



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108524001 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201810171182.7

(22) 申请日 2013.08.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108524001 A

(43) 申请公布日 2018.09.14

(30) 优先权数据
61/683,638 2012.08.15 US

(62) 分案原申请数据
201380053744.3 2013.08.15

(73) 专利权人 直观外科手术操作公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 A·乌尔塔斯 P·海英维

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵志刚 赵蓉民

(51) Int.Cl.

A61B 34/30 (2016.01)

A61B 34/32 (2016.01)

A61B 34/35 (2016.01)

A61B 34/37 (2016.01)

B25J 9/00 (2006.01)

B25J 9/04 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 13/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101227870 A, 2008.07.23

US 6368332 B1, 2002.04.09

US 6786896 B1, 2004.09.07

US 6317651 B1, 2001.11.13

US 5737500 A, 1998.04.07

WO 2007076119 A2, 2007.07.05

审查员 吴培

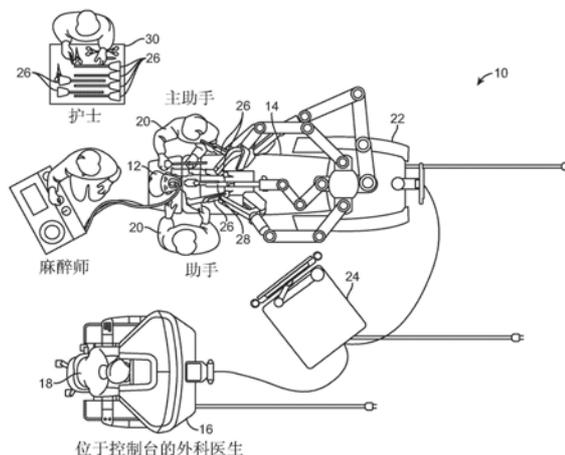
权利要求书2页 说明书17页 附图24页

(54) 发明名称

利用零空间取消关节运动的系统

(57) 摘要

本发明涉及利用零空间取消关节运动的系统。用于取消远程手术操纵器一个或多个关节的移动以实施末端执行器的操纵移动的装置、系统和方法。方法包含在计算一个或多个锁定关节在零空间内的移动以取消锁定关节在零垂直空间内移动的同时,计算关节在零垂直空间内的移动以实施末端执行器期望的移动。方法进一步包含计算一个或多个关节的移动,以实施可包含一个或多个锁定关节的移动的辅助移动或重新配置移动。辅助和重新配置移动可由关节的操纵移动覆盖,以允许移动锁定的关节从而实现辅助移动或重新配置移动,而实施操纵的锁定的关节的移动则被取消。本文提供了利用这些方法的装置和系统的各种配置。



1. 一种用于取消关节运动的系统,所述系统包括:

操纵器手臂,所述操纵器手臂包括:连接至基座的近侧部分,包括末端执行器的远侧部分,以及在所述远侧部分和所述基座之间的多个关节,所述多个关节提供足够的自由度以允许针对所述远侧部分的给定状态的所述多个关节的一系列不同的状态;以及

输入装置;以及

具有控制器的处理器,所述处理器连接至所述操纵器手臂和所述输入装置,所述处理器被配置为执行以下操作,包括:

从所述输入装置接收命令,以在末端执行器移位中移动所述操纵器手臂的所述末端执行器;

指定所述多个关节的一个或多个非移动关节;

通过计算在针对所述多个关节的雅克比行列式的零垂直空间内的关节速度,确定所述多个关节的末端执行器移位移动以实现所述末端执行器移位;

通过计算所述多个关节在雅克比行列式的零空间内的关节速度,确定所述多个关节的取消移动,所述零空间正交于所述零垂直空间,并且当所述取消移动与所述末端执行器移位移动组合时,所述取消移动提供所述一个或多个非移动关节中的每一个的关节移动取消;并且

通过组合所述末端执行器移位移动和所述取消移动来驱动所述多个关节以实现所述末端执行器移位。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述处理器被进一步配置成执行以下操作,包括:

确定所述多个关节的第一关节组的辅助移动,所述第一关节组选自所述多个关节的所述一个或多个非移动关节,并且所述辅助移动在所述零空间内确定;并且

通过组合所述辅助移动与所述末端执行器移位移动和所述取消移动来驱动所述多个关节以实现所述辅助移动的目标,所述辅助移动的所述目标包括所述操纵器手臂的期望姿势、期望配置或碰撞回避。

3. 一种存储器设备,其包括指令,该指令当被具有控制器的一个或多个处理器执行时使得所述一个或多个处理器执行以下操作,包括:

从输入装置接收命令,以在末端执行器移位中移动操纵器手臂的末端执行器,所述操纵器手臂包括:连接至基座的近侧部分,包括所述末端执行器的远侧部分,以及在所述远侧部分和所述基座之间的多个关节,所述多个关节提供充足的自由度以允许针对所述远侧部分的给定状态的所述多个关节的一系列不同的状态;

指定所述多个关节的一个或多个非移动关节;

通过计算在针对所述多个关节的雅克比行列式的零垂直空间内的末端执行器移位移动的关节速度,确定所述多个关节的所述末端执行器移位移动以实现所述末端执行器移位;

通过计算所述多个关节在雅克比行列式的零空间内的针对取消移动的关节速度,确定所述多个关节的取消移动,所述零空间正交于所述零垂直空间,并且当所述取消移动与所述末端执行器移位移动组合时,所述取消移动提供所述一个或多个非移动关节中的每一个的关节移动取消;并且

通过组合所述末端执行器移位移动和所述取消移动来驱动所述多个关节以实现所述

末端执行器移位。

4. 根据权利要求3所述的存储器设备,其中所述存储器设备还包括指令,该指令当被所述一个或多个处理器执行时使得所述一个或多个处理器执行以下操作,包括:

确定所述多个关节的第一关节组的辅助移动,所述第一关节组选自所述多个关节的所述一个或多个非移动关节,并且所述辅助移动在所述零空间内;并且

通过组合所述辅助移动与所述末端执行器移位移动和所述取消移动来驱动所述多个关节以实现所述辅助移动的目标,所述辅助移动的所述目标包括所述操纵器手臂的期望姿势、期望配置或碰撞回避。

利用零空间取消关节运动的系统

[0001] 本申请为申请日为2013年08月15日、发明创造名称为“利用零空间取消关节运动的系统”的中国专利申请201380053744.3 (PCT/US2013/055082) 的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉参考

[0003] 本申请为2012年8月15日提交的、名称为“Systems and Methods for Cancellation of Joint Motion Using the Null-Space” (代理人案号ISRG03750PROV US) 的美国临时专利申请号61/683,638的正式申请案,并要求其优先权权益,该临时专利申请的全部公开内容通过引用并入本文中。

[0004] 本申请总体涉及以下共同拥有的申请:2009年6月30日提交的、名称为“Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities”的美国申请号12/494,695;2009年3月17日提交的、名称为“Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion”的美国申请号12/406,004;2005年5月19日提交的、名称为“Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses”的美国申请号11/133,423 (美国专利号8,004,229);2004年9月30日提交的、名称为“Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery”的美国申请号10/957,077 (美国专利号7,594,912);和1999年9月17日提交的、名称为“Master Having Redundant Degrees of Freedom”的美国申请号09/398,507 (美国专利号6,714,839);2012年6月1日提交的、名称为“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”的美国临时申请号61/654,755;以及2012年6月1日提交的、名称为“System and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space”的美国临时申请号61/654,773,它们的公开内容通过应用全部并入本文中。

技术领域

[0005] 本申请涉及利用零空间取消关节运动的系统和方法。

背景技术

[0006] 本发明总体提供改进的手术和/或机器人装置、系统和方法。

[0007] 微创医疗技术旨在减少诊断或手术过程中组织损伤的量,从而减少患者恢复时间、不适和有害的副作用。在美国每年进行数百万的“开放(open)”或传统手术;这些手术中的许多可潜在地以微创的方式进行。然而,由于手术器械和技术以及掌握它们所需的另外的手术训练的限制,目前只有相对较少数量的手术利用微创技术。

[0008] 手术中使用的微创远程手术(telesurgical)系统正被研发以提高外科医生的灵巧性以及允许外科医生从远程位置对患者进行手术。远程手术是这样的手术系统的统称:在该手术系统中外科医生利用一些形式的远程控制例如自动控制装置等,以操纵手术器械移动,而不是直接用手握住并移动器械。在这种远程手术系统中,在远程位置向外科医生提供手术部位的图像。在观察合适的观察器或显示器上的通常为手术部位的三维图像的同

时,外科医生通过操纵主控输入装置对患者进行手术过程,主控输入装置进而控制机器人器械的运动。机器人手术器械可通过小的微创手术孔口插入以处理患者体内手术部位的组织,通常为伴随开放手术进入的创伤。通常通过在微创孔口处枢轴转动器械的轴、使轴轴向滑动通过孔口、在孔口中转动轴和/或类似,这些机器人系统可以足以进行相当复杂的手术任务的灵巧性移动手术器械的工作端。

[0009] 用于远程手术的自动控制装置通常接收来自两个主控制器(对应于外科医生的每一只手)的输入信息,并可包括两个或更多个机器人手臂或操纵器。将手的移动绘制成由图像捕获装置显示的机器人器械图像可有助于向外科医生提供对与每只手相关联的器械的精确控制。在许多手术机器人系统中,包括一个或多个额外的机器人操纵器手臂,用于移动内窥镜或其它图像捕获装置、额外的手术器械等。

[0010] 可利用多种结构布置来支撑在机器人手术的过程中在手术部位的手术器械。受驱动联动装置或“从动装置”通常称为机器人手术操纵器,和在微创机器人手术的过程中用作机器人手术操纵器的实例联动装置布置描述于美国专利号6,758,843、6,246,200和5,800,423中,其全部公开内容通过引用并入本文中。这些联动装置通常利用平行四边形布置来保持具有轴的器械。这种操纵器结构可约束器械的移动,使得器械轴围绕位于沿刚性轴长度空间内的球面转动的远程中心枢轴转动。通过将该转动中心与内部手术部位的切口点对准(例如,与在腹腔镜手术过程中腹壁处的套管针或插管对准),手术器械的末端执行器通过使用操纵器联动装置移动轴的近端而被安全定位,不对腹壁强加潜在危险的力量。可选的操纵器结构描述于例如美国专利号6,702,805、6,676,669、5,855,583、5,808,665、5,445,166和5,184,601中,其全部公开内容通过引用并入本文中。

[0011] 虽然新的机器人手术系统和装置已被证明是高效和有优势的,但仍然期望进一步的改进。例如,操纵器手臂可包括额外的冗余关节,以在某些条件下提供增加的移动或配置。然而,当在微创手术部位内移动手术器械时,这些关节在患者体外可表现出大量的移动,通常是多于所需或所期望的移动,尤其是当围绕微创孔口通过大角度范围枢轴转动器械时。已经提出可选的操纵器结构,其利用对高度可配置的运动操纵器关节组的软件控制来约束向插入部位的枢轴运动,同时阻止在患者体外(或类似)无意的操纵器/操纵器接触。这些高度可配置的“软件中心”手术操纵器系统可提供显著的优势,但也可能面临挑战。具体来说,机械约束的远程中心联动装置在一些条件下可具有安全性优势。此外,这些操纵器中通常包含的众多关节的广范围配置可导致操纵器难以手动装配为特定手术过程所期望的配置。尽管如此,随着利用远程手术系统进行的手术范围继续扩展,对扩展可获得的配置和患者体内器械的运动范围的需求日益增加。遗憾的是,这两项挑战可增加与操纵器体外运动相关联的挑战,并也可增加避免操纵器手臂对于某些任务所不必要的移动的重要性。

[0012] 由于这些和其它原因,提供改进的用于手术、机器人手术和其它机器人应用的装置、系统和方法是有利的。如果这些改进的技术提供限制操纵器手臂在某些任务过程中的移动量的能力,则将是尤其有益的。此外,可期望提供这些改进的同时增加用于至少一些任务的器械运动范围,且不显著增加这些系统的大小、机械复杂性或成本,并同时保持或提高它们的灵巧性。

发明内容

[0013] 本发明总体提供改进的机器人和/或手术装置、系统和方法。在各种实施方式中,本发明将利用高度可配置的手术机器人操纵器。例如,这些操纵器在手术工作空间内可具有与相关联的手术末端执行器所具有的相比更多的移动自由度。根据本发明的机器人手术系统通常包括支撑机器人手术器械的操纵器手臂和计算用于操纵器械末端执行器的协调关节移动的处理器。支撑末端执行器的机器人操纵器关节允许操纵器在用于给定的末端执行器方位和/或给定的枢轴点位置的不同配置的范围范围内移动。操纵器可包括额外的冗余关节,以允许各种类型的移动,如响应使用者命令的重新配置移动或辅助移动,尤其是防撞移动。本发明允许取消操纵器手臂关节非移动亚组(也称为“锁定(locked)”关节组)的一个或多个关节的移动以实施第一任务,如期望的末端执行器移动,同时允许非移动亚组的一个或多个关节的移动用于另一个任务,如重新配置移动或辅助移动。需要注意的是,关节的非移动亚组(或锁定组)无需机械地“锁定”以约束移动,而是可通过利用本文所述的方法有效地锁定,以提供关节的“非移动”或“锁定”特性。术语“锁定”和“非移动”(例如关节的“非移动亚组”或“锁定组”)通篇可互换地使用。

[0014] 通常,实施远端执行器移动的操纵器手臂的受命令移动利用操纵器手臂所有关节的移动。虽然重新配置移动可利用与末端执行器的操纵中使用的关节相同的关节,但可期望操纵器手臂关节的一个或多个在实施某些类型的移动时保持锁定,如末端执行器的受命令操纵移动。此外,允许移动一个或多个“锁定”或“非移动”关节以实施某些其它任务,如重新配置或各种基于自主算法的辅助任务,如操纵器手臂的防撞移动,可以是有利的。在一些实施方式中,系统计算多个关节的取消移动,以取消关节“锁定组”或“非移动亚组”的一个或多个关节的移动,为实施某些任务所述一个或多个关节的移动是不期望的。在某些方面,系统允许期望关节的运动取消,至少用于某些受命令移动,并可通过使其它移动覆盖于关节取消移动上而允许锁定关节在某些其它移动中移动。

[0015] 在某些实施方式中,系统操作者利用使用者输入装置输入重新配置命令并在零空间内驱动操纵器的一个或多个关节,直至操纵器被重新配置为所期望的。在一些实施方式中,系统实现防撞移动,以避免患者表面或障碍物如邻近的操纵器手臂。系统可利用上述用于多个关节的运动取消方案来取消操纵器手臂锁定关节组的一个或多个关节相对于特定类型的移动如受命令末端执行器操纵移动而移动,同时允许一个或多个关节相对于本文所述的各种其它类型的移动的一种或多种而移动。

[0016] 在本发明某些方面,提供具有操纵输入的冗余自由度(RDOF)手术机器人系统。RDOF手术机器人系统包含操纵器组装件、一个或多个使用者输入装置和具有控制器的处理器。组装件的操纵器手臂具有多个关节,这些关节提供充足的自由度,所述自由度允许给定的末端执行器状态的一系列关节状态。系统响应由使用者输入的接收重新配置命令,计算多个关节在零空间内的速度。根据重新配置命令和计算的移动来驱动关节,以便维持期望的末端执行器状态。系统响应接收以期望的移动来移动末端执行器的操纵命令,通过计算在与零空间垂直的雅克比行列式零垂直空间(null-perpendicular-space)内的关节速度来计算关节的末端执行器移位移动,并根据计算的移动驱动关节以实现期望的末端执行器移动。为了向上述各种其它类型的移动提供增加的运动范围,系统可包括将器械连接至操纵器手臂近侧部分的最近侧旋转关节和/或远侧旋转关节。如果使用者期望这些关节的一

个或两个不被驱动、移动或有效地“锁定”以实施末端执行器操纵,系统可检测被计算用于那些关节实施受命令末端执行器操纵的移动,并计算对抗计算的移动的取消移动,使得当根据组合的末端执行器移位移动和取消移动而被驱动时,操纵器手臂提供期望的末端执行器操纵而不驱动锁定关节(一个或多个),以实施操纵移动。

[0017] 在本发明的另一个方面,操纵器被配置以移动使得器械轴的中间部分围绕远程中心枢轴转动。在操纵器和器械之间,存在多个驱动关节,所述驱动关节在器械轴的中间部分穿过进入部位时提供充足的自由度以允许用于末端执行器方位的一系列关节状态。具有控制器的处理器将输入装置连接至操纵器。处理器响应重新配置命令,确定一个或多个关节的移动以实施期望的重新配置,使得器械的中间部分在末端执行器的期望移动过程中处于进入部位内并保持期望的远程中心位置,轴围绕着该远程中心位置枢轴转动。在各种实施方式中,系统响应接收实施期望的末端执行器移动的操纵命令,计算关节的末端执行器移位移动,包括计算关节在与零空间垂直的雅可比行列式零垂直空间内的速度,并根据计算的移动来驱动关节,以实施期望的末端执行器移动,其中器械轴围绕远程中心枢轴转动。

[0018] 在某些方面,来自操纵器的第一组关节的关节为将操纵器手臂连接至基座的旋转关节。所期望的末端执行器状态可包括期望的末端执行器方位、速度或加速度。通常,操纵命令和重新配置命令是单独的输入,其可从不同的使用者在不同的输入装置上接收。然而,在一些实施方式中,这些不同的输入接收自相同的使用者。在某些实施方式中,末端执行器操纵命令接收自第一使用者的输入装置,如外科医生在手术控制台主输入上输入命令,而重新配置命令接收自第二使用者在不同的输入装置上的输入装置,如医师助手在患者旁推车输入装置上输入重新配置命令。在一些实施方式中,末端执行器操纵命令和重新配置命令由相同的使用者接收自手术控制台处的输入装置。在其它实施方式中,末端执行器操纵命令和重新配置命令由相同的使用者接收自患者旁推车处的输入装置。

[0019] 在某些方面,操纵器手臂的近侧部分连接至基座,使得在驱动关节的同时阻止近侧部分相对于基座移动。在一些实施方式中,近侧部分通过关节连接至基座,使得在驱动关节的同时操纵器手臂的近侧部分可相对于基座移动。将操纵器的近侧部分连接至基座的关节可以是支撑操纵器手臂的旋转关节,使得旋转关节的关节移动使操纵器手臂的一个或多个关节围绕旋转关节的枢轴线枢轴转动。在各种实施方式中,旋转关节的枢轴线从关节延伸通过远程中心,末端执行器的器械轴围绕该远程中心枢轴转动。在某些方面,旋转移动使操纵器手臂的一个或多个关节围绕圆锥体枢轴转动,该圆锥体在远侧呈锥形并朝向远端执行器定向,远端执行器通常处于或靠近远程中心。在这方面,操纵器手臂枢轴转动所围绕的圆锥体相当于在工具顶端的运动范围内的圆锥体形空腔,其中工具的移动可以是不可能的或受到妨碍,这在以下详细描述。

[0020] 另一方面,将操纵器近侧部分连接至基座的关节可相对于基座沿着路线如弓形或基本上圆形的路线移动,使得沿着路线的关节移动使操纵器手臂的一个或多个关节围绕轴线枢轴转动,该轴线延伸通过靠近器械的操纵器手臂的远侧部分,如通过远程中心,器械轴围绕该远程中心枢轴转动。在一些实施方式中,操纵器包括将操纵器的近侧部分连接至基座的旋转关节,旋转关节可相对于基座沿着可为线形、弓形或基本上圆形的路线移动。

[0021] 而在本发明的另一个方面,提供具有近侧旋转关节和远侧平行四边形联动装置的手术机器人操纵器,旋转关节的枢轴线基本上与末端执行器器械轴的轴线交叉,如果可行

末端执行器优选地处于或靠近远程中心。系统进一步包括处理器,其具有将输入设备连接至操纵器手臂的控制器,并被配置以计算响应使用者输入命令的多个关节移动。系统可进一步包括输入装置,其用于接收重新配置命令以用期望的重新配置移动来移动多个关节的第一组关节,同时使末端执行器保持在期望的状态。

[0022] 通过参考说明书的其余部分和附图,对本发明的特性和优点的进一步理解将变得明显。

附图说明

[0023] 图1A为根据本发明实施方式的机器人手术系统的俯视图,机器人手术系统具有手术台,手术台具有多个机器人操纵器,该机器人操纵器用于以机器人方式移动具有在患者体内内部手术部位的手术末端执行器的手术器械。

[0024] 图1B图形地示例了图1A的机器人手术系统。

[0025] 图2为透视图,其示例了用于将手术过程命令输入图1A手术系统的主控外科医生控制台或工作台,控制台包括用于响应输入命令而生成操纵器命令信号的处理器。

[0026] 图3为图1A电子设备推车的透视图。

[0027] 图4为具有四个操纵器手臂的患者旁推车的透视图。

[0028] 图5A-5D显示实例操纵器手臂。

[0029] 图6A-6B分别显示前俯仰配置和后俯仰配置的实例操纵器手臂。

[0030] 图6C显示实例操纵器手臂手术器械工具顶端运动范围的图形表示,包括前俯仰和后俯仰配置每一个中的圆锥体静区 (cone of silence) 或圆锥形工具进入限制区。

[0031] 图7A显示具有近侧旋转关节的实例操纵器手臂,近侧旋转关节使操纵器手臂围绕近侧旋转关节的轴线旋转。

[0032] 图7B显示实例操纵器手臂和相关联的运动范围和圆锥体静区,实例操纵器手臂具有近侧旋转关节,该近侧旋转关节使操纵器手臂围绕近侧旋转关节的轴线旋转,近侧旋转关节的移动可用于缓和描绘的圆锥体静区。

[0033] 图8显示具有靠近远侧器械夹持器的旋转关节的实例操纵器手臂。

[0034] 图9显示具有靠近远侧器械夹持器的旋转关节的实例操纵器手臂,该旋转关节使器械夹持器围绕关节轴线旋转或扭动。

[0035] 图10A-10C显示随着关节在其移动范围内移动,具有靠近远侧器械夹持器的旋转关节的实例操纵器手臂的顺序视图。

[0036] 图11A-11B显示当关节的角位移分别为 0° 与 90° 时,具有远侧旋转关节的实例操纵器手臂的旋转剖面图。

[0037] 图12A-12D显示具有近侧关节的实例操纵器手臂,该近侧关节使支撑操纵器手臂的近侧关节围绕关节的路线平移。

[0038] 图13A-13C显示具有近侧关节的示例性操纵器手臂,所述近侧关节使支撑所述操纵器手臂的近侧关节围绕关节的路线平移。

[0039] 图14A-14B图形地表示实例操纵器组装件雅可比行列式零空间和零垂直空间之间的关系。

[0040] 图14C图形地描绘“锁定”关节相对于其它关节的关节空间。

[0041] 图15A-15B示例根据与末端执行器移位移动同时进行的重新配置移动的实例操纵器的移动,其中最近侧关节被锁定于所述末端执行器移位移动之外。

[0042] 图16A-16B为表示根据许多实施方式的方法的简化方框图。

具体实施方式

[0043] 本发明总体提供改进的手术和机器人装置、系统和方法。本发明对于与手术机器人系统一起使用尤其具有优势,其中在手术过程中多个手术工具或器械被安装于相关联的多个机器人操纵器上并被其移动。机器人系统通常会包括远程机器人、远程手术和/或远程呈现系统,其包括配置为主从动控制器的处理器。通过提供使用被合适地配置以移动具有铰接联动装置的操纵器组装件的处理器机器人系统,联动装置的运动可被调整以通过微创进入部位进行工作,该铰接联动装置具有相对较大的自由度。大的自由度允许在保持任选地为手术做准备时期望的末端执行器状态和/或在其它使用者在手术过程中操控末端执行器的同时,系统操作者或助手重新配置操纵器组装件的联动装置。

[0044] 本文所述的机器人操纵器组装件通常包括机器人操纵器和安装于其上的工具(在手术应用中工具通常包括手术器械),尽管术语“机器人组装件”也包括没有在其上安装工具的操纵器。术语“工具”包括通常的或工业的机器人工具和专用的机器人手术器械,其中后面的这些结构通常包括末端执行器,其适用于组织操纵、组织处理、组织成像或类似。工具/操纵器接口通常为快速拆分工具夹持器或联结器,允许快速去除和用替代工具更换该工具。操纵器组装件通常具有基座,其在至少部分机器人手术过程期间固定于适当空间内,且操纵器组装件可在基座和工具的末端执行器之间包含许多自由度。末端执行器的致动(如打开或关闭夹紧装置的夹片、给电外科踏板(paddle)供能量或类似)通常独立于这些操纵器组装件自由度并在这些操纵器组装件自由度之外。

[0045] 在各种实施方式中,末端执行器以两个至六个之间的自由度在工作空间内移动。如本文使用的,术语“方位”包括位置和方向。因此,末端执行器(例如)方位的改变可涉及末端执行器从第一位置平移至第二位置、末端执行器从第一方向转动至第二方向或二者的组合。当用于微创机器人手术时,操纵器组装件的移动可受系统的处理器的控制,使得工具或器械的轴或中间部分被约束为安全运动通过微创手术进入部位或其它孔口。这种运动可包括,例如,轴通过孔口部位轴向插入手术工作空间、轴围绕其轴线的转动以及轴围绕邻近进入部位的枢轴点的枢轴运动。

[0046] 本文所述的许多实例操纵器组装件具有大于在手术部位内定位和移动末端执行器所需的自由度。例如,可通过微创孔口在内部手术部位以六个自由度定位的手术末端执行器在一些实施方式中可具有九个自由度(六个末端执行器自由度——三个用于位置,三个用于方向——加上适应进入部位约束的三个自由度),但可具有十个或更多个自由度。具有比给定的末端执行器方位所需的更多自由度的高度可配置操纵器组装件可被描述为具有或提供充足的自由度,以允许一系列关节状态用于在工作空间内的末端执行器方位。例如,对于给定的末端执行器方位,操纵器组装件可占有一系列可选操纵器联动装置方位的任何方位(和在其间被驱动)。类似地,对于给定的末端执行器速度向量,操纵器组装件可具有针对雅可比行列式零空间内操纵器组装件各种关节的一系列不同的关节移动速度。

[0047] 本发明提供机器人联动装置结构,其尤其良好地适用于期望大范围运动的手术

(和其它)应用,并且由于存在其它机器人联动装置、手术人员和设备等,对于该联动装置结构可获得有限的专用体积。每个机器人联动装置所需的大运动范围和减小的体积也可在机器人支撑结构的位置和手术或其它工作空间之间提供更大的灵活性,从而促进和加速装配。

[0048] 关节等的术语“状态”在本文中通常指与关节相关联的控制变量。例如,角关节的状态可指该关节在其运动范围内限定的角度,和/或指该关节角速度。类似地,轴向或平移(prismatic)关节的状态可指该关节的轴向方位,和/或指其轴向速度。尽管本文所述的许多控制器包括速度控制器,但它们通常也具有一些方位控制特性。可选实施方式可主要或全部依赖方位控制器、加速度控制器等。可用于这些装置的控制系统的许多方面更加充分地描述于美国专利号6,699,177中,其全部公开内容通过引用并入本文。因此,只要所述的移动基于相关联的计算,本文所述的关节移动和末端执行器移动的计算可利用方位控制算法、速度控制算法或二者的组合和/或类似来实施。

[0049] 在各种实施方式中,实例操纵器手臂的工具围绕邻近微创孔口的枢轴点枢轴转动。系统可利用硬件远程中心,如美国专利6,786,896中所述的远程中心运动学,其全部内容以整体并入本文中。这些系统也可利用双平行四边形联动装置,其约束联动装置的移动,使得由操纵器支撑的器械轴围绕远程中心点枢轴转动。可选的机械约束的远程中心联动装置系统是已知的和/或可在未来被研发。出乎意料的是,与本发明有关的工作表明,远程中心联动装置系统受益于高度可配置的运动结构。特别地,当手术机器人系统具有允许围绕在或靠近微创手术进入部位处相交的两条轴线枢轴运动的联动装置时,球形枢轴运动可包括在患者体内期望的运动范围的全部范围,但仍可能遭受可避免的缺陷(如受到不良的制约、在患者体外容易产生手臂与手臂或手臂与患者的接触,和/或类似)。首先,添加也机械约束为在或靠近进入部位处的枢轴运动的一个或多个额外的自由度似乎提供很少或少许的运动范围的提高。尽管如此,通过使整个系统通过进一步扩展其它手术过程的运动范围等而被配置为或驱动成为碰撞阻止姿势,这关节可提供显著的优势。在其它实施方式中,系统可利用软件实现远程中心,如美国专利申请号8,004,229中所述,其全部内容通过引用并入本文中。在具有软件远程中心的系统中,处理器计算关节的移动,以便使器械轴的中间部分围绕计算的枢轴点而不是由机械约束所限定的枢轴点枢轴转动。由于具备计算软件枢轴点的能力,可选择性地执行以系统柔度或刚度为特征的不同模式。更具体地,可如期望的执行在枢轴点/中心(例如,可移动枢轴点、被动枢轴点、固定/刚性枢轴点、软枢轴点)范围内的不同系统模式。

[0050] 虽然具有多个高度可配置的操纵器的机器人手术系统的许多优势,但由于操纵器包括基座和器械之间的较大数量的关节和连杆,连杆的手动定位可能是有挑战性和复杂的。即便使操纵器结构平衡从而避免重力作用时,试图以合适的布置排列每个关节或重新配置操纵器为所期望的可能是困难、耗时的,且可能涉及大量的训练和/或技能。当操纵器的连杆围绕关节不平衡时,这些挑战可能更大,使得在手术之前或过程中以合适的配置定位这种高度可配置的结构可能是艰难的,这归因于许多手术系统中的操纵器手臂长度以及被动和柔软的设计。

[0051] 通过允许使用者如医师助手任选地甚至在手术过程期间末端执行器移动的过程中快速和容易地重新配置操纵器手臂,并同时保持期望的末端执行器状态,这些问题可得

到解决。操纵器手臂中可包括一个或多个额外的关节,以增加操纵器手臂的运动范围和配置,从而增强该性能。虽然提供额外的关节可为某些任务提供增加的运动范围,但操纵器手臂中大量的冗余关节可导致手臂的各种移动对于其它任务而言过于复杂,使得移动可能无法预料或整体移动的量导致各种其它临床问题。以下可能进一步是有用的,即取消一个或多个关节的移动,这些关节的移动对于第一任务是不期望的(本文中被称为“锁定”关节或“锁定关节组”),并同时允许为可与第一任务同时进行的各种其它任务移动锁定关节组。锁定某些关节而实际上不在物理上约束锁定关节的移动是有利地,因为锁定关节的移动可能是实施其它任务或移动所期望的。在各种实施方式中,本发明进一步允许关节的非移动亚组(或锁定组)中的一个或多个关节期望的运动取消,同时仍然允许移动锁定关节组用于各种其它移动,如基于自主算法的移动或受命令重新配置移动。

[0052] 在某些方面,根据由处理器在运动学雅可比行列式的垂直零空间内计算的关节的协调末端执行器移位移动,通过驱动操纵器的一个或多个关节来实施在手术空间内的受命令末端执行器移动。根据在雅可比行列式的零空间内计算的关节的协调移动,在保持期望的末端执行器状态的同时可通过驱动操纵器一个或多个关节实施多种其它任务如重新配置移动或辅助任务如防撞移动,通常与末端执行器移位移动同时进行。

[0053] 在一些实施方式中,与各种其它任务如基于自主算法的回避移动相关的计算的移动可覆盖取消移动,使得“锁定关节”仍然可被移动以实施各种其它任务。这种回避移动的实例描述于2012年6月1日提交的、名称为“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”的美国临时申请号61/654,755和2012年6月1日提交的、名称为“System and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space”的美国临时申请号61/654,773中,其公开内容整体通过引用并入本文中。然而,计算的移动覆盖“锁定”关节的取消移动不限于自主移动,可包括各种其它移动,如受命令重新配置移动或各种辅助移动。

[0054] 本发明的实施方式可包括使用者输入,其被配置以利用操纵器结构的自由度。输入促进运动联动装置的驱动关节的使用,以响应由使用者进行的进入重新配置命令而重新配置操纵器结构,而不是手动地重新配置操纵器。在各种实施方式中,用于接收重新配置命令的使用者输入被并入操纵器手臂和/或靠近其被布置。在其它实施方式中,输入包括促进一个或多个关节重新配置的集中式输入装置,如患者旁推车或操纵杆上的一组按钮。用于接收重新配置命令的输入装置可与用于接收操纵命令的输入分离,以实施末端执行器的移动。手术系统的控制器可包括具有可读存储器的处理器,该可读存储器具有记录于其上的关节控制器编程指令或代码,该指令或代码允许处理器驱动记录于其上用于驱动关节的合适关节命令,以便允许控制器响应重新配置命令的进入而实施期望的重新配置。然而,应当理解的是,本发明可用于具有或不具有重新配置特征的操纵器手臂。

[0055] 在以下说明中,将描述本发明的各种实施方式。为了说明的目的,阐述了具体配置和细节,从而提供实施方式的全面理解。然而,本发明可被实施而无需所述具体细节,这对本领域技术人员而言也是明显的。此外,可省略或简化公知的特征,从而不会使所描述的实施方式看不清楚。

[0056] 现参考附图,其中贯穿若干视图相同的参考编号表示相同部件,图1A是根据许多实施方式的微创机器人手术(MIRS)系统10的俯视图实例,系统10用于对患者12进行微创诊

断或手术过程,患者12躺在手术台14上。系统可包括在手术过程中外科医生18使用的外科医生控制台16。一个或多个助手20也可参与该过程。该MIRS系统10可进一步包括患者旁推车22(手术机器人)和电子设备推车24。当外科医生18通过控制台16观察手术部位时,患者旁推车22可操纵至少一个通过患者12体内微创切口的可去除地连接的工具组装件26(在下文中简称为“工具”)。通过内窥镜28如立体内窥镜可获得手术部位的图像,内窥镜28可被患者旁推车22操纵以将内窥镜28定向。电子设备推车24可用于处理手术部位的图像,用于随后通过外科医生控制台16向外科医生18显示。一次所使用的手术工具26的数量将一般取决于诊断或手术过程和手术室内的空间约束等因素。如果有必要改变在手术过程中使用的工具26中的一个或多个,助手20可从患者旁推车22去除工具26,并用来自手术室中的托盘30的其它工具26将其取代。

[0057] 图1B图形地示例了机器人手术系统50(如图1A的MIRS系统10)。如以上所讨论的,外科医生控制台52(如图1A中的外科医生控制台16)可被外科医生用来在微创过程期间控制患者旁推车(手术机器人)54(如图1A中的患者旁推车22)。患者旁推车54可利用成像装置如立体内窥镜来捕获手术过程部位的图像,并将捕获的图像输出至电子设备推车56(如图1A中的电子设备推车24)。如以上所讨论的,电子设备推车56可在任何随后的显示之前以多种方式处理捕获的图像。例如,电子设备推车56可在经外科医生控制台52向外科医生显示组合的图像之前利用虚拟控制界面覆盖捕获的图像。患者旁推车54可输出捕获图像用于在电子设备推车56之外进行处理。例如,患者旁推车54可输出捕获的图像至处理器58,处理器58可用于处理捕获的图像。图像也可由电子设备推车56和处理器58的组合进行处理,电子设备推车56和处理器58可被连接在一起以便共同、相继和/或以其组合处理捕获的图像。一个或多个单独的显示器60也可与处理器58和/或电子设备推车56相连接,用于本地和/或远程显示图像,如手术过程部位的图像或其它相关图像。

[0058] 图2是外科医生控制台16的透视图。外科医生控制台16包括左眼显示器32和右眼显示器34,用于向外科医生18呈现实现深度感的手术部位的协调(coordinated)立体视图。控制台16进一步包括一个或多个输入控制装置36,其进而引起患者旁推车22(图1A中所示)操纵一个或多个工具。输入控制装置36可提供与其相关工具26(图1A中所示)相同的自由度,以便向外科医生提供输入控制装置36与工具26成整体的远程呈现或感受,使得外科医生具有直接控制工具26的强烈感觉。为了这个目标,可利用位置、力和触觉反馈传感器(未显示)将位置、力和触感从工具26通过输入控制装置36传送回至外科医生的手。

[0059] 外科医生控制台16通常与患者位于同一房间,使得外科医生可直接监测手术过程,如果有必要则亲身参与,并直接对助手说话,而不是通过电话或其它通讯媒介。然而,外科医生可处于允许远程手术过程的与患者不同的房间、完全不同的建筑或其它远程位置。

[0060] 图3为电子设备推车24的透视图。电子设备推车24可与内窥镜28连接并可包括处理器以处理捕获的图像,用于随后如在外科医生控制台或位于本地和/或远程的其它合适的显示器上向外科医生显示。例如,在使用立体内窥镜的情况下,电子设备推车24可处理捕获的图像以便向外科医生呈现手术部位的协调立体图像。这种协调可包括相反图像之间的校正,并可包括调整立体内窥镜的立体工作距离。作为另一个实例,图像处理可包括使用之前确定的摄像机校准参数来弥补图像捕获装置的成像误差,如光学像差。

[0061] 图4显示具有多个操纵器手臂的患者旁推车22,每一个操纵器手臂在操纵器手臂

的远端支撑手术器械或工具26。所示的多个患者旁推车22包括四个操纵器手臂100,其可用于支撑手术工具26或成像装置28,如用于捕获手术过程部位图像的立体内窥镜。操纵通过具有一些机器人关节的机器人操纵器手臂100而提供。成像装置28和手术工具26可通过患者体内的切口而被定位和操纵,使得运动学远程中心保持在切口处,以便最小化切口的尺寸。当手术部位的图像定位于成像装置28的视野内时,其可包括手术器械或工具26远端的图像。

[0062] 关于手术工具26,可利用多个不同类型的可选机器人手术工具或器械和不同的末端执行器,在手术过程中至少一些操纵器的器械被移除和替换。这些末端执行器中的数个,包括DeBakey钳、显微钳、Potts剪刀和施夹器,包含第一和第二末端执行器元件,其相对彼此枢轴转动以便限定末端执行器夹片对。其它末端执行器,包括解剖刀和电烙探针,具有单个末端执行器元件。对于具有末端执行器夹片的器械,夹片通常通过挤压把手的抓握部件而致动。例如,单个末端执行器器械也可通过抓住抓握部件而致动,以便给电烙探针供能量。

[0063] 器械26的细长轴允许末端执行器和轴的远端在远侧通过微创孔口插入手术工作部位,通常通过腹壁或类似。手术工作部位可被喷注,并且末端执行器在患者体内的移动通常至少部分通过使器械26围绕轴穿过微创孔口的位置枢轴转动而实施。换言之,操纵器100将在患者体外移动器械的近侧壳,使得轴延伸通过微创孔口位置,以便有助于提供期望的末端执行器移动。因此,在手术过程中操纵器100通常经历在患者P体外的显著移动。

[0064] 参考图5A-13C可理解根据本发明的许多实施方式的实例操纵器手臂。如上所述,操纵器手臂通常支撑近侧器械或手术工具和实施器械相对于基座的移动。随着在手术过程中一些具有不同末端执行器的不同器械可按顺序安装于每个操纵器上(通常在手术助手的帮助下),近侧器械夹持器任选地允许快速移除和替换所安装的器械或工具。参考图4可以理解,操纵器被近侧地安装至患者旁推车的基座。在各种实施方式中,操纵器手臂包含多个在基座和近侧器械夹持器之间延伸的联动装置和相关联的关节。在某些方面,实例操纵器包含多个具有冗余自由度的关节,使得可将操纵器手臂的关节驱动成用于给定的末端执行器方位的一系列不同的配置。这对于本文公开的操纵器手臂的任何实施方式都如此。

[0065] 在如例如图5A中所示的某些实施方式中,示例性操纵器手臂包括围绕第一关节轴线旋转的近侧转动关节J1,以便围绕关节轴线旋转关节远侧的操纵器手臂。在一些实施方式中,将旋转关节J1直接安装至基座,而在其它实施方式中,可将关节J1安装至一个或多个可移动联动装置或关节。操纵器关节的组合具有冗余自由度,使得操纵器手臂的关节可被驱动成用于给定的末端执行器方位的一系列不同的配置。例如,可将图5A-5D的操纵器手臂移动成不同的配置,而在器械夹持器510内支撑的远侧部件511(如工具512或器械轴延伸通过的插管)保持特定的状态并可包括给定的末端执行器方位或速度。在各种实施方式中,远侧部件511为工具轴512延伸通过的插管,而器械夹持器510为滑架(显示为在圆杆(spar)上平移的砖块状结构),器械在延伸通过插管511经微创孔口进入患者体内之前连接至该滑架。

[0066] 描述图5A-5D操纵器手臂500的单独连杆与图5A-5D中所示例的连接连杆的关节转动轴线,第一连杆504自围绕其关节轴线枢轴转动的枢轴关节J2远侧地延伸并被连接至围绕其关节轴线转动的旋转关节J1。如图5A所示,关节的许多其余部分可通过它们相关联的

转动轴线而得到识别。例如,如所示,第一连杆504的远端在绕其枢轴线枢轴转动的枢轴关节J3处连接至第二连杆506的近端,而第三连杆508的近端在围绕其轴线枢轴转动的枢轴关节J4处连接至第二连杆506的远端。第三连杆508的远端在枢轴关节J5处被连接至器械夹持器510。在各种实施方式中,关节J2、J3、J4、和J5的每一个的枢轴轴线基本上平行,当彼此紧邻地定位时联动装置显现出“堆叠”,如图5D中所示,以便在操控操纵器组装件的过程中提供减小的操纵器手臂宽度 w 和增加患者间隙(clearance)。在各种实施方式中,器械夹持器还包含额外的关节,如平移关节J6,其促进器械512通过微创孔口的轴向移动和促进器械夹持器连接至器械可滑动地插入通过的插管。

[0067] 工具512延伸通过的远侧部件或插管511可包括器械夹持器510远侧的额外自由度。器械自由度的致动通常由操纵器的马达驱动,并且可选的实施方式可在可快速拆卸的器械夹持器/器械接口处将器械与支撑操纵器结构分离,使得此处显示为处于器械上的一个或多个关节改为处于接口上,反之亦然。在一些实施方式中,插管511包括在工具顶端插入点或枢轴点PP附近或近侧的转动关节(未显示),其通常设置于微创孔口部位。器械的远侧腕关节允许手术工具512的末端执行器围绕器械腕关节处一个或多个关节的器械关节轴线的枢轴运动。末端执行器夹片元件间的角度可独立于末端执行器位置和方向而受到控制。

[0068] 通过参考图6A-6C,可理解示例性操纵器组装件的运动范围。在手术过程中,由于需要在手术工作空间内接近具体的患者组织,示例性操纵器手臂可被操控成如图6A所示的前俯仰配置或如图6B所示的后俯仰配置。典型的操纵器组装件包含末端执行器,末端执行器可围绕轴线前俯仰和后俯仰至少 ± 60 度,优选地为约 ± 75 度,且也可围绕轴线偏离 ± 80 度。虽然这方面允许具有该组装件的末端执行器增加的操控性,然而也可存在这样的配置,其中末端执行器移动可受到限制,尤其是当操纵器手臂处于如图6A和6B所示的完全前俯仰或完全后俯仰配置时。在一种实施方式中,操纵器手臂的外俯仰和外偏离关节分别具有(± 75 度)和(± 300 度)的运动范围(ROM),在一些实施方式中,可增加外部俯仰的ROM,以提供大于(± 90 度)的ROM,在这种情况下,可使得“圆锥体静区”完全消失,虽然通常与插入限制相关联的内球体将保留。需理解的是,各种实施方式可被配置为具有增加或减少的ROM,为了说明的目的而提供上述ROMs,以及另外本发明不限于本文所述的ROMs。

[0069] 图6C图形地表示图5A-5B示例性操纵器工具顶端的整体运动范围和工作空间。虽然工作空间显示为半球体,然而根据操纵器一个或多个旋转关节如关节J1的运动范围和配置,其也可表示为球体。如所示,图6C中的半球体包含在中心的、小的球形空腔以及两个圆锥形空腔。空腔表示这样的区域,其中工具顶端移动由于机械约束而可能无法做到或由于使末端执行器的移动困难或缓慢的极高关节速度而难以实施。由于这些原因,圆锥形空腔被称作“圆锥体静区”。在一些实施方式中,操纵器手臂可在圆锥体内的点到达极点(singularity)。由于操纵器在圆锥体静区内或附近的移动可受到削弱,可能难以将操纵器手臂自圆锥体静区移开而不手动地移动操纵器的一个或多个连杆以根据期望重新配置连杆和关节,其通常需要可选的操作模式并延迟手术过程。

[0070] 在各种实施方式中,器械轴移动进入或靠近这些圆锥形部分通常在操纵器内的远侧联动装置间的角度相对小时发生。通过重新配置操纵器以增加联动装置间的角度(使得联动装置移动成相对彼此更加垂直的方位)可避免这种配置。例如,在图6A和6B所示的配置

中,当最远侧的连杆和器械夹持器之间的角(角 a)变得相对小时,操纵器的移动可变得更加困难。根据各种实施方式中剩余关节中的关节移动范围,当某些联动装置间的角度减小时,操纵器的移动可受到阻止,在一些情况下,操纵器手臂可不再冗余。在其中器械轴靠近这些圆锥形部分或在其中联动装置间的角度相对低的操纵器配置被称为“状况不良”,使得操纵器手臂的操控性和灵巧性受到限制。可期望操纵器“状况良好”,以便保持移动的灵巧性和范围。在某些方面,甚至是在手术过程中移动末端执行器期间,本发明允许使用者通过简单地进入命令以根据期望重新配置操纵器而避免器械轴靠近上述圆锥形部分的移动。如果操纵器无论什么原因变得“状况不良”,这方面尤其有用。

[0071] 虽然上述操纵器的实施方式可在本发明中使用,但一些实施方式可包括额外的关节,其也可用于改善操纵器手臂的灵巧性和状态。例如,示例性操纵器可包括关节 J_1 近侧的旋转关节和/或联动装置,其可用于围绕旋转关节的轴线旋转图5A的操纵器手臂,以及其相关联的圆锥体静区,以便减小或消除圆锥体静区。在另一种实施方式中,示例性操纵器还可包括远侧枢轴关节,其围绕基本上垂直于关节 J_5 的轴线枢轴转动器械夹持器,从而偏移工具顶端,以便进一步减小圆锥体静区和增加手术工具的移动范围。在另一种实施方式中,操纵器手臂的近侧关节如 J_1 ,可以可移动地安装与基座上,以便根据需要移动或转移圆锥体静区并改善操纵器工具顶端的运动范围。通过参考图7A-13C,可理解这些额外关节的用途和优势,图7A-13C示例了这些关节的实例,在本文所述的任何示例性操纵器手臂中,这些实例可彼此独立应用或组合应用。

[0072] 图7A-7B示例与示例性操纵器手臂一起使用的额外的冗余关节——第一关节,其将操纵器手臂的近侧部分连接至基座。第一关节为近侧旋转关节 J_t ,其使操纵器手臂围绕关节 J_t 的关节轴线旋转。近侧旋转 J_t 包含使关节 J_t 自近侧旋转 J_t 偏移预定的距离或角度的连杆501。连杆501可以是如图7A所示的弯曲的联动装置,或如图7B所示的线性或成角度的联动装置。如图7A的实施方式所示,关节 J_t 的关节轴线可与远程中心RC或工具顶端的插入点对准。在各种实施方式中,如同操纵器手臂的每个旋转关节轴线那样,关节 J_t 的关节轴线穿过远程中心,以阻止主体壁处的运动,并因此可在手术过程中受到移动。关节 J_t 的轴线被连接至手臂的近侧部分,因此其可用于改变手臂背部的方位和方向。通常,冗余轴线如该轴线允许器械顶端跟随外科医生的命令,同时避免与其它手臂或患者解剖结构的碰撞。在某些方面,近侧旋转 J_t 仅用于改变操纵器相对于地面的安装角度。为了1)避免与外部患者解剖结构的碰撞和2)到达患者体内的解剖结构,该角度是重要的。在各种实施方式中,连接至近侧旋转关节 J_t 的近侧连杆操纵器与近侧旋转轴线间的角 a 为约15度。

[0073] 图7B示例在示例性操纵器手臂中近侧旋转关节 J_t 和其相关联的关节轴线与圆锥体静区之间的关系。近侧旋转关节 J_t 的关节轴线可穿过圆锥体静区或可完全处于圆锥体静区的外部。通过使操纵器手臂围绕近侧旋转 J_t 的轴线旋转,圆锥体静区可得到减少(在关节 J_t 轴线穿过圆锥体静区的实施方式中),或可得到有效地消除(在近侧旋转关节轴线完全地延伸于圆锥体静区外部的实施方式中)。连杆501的距离和角度决定关节 J_t 轴线相对于圆锥体静区的方位。

[0074] 图8示例与示例性操纵器手臂一起使用的另一种类型的冗余关节,其为将器械夹持器510连接至操纵器手臂508的远侧连杆的远侧旋转关节 J_7 。远侧旋转关节 J_7 允许系统使器械夹持器510围绕关节轴线扭动,在各种实施方式中,该关节轴线穿过远程中心或插入

点。理想情况下,旋转关节在远侧位于手臂上,并因此特别适合于移动插入轴线的方向。该冗余轴线的添加允许操纵器为任何单个器械顶端的方位采用多个方位。通常,冗余轴线如该轴线允许器械顶端跟随外科医生的命令,同时避免与其它手臂或患者解剖结构的碰撞。由于远侧旋转关节J7具有移动插入轴线向偏离轴线靠近的能力,其能够增加手臂后俯仰运动范围。远侧旋转关节J7的轴线、J1的偏离轴线与工具顶端插入轴线之间的关系显示于图9中。图10A-10C显示J7的按次序移动和其如何将工具顶端的插入轴线从一侧转移到另一侧。

[0075] 远侧旋转关节J7的另一个优势是其可减小患者间隙圆锥体,其为插入点近侧的操纵器手臂远侧部分的波及体积,该体积会间隔开患者以避免患者与操纵器手臂的器械夹持器或远侧联动装置之间的碰撞。图11A示例当远侧旋转关节的角位移保持在 0° 时操纵器手臂近侧部分的患者间隙圆锥体。图11B示例当显示远侧旋转关节具有围绕其轴线 90° 的角位移时操纵器手臂近侧部分减小的患者间隙圆锥体。因此,在插入点附近具有最小的患者间隙的手术过程中,根据本发明的关节J7的使用可提供额外的间隙,同时根据需保持远程中心位置或末端执行器的方位。

[0076] 图12A-13C示例与示例性操纵器手臂一起使用的另一种类型的冗余关节,近侧关节,其使操纵器手臂绕轴线平移或旋转。在各种实施方式中,该近侧可平移关节使操纵器的近侧关节,如关节J1或 J_1 ,沿路线平移以便通过转移或转动操纵器手臂的运动范围减小或消除圆锥体静区,从而提供操纵器手臂更佳的状态和改进的操控性。可平移关节可包含圆形路线,例如图12A-12D中的关节 J_{H1} 所示,或可包括半圆形或弓形路线,例如图13A-13C中所示。通常,该关节使操纵器手臂围绕与远程中心RC交叉的可平移关节的轴线旋转,延伸通过插管511的工具512的轴围绕远程中心RC枢轴转动。在图12A-12D所示的实施方式中, J_{H1} 的该轴线是垂直轴线,而在图13A-13C所示的实施方式中, J_{H2} 的轴线是水平的。

[0077] 在某些实施方式中,操纵器手臂500可包含任何或所有的近侧或远侧旋转关节、近侧可平移关节和远侧联动装置的平行四边形配置。任何或所有这些特征的应用根据本发明提供额外的冗余自由度和促进重新配置,以便通过增加联动装置间的角度而提供“状况”更佳的操纵器组装件,从而改善操纵器的灵巧性和运动。该示例性操纵器增加的灵活性也可用于优化操纵器联动装置的运动学特性,以便避免关节限制、极点和类似。

[0078] 在一些实施方式中,通过由控制器利用系统的马达驱动一个或多个关节而控制操纵器的关节移动,根据由控制器的处理器计算的协调关节移动来驱动关节。在数学上,控制器可利用向量和/或矩阵进行至少一些关节命令的计算,一些向量和/或矩阵可具有对应于关节配置或速度的要素。处理器可获得的可选关节配置的范围可概念化为关节空间。关节空间可例如具有与操纵器具有的自由度同样多的维度,并且操纵器的具体配置可表示关节空间内的具体点,每个坐标对应于相关联的操纵器关节的关节状态。

[0079] 在示例性实施方式中,系统包括控制器,在控制器中工作空间内的部件受命令方位和速度为输入,工作空间在此称为其笛卡儿坐标空间(本文中称为笛卡儿空间)。部件可以是操纵器上或脱离操纵器的任何部件,其可用作利用控制输入而被铰接的控制框架。本文所述的许多实例中使用的操纵器部件的一个实例是工具顶端。操纵器上部件的另一个实例是不在工具顶端上但为操纵器的一部分的物理部件,如销钉或喷涂的图案。脱离操纵器的部件的一个实例为空白空间内的参考点,其准确地距工具顶端一定距离和角度。脱离操纵器的部件的另一个实例是目标组织,其相对于操纵器的方位可得到建立。在所有这些情

况中,末端执行器与利用控制输入要铰接的虚构的控制框架相关联。然而,在下文中,“末端执行器”和“工具顶端”用作同义词。虽然通常不存在将期望的笛卡儿空间末端执行器方位映射至相应的关节空间方位的闭型(closed form)关系,然而笛卡儿空间末端执行器和关节空间速度之间通常存在闭型关系。运动学雅可比行列式是末端执行器的笛卡儿空间方位要素相对于关节空间方位要素的偏导数的矩阵。以这种方式,运动学雅可比行列式捕获末端执行器和关节之间的运动学关系。换言之,运动学雅可比行列式捕获关节运动对末端执行器的作用。运动学雅可比行列式(J)可用于利用以下关系式将关节-空间速度(dq/dt)映射至笛卡儿空间末端执行器速度(dx/dt):

$$[0080] \quad dx/dt = J \, dq/dt$$

[0081] 因此,即使当输入和输出方位间不存在闭型映射时,速度映射也可被迭代地用于例如基于雅可比行列式的控制器中,以执行操纵器自受命令的使用者输入的移动,然而可利用多种实施方法。虽然许多实施方式包含基于雅可比行列式的控制器,但一些实施方法可利用多种控制器,其可被配置为进入操纵器手臂的雅可比行列式以提供本文所述的任何特征。

[0082] 一种这类实施方法以以下简化的术语描述。受命令关节方位用于计算雅可比行列式(J)。在每个时间步骤(Δt)过程中,计算笛卡儿空间速度(dx/dt)以进行期望的移动($dx_{期望}/dt$)和校正与期望的笛卡儿空间方位的积累(built up)偏差(Δx)。然后,利用雅可比行列式的伪逆(pseudo-inverse)($J^\#$)将该笛卡儿空间速度转换成关节空间速度(dq/dt)。然后,对所得的关节空间受命令速度积分以产生关节空间受命令方位(q)。这些关系式在下面列出:

$$[0083] \quad dxdt = dx_{期望}/dt + K \Delta x \quad (1)$$

$$[0084] \quad dq/dt = J^\# dx/dt \quad (2)$$

$$[0085] \quad q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t \quad (3)$$

[0086] 雅可比行列式(J)的伪逆直接将期望的工具顶端运动(和在一些情况下,枢轴工具运动的远程中心)映射至关节速度空间中。如果所使用的操纵器具有比工具顶端自由度(达到六个)更加有用的关节轴线,(且当工具运动的远程中心在使用中时,操纵器应当具有针对三个与远程中心位置相关联的自由度的额外的三条关节轴线),则操纵器被称为冗余的。冗余操纵器的雅可比行列式包含具有至少一个维度的“零空间”。在这种情况下,雅可比行列式(N(J))的“零空间”为关节速度的空间,其瞬间不实现工具顶端运动(且当使用远程中心时,枢轴点位置不移动);和“零运动”是关节方位的组合、轨迹或路线,其也不产生工具顶端和/或远程中心位置的瞬间移动。将计算的零空间速度并入或注入操纵器的控制系统以实施操纵器期望的重新配置(包含本文所述的任何重新配置)将以上方程(2)改变成以下:

$$[0087] \quad dq/dt = dq_{垂直}/dt + dq_{零}/dt \quad (4)$$

$$[0088] \quad dq_{垂直}/dt = J^\# dx/dt \quad (5)$$

$$[0089] \quad dq_{零}/dt = (1 - J^\# J) z = V_n V_n^T z = V_{na} \quad (6)$$

[0090] 根据方程(4)的关节速度具有两个分量:第一个为零垂直空间分量,“最纯粹的”关节速度(最短的向量长度),其产生期望的工具顶端运动(且当利用远程中心时,为期望的远程中心运动),第二个为零空间分量。方程(2)和(5)显示,没有零空间分量时,获得相同的方程。方程(6)在左边以零空间分量的传统形式开始,在远处右侧,显示在示例性系统中使用

的形式,其中 (V_n) 为零空间的正交基本向量集, (α) 为混合这些基底向量的系数。在一些实施方式中, α 通过控制参数、变量或设置如通过使用旋钮或其它控制工具而得到确定,以根据期望在零空间内定形或控制运动。利用以上方程 (4) 和 (5), 可计算以下方程而获得零空间系数,该零空间系数可用于驱动关节从而取消“锁定”关节的移动:

$$[0091] \quad dq/dt = dq_{\text{垂直}}/dt + V_n \alpha \quad (7)$$

[0092] 利用只用于达到零空间维度的选择的关节的零空间速度对抗从自雅可比行列式的伪逆(参见方程 (4) 和 (5)) 生成的零垂直空间的关节速度。如果考虑“非移动”或“锁定”关节,方程 (7) 中的向量唯一相关的分量变成:

$$[0093] \quad dq_{\text{锁定}}/dt = 0 = dq_{\text{垂直(锁定)}}/dt + V_{n(\text{锁定})} \alpha \quad (8)$$

[0094] 然后,可根据多种可能的方案解决锁定关节(方程 (8)) 的相关分量,以获得实施关节运动取消所需的零空间系数。一种方法是通过在以下方程中称为 $p_{\text{逆}(\cdot)}$ 的伪逆给出的最小范数小二乘解:

$$[0095] \quad \alpha = p_{\text{逆}}(V_{n(\text{锁定})} dq_{\text{垂直(锁定)}}/dt) \quad (9)$$

[0096] 可选的方法是利用加权的伪逆,而不是未加权的伪逆。这种方法也提供期望关节的运动取消,然而在一些情况下,可存在与这种方法相关联的缺陷。例如,其可意味着没有零空间算法得到使用或为了使用用于其它算法的零空间基底向量,加权的和未加权的伪逆均可需要在相同的核迭代中得到计算以保持有效。虽然存在其它各种解决这些缺陷的方式,但这些方法可不必要地使计算的移动复杂化以获得由以上方程中概括的方法所允许的所得的移动。

[0097] 图14A图形地示例性操纵器手臂雅可比行列式的零空间和雅可比行列式的零垂直空间之间的关系。图14A显示二维示意图,其显示沿水平轴线的零空间 $(N(J))$, 和沿垂直轴线的零垂直空间 $(N^{\perp}(J))$, 两条轴线互相垂直。斜向量 (\dot{q}) 代表零空间速度向量 (\dot{q}_N) 和零垂直空间速度向量 (\dot{q}^{\perp}) 之和,其代表以上方程 (4)。

[0098] 图14B图形地示例四维关节空间内零空间和零运动流形之间的关系,显示为“零运动流形”。每个箭头 (q_1 、 q_2 、 q_3 和 q_4) 表示主要关节轴线。封闭的曲线表示零运动流形,其为一组关节空间方位,该关节空间方位瞬间实现相同的末端执行器方位。对于曲线上给定的点A,由于零空间是不瞬间产生末端执行器移动的关节速度空间,因此零空间平行于点A处的零运动流形切线 $\rho+A$ 。

[0099] 图14C图形地示例关节空间内“锁定 (locked out)”关节和剩余关节之间的关系。示意图显示多维关节空间由水平轴线以及垂直轴线与内/外轴线表示,水平轴线表示被提供运动取消的“非移动”或“锁定”关节 (q_i), 垂直轴线和内/外轴线表示其它允许运动的关节 (q_j)。每条轴线可表示一个或多个关节。如上所述,运动取消可适用于某些类型的移动,如实施受命令末端执行器操纵的末端执行器移位移动,本示意图不解决可响应各种其它类型的移动如防撞移动而产生的“非移动”或“锁定”关节的移动。在图14C中, $q[k]$ 表示多维关节空间内的当前关节方位。指向左上方的斜箭头 $(\dot{q}_{\perp} \in N^{\perp}(J))$ 是零垂直向量,其为雅可比行列式的伪逆解并处于零垂直空间内。非垂直向量延伸至椭圆 $N(J)$ 的中心,其表示非垂直向量和所有零空间向量集之和。虚线垂直平面 (q_i) 表示超平面,其为所有关节配置的集合,锁定

关节处于当前 $q[k]$ 值。指向右上方的斜箭头($\dot{q}_{N \in N}(J)$)为零空间向量。值得注意的是,这两个斜向量相互垂直(零垂直空间垂直于零空间)。如所示的,当组合所得的这两个向量之和(顶端至末端)时,导致关节方位不具有表示关节移动的沿水平方向的运动。因此,通过如上所述组合向量,期望的关节被有效“锁定”。斜线 $\{q_{解}\}$ 表示椭圆和垂直超平面的交线(该线在三维关节空间内延伸)。因此, $\{q_{解}\}$ 表示(i)处于非垂直向量和零空间移动内并(ii)不导致期望受到锁定的关节移动的所有关节配置的集合。因此, $\{q_{解}\}$ 为期望的关节受到锁定的解关节配置的集合。图14C显示的椭圆的每一个对应于由 $\dot{q}_N \Delta t$ 表示的关节空间内的超平面,在此 \dot{q}_N 为关节速度空间中零空间内的向量。这两个椭圆由 $\dot{q}_\perp \Delta t$ 分开并与其垂直,而垂直超平面(q_\perp)表示锁定的关节处于它们的锁定值时的关节配置。点 $q[k]$ 表示时间步骤 $[k]$ 的关节方位,而所得的 q 以 $q[k+1]$ 表示,其为时间步骤 $[k+1]$ 的关节方位,如图14C所示的方程所表示的。简而言之, $q[k+1]$ 等于 $q[k]$ 加上与零空间和零垂直空间均有关联的关节移动, $q[k+1]$ 处于被称为 $\{q_{解}\}$ 的解空间内。

[0100] 图15A-15B示意性地示例在根据重新配置移动的操纵器手臂移动之前和之后的示例操纵器500,该重新配置移动与末端执行器移位移动同时进行,在末端执行器移位移动中关节 J_t 受到锁定。响应由使用者进入的末端执行器操纵命令,处理器计算包括关节 J_t 的关节的末端执行器在雅可比行列式零垂直空间内的移位移动。然后,处理器计算在零空间内的一个或多个关节的取消移动,使得锁定的关节 J_t 在零空间内的取消移动取消关节移动,使得根据计算的末端执行器移位移动和取消移动的关节驱动在取消锁定的关节(J_t)移动的同时实施期望的操纵移动。在与末端执行器移位移动的同时,根据响应使用者重新配置操纵器手臂的命令而计算的重新配置移动来驱动操纵器手臂。在确定重新配置移动中,计算关节包括锁定的关节 J_t 在雅可比行列式零空间内的移动,使得重新配置移动提供期望的操纵器手臂重新配置,同时保持末端执行器状态。如图15A-15B的实例中所示,手臂的重新配置移动包括关节 J_t 的移动,使得即使当关节 J_t 被锁定于末端执行器移位移动之外时,在实施与另一个任务如操纵器手臂的受命令重新配置有关的移动时锁定的关节可移动。

[0101] 在一些实施方式中,可配置系统使得根据关节位置和/或配置、或任何数量的条件定标关节在零空间内的速度。例如,使用者可期望在重新配置移动的过程中以比操纵器手臂内更远侧关节更高的速度而驱动最近侧关节设计。此外,可配置系统以便根据期望保持操纵器手臂关节任意一个的方位或状态。

[0102] 在某些方面,系统可以以任何数量的方式接收来自系统使用者的重新配置命令。在一些实施方式中,操纵器包含用于接收来自使用者的重新配置命令的输入装置。输入装置可包括用于根据期望驱动一个或多个关节(或可选地用于移动一个或多个连杆)的一个或多个按钮或机构。输入装置可被设置于操纵器手臂上,通常位于对应于响应装置的激活而驱动的关节的位置,如2012年6月1日提交的、名称为“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space”的美国临时申请号61/654,764中所述的,其整体内容并入本文用于所有目的。可选地,系统可包含具有一组按钮或机构的输入装置,每一个对应于操纵器手臂的关节或联动装置。该实施方式允许使用者自集中的位置重新配置手臂。可选地,输入装置可包括操纵杆,操纵杆可被操作以根据期望驱动一个或多个关节和实施重新配置。应当理解的是,该输入装置可包含任何数量的变化。

[0103] 图16A-16B示例根据本发明许多实施方式重新配置机器人手术系统操纵器组装件的方法。图16A显示执行常规算法以控制患者旁推车关节状态所需的必需模块的简化图,其与以上所讨论的方程有关。根据图16A的方法,系统:计算操纵器手臂的正向运动;然后利用方程(1)计算 dx/dt ,利用方程(5)计算 $dq_{\text{垂直}}/dt$,随后利用方程(6)计算可取决于 $dq_{\text{垂直}}/dt$ 和雅可比行列式的来自 z 的 $dq_{\text{零}}/dt$ 。然后,从计算的 $dq_{\text{垂直}}/dt$ 和 $dq_{\text{零}}/dt$,系统分别利用方程(4)和(3)计算 dq/dt 和 q ,从而提供移动,由此控制器可实施期望的操纵器重新配置同时保持期望的末端执行器状态(和/或远程中心位置)。

[0104] 图16B显示系统的实例实施方式的方框图。响应命令期望的工具顶端状态的操纵命令,系统的处理器确定工具顶端的速度和关节的状态,从中计算 $dq_{\text{垂直}}/dt$ 。如果任何关节被指定为“非移动”或“锁定”,系统对指定的关节计算 $dq_{\text{垂直}}/dt$,使得当被组合时 $dq_{\text{垂直}}/dt$ 分量和 $dq_{\text{零}}/dt$ 分量导致锁定的关节不移动。任选地,如果有需要,使用者可改变重新配置命令以重新配置操纵器手臂。响应接收来自使用者的重新配置命令,处理器可利用确定的工具顶端和关节速度(或计算的 $dq_{\text{垂直}}/dt$)以计算 $dq_{\text{零}}/dt$,在此之后系统将针对所有关节的速度添加至计算的 dq/dt 中,以便驱动系统的关节(一个或多个)和实施期望的末端执行器移动(或状态)和操纵器手臂的重新配置,在期望的末端执行器移动中,“非移动”或“锁定”关节的移动受到取消,操纵器手臂的重新配置可包含锁定关节的移动。

[0105] 虽然已经较为详细地描述了实例实施方式用于清晰地理解并通过实例的方式,多种调整、改进和改变对于本领域技术人员而言是明显的。因此,本发明的范围仅由所附的权利要求书限定。

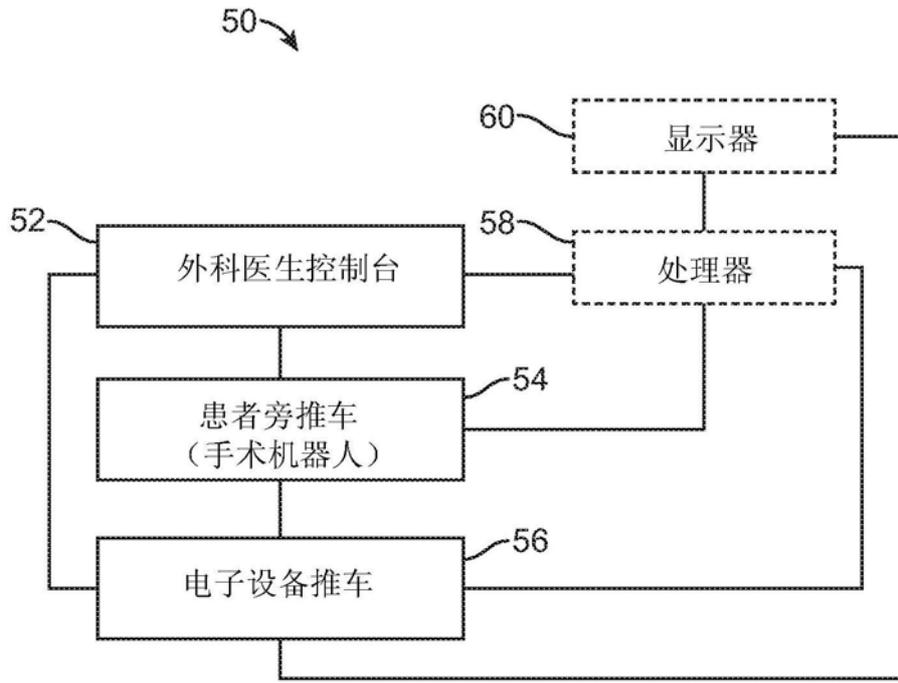


图1B

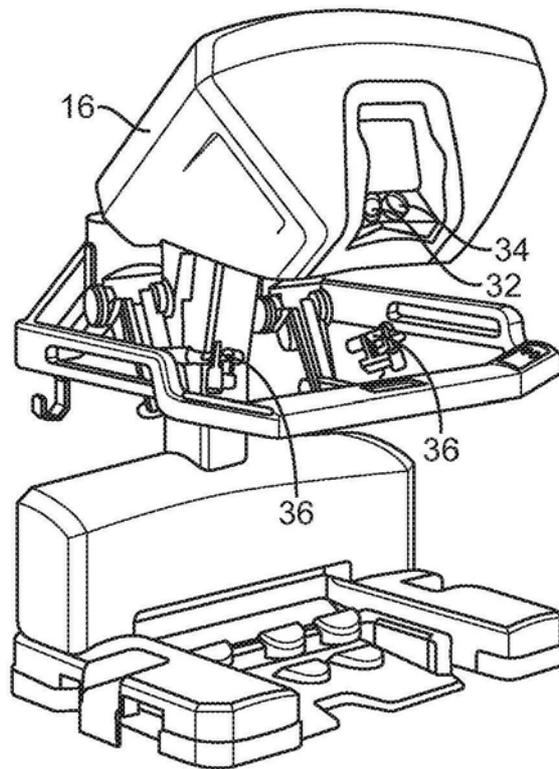


图2

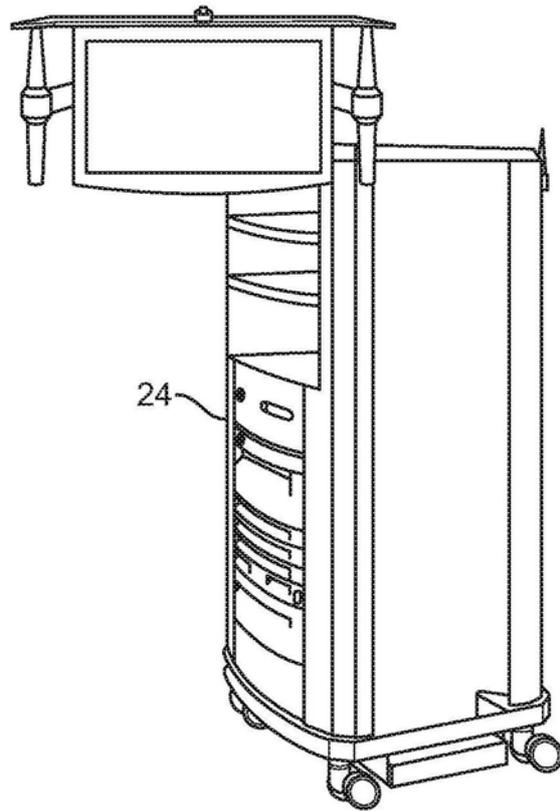


图3

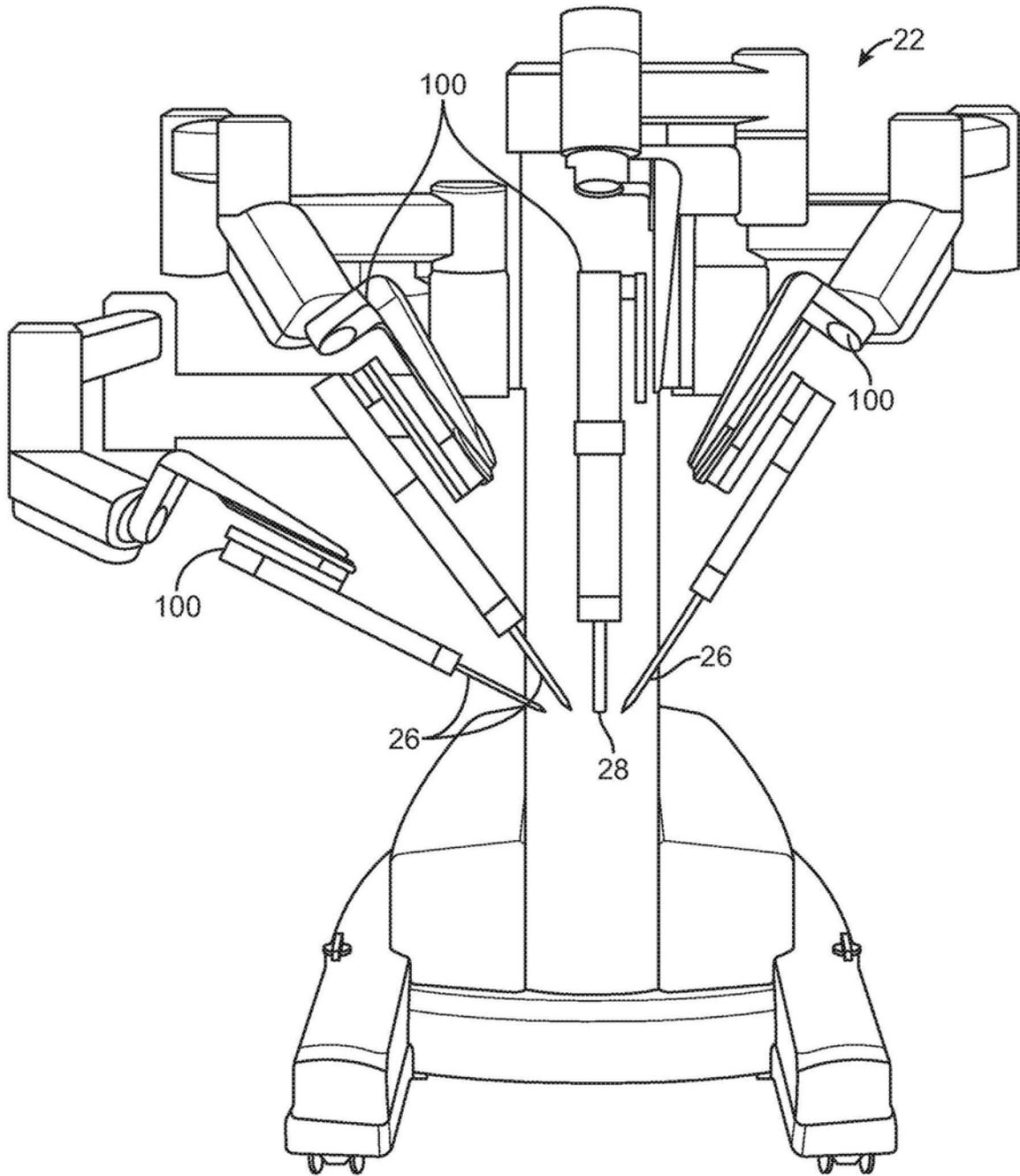


图4

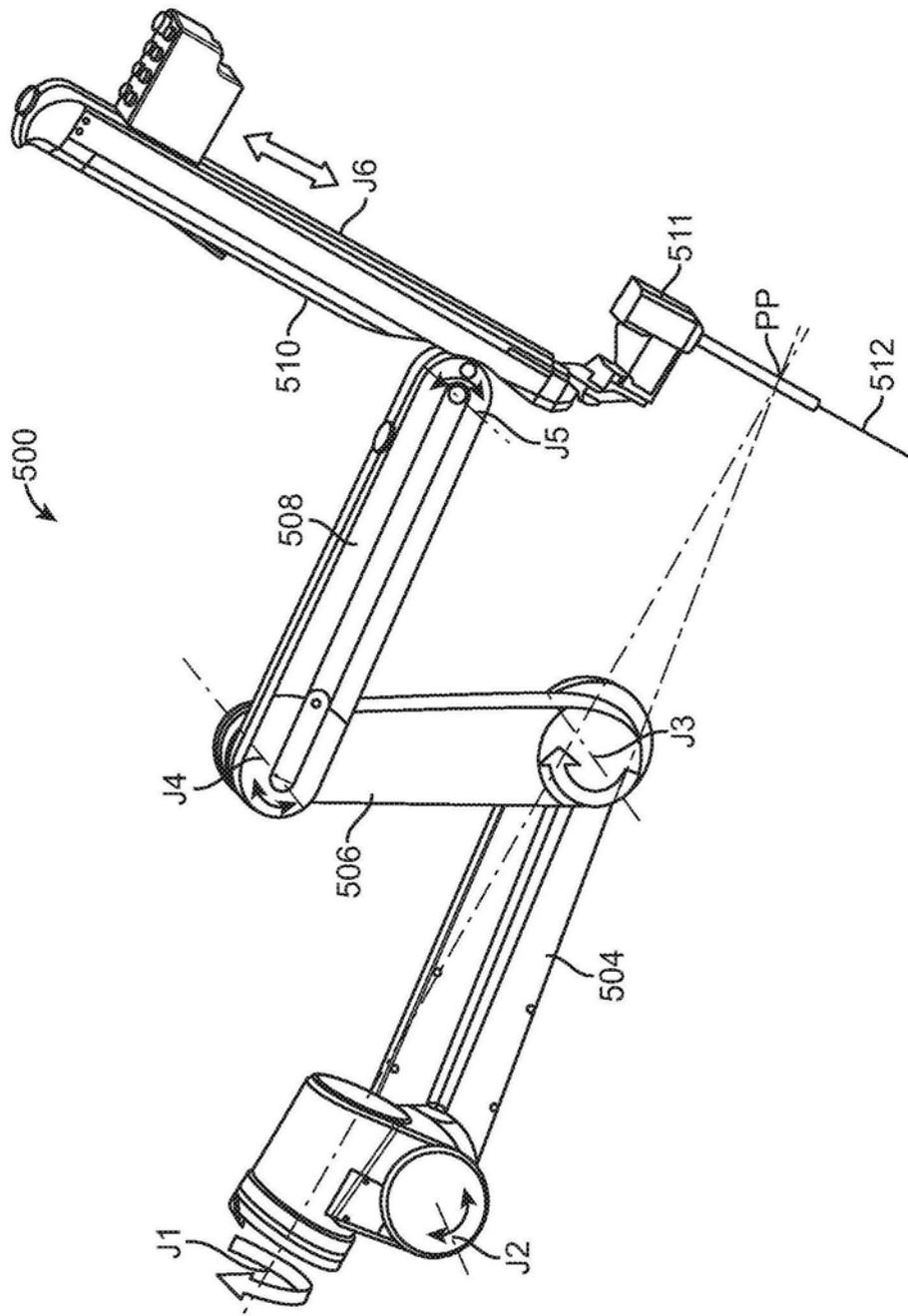


图5A

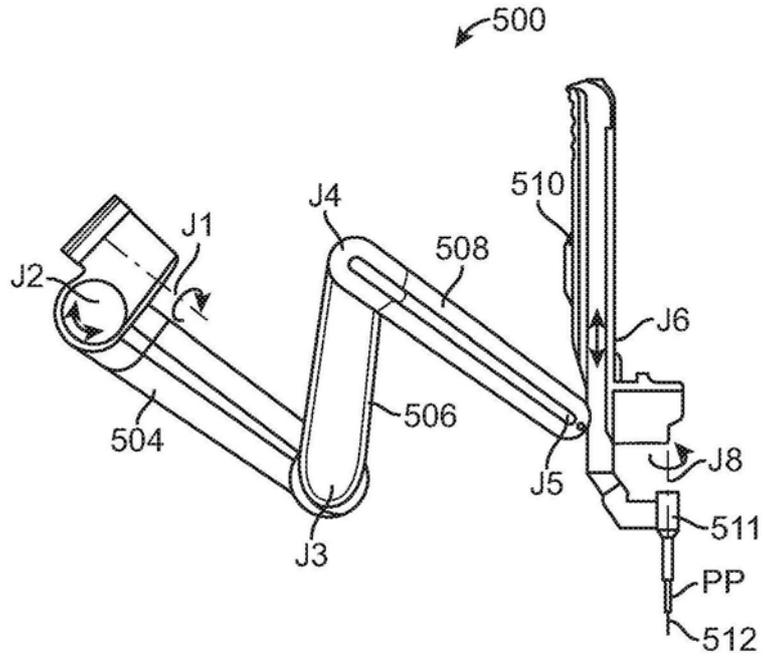


图5B

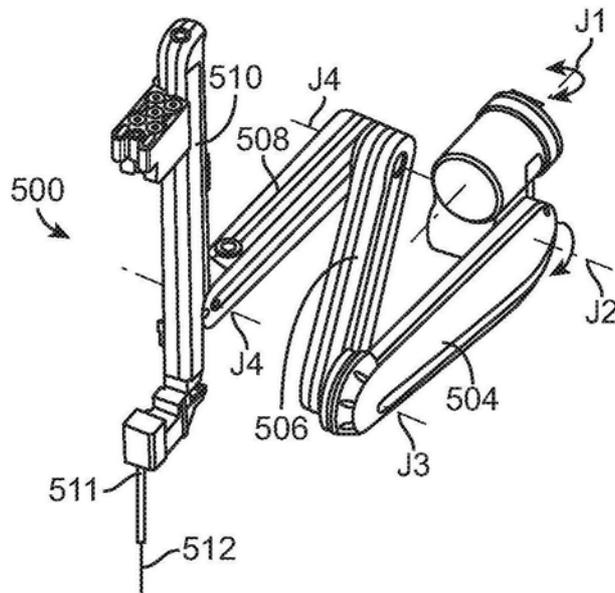


图5C

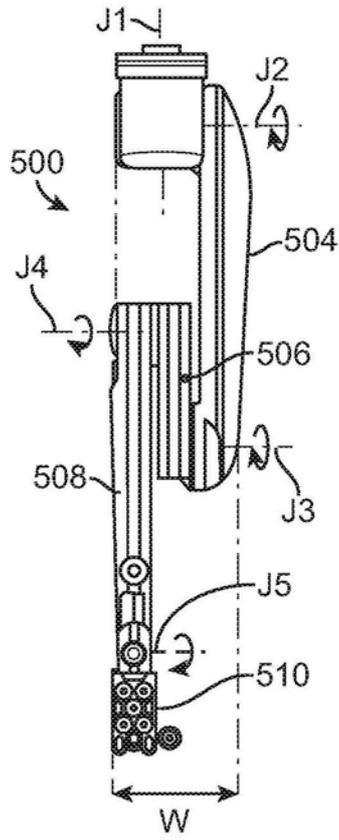


图5D

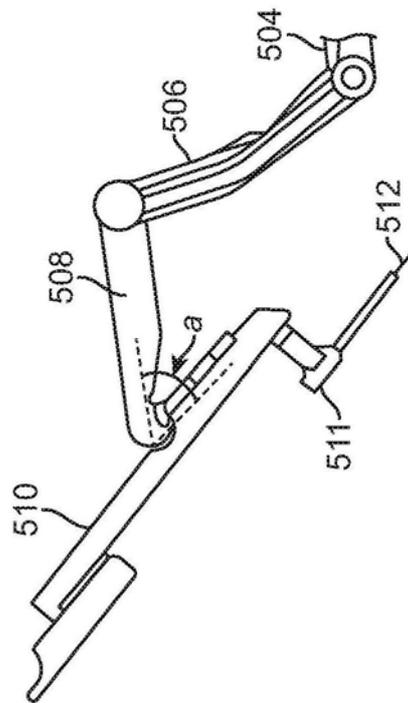


图6A

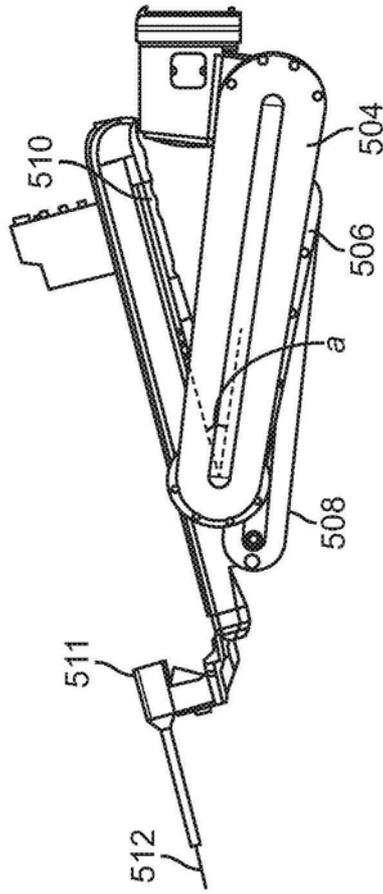


图6B

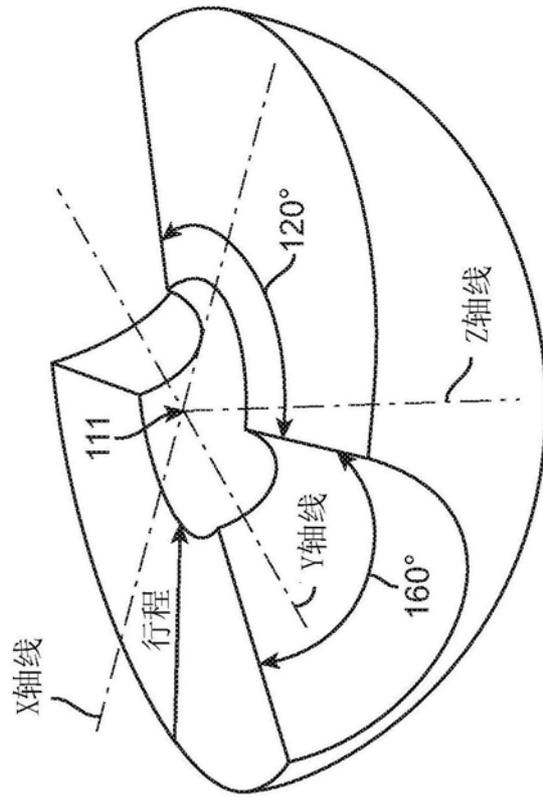


图6C

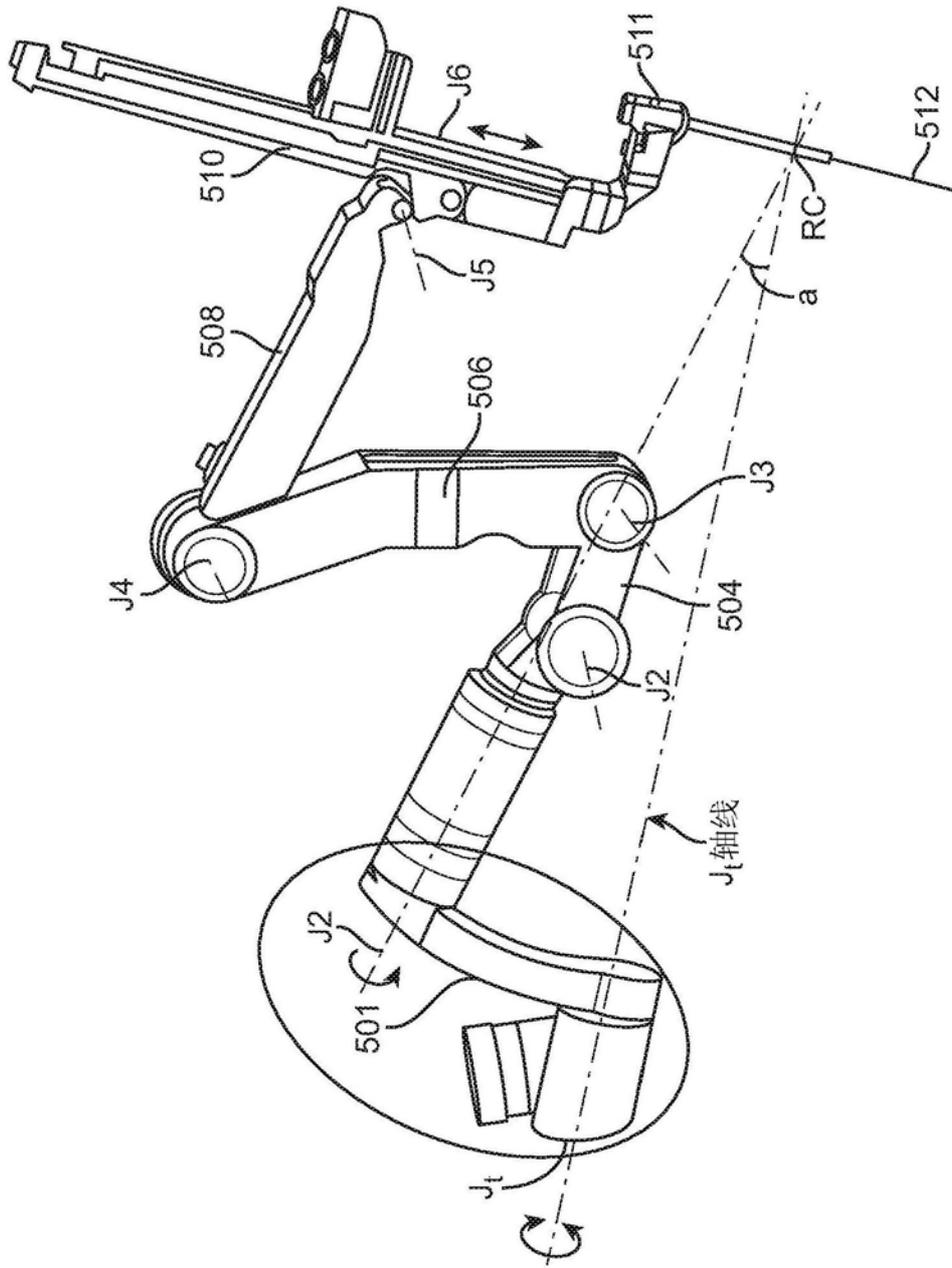


图7A

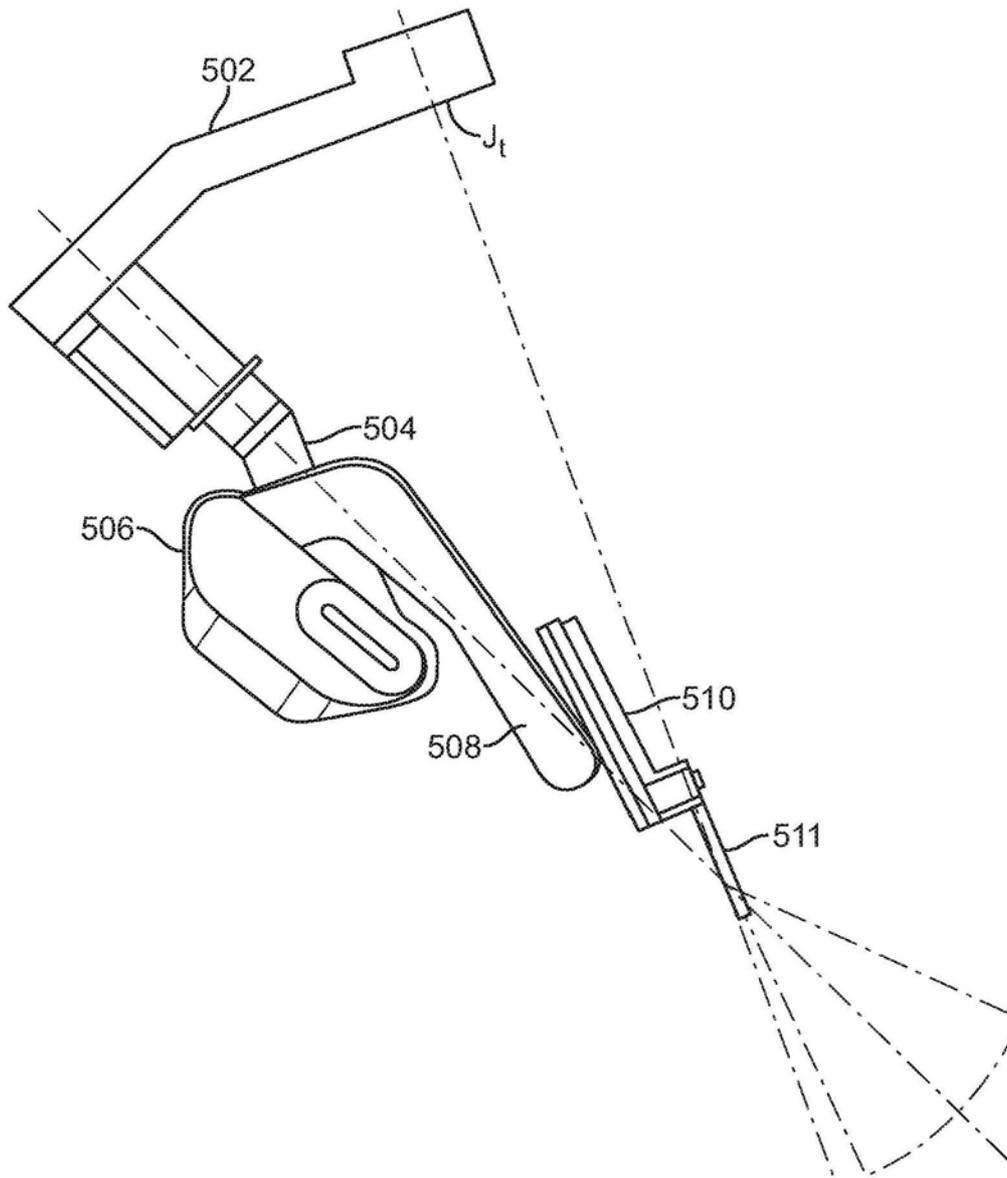


图7B

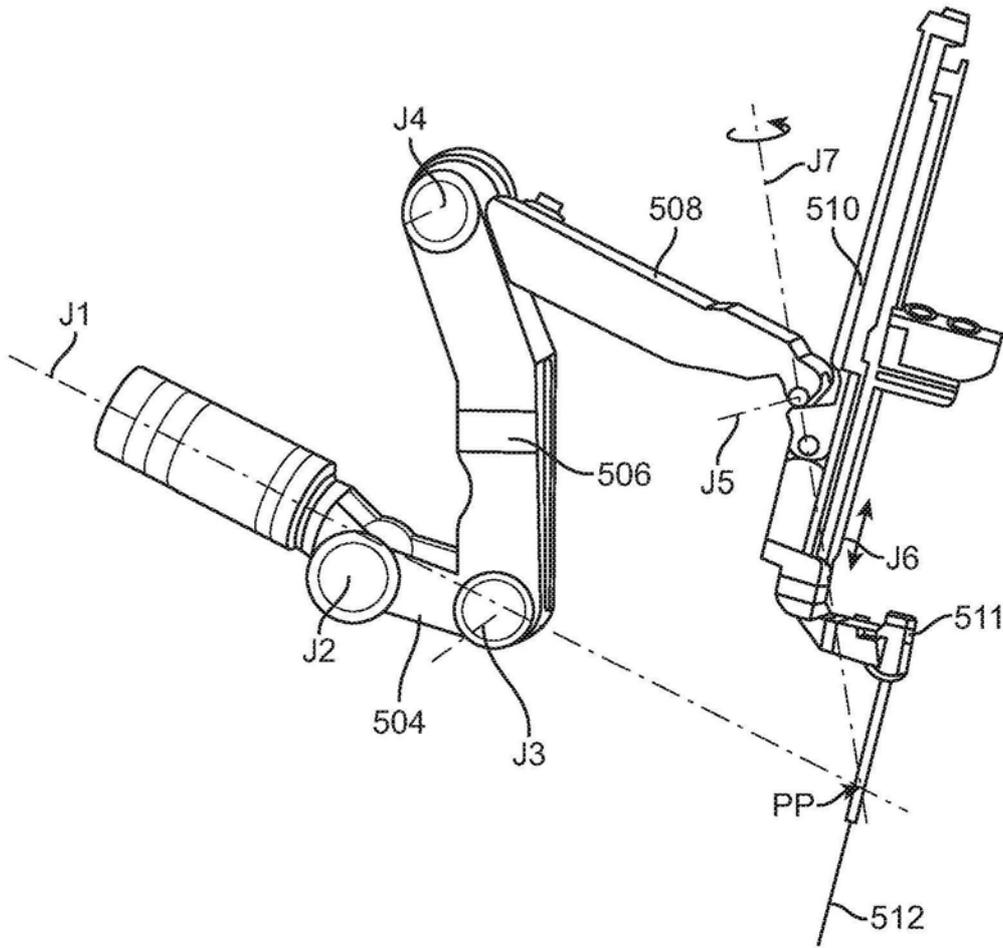


图8

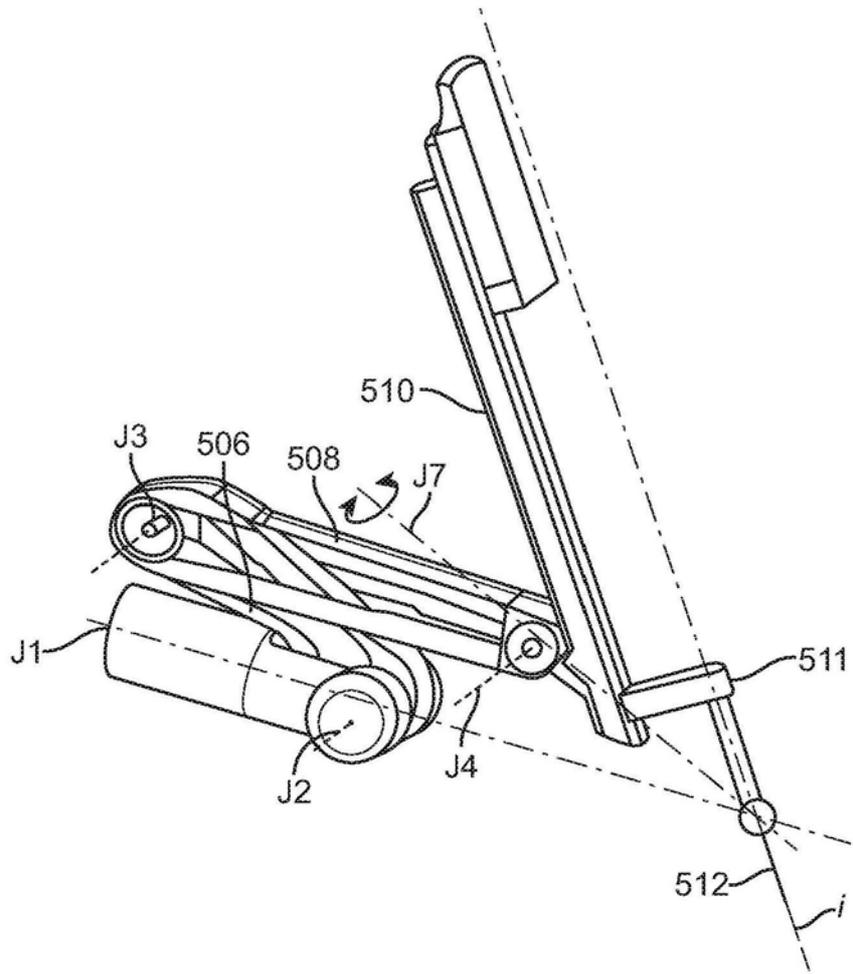


图9

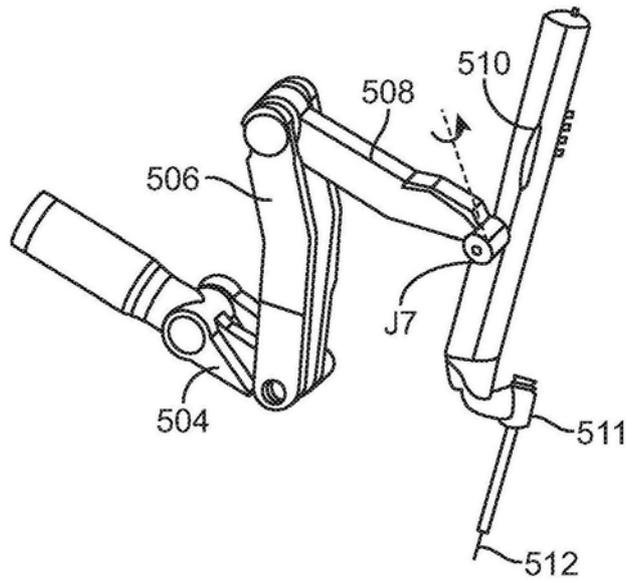


图10A

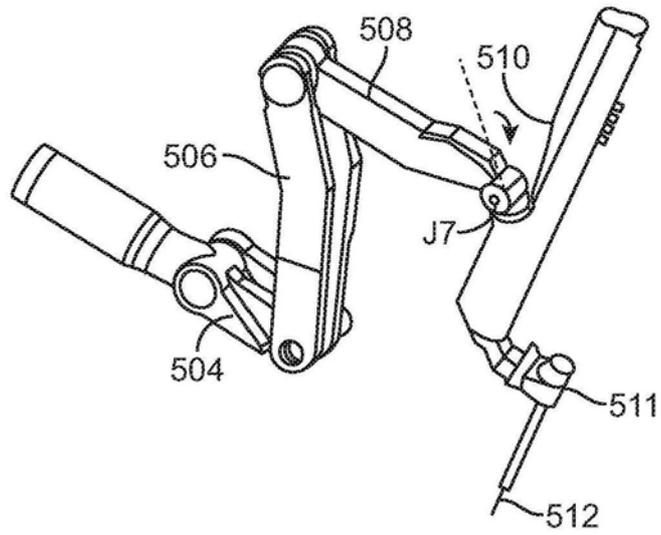


图10B

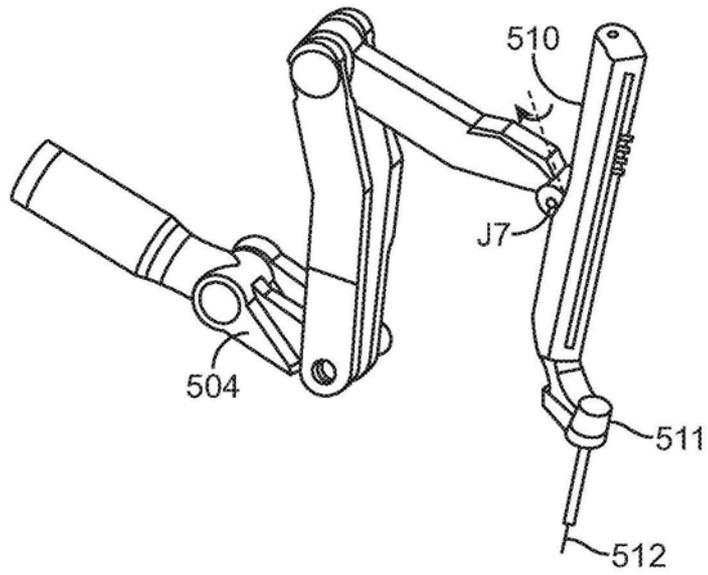


图10C

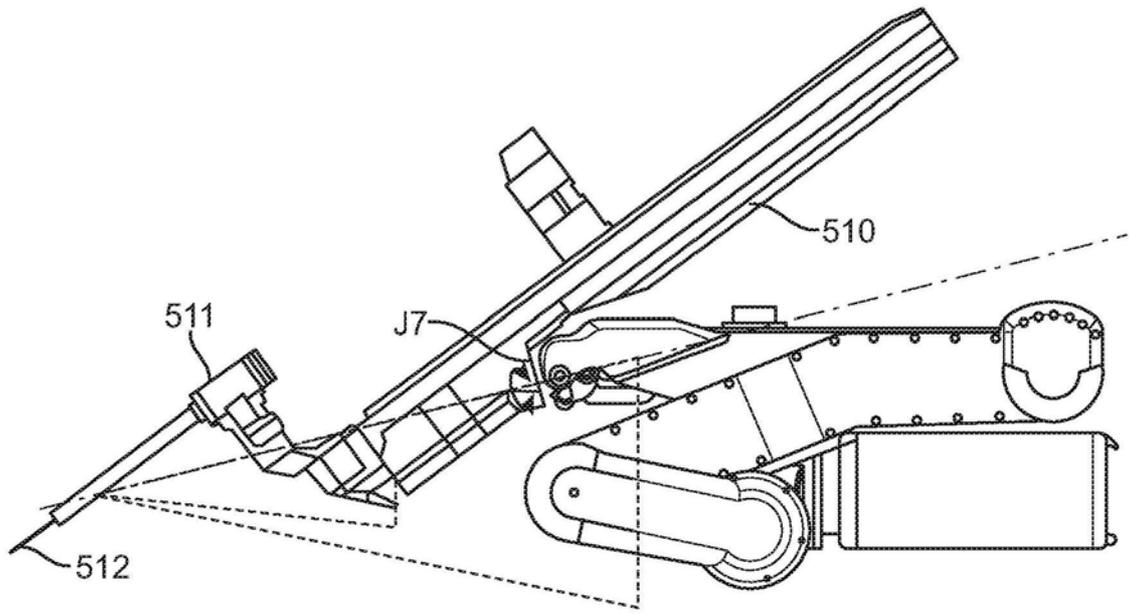


图11A

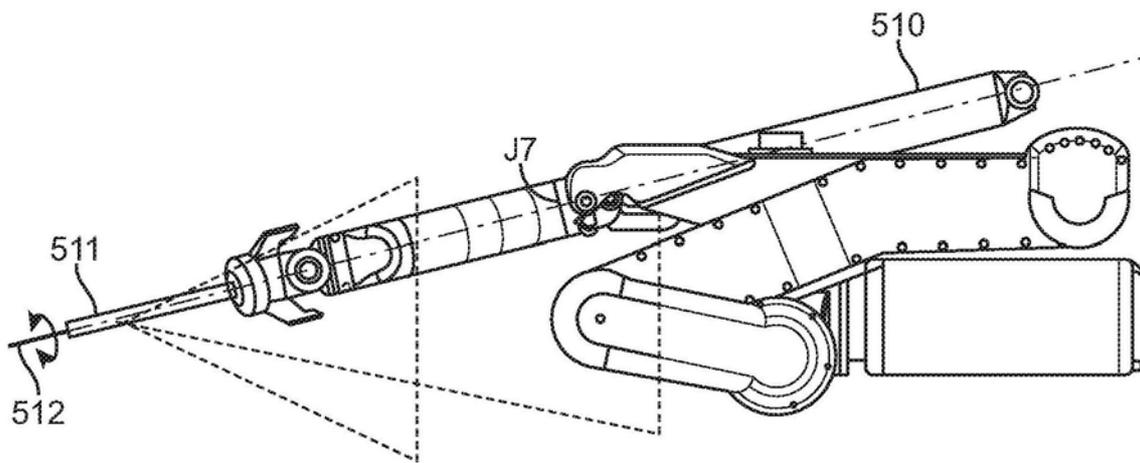


图11B

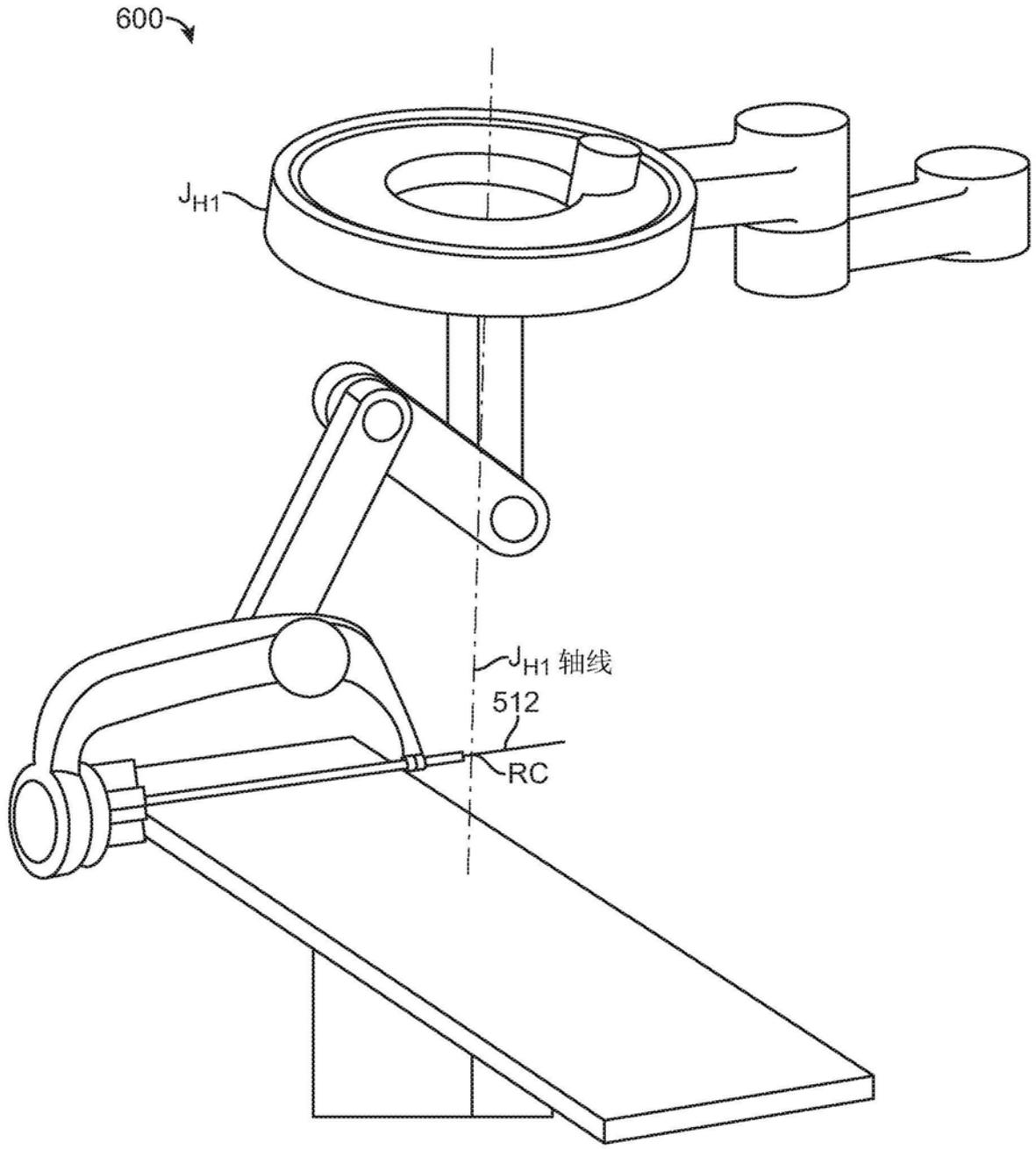


图12A

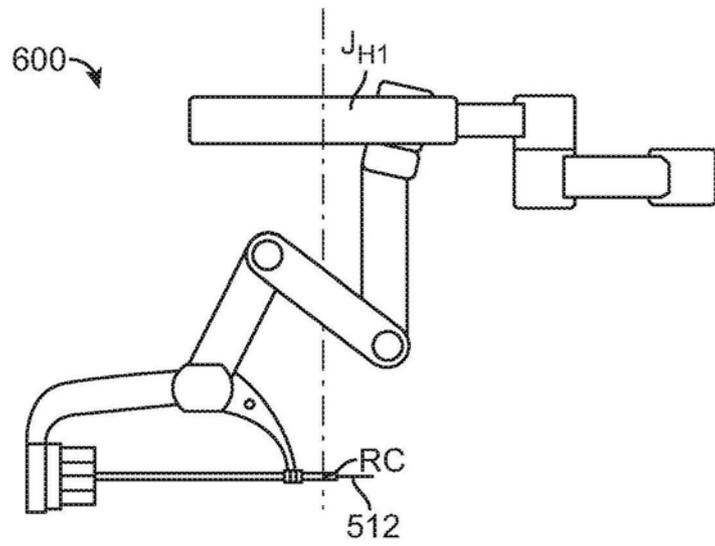


图12B

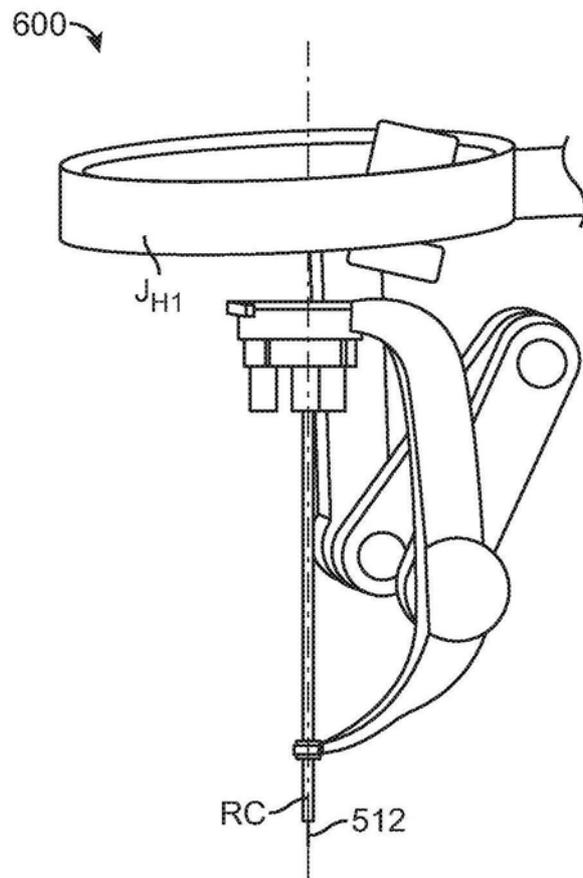


图12C

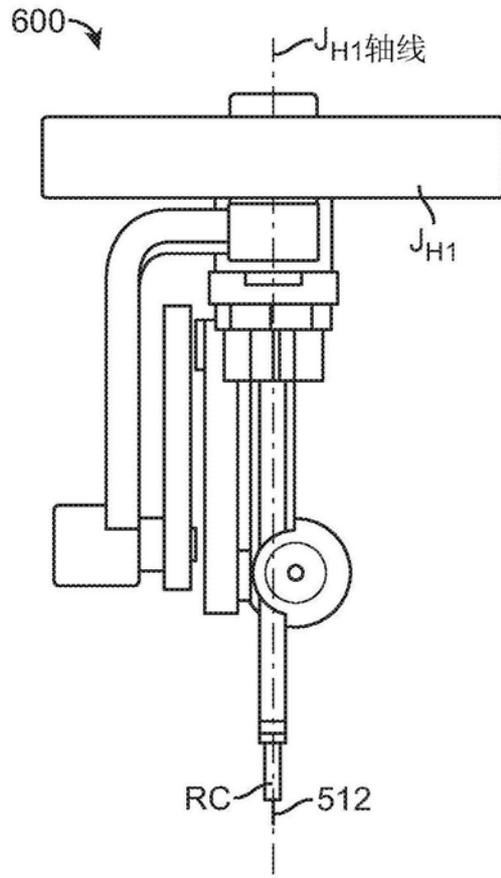


图12D

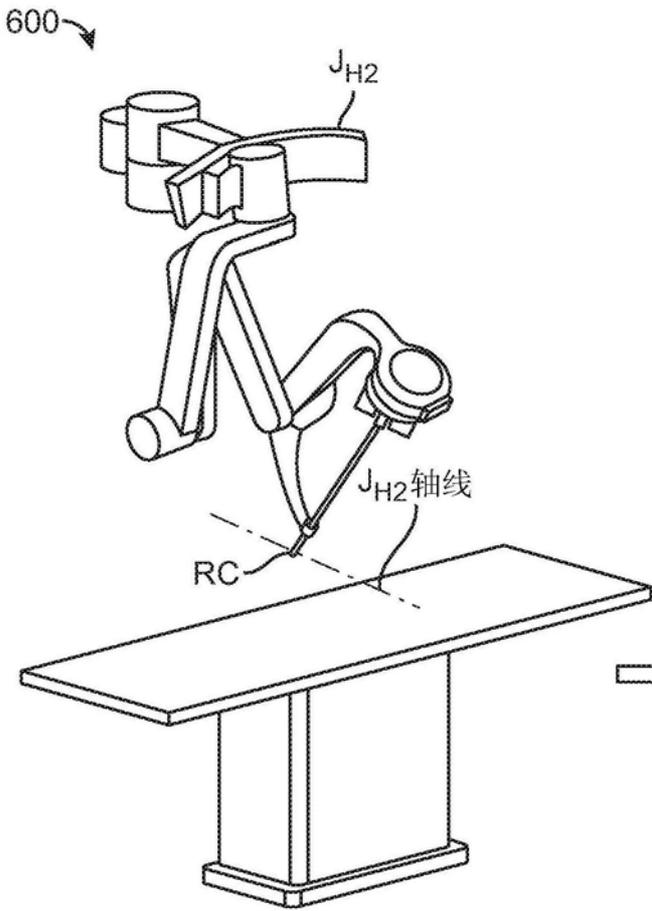


图13A

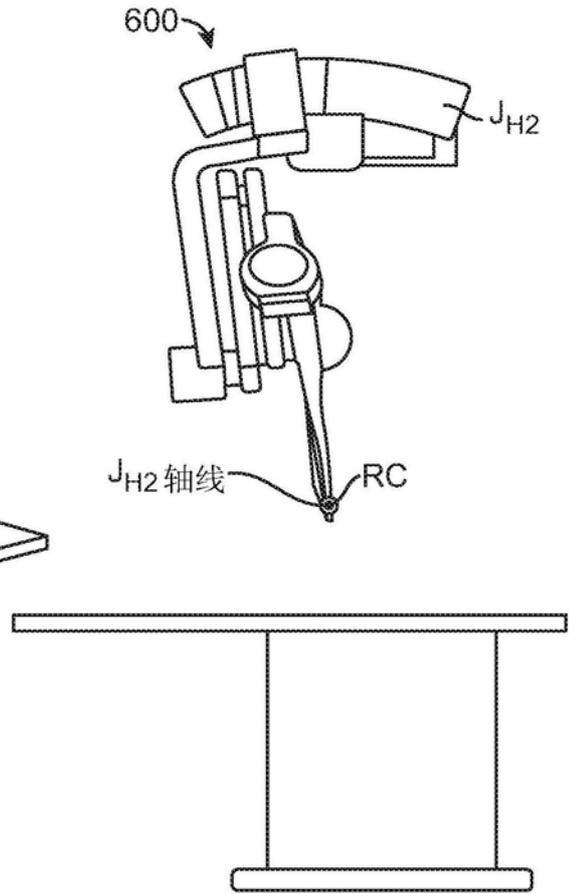


图13B

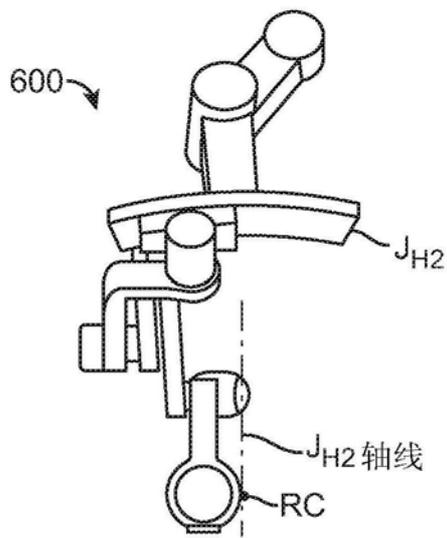


图13C

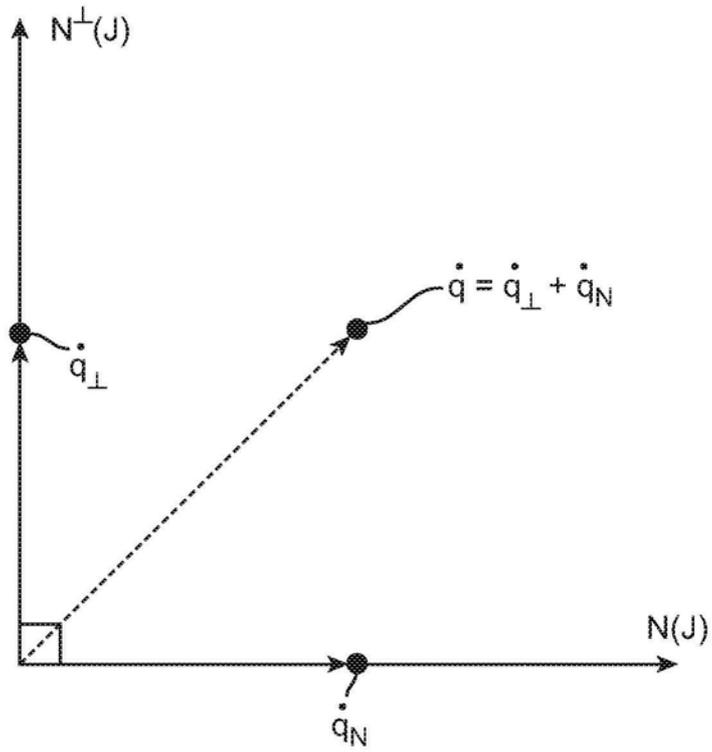


图14A

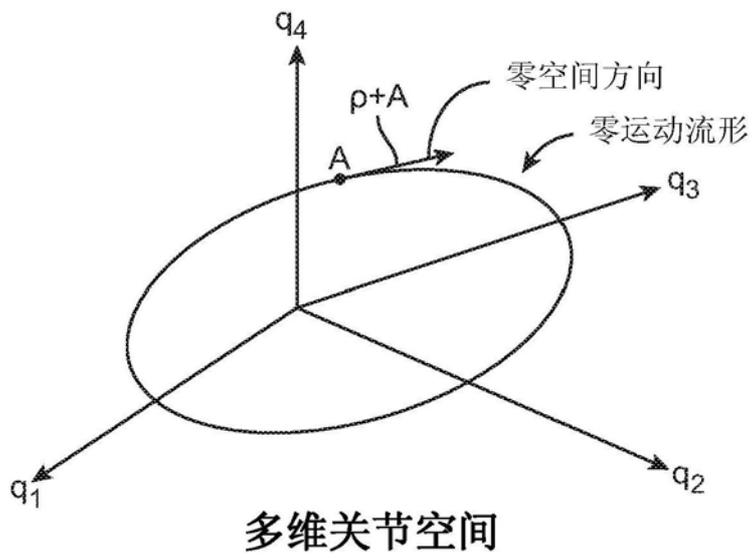


图14B

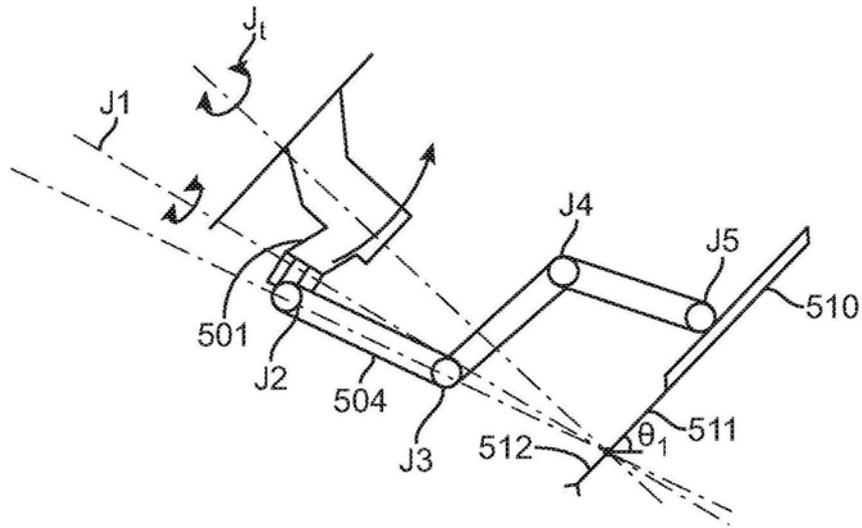


图15A

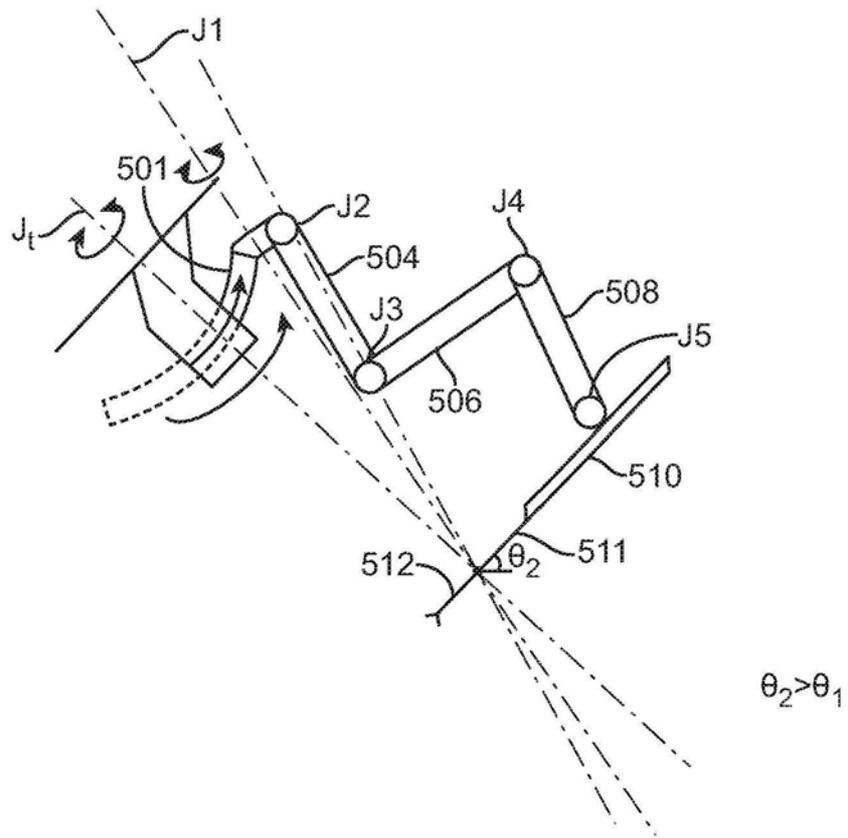


图15B

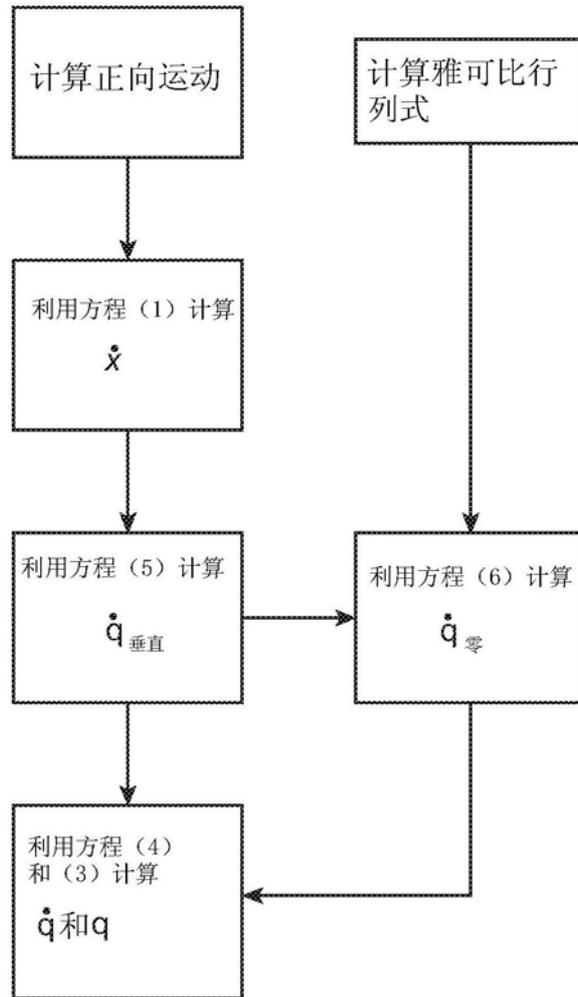


图16A

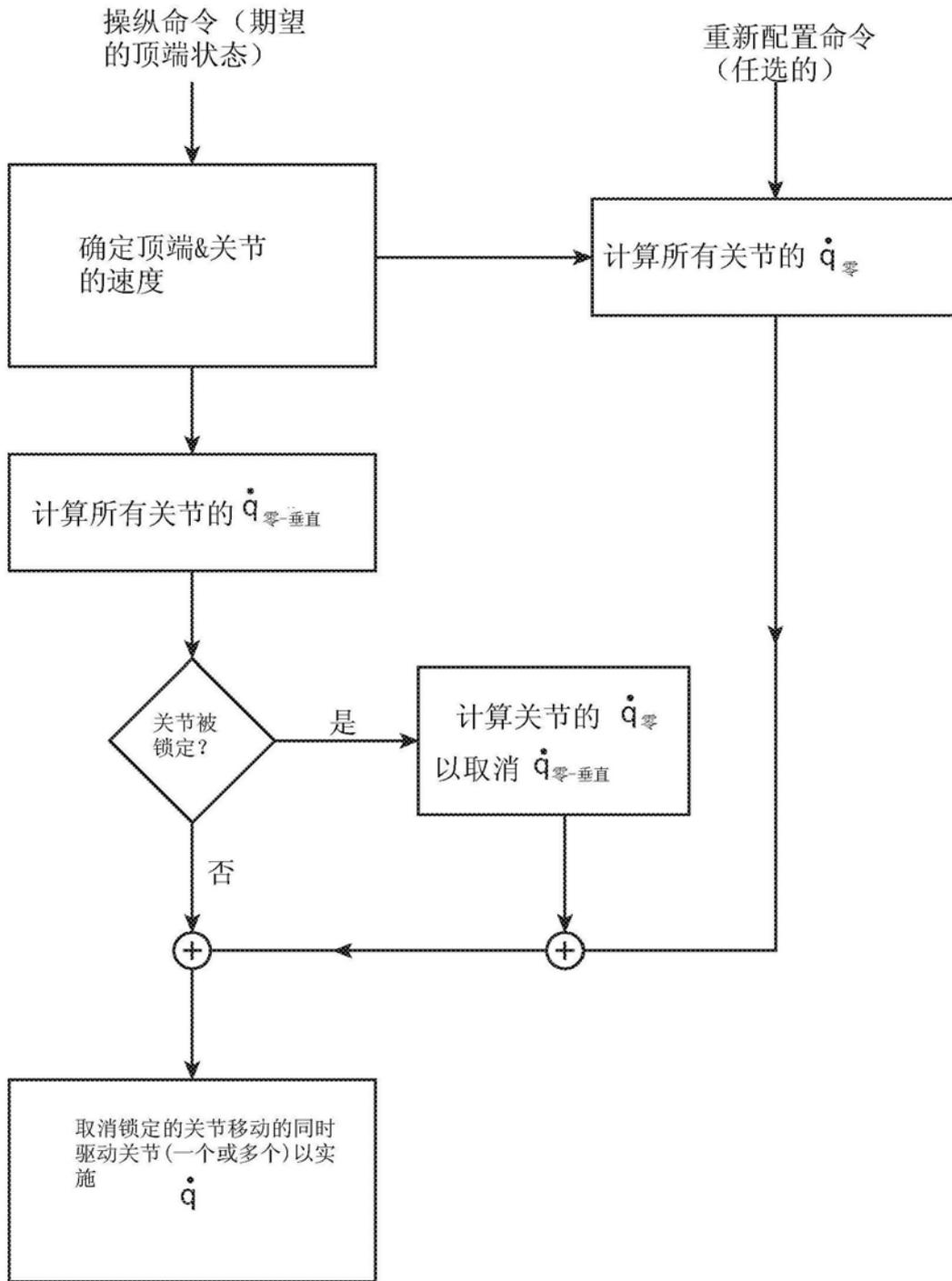


图16B