨迹跟随模式,从而允许用户可选地继续驱动器械并进行手术。这允许机器人臂自然地找到在患者组织上产生少量力的枢转点,同时防止器械和插管被拉进或推进患者体内或从患者体内移出。例如在具有大的器械运动范围(例如,多象限程序)的情况下,这种操作模式可以是有用的,在这种情况下,只有单个固定的枢转点可能并不理想。在其他情况下,诸如对具有较厚组织层的超重/肥胖患者进行手术的程序,以及插管和器械在肋骨之间通过的胸科手术也可以受益于这种具有具有顺应性的虚拟RCM模式。顺应虚拟RCM模式可以与遥控操作模式结合使用,或者可以由用户选择性地和间歇地采用。这种模式在手术期间手术台倾斜的情况下也可以是有用的,因为它允许臂顺从地跟随由手术台移位引起的患者组织中的任何移位(例如,从Trendelenburg卧位移到反Trendelenburg卧位)。

[0123] 如图19所示,用户模式的另一个示例是器械更改或器械改变模式,其中机器人臂

的多个关节模块可用于将外科器械移入或移出插管(例如沿器械轴线H平移)至超过通过单独致动最远侧关节模块可获得的运动范围。通过将外科器械进一步移出插管(例如,利用例如由马达操作的致动插管闩锁机构,使得插管可以在没有用户手动直接辅助的情况下被分离),机器人臂可以容易地在插管和器械之间对接或改变。在一些变型中,器械更改模式可以除此之外或另选地允许自动更改器械,其中控制系统命令自动将器械从插管中取出、改变端部执行器末端或器械,并将机器人臂重新对接到插管。各种选定的端部执行器末端可以在表面(例如手术台)上以预定顺序排列,使得控制系统可以定位并识别用于自动器械改变操作的期望的端部执行器末端。在一些变型中,器械更改模式可以结合重力补偿模式和轨迹跟随模式。

[0124] 可以将其他用户模式编程到控制系统中,结合并组合上述各种控制模式的各个方面。例如,用户模式的另一个示例是术后模式,该模式可与设置模式类似,不同的是某些步骤可能以不同的顺序发生(例如,系统检查,随后将机器人臂折叠成折叠构型以便于存储)。术后模式还可以包括触发完整的关机循环。其他可能的模式包括维修模式、清洁模式(例如,将机器人臂移动到完全伸展的姿势以增加在清洁或消毒过程中暴露的表面积)、检查模式、游行或营销模式(例如,预先编程的一系列演示姿势运动)、循环测试模式和/或任何其他合适的模式。

[0125] 软件可更新性

在一些变型中,机器人外科系统还可以包括用于控制机器人臂和/或其他部件(例如,器械驱动器)的操作的一个或多个处理器。例如,机器人外科系统可以包括控制台或控制塔,其包括一个或多个计算机或其他合适的计算机装置。例如,如图18所示,控制台1852可以能够通信的方式耦接到控制一个或多个机器人臂的马达控制器的至少一个处理器1850。

[0126] 控制台1852可以包括可以周期性地或间歇性地改变(例如升级)以改变对机器人外科系统的机器人臂和/或其他部件(例如,手持式用户界面装置)的控制的软件。有利的是,例如,更新控制机器人臂的操作的软件可以实现机器人臂的不同功能和特性,而不用更换机器人臂的实际硬件。此外,在一些变型中,软件(在特定软件版本内或在不同软件版本之间)可以特定于操作机器人外科系统的外科医生或其他用户,和/或以其他方式由用户定制。

[0127] 例如,软件的一个不同版本可以提供较新版本的控制模式和/或控制算法。例如,软件的一个新版本可以提供新的重力补偿模式,其更准确或更快地(通过更快的计算过程等)抵消作用于机器人臂上的重力。又如,软件的一个新版本可以提供与用于虚拟RCM和/或虚拟夹具的新方案(参数、边界、阻抗值等)。

[0128] 又如,软件的一个不同版本可以为机器人臂提供不同组的模板或预定姿势(例如,上述的“低”、“高”和/或“翻转”臂构型的不同变型)。

[0129] 在其他示例中,软件的不同版本可以特定于患者、特定于患者类型和/或特定于外科手术类型等。例如,某些预定的机器人臂姿势或构型可以针对较小的患者(例如,儿科患者)而更加优化,而其他机器人臂姿势或构型可以针对较大的患者而更加优化。

[0130] 又如,软件的不同版本可以在显示器、触摸屏等上提供图形用户界面的较新版本,用户可通过其观看机器人臂的特征(例如,控制模式、操作错误或警告等),其中图形用户界面的较新版本可以包括对例如菜单的布局和内容的更改。

[0131] 可以通过例如经有线和/或无线连接从存储介质(例如,硬盘驱动器、闪存驱动器、软盘,云存储)传输文件来管理对臂的软件更新。控制台1852(或其他控制计算机装置)的软件更新可以周期性地(例如,每天、每周、每两周、每个月、每两个月、每半年、每年等)诸如从先前存在的存储介质或其他来源推送或拉送。除此之外或另选地,可以响应于用户输入(例如,用户在用户界面上选择以更新软件)来触发软件更新。

[0132] 消毒

在一些变型中,可能期望机器人臂在用于机器人辅助外科系统之前经过消毒,以便减小不经意地将细菌和其他病原体传播给患者的可能性。例如,机器人臂可以被消毒,然后(例如,用袋子、包裹物或其他适当密封的覆盖物)覆盖以保持其无菌状态。又如,机器人臂可以首先被覆盖,然后通过盖子进行消毒,此盖子随后可以保持机器人臂的无菌状态。随后可以对消毒和装袋的机器人臂进行搬运,不用担心在整个包装、运输等过程中保持无菌状态,直到在无菌使用区域(例如手术室)中移除。合适的消毒程序可以包括例如用紫外线、电子束辐射、 γ 射线和/或气体来处理机器人臂。机器人臂可以除此之外或另选地在高压消毒器中消毒或者通过另一种合适的医用级消毒过程(例如,在单次使用后的再消毒过程中)消毒。

[0133] 在其他变型中,机器人臂可以被处理为具有一般清洁度,但不是无菌的。例如,可以擦掉机器人臂上的灰尘、脏物和/或其他可见的异物。在这样的清洁程序之后,机器人臂可以被包装以保持其一般清洁状态。例如,机器人臂可以用袋子、盖布、防水布或其他覆盖物覆盖,以帮助保护机器人臂免受液体飞溅和其他危险。

[0134] 用于保持机器人臂和其他部件的无菌性的系统的其他示例在以下专利申请中详细描述:标题为“STERILE ADAPTERS WITH A SHIFTING PLATE FOR USE IN ROBOTIC SURGICAL SYSTEM”(用于在机器人外科系统中使用的具有移位板的无菌转接器)的美国临时专利申请序列号62/436,957;标题为“STERILE ADAPTER DRIVE DISKS FOR USE IN ROBOTIC SURGICAL SYSTEM”(用于在机器人外科系统中使用的无菌转接器驱动盘)的美国临时专利申请序列号62/436,965;标题为“STERILE ADAPTERS WITH A TOOL SEAT FOR USE IN A ROBOTIC SURGICAL SYSTEM”(用于在机器人外科系统中使用的具有工具座的无菌转接器)的美国临时专利申请序列号62/436,974;标题为“DRAPE ATTACHMENT TO STERILE ADAPTERS FOR USE IN A ROBOTIC SURGICAL SYSTEM”(用于在机器人外科系统中使用的无菌转接器的盖布附件)的美国临时专利申请序列号62/436,981,这些专利申请中的每一个都在2016年12月20日提交,并且据此全文以引用方式并入本文。

[0135] 为了便于解释,上文的描述使用了特定的命名法来提供对本发明的透彻理解。然而,对于本领域技术人员而言显而易见的是,为了实施本发明,不需要具体细节。因此,对本发明的特定实施方案的以上描述是出于举例说明和描述的目的而提供。它们并非旨在穷举或将本发明限制于所公开的确切形式;显然,根据上述教导内容,许多修改和变型是可能的。本文所选择和描述的实施方案是为了最好地说明本发明的原理及其实际应用,从而允许本领域的普通技术人员能够最好地利用本发明以及各种实施方案,并且在适合可设想的具体应用的情况下进行各种修改和/或采取各种组合。

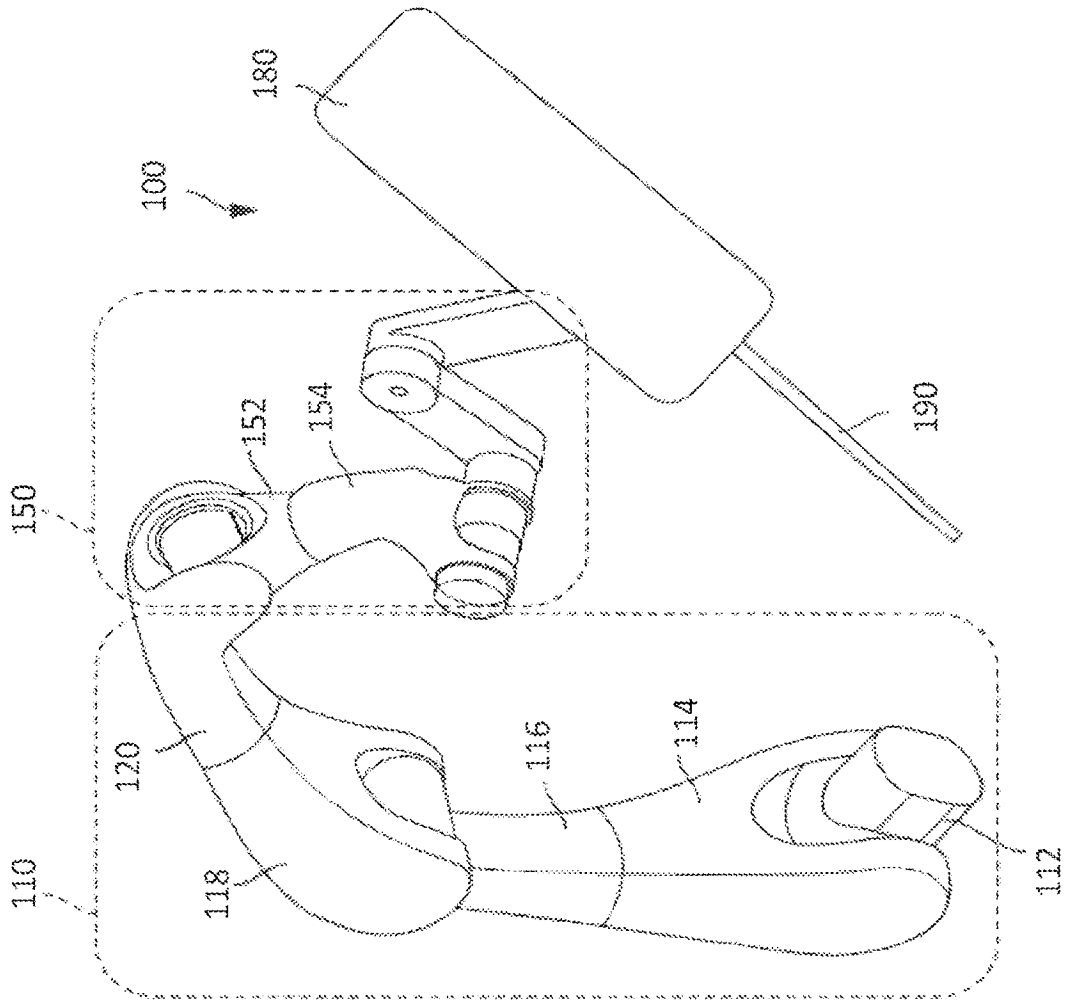


图 1A

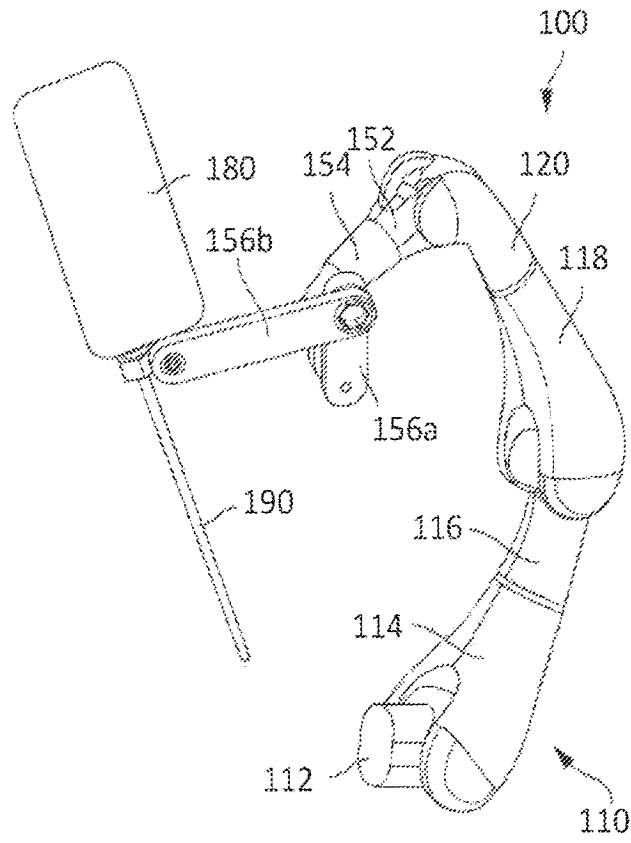


图 1B

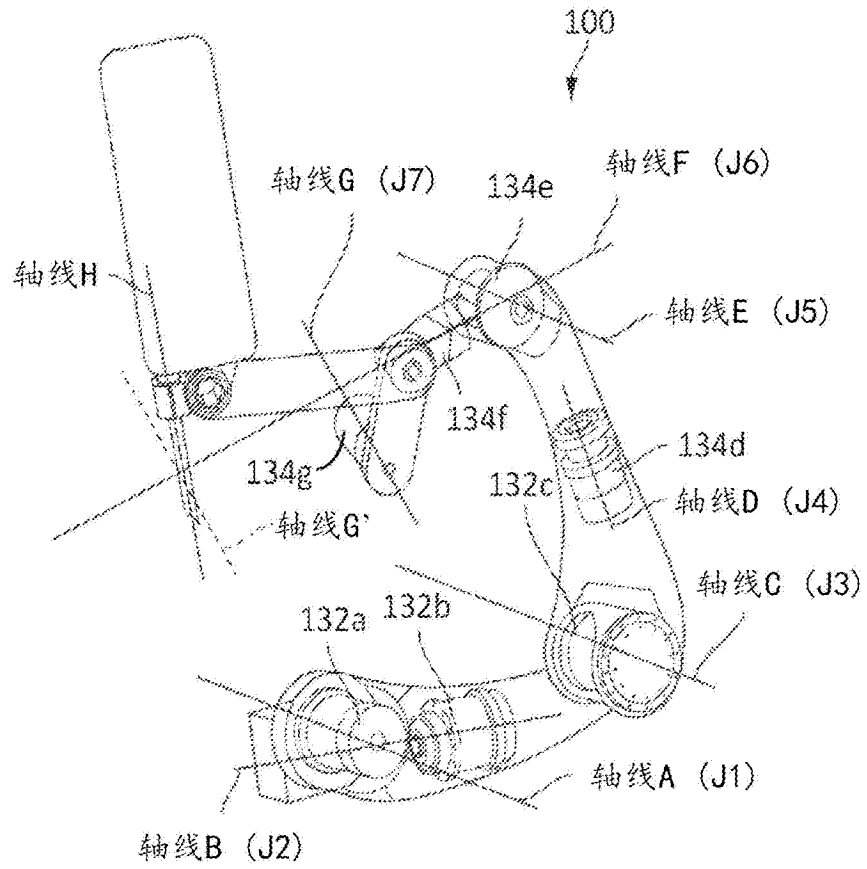


图 1C

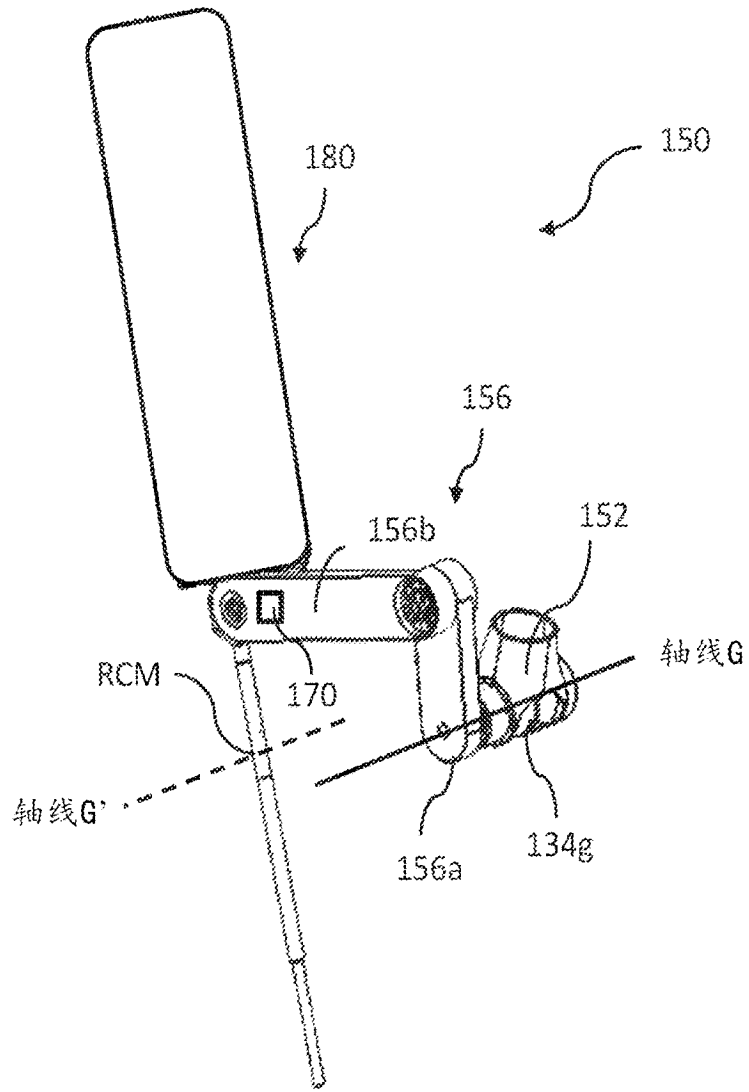


图 1D

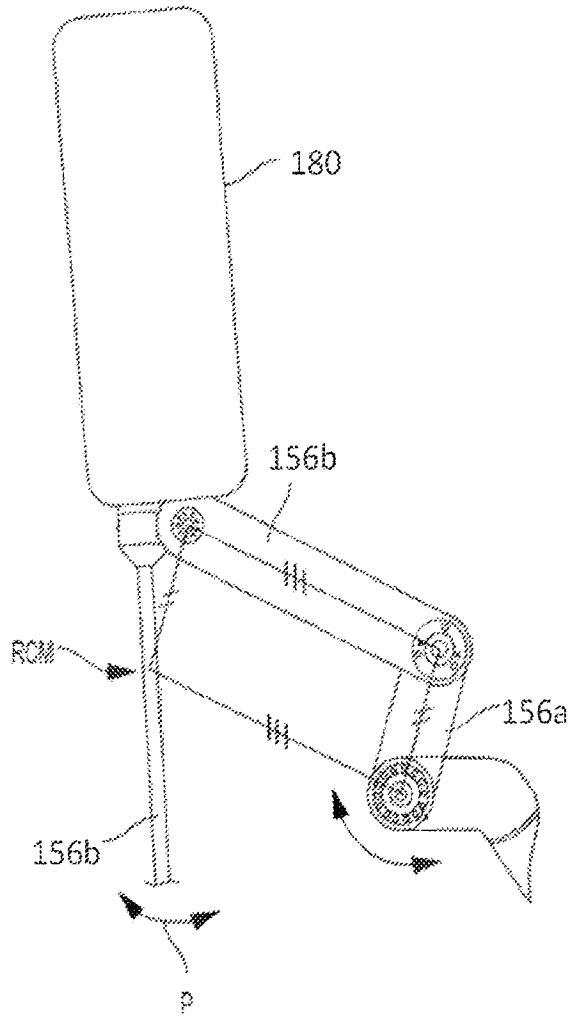


图 1E

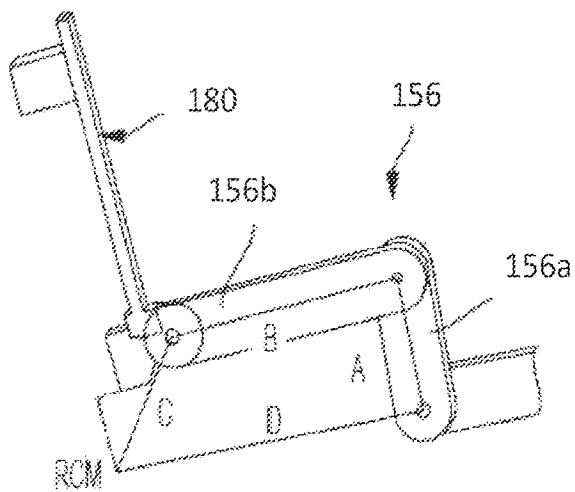


图 2A

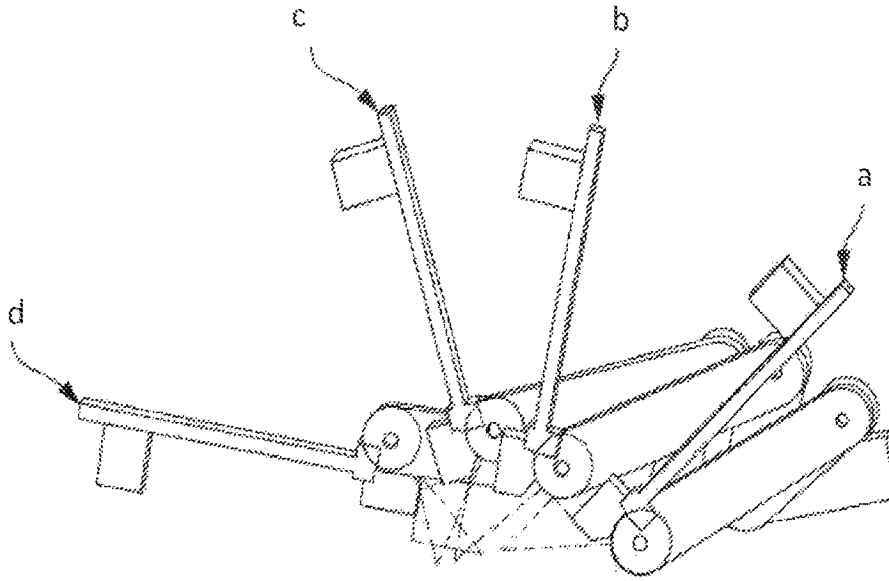


图 2B

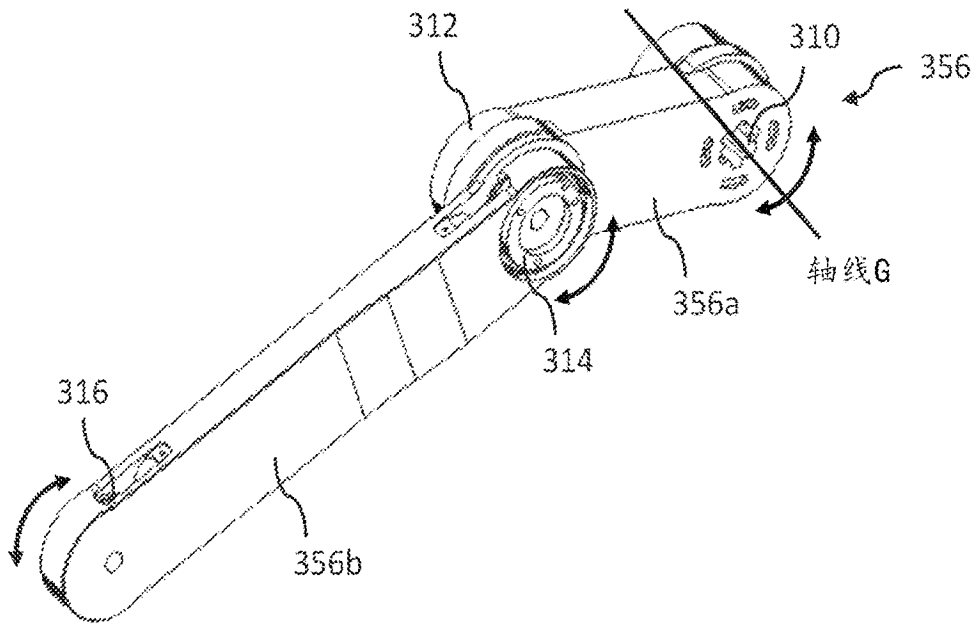


图 3A

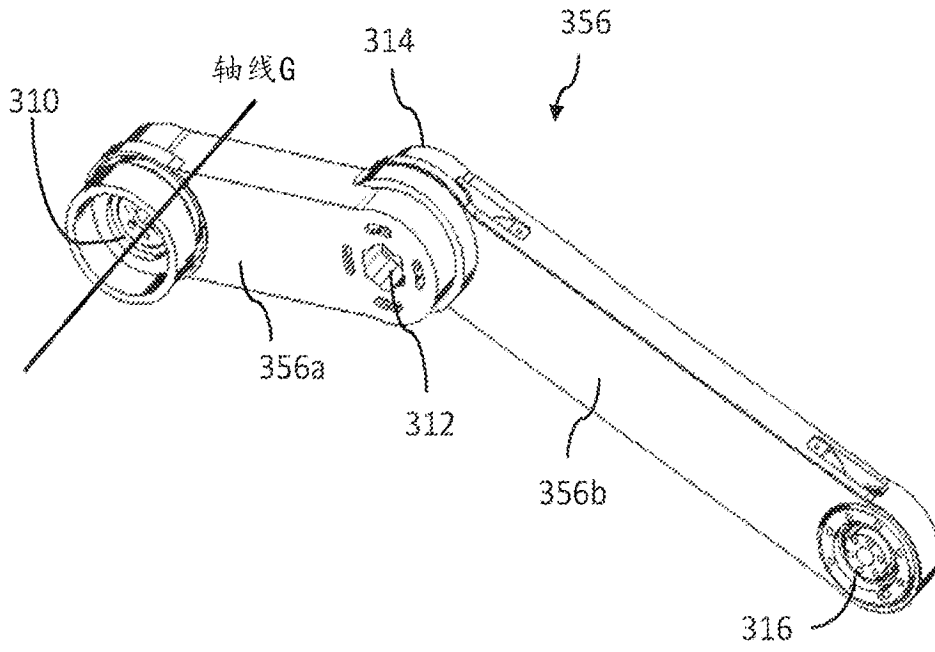


图 3B

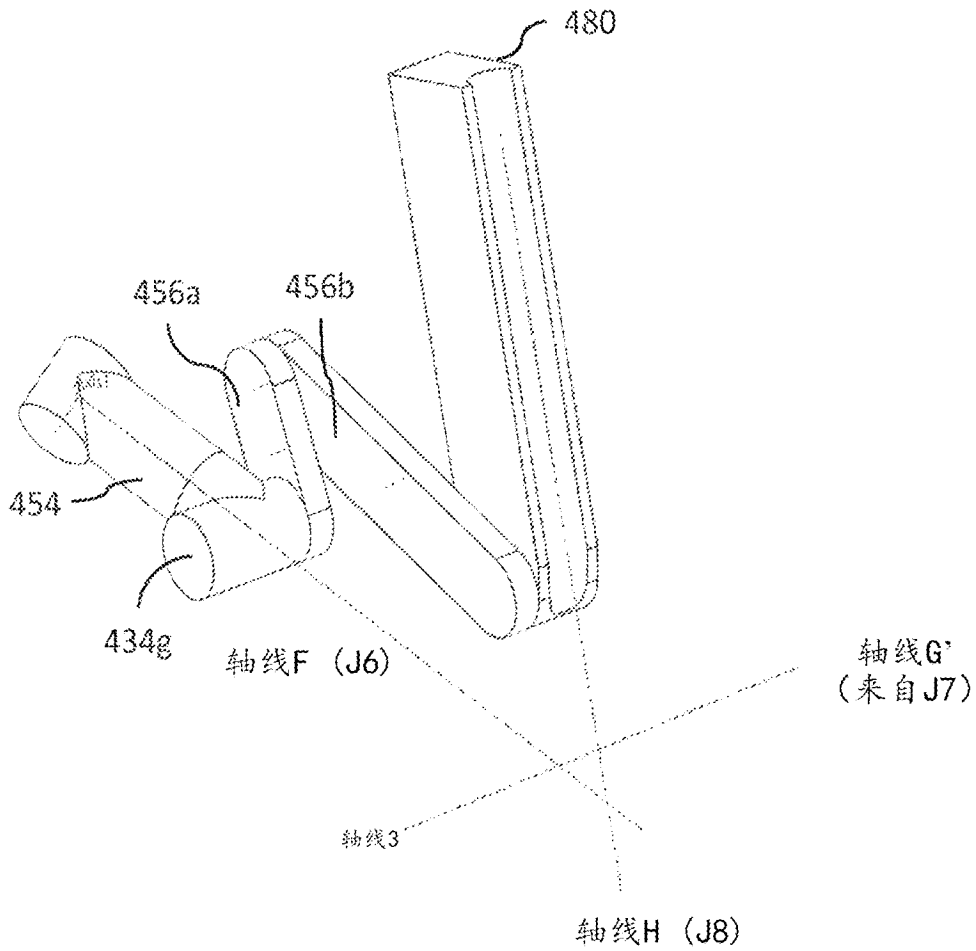


图 4

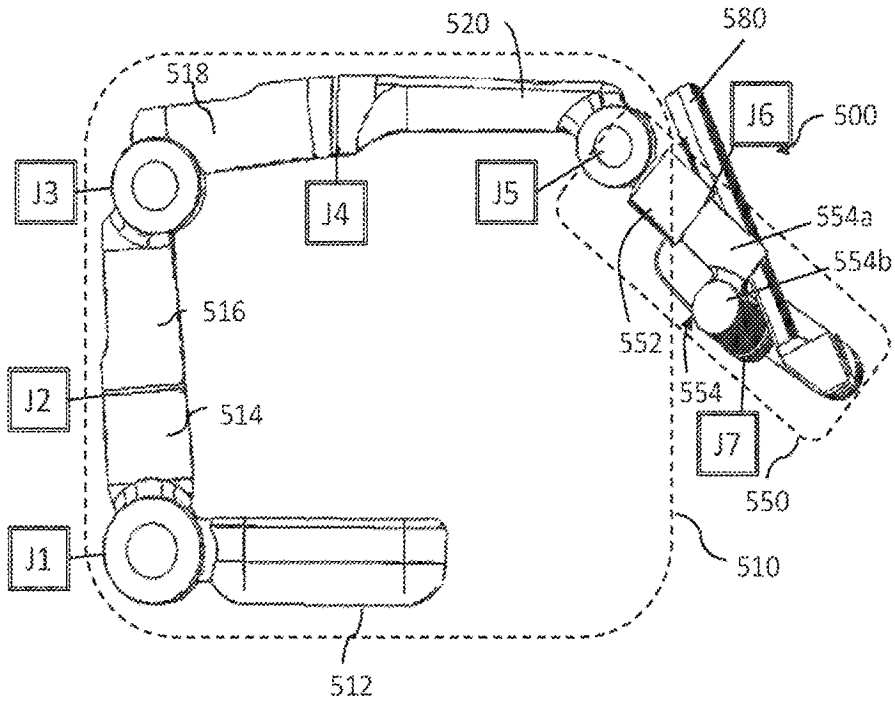


图 5A

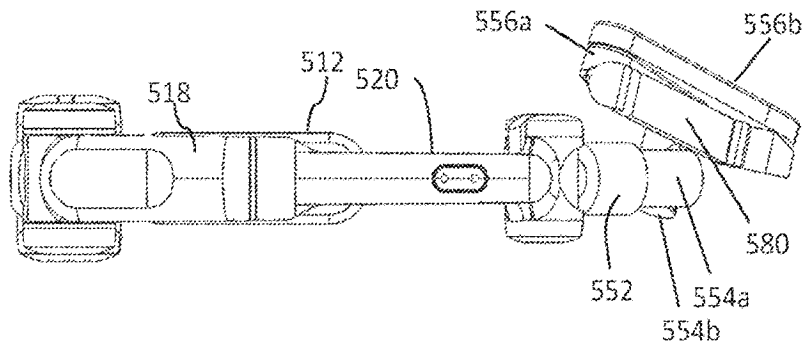


图 5B

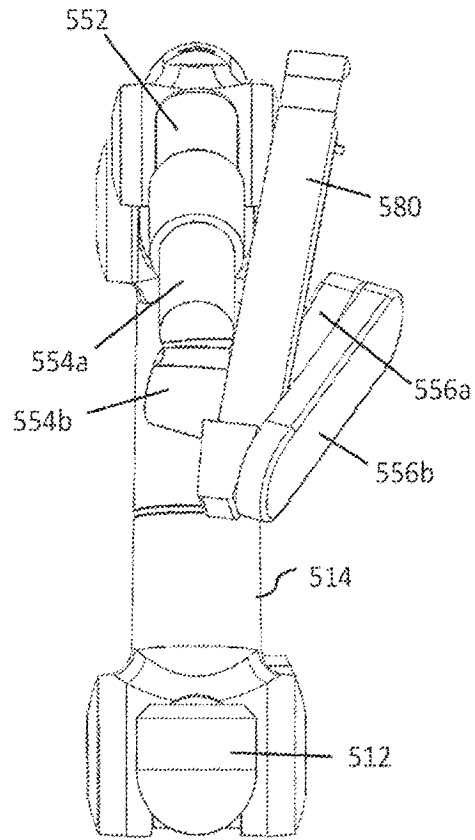


图 5C

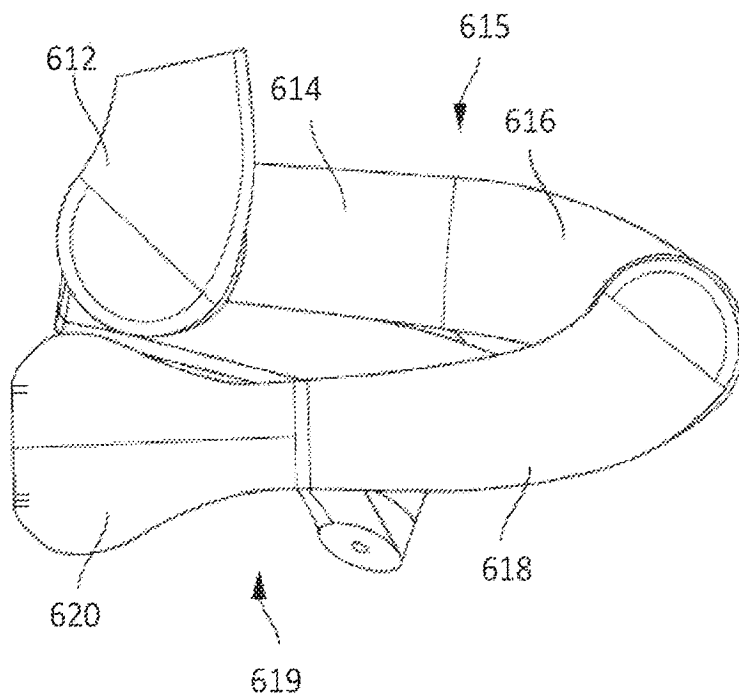


图 6A

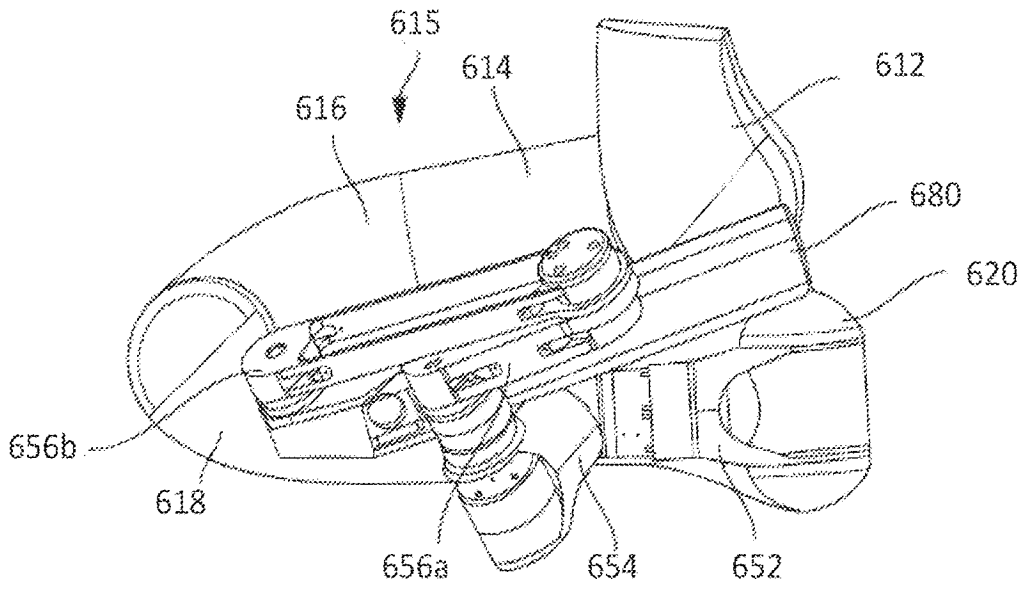


图 6B

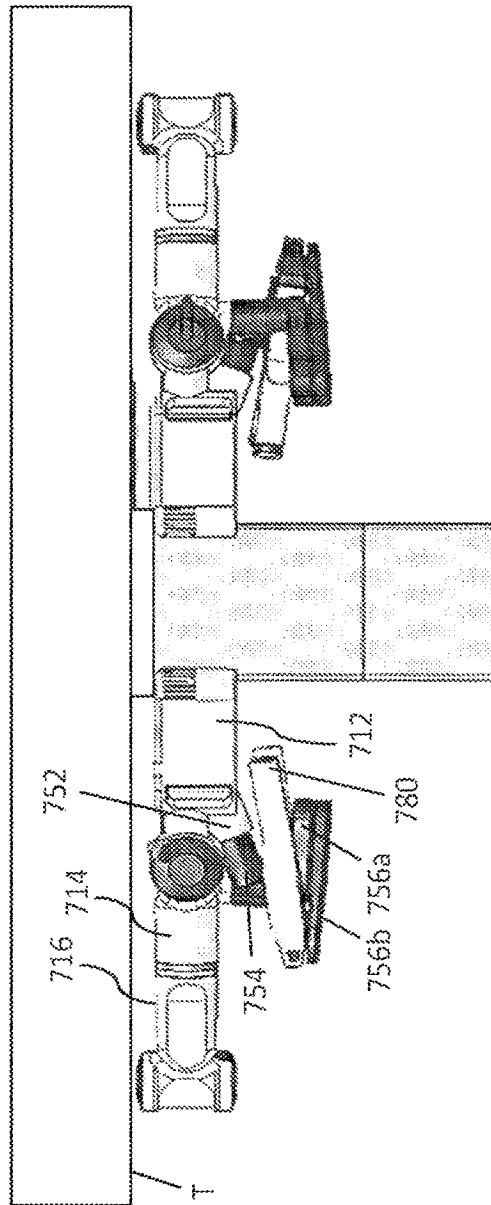


图 7A

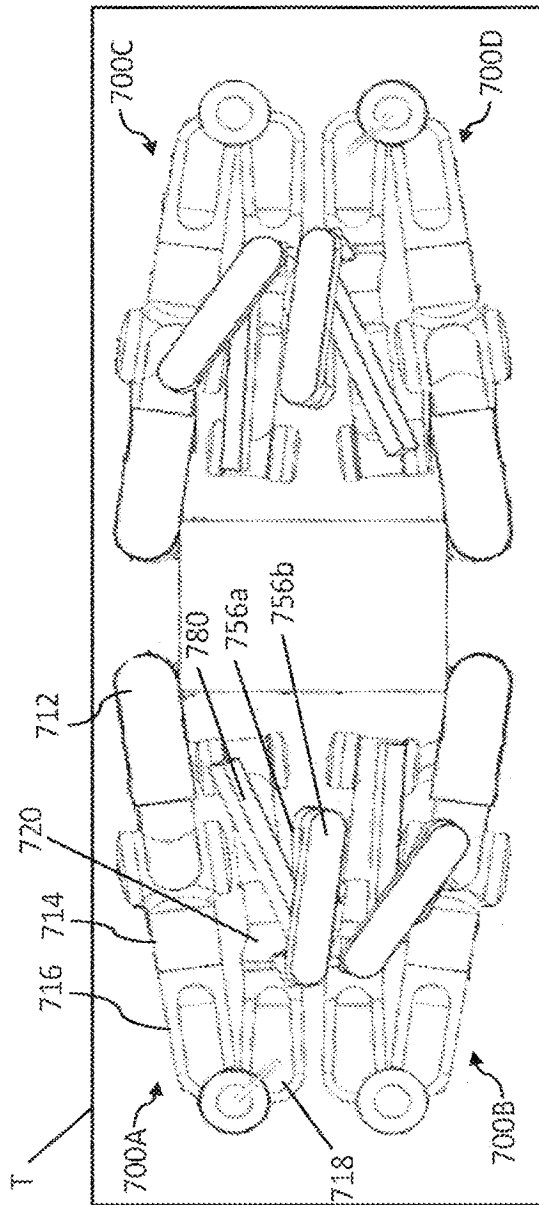


图 7B

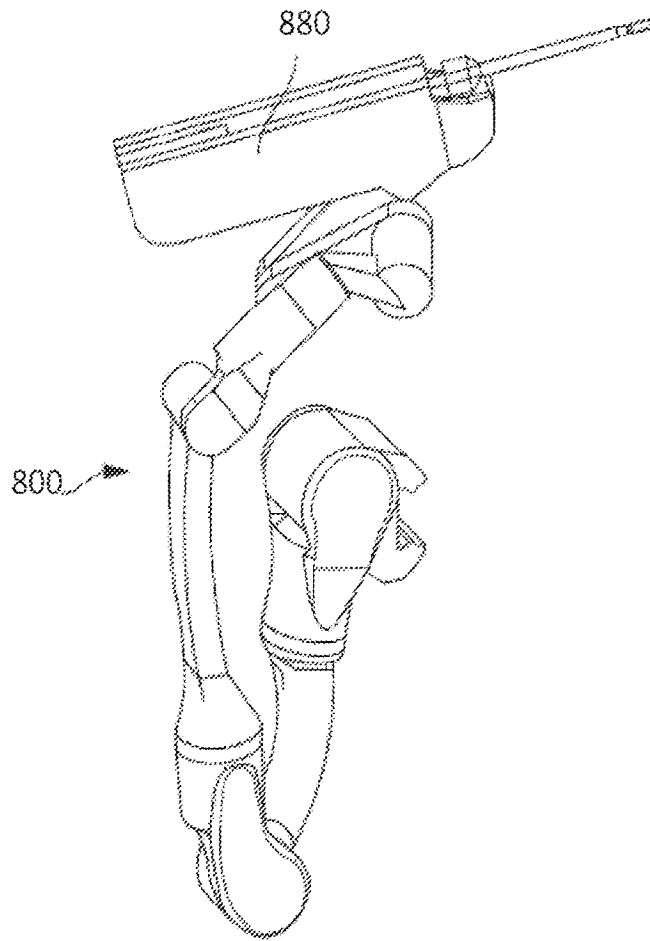


图 8A

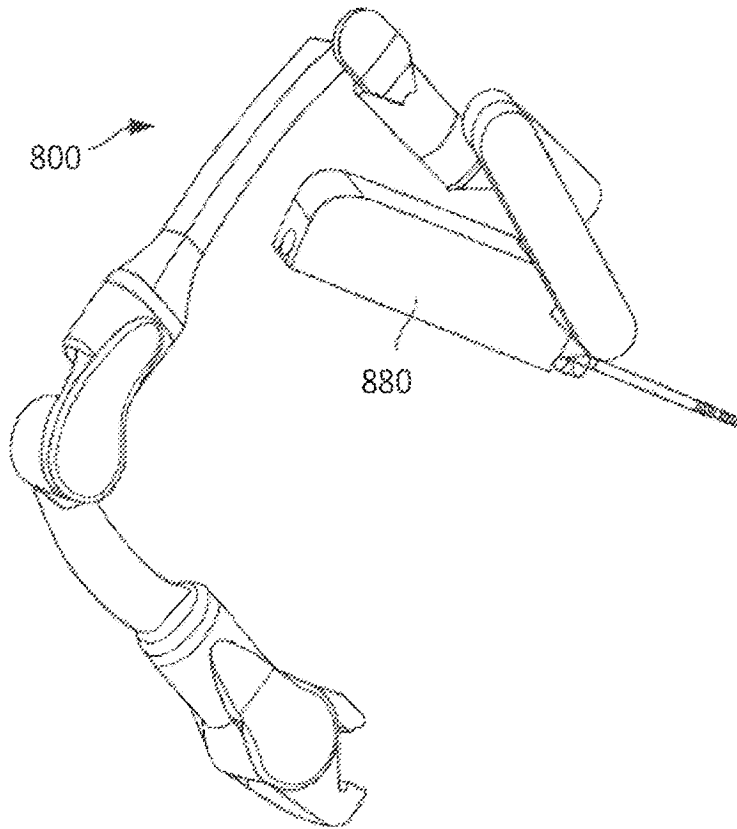


图 8B

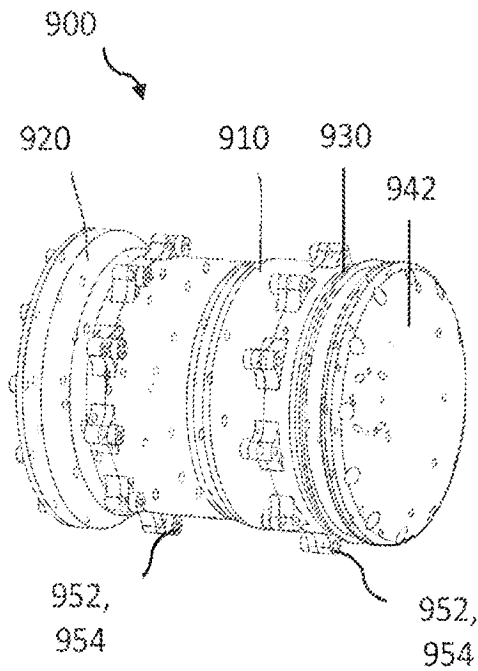


图 9A

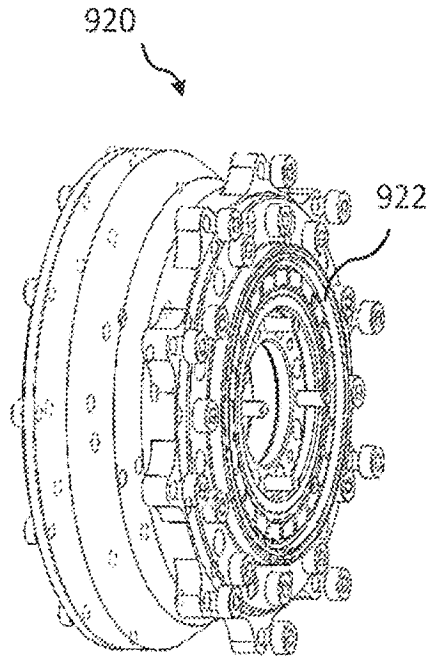


图 9B

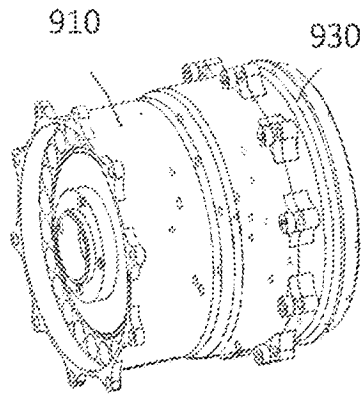


图 9C

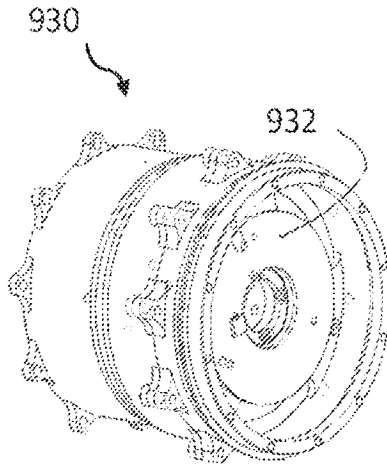


图 9D

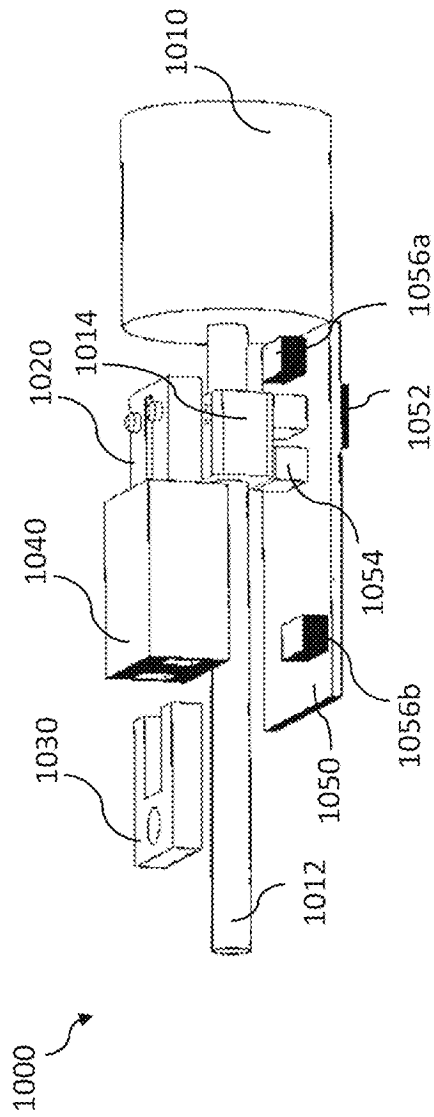


图 10A

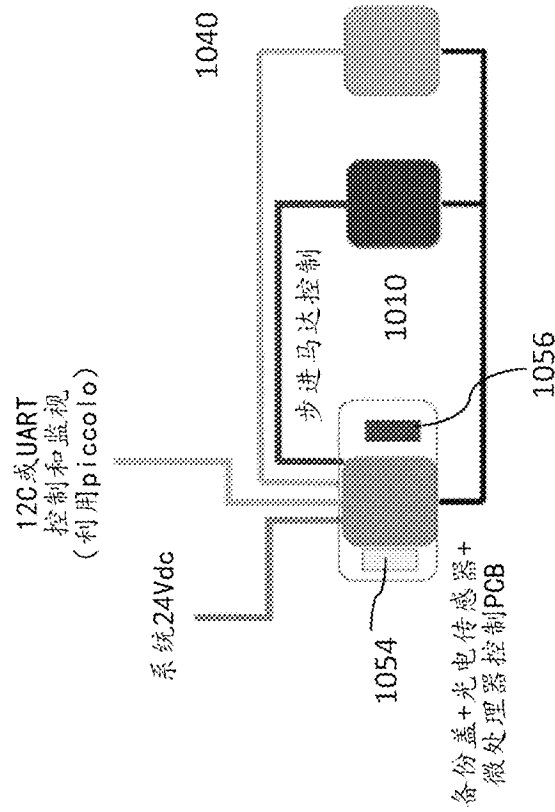


图 10B

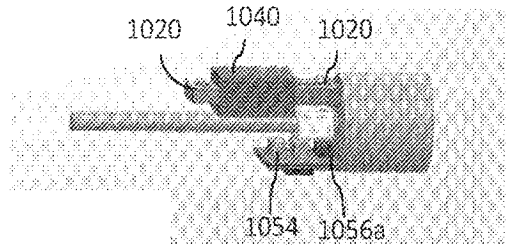


图 10C

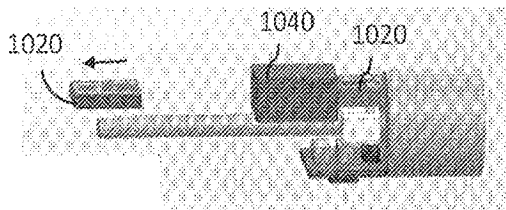


图 10D

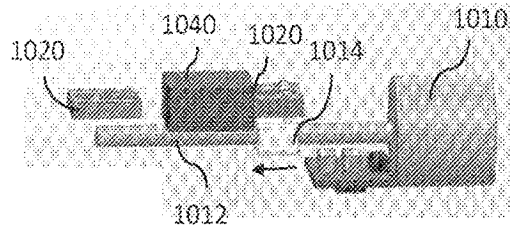


图 10E

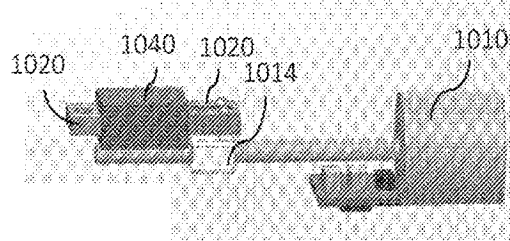


图 10F

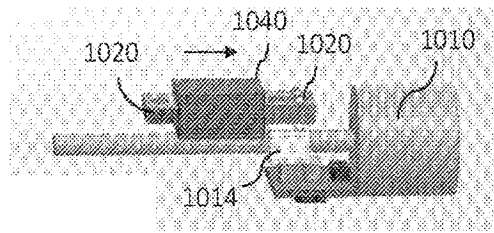


图 10G

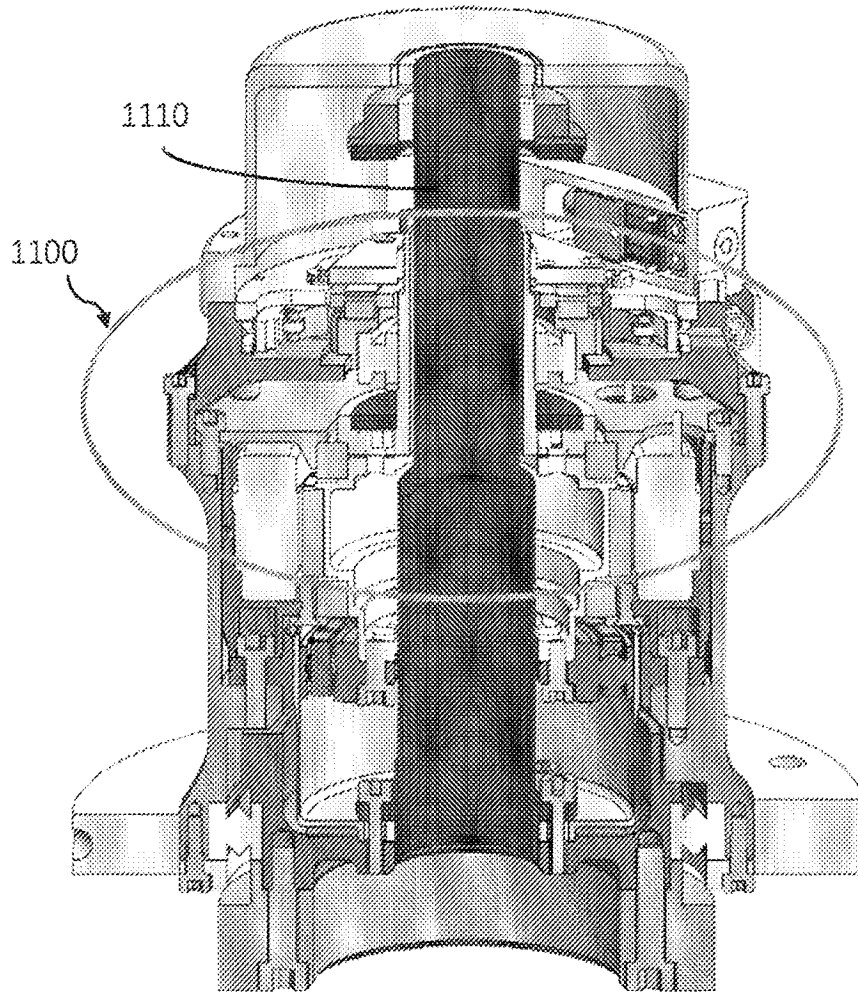


图 11A

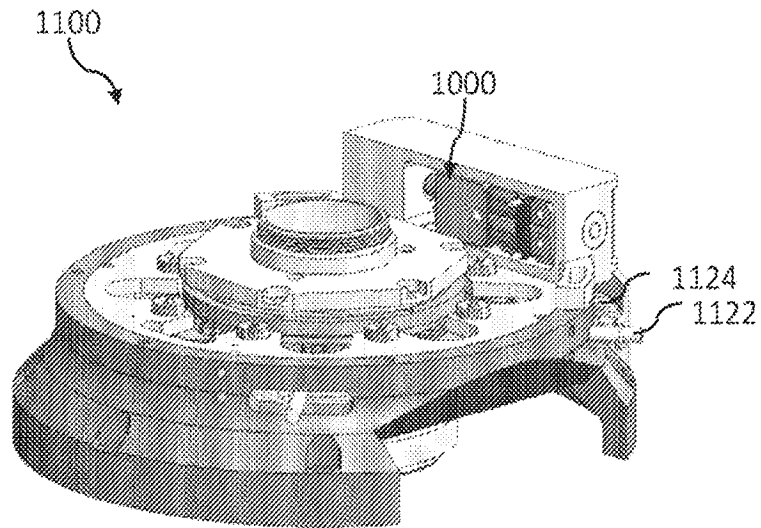


图 11B

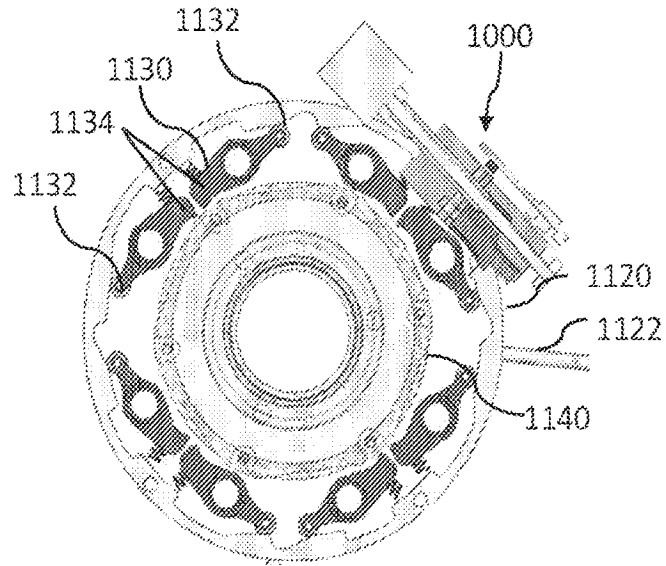


图 11C

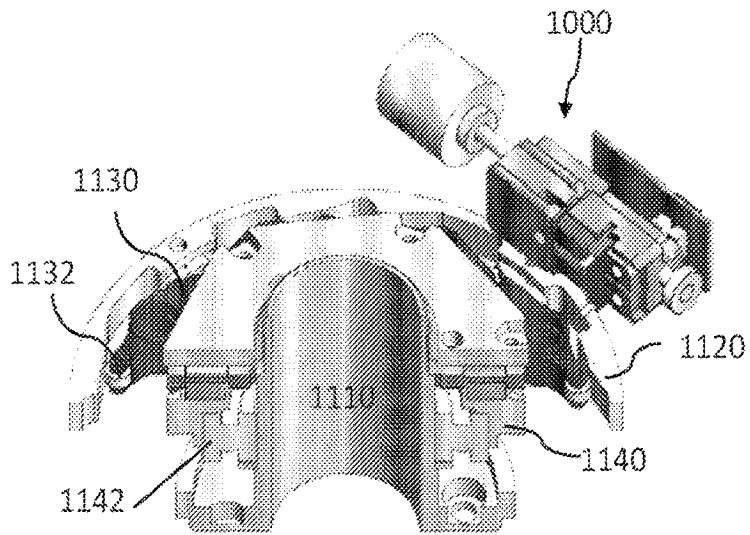


图 11D

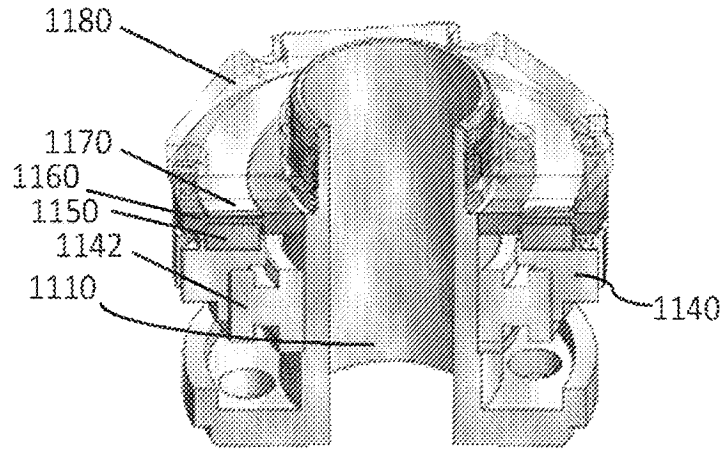


图 11E

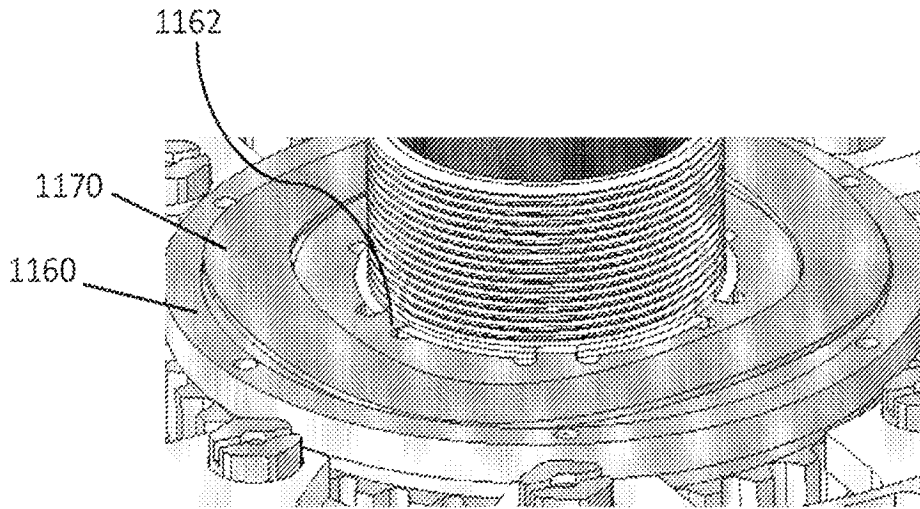


图 11F

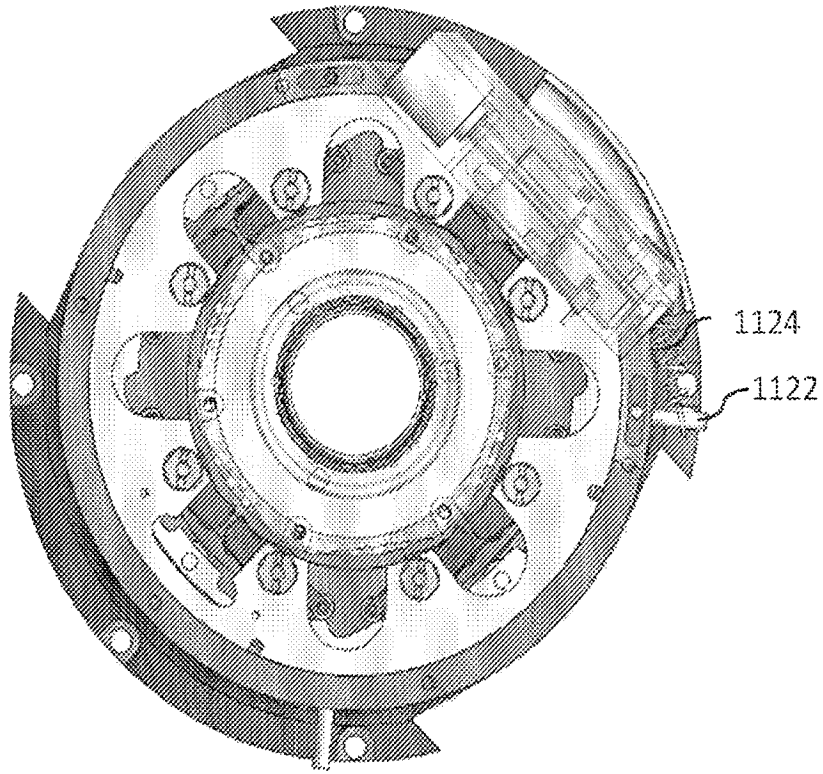


图 12A

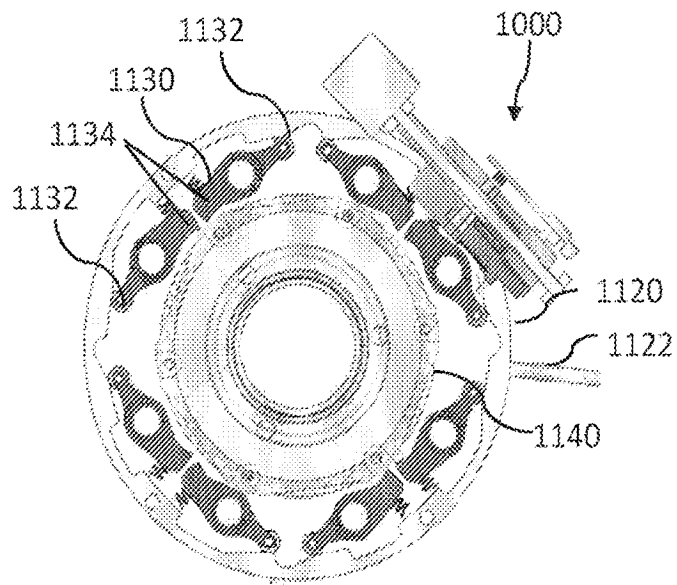


图 12B

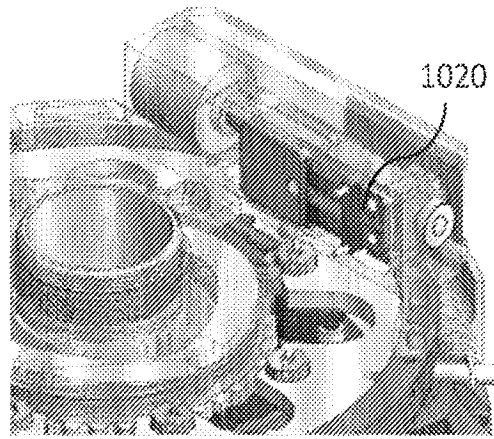


图 12C

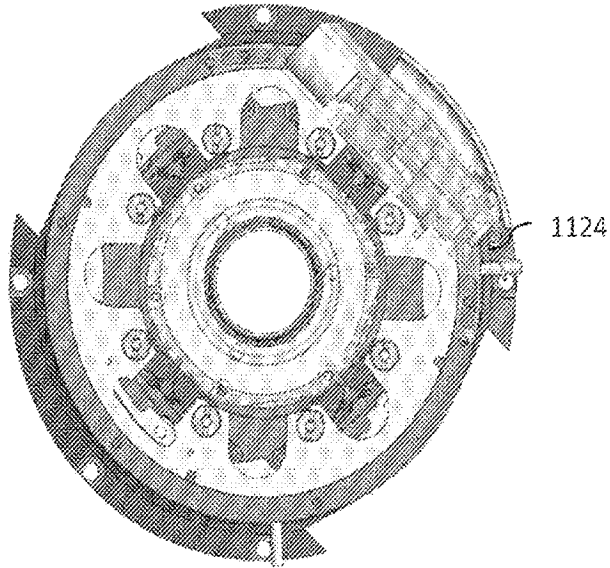


图 13A

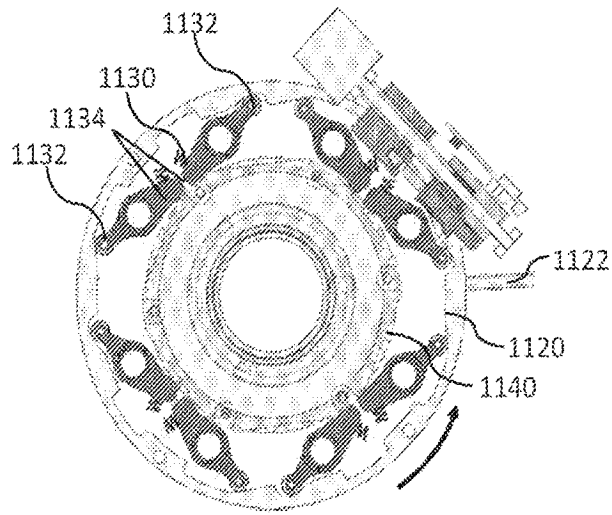


图 13B

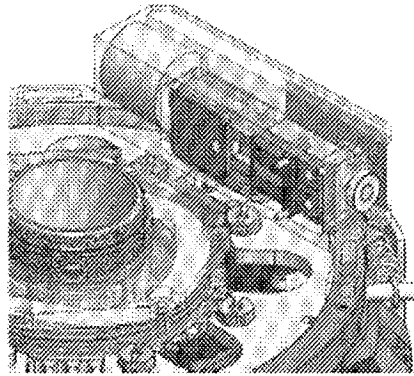


图 13C

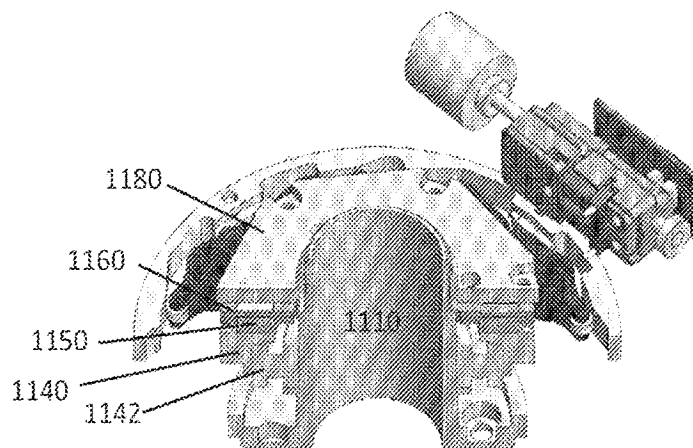


图 13D

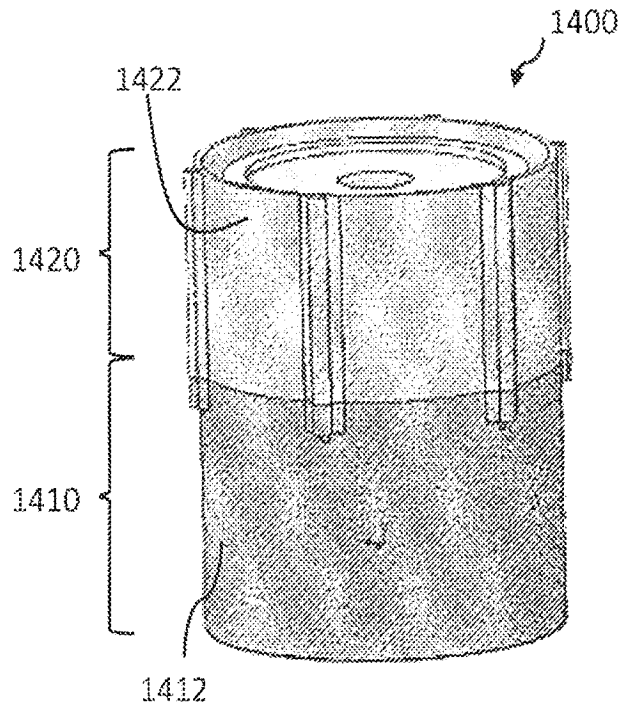


图 14A

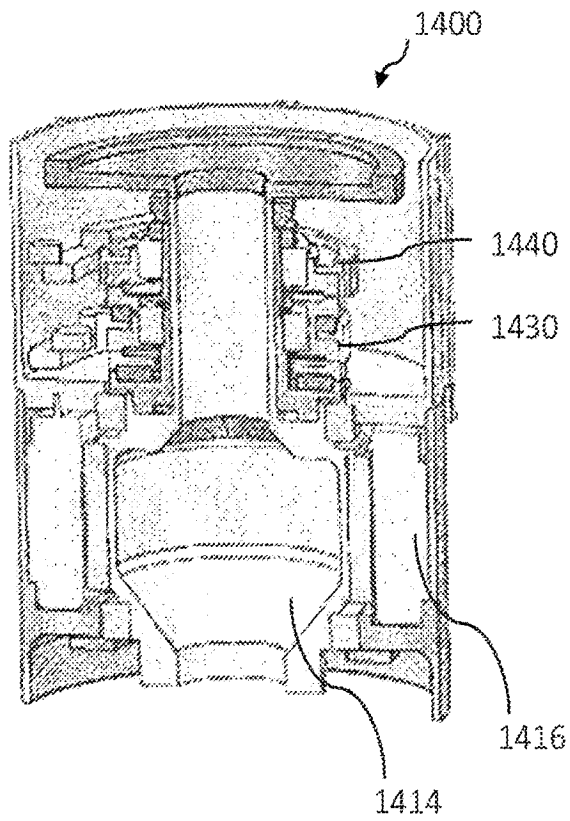


图 14B

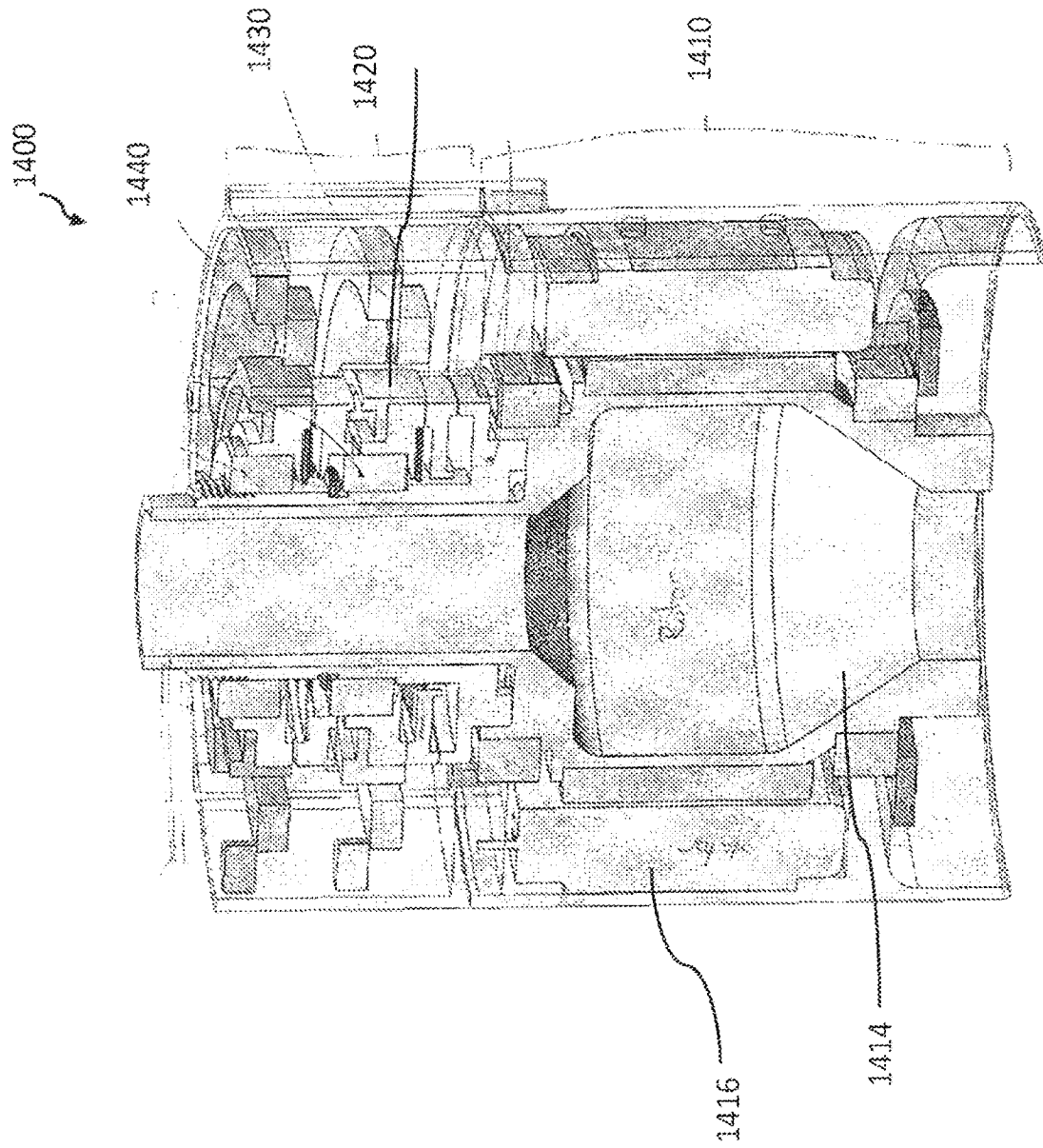


图 14C

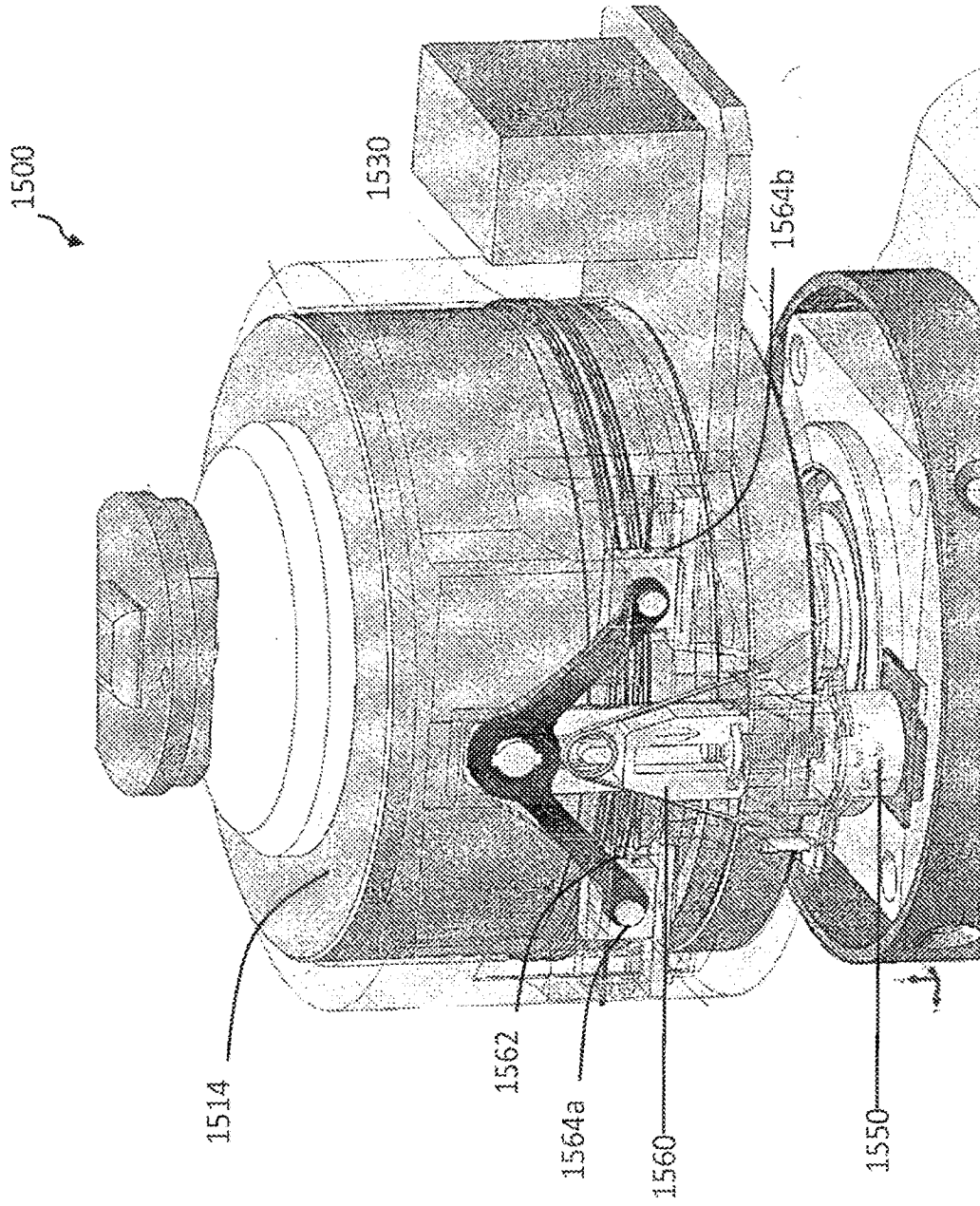


图 15A

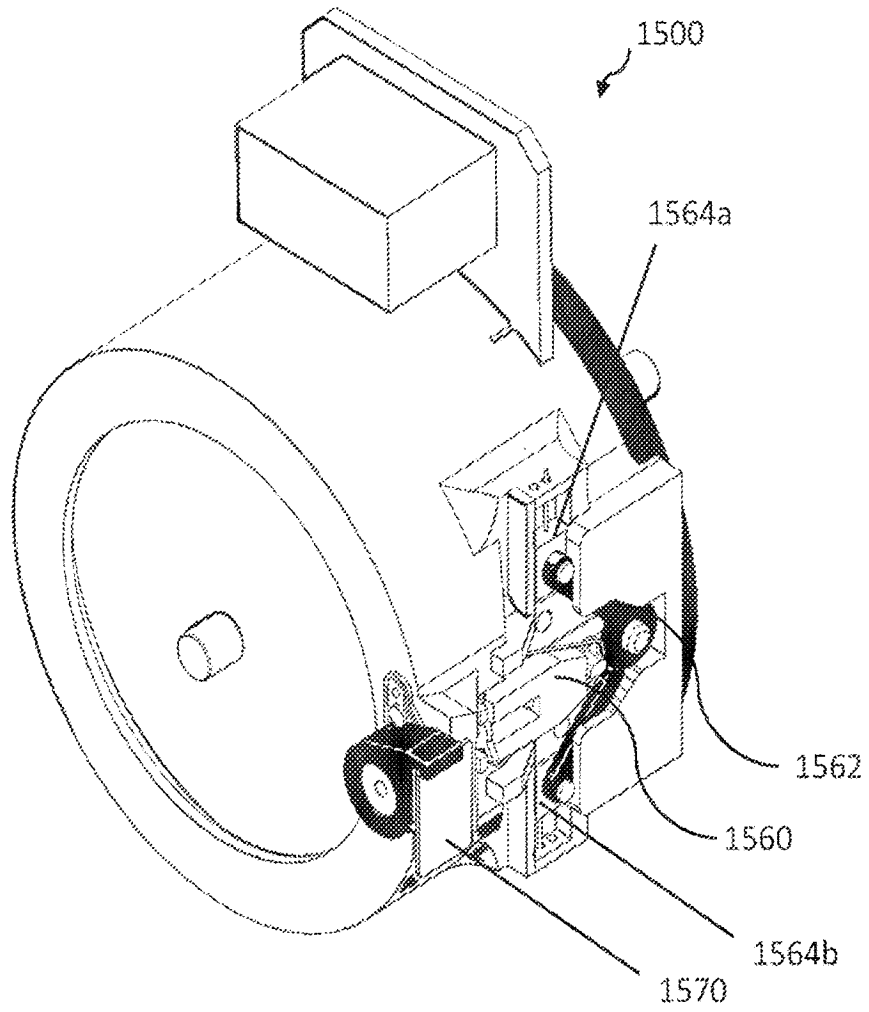


图 15B

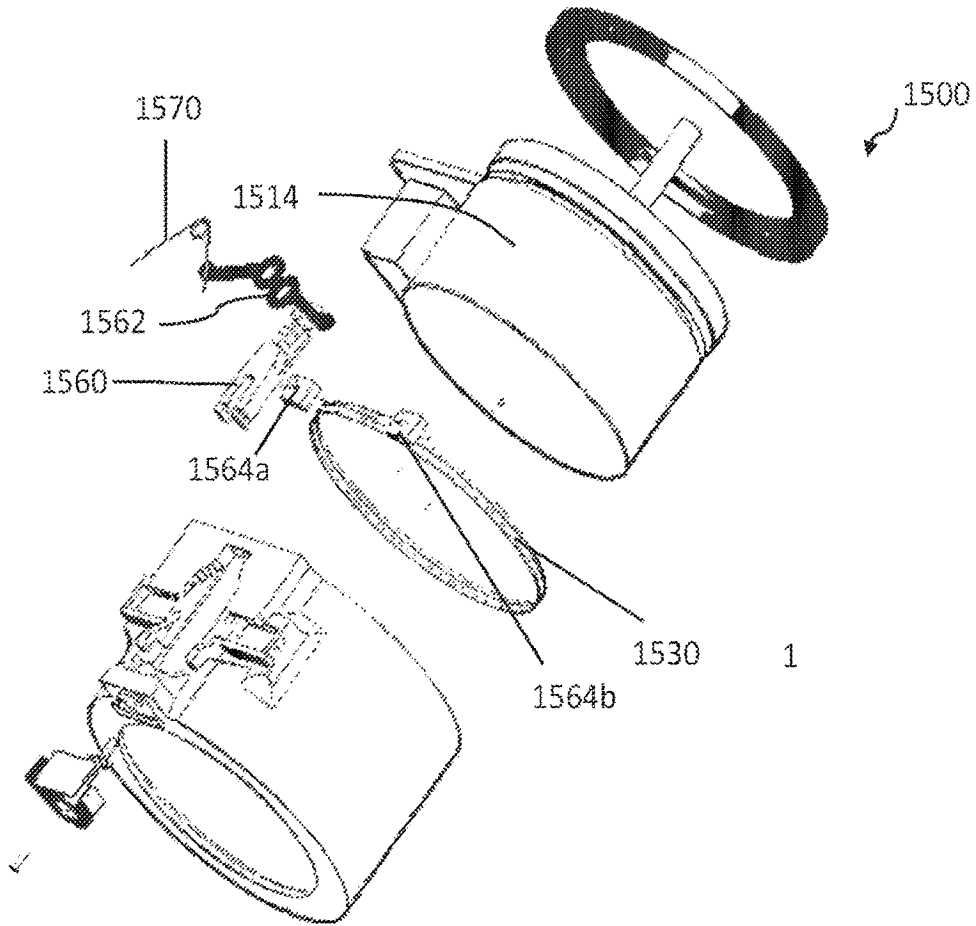


图 15C

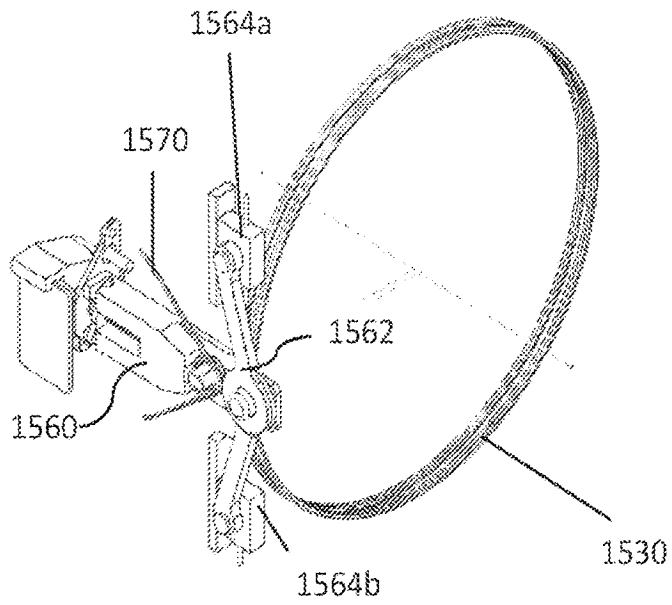


图 15D

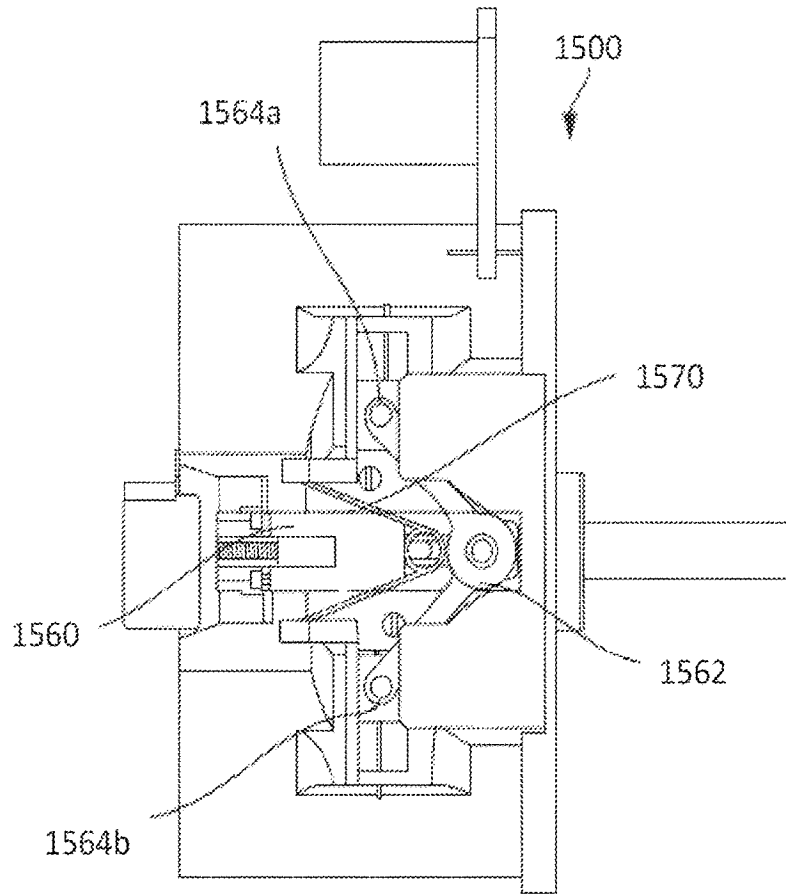


图 15E

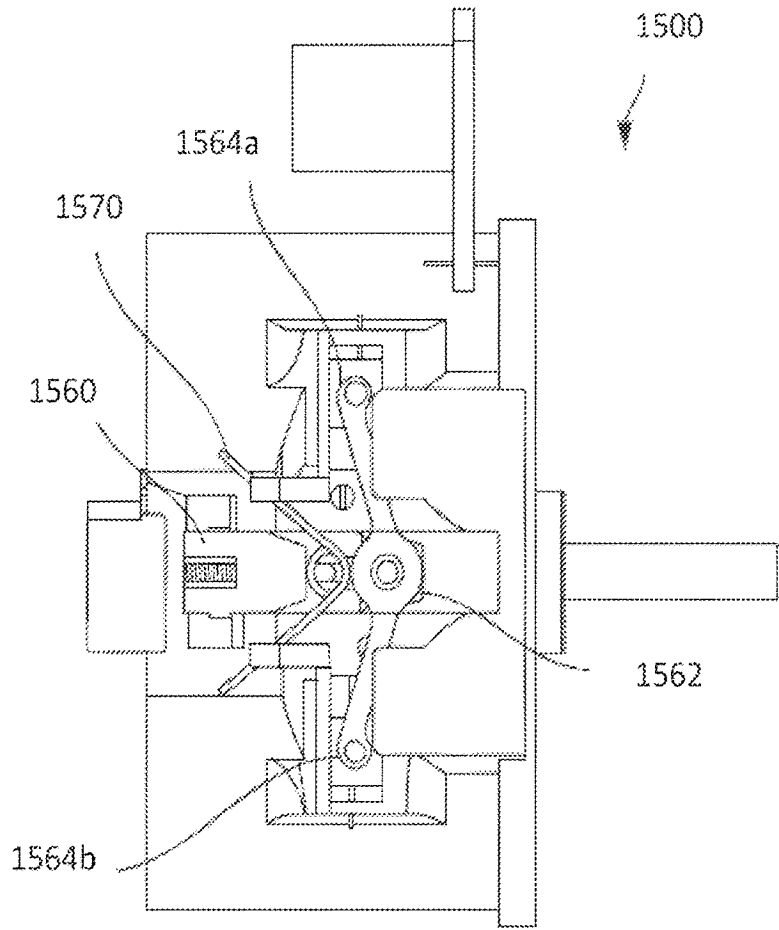


图 15F

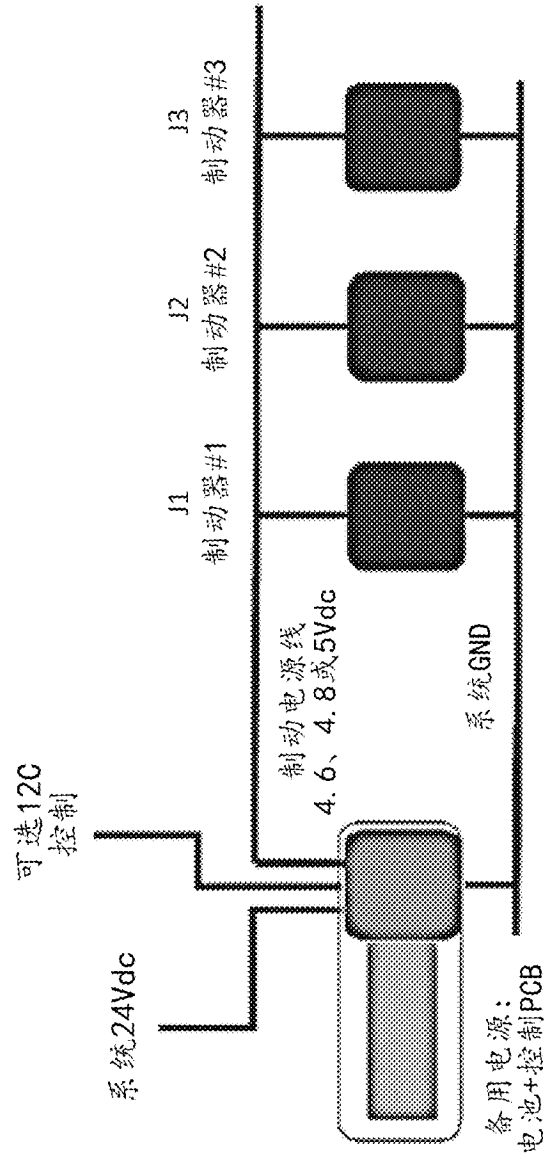


图 15G

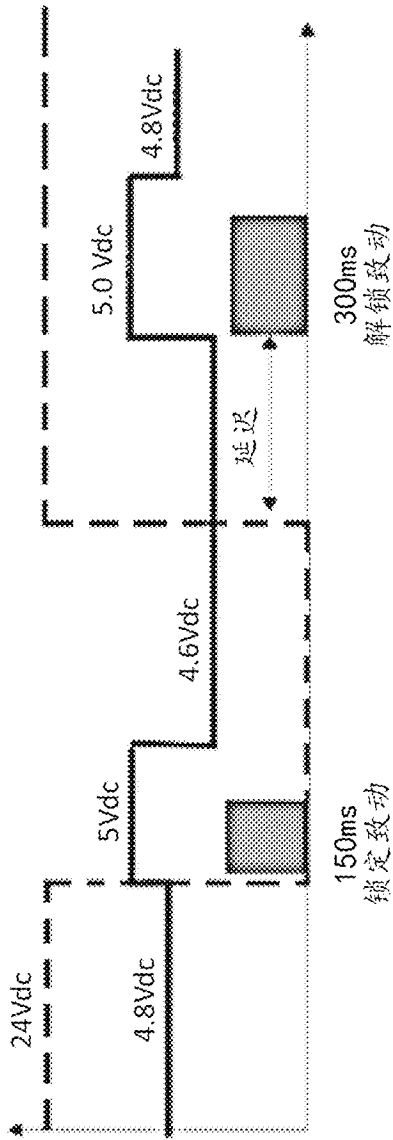


图 15H

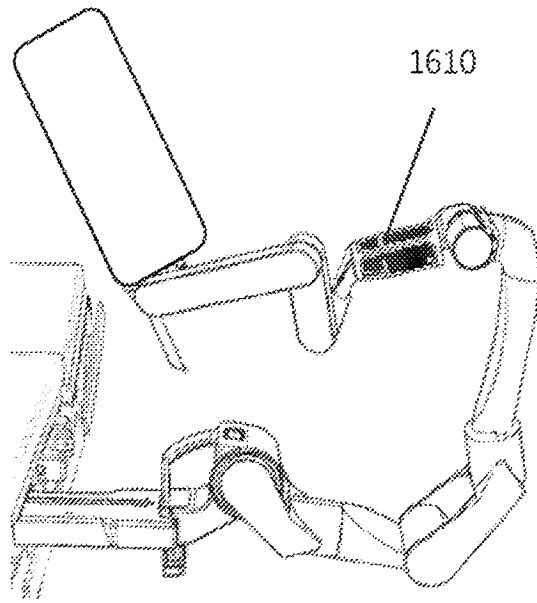


图 16A

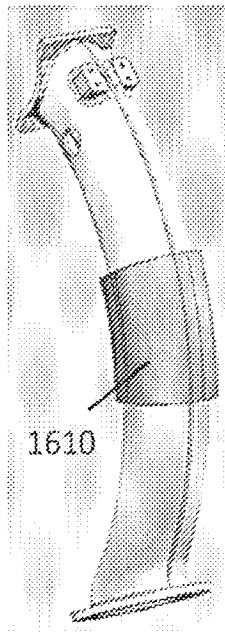


图 16B

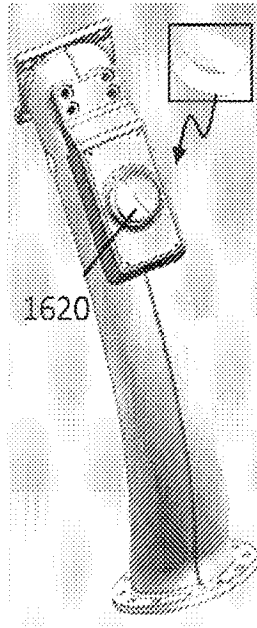


图 16C

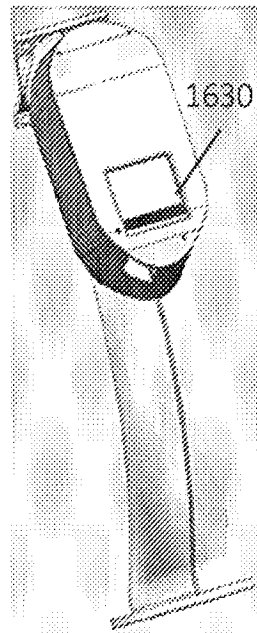


图 16D

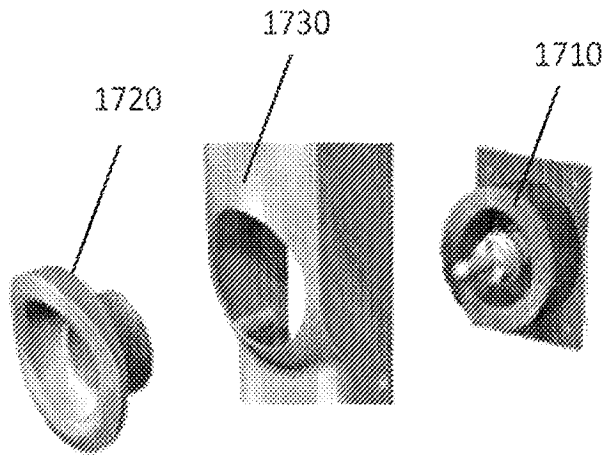


图 17A

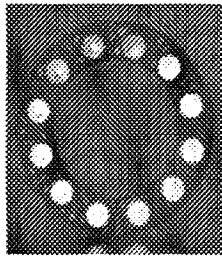


图 17B

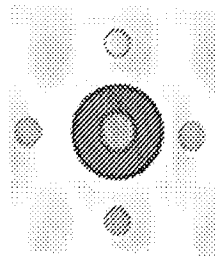


图 17C

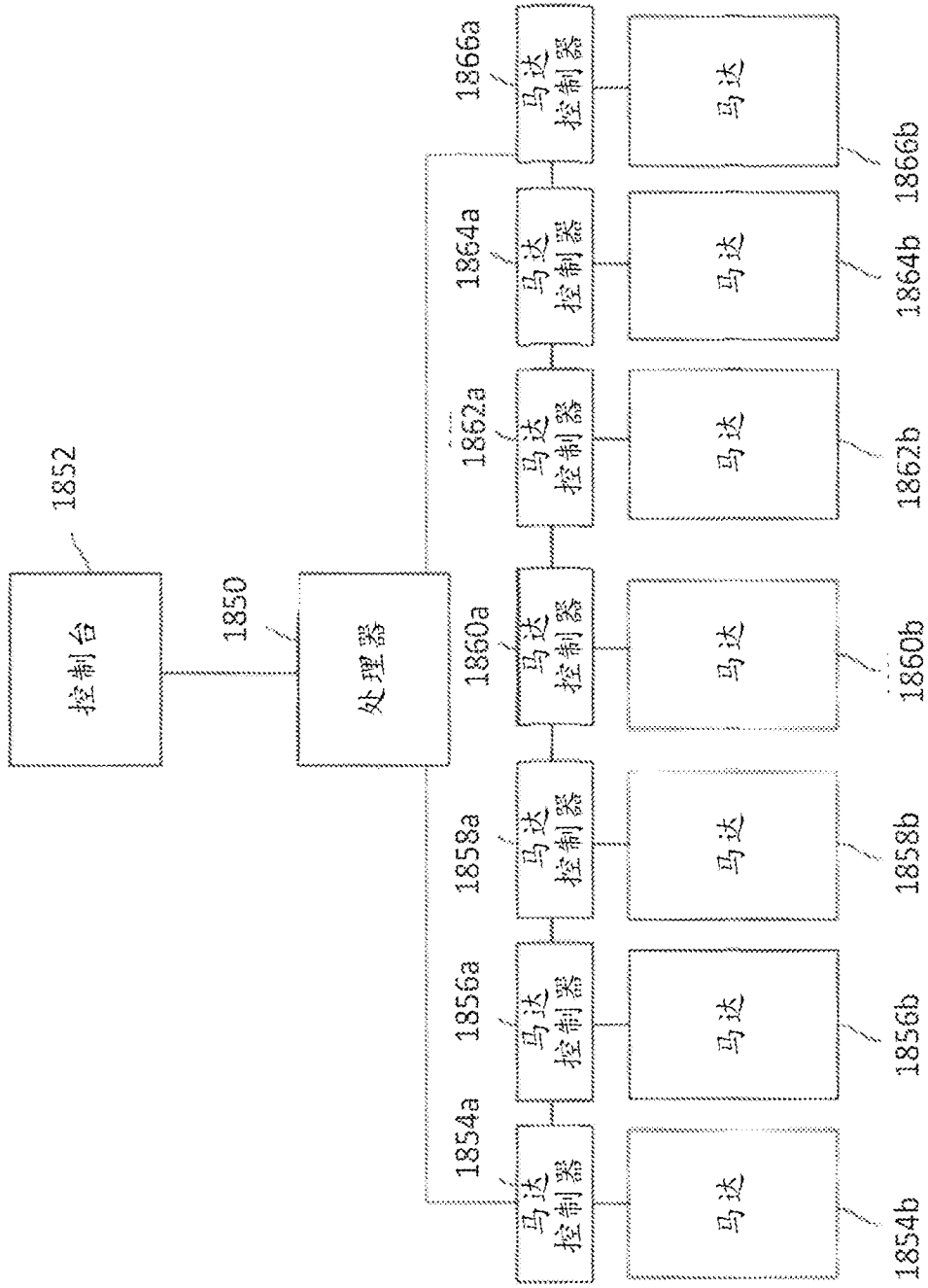


图 18

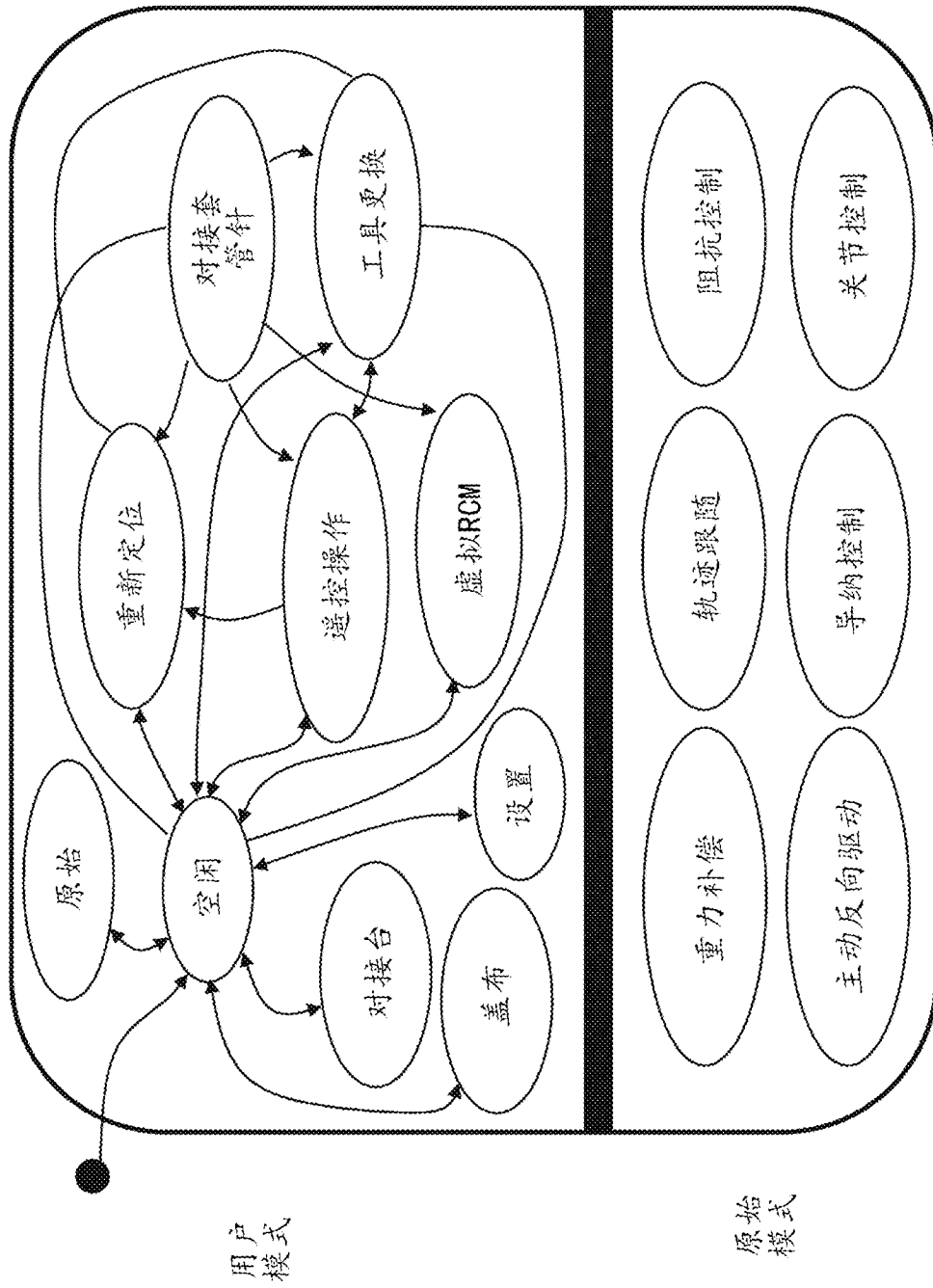


图 19