



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105050526 B

(45)授权公告日 2018.06.01

(21)申请号 201480015262.3

(22)申请日 2014.03.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105050526 A

(43)申请公布日 2015.11.11

(30)优先权数据
61/800,381 2013.03.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.09.14

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/031103 2014.03.18

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/146119 EN 2014.09.18

(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

(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 赵蓉民 徐东升

(51)Int.Cl.
A61B 34/30(2016.01)
B25J 9/16(2006.01)
B25J 18/00(2006.01)
B25J 19/06(2006.01)

(56)对比文件
EP 2332484 A2,2011.06.15,
US 20070287884 A1,2007.12.13,
WO 2010030463 A1,2010.03.18,
CN 101193603 A,2008.06.04,
CN 101321606 A,2008.12.10,

审查员 代丽

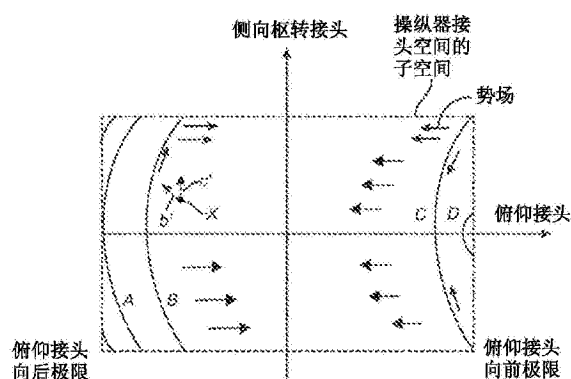
权利要求书5页 说明书20页 附图24页

(54)发明名称

利用零空间以便利进入笛卡尔坐标空间的边缘的系统和方法

(57)摘要

用于提供具有带有冗余自由度的多个接头的操纵器臂的末端执行器的增加的移动范围的装置、系统和方法。方法包括,限定在由至少一个接头所限定的接头空间内的基于方位的约束,确定接头沿着约束在零空间内的移动,以及根据计算的移动来驱动接头,以实现被命令的移动,同时提供增加的末端执行器移动范围,特别是当一个或多个接头接近在接头空间内的相应的接头极限时。



1. 一种包含指令的机器可读介质,当所述指令被一个或更多个处理器执行时适于使所述一个或更多个处理器执行用于操作操纵器臂的机器人方法,所述操纵器臂包括可移动远侧末端执行器、耦接到基座的近侧部分以及在所述末端执行器和所述基座之间的多个接头,所述多个接头具有足够的自由度以允许针对给定的末端执行器状态的一系列的不同的接头状态,所述方法包括:

限定所述多个接头中的一个或更多个接头的基于方位的约束,所述基于方位的约束在所述多个接头的接头空间内;

接收以期望的末端执行器移动来移动所述末端执行器的操纵命令;

计算所述一个或更多个接头的末端执行器移位移动以实现所述期望的末端执行器移动,其中计算所述一个或更多个接头的所述末端执行器移位移动包括计算在雅可比矩阵的零垂直空间内的接头速度;

计算所述多个接头中的一组一个或更多个接头沿着所述基于方位的约束的便利移动,所述便利移动增加所述末端执行器的可用的移动范围,其中计算所述便利移动包括计算所述一个或更多个接头在所述雅可比矩阵的零空间内的接头速度,所述零空间正交于所述零垂直空间;以及

根据所述末端执行器移位移动和所述便利移动来驱动所述多个接头,以便实现所述期望的末端执行器移动,同时增加所述末端执行器的所述可用的移动范围。

2. 根据权利要求1所述的机器可读介质,其中所述基于方位的约束包括具有至少一个维度的一个或更多个表面,其中所述一个或更多个表面被限定在所述接头空间的子空间内,所述子空间由所述多个接头的至少两个接头限定。

3. 根据权利要求2所述的机器可读介质,其中所述至少两个接头具有独立的接头状态,使得所述子空间包括至少两个维度。

4. 根据权利要求2所述的机器可读介质,其中计算所述便利移动包括:

基于所述一组一个或更多个接头在所述接头空间内的计算的方位来限定引力势场,使得势能的减小驱动所述接头;

确定所述计算的方位和与所述一个或更多个接头相关联的所述一个或更多个表面之间的势能;以及

利用所述势能来确定所述便利移动。

5. 根据权利要求4所述的机器可读介质,其中所述势场与沿着所述一个或更多个表面中的一个表面的移动相关联,所述表面对应于所述至少两个接头中的一个或两个的增加的移动范围。

6. 根据权利要求4所述的机器可读介质,其中计算所述便利移动进一步包括:

基于所述至少两个接头的势能来确定所述多个接头在所述接头空间内的移动;以及

将所述多个接头的移动投影到所述雅可比矩阵的所述零空间上,以确定所述多个接头的接头速度,所述接头速度朝向所述约束延伸所述至少两个接头。

7. 根据权利要求2所述的机器可读介质,其中所述操纵器臂被配置成保持器械,其中所述至少两个接头包括第一接头和第二接头,其中所述第一接头的移动控制所述器械的远侧器械轴的俯仰,并且其中所述第二接头的移动相对于平面侧向地枢转所述器械轴,所述操纵器臂在所述第二接头近侧的部分沿着所述平面延伸。

8. 根据权利要求6所述的机器可读介质,其中所述操纵器臂的远侧部分与器械保持器耦接,所述器械保持器可释放地支撑具有远侧地延伸到所述末端执行器的细长轴的器械,其中所述轴在操作期间绕远程中心枢转。

9. 根据权利要求1所述的机器可读介质,其中所述方法进一步包括:

响应于用户输入的重新配置命令,驱动所述多个接头中的至少一个接头,以实现所述操纵器臂的重新配置;

响应于所述至少一个接头的所述驱动而计算所述多个接头中的一个或更多个接头的重新配置移动,其中与所述至少一个接头的所述驱动相结合的所述重新配置移动在所述零空间内延伸;

响应于所述一个或更多个接头在所述重新配置移动内的经确定的方位而更改所述基于方位的约束;和

根据所述重新配置移动来驱动所述多个接头,同时根据所述用户输入的重新配置命令来驱动所述至少一个接头,以便维持所述末端执行器的期望的状态,同时提供所述一个或更多个接头的所述增加的移动范围。

10. 根据权利要求9所述的机器可读介质,其中更改所述基于方位的约束包括,基于所述重新配置移动来平移所述约束在所述接头空间内的方位或取向。

11. 根据权利要求9所述的机器可读介质,其中更改所述基于方位的约束包括,响应于所述一个或更多个接头的经确定的方位而选择一组基于方位的约束中的一个。

12. 根据权利要求9所述的机器可读介质,其中所述驱动所述至少一个接头包括所述至少一个接头的手动铰接,其中所述操纵器臂的移动由具有操纵模式和咬合模式的处理器来确定,所述处理器在所述操纵模式下响应于所述操纵命令而计算所述末端执行器移位移动和所述便利移动,以提供所述期望的末端执行器移动,所述处理器在所述咬合模式下响应于所述至少一个接头的所述手动铰接而驱动至少一个其他接头,以便维持所述末端执行器的状态,并且

其中更改所述基于方位的约束响应于在所述咬合模式下被重新配置的所述一个或更多个接头的方位而发生。

13. 根据权利要求4所述的机器可读介质,其中计算所述便利移动包括:

基于所述势场来确定所述多个接头在所述接头空间内的移动,以及应用增广雅可比矩阵,所述增广雅可比矩阵包括势场的梯度。

14. 一种系统,其包括:

操纵器臂,其被配置为相对于基座自动移动远侧末端执行器,所述操纵器臂具有在所述远侧末端执行器与所述基座之间的多个接头,所述多个接头提供足够的自由度,以允许针对所述远侧末端执行器的给定状态的一系列的接头状态;

输入装置,其用于接收以期望的末端执行器移动来移动所述末端执行器的操纵命令;以及

处理器,其被耦接到所述输入装置并且耦接到所述操纵器臂,所述处理器被配置为:

响应于所述操纵命令而通过计算在雅可比矩阵的零垂直空间内的接头速度来计算所述多个接头的末端执行器移位移动;

限定所述多个接头中的一个或更多个接头在相关联的接头空间内的基于方位的约束,

所述约束对应于所述一个或更多个接头的增加的移动范围；

计算所述一个或更多个接头在所述雅可比矩阵的零空间内的便利移动，其中所述便利移动朝向所述约束移动所述一个或更多个接头，所述零空间正交于所述零垂直空间；以及

将命令传输到所述操纵器臂，以根据所述末端执行器移位移动和所述便利移动来驱动所述多个接头，以便在所述一个或更多个接头的所述便利移动的同时实现所述末端执行器的期望的移动。

15. 根据权利要求14所述的系统，其中所述一个或更多个接头限定所述接头空间的子空间，并且其中所述约束被限定为在所述子空间内的一个或更多个表面。

16. 根据权利要求15所述的系统，其中所述一个或更多个接头具有独立的接头状态，使得所述子空间包括至少两个维度。

17. 根据权利要求14所述的系统，其中所述处理器被配置为使得计算便利移动包括：

限定在所述接头空间内的引力势场，使得势能的增加对应于所述一个或更多个接头的方位与所述约束之间的距离的增加；

确定所述方位与所述约束之间的势能；以及

利用经确定的势能来确定所述多个接头的所述便利移动。

18. 根据权利要求15所述的系统，其中所述基于方位的约束包括具有至少一个维度的一个或更多个路径，其中所述一个或更多个路径被限定在所述接头空间的子空间内，所述接头空间由所述多个接头中的至少两个接头限定。

19. 根据权利要求18所述的系统，其中所述一个或更多个路径包括分段连续的路径网络。

20. 根据权利要求15所述的系统，其中所述一个或更多个接头包括第一接头和第二接头，所述第二接头将所述操纵器臂的远侧部分耦接到所述操纵器臂的近侧部分，所述操纵器臂的所述远侧部分具有器械轴，所述第一接头被设置在所述操纵器臂的近侧基座与所述第二接头之间，并且

其中所述第一接头的移动控制所述器械轴的俯仰，而所述第二接头的移动相对于平面侧向地枢转所述器械轴，所述操纵器臂的所述近侧部分沿着所述平面延伸。

21. 根据权利要求15所述的系统，其中所述操纵器臂的远侧部分与器械保持器耦接，所述器械保持器可释放地支撑具有远侧地延伸到所述末端执行器的细长轴的器械，其中所述轴在操作期间绕远程中心枢转，并且

其中所述一个或更多个接头包括所述多个接头中的第一接头和第二接头，所述第一接头包括回转接头，所述第一接头的状态对应于所述器械保持器的外俯仰，所述第二接头包括在所述第一接头远侧的回转接头，所述第二接头的状态对应于所述器械保持器相对于所述操纵器臂在所述第二接头近侧的部分沿其延伸的平面的侧向位移，使得由所述第一接头和所述第二接头限定的所述子空间对应于所述器械轴的俯仰与所述器械轴的所述侧向位移。

22. 根据权利要求15所述的系统，其进一步包括：

输入装置，其用于接收驱动至少一个接头的重新配置命令，以实现所述操纵器臂的期望的重新配置，

其中所述处理器被进一步配置为：

响应于所述至少一个接头的驱动而计算所述多个接头的一个或更多个接头的重新配置移动,其中与所述至少一个接头的所述驱动相结合的所述重新配置移动在所述雅可比矩阵的所述零空间内延伸;

在所述驱动所述至少一个接头的同时,根据所述重新配置移动来驱动所述多个接头,以便实现所述操纵器臂的所述期望的重新配置,同时维持所述末端执行器的状态;以及
响应于计算所述重新配置移动而更改所述约束。

23.根据权利要求22所述的系统,其中所述处理器被配置为使得更改所述基于方位的约束包括,基于所述重新配置移动来平移所述约束在所述子空间内的方位或取向。

24.根据权利要求22所述的系统,其中所述约束包括多个替代地可选择的约束,并且其中所述处理器被配置为使得更改所述约束包括响应于计算所述重新配置移动而选择所述多个约束中的一个。

25.根据权利要求17所述的系统,其中所述处理器被进一步配置为通过以下方式来计算所述便利移动,即利用所述经确定的势能来确定所述多个接头在所述接头空间内的移动,并将所述移动投影到所述雅可比矩阵的所述零空间上以计算沿着所述约束延伸所述接头的接头速度,由此提供所述一个或更多个接头的所述增加的移动范围。

26.根据权利要求22所述的系统,其中:

所述处理器被进一步配置为具有组织操纵模式和咬合模式,

在所述组织操纵模式下,所述处理器响应于所述操纵命令而计算所述末端执行器移位移动和所述便利移动,以提供所述期望的末端执行器移动,以及

在所述咬合模式下,所述处理器响应于另一接头的外部铰接而驱动至少一个接头,同时维持所述末端执行器的给定状态。

27.根据权利要求26所述的系统,其进一步包括:

咬合输入端,其用于在所述咬合模式与所述操纵模式之间进行改变,

其中更改所述约束响应于所述一个或更多个接头在所述咬合模式下的重新配置而发生。

28.根据权利要求14所述的系统,其中所述处理器被进一步配置为:

计算碰撞回避移动以回避所述操纵器臂与邻近的操纵器臂之间的碰撞,其中所述碰撞回避移动在所述雅可比矩阵的所述零空间内被计算以回避碰撞,同时维持所述末端执行器的期望的状态;以及

用所述便利移动来覆盖所述碰撞回避移动,以便回避碰撞。

29.根据权利要求26所述的系统,其中所述操纵器臂的每个接头具有相关联的接头自由度,并且其中所述处理器在所述咬合模式下被配置为响应于所述另一接头的所述外部铰接而驱动所述至少一个接头,以便为所述操纵器臂提供有效的咬合自由度,所述咬合自由度不同于所述接头自由度中的每一个。

30.根据权利要求29所述的系统,其中在所述咬合模式下由所述处理器驱动的所述至少一个接头包括所述操纵器臂的所述接头中的一些或所有,所述处理器在所述咬合模式下被配置为响应于所述操纵器臂的多个所述接头的手动铰接而驱动所述操纵器臂,使得当所述处理器在所述咬合模式下时,所述操纵器臂具有多个有效的自由度。

31.根据权利要求15所述的系统,其中所述多个接头中的至少一些接头每个被机械地

约束成沿着插入轴线绕远程中心作枢转运动。

32. 根据权利要求31所述的系统,其中所述至少一些接头的的第一接头包括在平行四边形联动装置系统内的接头,所述平行四边形联动装置系统包括:

平行四边形联动装置基座,其耦接到所述基座以用于绕相交于所述远程中心的第一远程中心轴线旋转;

第一连杆,其具有第一连杆近端和第一连杆远端,所述第一连杆近端在基座接头处耦接到所述平行四边形联动装置基座,所述第一连杆远端被配置为支撑工具;

第二连杆,其具有第二连杆近端和第二连杆远端,所述第二连杆近端耦接到所述第一连杆远端,所述第二连杆远端被配置为支撑所述工具,使得所述工具的插入轴线被约束成绕相交于所述远程中心的第二远程中心轴线旋转,

其中所述平行四边形联动装置系统的所述连杆和接头的移动相互关联,使得与所述平行四边形联动装置系统的其他接头相结合的所述第一接头的移动确定所述工具相对于与所述第一接头相交的远程中心轴线的俯仰。

利用零空间以便利进入笛卡尔坐标空间的边缘的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是于2013年3月15日提交的名称为“Systems and Methods for Facilitating Access to Edges of Cartesian-Coordinate Space Using the Null Space”(代理人案卷号ISRG03800PROV/US)的美国临时专利申请No.61/800,381的非临时申请且要求其优先权,该申请的全部公开以引用方式并入本文。

[0003] 本申请大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No.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No.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No.11/133,423(美国专利No.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No.10/957,077(美国专利No.7,594,912);以及1999年9月17日提交的名称为“Master Having Redundant Degrees of Freedom”的美国申请No.09/398,507(美国专利No.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No.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No.61/654,773,这些申请的全部公开以引用方式并入本文。

技术领域

[0004] 本发明大体提供改善的外科手术和/或机器人装置、系统和方法。

背景技术

[0005] 微创医疗技术的目的在于减少在诊断或外科手术程序期间的受损组织量,从而减少患者的恢复时间、不适以及有害副作用。每年在美国执行数以百万计的“开放”或传统外科手术;这些手术中的许多有可能能够以微创方式执行。然而,目前仅有相对少量的外科手术使用微创技术,这是因为外科手术器械和技术的限制性以及掌握这些技术所需的额外的手外科手术培训。

[0006] 外科手术中使用的微创远程外科手术系统正得到发展,增大了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。远程外科手术是对如下外科手术系统的通称,即外科医生使用某种形式的远程控制(例如伺服机构等)来操纵外科手术器械移动而不是通过手直接握持和移动器械。在这种远程外科手术系统中,在远程位置处为外科医生提供手术部位的图像。当外科医生通常在合适的观察器或显示器上观看到手术部位的三维图像时,外科医生通过操纵主控制输入装置,继而控制机器人器械的运动,从而对患者执行外科手术程序。机器人外科手术器械能够通过小的微创外科手术孔口被插入以处理患者体内

的手术部位的组织,一般创伤与开放式外科手术进入法相关联。这些机器人系统能够足够灵巧地移动外科手术器械的工作端,以执行相当复杂的外科手术任务,通常通过在微创孔口处枢转器械的轴、使轴轴向滑动通过孔口、在孔口中旋转轴和/或其他类似动作来执行。

[0007] 用于远程外科手术的伺服机构将通常接收来自两个主控制器(每个对应外科医生的一只手)的输入并且可以包括两个或更多个机器人臂或操纵器。将手的移动映射到由图像采集装置所显示的机器人器械的图像上能够有助于向外科医生提供对与每只手相关联的器械的准确控制。在许多外科手术机器人系统中,包括一个或更多个额外的机器人操纵器臂,以用于移动内窥镜或其他图像采集装置、额外的手术器械或类似器械。

[0008] 各种结构布置能够用于在机器人外科手术期间在手术部位处支撑外科手术器械。从动联动装置或者“从”装置通常被称为机器人外科手术操纵器,并且在微创机器人外科手术期间用作机器人外科手术操纵器的示例性联动装置布置被描述在美国专利US6,758,843、US6,246,200和US5,800,423中,这些专利的全部内容以引用方式并入本文。这些联动装置通常使用平行四边形布置来保持具有轴的器械。这种操纵器结构能够约束器械的移动,以便器械轴绕球形旋转的远程中心枢转,该球形旋转的远程中心被定位在沿刚性轴的长度的空间内。通过使该旋转的中心与内部手术部位的切口点对准(例如,与在腹腔镜手术期间在腹壁处的套管针或套管对准),通过使用操纵器联动装置移动轴的近端能够安全地定位手术器械的末端执行器,而不对腹壁施加潜在危险的力。例如替代性操纵器结构被描述在美国专利US6,702,805、US6,676,669、US5,855,583、US5,808,665、US5,445,166和US5,184,601中,其全部内容以引用方式并入本文。

[0009] 尽管新型的机器人外科手术系统和装置已被证明是高效且有利的,但仍需进一步改进。例如,操纵器臂可能会包括额外的冗余接头以在某些情况下提供增加的移动或配置。然而,当在微创手术部位内移动外科手术器械时,接头可能会被不良地调节或以限制操纵器臂进入其全部运动范围的能力的方式来配置,特别是当器械绕微创孔口在大的角度范围内枢转时。在这种情况下,一旦接近相关联的接头极限,接头的移动就会意外地导致一个或更多个接头的有限的接头运动,由此降低操纵器臂的灵巧性。已经提出了采用对高度可配置的运动操纵器接头采用软件控制的替代性操纵器结构,该软件控制被设定为约束到插入部位的枢转运动,同时阻止在患者体外的无意的操纵器/操纵器接触(或类似情况)。这些高度可配置的“软件中心”外科手术操纵器系统可以提供显著的优点,但是也会具有挑战。具体地,机械约束的远程中心联动装置可以在一些情况下具有安全优势。此外,通常包括在这些操纵器中的广泛的配置范围的许多接头可以导致操纵器很难在特定过程期望的配置中手动地设置。然而,随着使用远程外科手术系统执行的外科手术的范围继续扩大,对扩展可用配置以及扩大器械在患者体内的运动范围的要求增加。遗憾的是,这两种变化都会增加与操纵器在体外的运动相关联的挑战,并且也会增加避免不必要地限制操纵器臂的运动范围的接头状态的组合的重要性。

[0010] 由于这些和其他原因,提供用于外科手术、机器人外科手术以及其他机器人应用的改善的装置、系统和方法是有利的,并且如果这些改进的技术提供了为操纵器臂提供更一致的运动的能力,以针对至少一些任务改善器械的运动范围,而不明显地增大这些系统的尺寸、机械复杂度或成本,且同时维持或改善它们的灵巧性,这将尤为有益。

发明内容

[0011] 本发明大体提供改善的机器人和/或外科手术装置、系统和方法。在许多实施例中,本发明将采用高度可配置的外科手术机器人操纵器。例如,这些操纵器可以具有比在外科手术工作空间内的相关外科手术末端执行器所具有的更多的运动自由度。根据本发明的机器人外科手术系统通常包括支撑机器人外科手术器械的操纵器臂以及计算协调的接头移动以操纵器械的末端执行器的处理器。针对给定的末端执行器方位和/或给定的枢转点位置,支撑末端执行器的机器人操纵器的接头允许操纵器遍布一系列不同的配置移动。在一个方面,通过限定在操纵器的两个或更多个接头的接头空间内的基于方位的约束,并且基于该基于方位的约束在雅可比矩阵的零空间内移动操纵器的接头,从而为一个或更多个接头提供增加的移动范围,特别是在一个或更多个接头的边缘或接头极限附近,由此本发明提供了操纵器臂的改善的运动范围和可操作性。

[0012] 在某些方面,机器人外科手术系统使用完全或基于方位的路径,所述路径被限定在操纵器臂的笛卡尔坐标空间内,并且对应于具有远侧末端执行器的操纵器臂的一个或更多个接头的期望的移动。笛卡尔坐标空间可以被限定为任何期望的控制框架的方位和取向的空间。控制框架可以是工具尖端、被附接到操纵器主体但未在工具尖端处的参考(例如,工具的另一零件)、未被附接到操纵器主体但是与连杆中的一个相关联或随着其移动的参考(例如,被附接到操纵器随着假想点飘动的构造)或未与操纵器附接或相关联的参考(例如,被附接到目标解剖结构),其一种可能的使用将会是摄像机控制。虚拟势场可以在接头空间或笛卡尔坐标空间内进行计算,并用于确定接头的接头速度,以实现操纵器的一个或更多个接头在零空间内朝向基于方位的约束或路径的移动,由此提供一个或更多个接头的改善的移动范围,同时维持末端执行器的期望的方位或状态。该方法允许对一个或更多个接头在零空间内的移动的改善的控制,特别是在使用基于雅可比矩阵的控制器的操纵器臂中,其中一个或更多个接头的主要计算基于速度而非方位。

[0013] 在一个方面,接头空间可以通过操纵器臂的接头的硬止挡件来限定。末端执行器或工具尖端在笛卡尔坐标空间中能够以各种方式移动,取决于零空间被如何使用。在不使用零空间的情况下,相同的笛卡尔坐标空间方位可以靠近或远离接头空间极限(例如,硬止挡件)。因此,对于相同的笛卡尔坐标空间方位,操纵器移动可以被计算为以便沿着零运动流形滑动远离接头空间极限或硬止挡件,由此确保可用的笛卡尔坐标空间方位的全部范围都被使用。这些方面的一个优点是,当在笛卡尔坐标空间中驱动操纵器臂时,作为接头与笛卡尔坐标空间之间的映射(例如,控制框架与硬止挡件之间的间接映射)的属性的零空间能够用于最大化效用。

[0014] 在某些方面,基于方位的约束被限定为在接头空间内的一个或更多个路径,该路径对应于接头在零空间内的移动,使得操纵器臂的远侧部分的状态被维持。基于方位的约束可以根据给定操纵器臂的接头的运动而改变,以便为操纵器臂提供增加的接头移动范围。一个或更多个路径可以包括表示至少两个接头沿着雅可比矩阵的零空间移动的一系列曲线,路径或曲线的形状取决于操纵器的运动并且特别是取决于限定接头空间的接头之间的关系,其中约束被限定在该接头空间中。在本文中所描述的许多实施例中,该一系列路径大体上平行,并且包括沿着接头空间的外俯仰接头轴线的一系列曲线,曲线的开口均朝向

俯仰向前方向。

[0015] 在一个方面,路径可以包括响应于至少一个接头在接头空间内的方位而平移或更改的单个路径或曲线。例如,路径可以是当俯仰接头的状态沿着外俯仰接头轴线移动时沿着外俯仰轴线平移的单个曲线。在某些实施例中,被限定在接头空间中的势场可以根据路径在接头空间内的方位而改变。例如,当路径曲线从接头空间的原点朝向俯仰向前平移时,周围的势场朝向非移位的侧向枢转接头状态侧向枢转或最小的向前俯仰中的一个或两个牵引主体接头,而当路径曲线从子空间的原点沿向后俯仰方向平移时,势场朝向移位的侧向枢转接头和/或非移位的俯仰接头状态中的一个或两个牵引接头状态。

[0016] 在一些实施例中,操纵器臂可以包括额外的冗余接头,以允许各种类型的移动,诸如响应于用户命令或接头的外部手动铰接的重新配置移动。与依赖于被机械地约束成绕空间中的固定点枢转工具的机器人装置或具有绕微创孔口的组织被动地枢转的被动式接头的机器人装置不同的是,本发明的实施例还可以计算包括绕孔口部位枢转操纵器联动装置的连杆的运动。支撑末端执行器的机器人联动装置的自由度能够允许联动装置遍布针对给定末端执行器方位的一系列配置而移动,并且该系统可以将联动装置驱动成阻止涉及一个或更多个移动机器人结构的碰撞的配置。当联动装置正被手动地定位时,能够通过驱动联动装置的一个或更多个接头的处理器来便利高度灵活的机器人联动装置的设置。

[0017] 在一些实施例中,本发明允许当操纵器臂移动时朝向预定的一组约束引导操纵器臂的移动,以实现一个或更多个任务,诸如期望的末端执行器移动、重新配置移动或各种其他移动。应当注意,操纵器臂不必被机械地“锁定”到该组约束,而是当根据一个或更多个被命令的移动而移动时,约束能够用于引导操纵器臂的一个或更多个接头的移动。操纵器臂可以包括各种移动或操纵器臂的接头移动不受限定的约束限制的操作模式。

[0018] 一般来说,为实现远侧末端执行器的移动的操纵器臂的被命令的移动利用操纵器臂的所有接头的移动。各种其他类型的移动(诸如被命令的重新配置移动)可以利用与在末端执行器的操纵中所使用的相同的接头,或可以包括各种其他选择的接头或接头组。当实现具有冗余自由度的操纵器臂的移动时,根据这些移动类型中的一个或更多个的接头的运动会导致操纵器臂的不必要的或不可预测的移动。此外,操纵器臂的上部的移动可能不必限制邻近的操纵器臂的可用的运动范围,特别是当邻近的操纵器臂根据除末端执行器操纵移动之外的碰撞回避移动来驱动时。为了提供操纵器臂的改善的移动,冗余自由度可以用于确定一个或更多个约束,以朝向具有针对一个或更多个接头的增加的移动范围的配置引导接头的移动。约束可以被限定在使用接头速度的接头空间内或在使用方位的笛卡尔坐标空间内。

[0019] 在一个方面,具有冗余自由度的操纵器臂的移动利用基于接头速度的主要计算,诸如通过使用基于雅可比矩阵的控制器。该系统可以限定在接头空间或笛卡尔坐标空间内的一组完全或基于方位的约束(诸如一个或更多个路径或曲线)。约束可以用于产生人造势场,以利用接头在雅可比矩阵的零空间内的移动来朝向约束“牵引”或引导操纵器臂的移动。这允许操纵器臂的一个或更多个接头移动,以便增加一个或更多个接头在接头空间内的移动范围,同时,在被命令的末端执行器移动期间维持期望的末端执行器的状态。

[0020] 在各种实施例中,本发明提供了一种机器人系统,其包括用于相对于近侧基座自动移动远侧末端执行器的操纵器组件。操纵器组件具有多个接头,接头提供足够的自由度,

以允许针对末端执行器状态的一系列的接头状态。输入端接收实现末端执行器的期望的运动的命令。处理器将输入端耦接到操纵器组件,并且包括第一模块和第二模块。第一模块被配置为响应于命令而帮助计算接头的移动,以便以期望的移动来移动末端执行器。第二模块被配置为响应于操纵器组件的一个接头的外部铰接(诸如咬合模式)而帮助驱动接头中的至少另一个。

[0021] 在本发明的某些方面,提供具有操纵输入端的冗余自由度(RDOF)外科手术机器人系统。该RDOF外科手术机器人系统包括操纵器组件、一个或更多个用户输入装置和具有控制器的处理器。组件的操纵器臂具有提供足够自由度的多个接头,所述自由度允许针对给定的末端执行器状态的一系列的接头状态。响应于所接收的由用户输入的重新配置命令,该系统计算所述多个接头在零空间内的速度。接头根据重新配置命令和计算的移动来驱动,以便维持期望的末端执行器状态。通常,响应于接收以期望的移动来移动末端执行器的操纵命令,该系统通过计算雅可比矩阵的正交于零空间的零垂直空间内的接头速度来计算接头的末端执行器移位移动,并且根据计算的移动来驱动接头,从而实现期望的末端执行器移动。为了给各种其他类型的上述移动提供增加的可操纵性和运动范围,该系统可以包括最近侧回转接头和/或远侧回转接头,最近侧回转接头实现操纵器的远侧器械轴的俯仰,远侧回转接头将器械耦接到操纵器臂的近侧部分,实现器械轴侧向地自平面的枢转运动,操纵器臂在远侧回转接头近侧的部分延伸通过该平面。这些接头可以用于本文中所描述的任何个实施例中。

[0022] 在本发明的另一方面中,操纵器被配置为移动,从而使得器械轴的中间部分绕远程中心枢转。在操纵器和器械之间存在提供足够自由度的多个从动接头,以便当器械轴的中间部分穿过进入部位时,允许针对末端执行器方位的一系列的接头状态。具有控制器的处理器将输入装置耦连到操纵器。响应于重新配置命令,处理器确定一个或更多个接头的移动,以实现期望的重新配置,从而使得器械的中间部分在末端执行器的期望的移动期间在进入部位内,并且维持轴绕其枢转的期望的远程中心位置。通常,响应于接收用于实现期望的末端执行器移动的操纵命令,该系统计算接头的末端执行器移位移动,包括计算正交于雅可比矩阵的零空间的零垂直空间内的接头速度,并且根据计算的移动来驱动接头以实现期望的末端执行器移动,其中器械轴绕远程中心枢转。

[0023] 在一些实施例中,操纵器包括将操纵器臂耦连到基座的回转接头。期望的末端执行器状态可以包括末端执行器的期望的方位、速度或加速度。操纵命令和重新配置命令可以是通常在分开的输入装置上从分开的用户接收的分开的输入,或可以从相同的用户接收的分开的输入。在一些实施例中,末端执行器操纵命令通过第一用户从输入装置接收,诸如外科医生在外科手术控制台主输入端上输入命令,而重新配置命令在分开的输入装置上通过第二用户从输入装置接收,诸如医生的助手在患者侧推车输入装置上输入重新配置命令。在其他实施例中,末端执行器操纵命令和重新配置命令都通过相同的用户从外科手术控制台处的输入装置接收。

[0024] 在本发明的又一方面,提供了具有近侧回转接头和远侧平行四边形联动装置的外科手术机器人操纵器,回转接头的枢转轴线基本上与末端执行器的器械轴的轴线相交,优选在远程中心处相交。该系统进一步包括处理器,其具有将输入端耦连到操纵器臂且被配置为响应于用户输入命令而计算多个接头的移动的控制器的。该系统可以包括输入装置,该

输入装置用于接收以在零空间内的期望的重新配置移动来移动多个接头中的第一组接头的重新配置命令,或系统可以包括咬合模式,该咬合模式允许用户在零空间内手动地重新配置操纵器臂的一个或更多个接头,以便将末端执行器维持在期望的状态。该系统可以被配置为响应于操纵器臂的用户驱动的重新配置或手动的重新配置(诸如在咬合模式下),调整或平移方位约束,以允许一个或更多个接头在零空间内的改善的一致性和可预测性,同时维持期望的末端执行器状态,同时提供用户输入或手动重新配置的额外能力。

[0025] 本发明的性质和优点的进一步地理解将通过参考本说明书和附图的其余部分变得显而易见。然而,应理解,每个特征仅被提供用于说明的目的,并不意图作为对本发明的范围的限制的限定。此外,应意识到,任何所描述的实施例中的任何特征可以被更改以及与本文中所描述的各种其他特征中的任何一个进行组合或为本领域技术人员所知,并且仍在本发明的精神和范围内。

附图说明

[0026] 图1A是根据本发明的实施例的机器人外科手术系统的俯视图,该机器人外科手术系统具有带有多个机器人操纵器的外科手术台,该多个机器人操纵器用于自动地移动具有外科手术末端执行器的外科手术器械,该外科手术末端执行器位于患者体内的内部手术部位处。

[0027] 图1B概略地示出图1A的机器人外科手术系统。

[0028] 图2是示出用于将外科手术程序命令输入至图1A的外科手术系统内的主外科医生控制台或工作站的透视图,该控制台包括响应于输入命令生成操纵器命令信号的处理器。

[0029] 图3是图1A的电子推车的透视图。

[0030] 图4具有四个操纵器臂的患者侧推车的透视图。

[0031] 图5A-5D示出示例性操纵器臂。

[0032] 图6A-6B分别示出处于俯仰向前配置和俯仰向后配置的示例性操纵器臂。

[0033] 图6C示出示例性操纵器臂的外科手术器械工具尖端的运动范围的图形表示,包括处于俯仰向前和俯仰向后配置中的每个配置的静锥区或锥形工具进入限制区域。

[0034] 图7A示出具有近侧回转接头的示例性操纵器臂,该近侧回转接头绕近侧回转接头的轴线回转操纵器臂。

[0035] 图7B示出示例性操纵器臂以及相关运动范围和静锥区,该示例性操纵器臂具有近侧回转接头,近侧回转接头使操纵器臂绕近侧回转接头的轴线回转,操纵器臂绕近侧回转接头的轴线的移动能够用于减小所描述的静锥区。

[0036] 图8-9示出在远侧器械保持器附近具有回转接头的示例性操纵器臂。

[0037] 图10A-10C示出随着接头遍布其接头运动范围内移动的示例性操纵器臂的顺序图,该操纵器臂在远侧器械保持器附近具有回转接头。

[0038] 图11A-11B示出当接头的角度位移分别为 0° 与 90° 的角度位移时具有远侧回转接头的示例性操纵器臂的回转轮廓。

[0039] 图12A-12C示出具有近侧接头的示例性操纵器臂,该近侧接头绕曲线路径平移支撑操纵器臂的近侧接头。

[0040] 图13A-13B图形地表示示例性操纵器组件的雅可比矩阵的零空间和零垂直空间之

间的关系。

[0041] 图14图形地示出用于控制操纵器组件在零空间内的移动的网络路径区段的示例。

[0042] 图15-17示意地示出根据实施例的方法。

具体实施方式

[0043] 本发明大体提供改善的外科手术和机器人装置、系统和方法。本发明对于外科手术机器人系统的使用是特别有利的,其中在外科手术程序期间,多个外科手术工具或器械可以被安装在相关联的多个机器人操纵器上并且通过该操纵器移动。机器人系统将通常包括远程机器人系统、远程外科手术系统和/或远程呈现系统,这些系统包括被配置为主-从控制器的处理器。通过提供采用被适当地配置成移动具有铰接式联动装置的操纵器组件的处理器机器人系统,其中所述联动装置具有相对大量的自由度,联动装置的运动能够被调整以通过微创进入部位工作。大量的自由度允许系统操作者或助手重新配置操纵器组件的联动装置,同时维持期望的末端执行器状态,可选地为外科手术作准备,和/或同时另一用户在外科手术程序中操控末端执行器。虽然通常关于具有冗余自由度的操纵器描述本发明的各方面,但应意识到,这些方面可以应用于非冗余操纵器,例如经历或接近奇点的操纵器。

[0044] 本文中所描述的机器人操纵器组件将通常包括机器人操纵器和安装在其上的工具(该工具通常包括外科手术版本中的外科手术器械),不过术语“机器人组件”还将包括不带有安装在其上的工具的操纵器。术语“工具”既包括通用或工业机器人工具,也包括专用机器人外科手术器械,其中这些专用机器人外科手术器械结构通常包括适合组织操纵、组织处理、组织成像等的末端执行器。工具/操纵器接口将通常是快速断开工具保持器或连接器,从而允许快速移除工具和将该工具替换为替代性工具。操纵器组件将通常具有基座,该基座在机器人程序的至少一部分期间被固定在空间中,并且该操纵器组件可以包括在基座和工具的末端执行器之间的大量自由度。末端执行器的致动(诸如打开或闭合抓握装置的夹爪、给电外科去颤电极通电等)将通常与这些操纵器组件自由度分离,并且补充这些操纵器组件的自由度。

[0045] 末端执行器将通常在工作空间中以二至六之间的自由度移动。如本文所用,术语“方位”既包括位置也包括取向。因此,末端执行器(例如)的方位的变化可以涉及末端执行器从第一位置至第二位置的平移,末端执行器从第一取向到第二取向的旋转,或两者的组合。当用于微创机器人外科手术时,操纵器组件的移动可以由系统的处理器来控制,从而使得工具或器械的轴或中间部分被约束为通过微创外科手术进入部位或其他孔口的安全运动。这种运动可以包括例如轴通过孔口部位轴向插入至外科手术工作空间中、轴绕其轴线的旋转以及轴绕邻近进入部位的枢转点的枢转运动。

[0046] 本文中所描述的许多示例性操纵器组件具有比在外科手术部位内定位和移动末端执行器所需的自由度更多的自由度。例如,在一些实施例中,能够通过微创孔口在内部手术部位处以六个自由度被定位的外科手术末端执行器可以具有九个自由度(末端执行器的六个自由度-三个用于定位,三个用于取向-加上三个自由度来遵守进入部位约束),不过通常会具有十个或更多个自由度。具有比对于给定的末端执行器方位所需的自由度更多自由度的高度可配置的操纵器组件能够被描述为具有或提供足够的自由度以允许在工作空间

内的针对末端执行器方位的一系列的接头状态。例如,对于给定的末端执行器方位,操纵器组件可以占据一系列的替代性操纵器联动装置方位中的任意方位(并且在其间被驱动)。类似地,对于给定的末端执行器的速度向量,该操纵器组件可以具有在雅可比矩阵的零空间内针对操纵器组件的各种接头的不同接头移动速度范围。

[0047] 本发明提供机器人联动装置结构,该结构尤其适合如下外科手术应用(以及其他应用),即其中期望有广泛的运动范围并且由于其他机器人联动装置、外科手术人员和设备等的存在可获得受限的专用体积。每个机器人联动装置所需的大运动范围和减小的体积还可以在机器人支撑结构的位置和外科手术或其他工作空间之间提供更大的灵活度,由此利于并加速设置。

[0048] 接头等的术语“状态”通常在本文中将指的是与接头相关联的控制变量。例如,角接头的状态可以指的是由在其运动范围内的接头定义的角度和/或接头的角速度。类似地,轴向或棱柱接头的状态可以指接头的轴向方位和/或它的轴向速度。虽然本文中所描述的许多控制器包括速度控制器,但该控制器通常也包括一些方位控制方面。可替代实施例可以主要或完全依赖于方位控制器、加速度控制器等。在美国专利US6,699,177中更充分地描述能够用于这种装置的控制系统的许多方面,其全部公开内容以引用的方式并入本文。因此,只要所述的移动是基于相关联的计算,便可以使用方位控制算法、速度控制算法、两者的组合等执行本文中所描述的接头的移动和末端执行器的移动的计算。

[0049] 在一个方面中,示例性操纵器臂的工具绕邻近微创孔口的枢转点枢转。该系统可以利用硬件远程中心,诸如在美国专利US6,786,896中描述的远程中心运动学,该专利的整体内容以引用的方式并入本文。这种系统可以利用双平行四边形联动装置,其约束了联动装置的移动,从而使得操纵器所支撑的器械的轴绕远程中心点枢转。可替代的机械约束的远程中心联动系统是已知的并且/或者可以在将来被开发出来。令人惊讶的是,与本发明的各方面结合的工作指示出远程中心联动系统可以充分受益于高度可配置的运动学架构。具体地,当外科手术机器人系统具有允许绕在微创外科手术进入部位处或其附近相交的两个轴线的枢转运动的联动装置时,球形枢转运动可以包括在患者体内的全部程度的期望的运动范围,不过仍会遇到可避免的缺陷,诸如未被充分地调节、在患者体外易于存在臂与臂或臂与患者的接触和/或其他情况。首先,添加也被机械地约束为在进入部位处或其附近的枢转运动的一个或更多个额外自由度可能看似提供运动范围内的少量或任何改进。然而,这种接头能够通过允许整个系统被配置成处于碰撞-抑制姿势或朝向该姿势驱动、通过进一步扩大其他外科手术程序的运动范围等提供显著的优点。

[0050] 在另一个方面中,该系统可以利用软件来实现远程中心,诸如在美国专利US8,004,229中所描述的,该专利的整体内容以引用的方式并入本文。在具有软件远程中心的系统中,处理器计算接头的移动,以便绕经确定的枢转点(这与机械约束不同)枢转器械轴的中间部分。通过具有计算软件枢转点的能力,能够选择性地实现以系统的柔度或刚度为特点的不同模式。更具体地,能够根据需要在一系列的枢转点/中心(例如,可移动的枢转点、被动枢转点、固定/刚性枢转点、软枢转点)上实现不同系统模式。

[0051] 尽管具有多个高度可配置操纵器的机器人外科手术系统具有许多优点,但由于操纵器包括位于基座和器械之间的相对大量的接头和连杆,因此连杆的手动定位会是富有挑战性且复杂的。即使当操纵器结构被平衡以便避免重力效应时,试图以适当的布置对准每

个接头或根据需要重新配置操纵器会是困难和耗时的,并且会涉及大量的训练和/或技能。当操纵器的连杆未绕接头被平衡时,挑战甚至会更大,由于操纵器臂长度和许多外科手术系统中的被动且易弯的设计,因此在外科手术之前或期间以适当的配置定位这种高度可配置的结构会是一件费劲的事。

[0052] 这些问题能够通过允许用户(诸如医生的助手)快速地且容易地重新配置操纵器臂同时可选地甚至在外科手术程序中的末端执行器移动期间维持期望的末端执行器状态而得到解决。一个或更多个额外的接头可以被包括在操纵器臂中,以增加操纵器臂的运动范围和配置,从而提高这种能力。虽然提供额外的接头可以为某些任务提供增加的运动范围,但接头状态的各种组合可能不必要地限制接头移动的可用范围,特别是在操纵器的一个或更多个接头的接头极限附近。

[0053] 在一些实施例中,基于自主算法计算的与各种其他任务有关的移动(诸如回避移动)可以覆盖进入便利移动,从而使得一个或更多个接头可以被移动以根据需要进行各种其他任务。这种回避移动的示例被描述在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No.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No.61/654,773中进行了描述,这些申请的全部公开以引用方式并入本文。然而,覆盖一个或更多个接头的便利移动的计算的移动不限于自主移动,并且可以包括各种其他移动,诸如被命令的重新配置移动或各种其他移动。

[0054] 本发明的实施例可以包括被配置为利用操纵器结构的自由度的用户输入端。与手动地重新配置操纵器不同,该输入端利于响应于用户输入重新配置命令而使用运动学联动装置的从动接头重新配置操纵器结构。用于接收重新配置命令的用户输入端可以被并入操纵器臂和/或被设置在操纵器臂附近。在一些实施例中,输入端包括集中的输入装置以利于一个或更多个接头的重新配置,诸如患者侧推车上的一组按钮或操纵杆。通常,用于接收重新配置命令的输入装置与用于接收实现末端执行器移动的操纵命令的输入端分开。外科手术系统的控制器可以包括具有可读存储器的处理器,其中该可读存储器具有记录在其上的接头控制器编程指令或代码,并且允许处理器获取记录在其上的用于驱动接头的合适的接头命令,以便允许控制器响应于重新配置命令的输入而实现期望的重新配置。然而,应意识到,本发明可以在具有或没有重新配置特征的情况下用于操纵器臂中。

[0055] 在以下描述中,将描述本发明的各种实施例。为了说明的目的,阐述了具体配置和细节,以便提供对实施例的更透彻理解。然而,本领域技术人员应明白在没有各种具体细节的情况下可以实行本发明。此外,为了不混淆正在描述的实施例,公知的特征可以被省略或简化。

[0056] 现在参考附图,其中贯穿多个附图,相同附图标记指代相同部分,图1A是根据许多实施例的微创机器人外科手术(MIRS)系统10的俯视图,该系统用于对平躺在手术台14上的患者12执行微创诊断或外科手术程序。该系统能够包括供外科医生18在程序中使用的外科医生控制台16。一个或更多个助手20也可以参与该程序。MIRS系统10能够进一步包括患者侧推车22(外科手术机器人)以及电子推车24。患者侧推车22能够操纵至少一个可移除地耦连的工具组件26(下文简称为“工具”)通过患者12身体内的微创切口,同时外科医生18通过

控制台16观看外科手术部位。外科手术部位的图像能够通过内窥镜28(诸如立体内窥镜)获得,该所述内窥镜能够被患者侧推车22操纵以便对内窥镜28定向。电子推车24能够被用于处理外科手术部位的图像,以便随后通过外科医生控制台16显示给外科医生18。被同时使用的手术工具26的数量将大体取决于诊断或外科手术程序和手术室内的空间约束以及其他因素。如果在程序中必须更换正在使用的一个或更多个工具26,则助手20可以从患者侧推车22移除工具26,并且使用来自手术室内托盘30的另一工具26将其替换。

[0057] 图1B概略地示出机器人外科手术系统50(诸如图1A的MIRS系统10)。如上所述,外科医生控制台52(诸如图1A中的外科医生控制台16)能够由外科医生使用,以在微创手术程序期间控制患者侧推车(外科手术机器人)54(诸如图1A中的患者侧推车22)。患者侧推车54能够使用成像装置(诸如立体内窥镜)来采集程序部位的图像,并且将采集的图像输出至电子推车56(诸如图1A中的电子车24)。如上所述,电子推车56能够在任何后续显示之前以各种方式处理采集的图像。例如,在将组合的图像经由外科医生控制台52显示给外科医生之前,电子推车56能够用虚拟控制界面覆盖采集的图像上。患者侧推车54能够输出采集的图像,用于在电子推车56外部进行处理。例如,患者侧推车54能够将采集的图像输出至处理器58,该处理器能够被用于处理采集的图像。图像还能够通过电子推车56和处理器58的组合来处理,该电子推车56和处理器58能够被耦连在一起以便共同、相继和/或组合地处理采集的图像。一个或更多个单独的显示器60还能够与处理器58和/或电子推车56耦连在一起,以用于图像(诸如程序部位的图像或其他有关的图像)的本地和/或远程显示。

[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,以用于为外科医生18呈现能够具有深度感知的外科手术部位的协调立体图。控制台16进一步包括一个或更多个输入控制装置36,该输入控制装置36进而使得患者侧推车22(图1A所示)操纵一个或更多个工具。输入控制装置36能够提供与其相关联的工具26(图1A所示)相同的自由度,以便为外科医生提供远程呈现或输入控制装置36与工具26一体化的感知,从而使得外科医生具有直接控制工具26的强烈感觉。为了该目的,可以采用方位、力和触觉反馈传感器(未示出)以便将方位、力和触觉感觉通过输入控制装置36从工具26传输回外科医生的手。

[0059] 外科医生控制台16通常和患者位于相同的房间,以便外科医生可以直接监控手术程序、如果需要可以实际存在并且直接对助手说话而不是通过电话或其他通信介质说话。然而,外科医生能够位于不同的房间、完全不同的建筑物或远离患者的其他远程位置,以允许远程外科手术程序。

[0060] 图3是电子推车24的透视图。电子推车24能够与内窥镜28耦连并且能够包括处理器,该处理器用于处理采集的图像以便随后的显示,诸如在手术控制台或位于本地和/或远程的另一合适的显示器上向外科医生显示。例如,当使用立体内窥镜时,电子推车24能够处理采集的图像,以便为外科医生呈现外科手术部位的协调立体图像。这种协调能够包括相反图像之间的对准并且能够包括调节立体内窥镜的立体工作距离。作为另一示例,图像处理能够包括使用先前确定的照相机校准参数,以便补偿图像采集装置的成像误差,诸如光学像差。

[0061] 图4示出具有多个操纵器臂的患者侧推车22,其中每个操纵器臂支撑操纵器臂的远端处的外科手术器械或工具26。示出的患者侧推车22包括四个操纵器臂100,这些操纵器

臂能够被用于支撑外科手术工具26或成像装置28,诸如用于采集程序部位的图像的立体内窥镜。通过具有数个机器人接头的机器人操纵器臂100来提供操纵。成像装置28和外科手术工具26能够被定位并且被操纵通过患者体内的切口,使得运动学远程中心维持在切口处,以便使切口的尺寸最小化。当外科手术器械或工具26的远端被定位在成像装置28的视野内时,手术部位的图像能够包括外科手术器械或工具26的远端的图像。

[0062] 关于外科手术工具26,可以使用各种不同类型和不同的末端执行器的替代性机器人外科手术工具或器械,其中在外科手术程序期间移除并且替换至少一些操纵器的器械。这些末端执行器中的一些(包括DeBakey镊子、微型手术镊、Potts剪刀和施夹器)包括相对于彼此枢转以便限定一对末端执行器夹爪的第一末端执行器元件和第二末端执行器元件。其他末端执行器(包括手术刀和电灼探头)具有单个末端执行器元件。对于具有末端执行器夹爪的器械,通常会通过挤压柄部的抓握构件来致动夹爪。单个末端执行器型器械还可以通过抓握构件的抓握被致动,例如以便给电灼探头通电。

[0063] 器械26的细长轴允许末端执行器和轴远端通过微创孔口、通常通过腹壁等向远侧插入至外科手术工作部位。外科手术工作部位可以被喷注,并且通常至少部分通过绕轴穿过微创孔口所处的位置来枢转器械26,而实现末端执行器在患者体内的移动。换句话说,操纵器100将在患者体外移动器械的近侧外壳,从而使得轴延伸通过微创孔口位置,以便帮助提供末端执行器的期望移动。因此,在外科手术程序期间,操纵器100将通常经历在患者P体外的显著移动。

[0064] 根据本发明的许多实施例的示例性操纵器臂能够参考图5A-12C理解。如上所述,操纵器臂大体支撑远侧器械或外科手术工具并且实现器械相对于基座的移动。由于具有不同末端执行器的大量不同的器械可能在外科手术程序期间被相继安装在每个操纵器上(通常在外科手术助手的帮助下),所以远侧器械保持器将优选地允许所安装的器械或工具的快速移除和替换。如参考图4能够理解的,操纵器在近侧安装在患者侧推车的基座。通常,操纵器臂包括在基座和远侧器械保持器之间延伸的多个联动装置和相关联的接头。在一个方面,示例性操纵器包括具有冗余自由度的多个接头,使得针对给定的末端执行器方位,操纵器臂的接头能够被驱动成一系列的不同配置。这可以是本文公开的任何操纵器臂的实施例的情况。

[0065] 在许多实施例中,诸如图5A所示的示例,操纵器臂包括近侧回转接头J1,其绕第一接头轴线旋转以便使接头远侧的操纵器臂绕接头轴线回转。回转接头J1被直接安装到基座,或者回转接头J1可以被安装到一个或更多个可移动联动装置或接头。操纵器的接头以其结合形式具有冗余的自由度,从而使得针对给定的末端执行器的方位,操纵器臂的接头能够被驱动成一系列的不同配置。例如,图5A-5D的操纵器臂可以被操控成不同的配置,而被支撑在器械保持器510中的远侧构件511(诸如工具512或器械轴延伸通过的套管)维持特定状态并且可以包括末端执行器的给定方位或速度。远侧构件511通常是工具轴512延伸所通过的套管,并且器械保持器510通常是器械在通过套管511延伸通过微创孔口进入患者体内之前所附连的托架(示出为在梁上平移的块状结构)。

[0066] 现在描述图5A-5D的示例性操纵器臂500的各个连杆以及如图5A-5D所示连接连杆的接头的旋转轴线,其中第一连杆504从枢转接头J2向远侧延伸,该枢转接头J2绕其接头轴线枢转并且被耦合到绕回转接头J1的接头轴线旋转的回转接头J1。能够通过接头相关联

的旋转轴线来识别接头的许多剩余部分,如图5A所示。例如,如图所示,第一连杆504的远端在枢转接头J3处耦合到第二连杆506的近端,其中枢转接头J3绕其枢转轴线枢转,第三连杆508的近端在枢转接头J4处耦合到第二连杆506的远端其中枢转接头J4绕其轴线枢转。第三连杆508的远端在枢转接头J5处耦合到器械保持器510。通常,当靠近彼此定位时每个接头J2、J3、J4和J5的枢转轴线基本平行并且联动装置呈现“堆叠”,如图5D所示,以便在操纵器组件的操控期间提供操纵器臂的减小的宽度 w 并改善患者间隙。在一些实施例中,器械保持器包括额外的接头,诸如棱柱接头J6,该额外的接头便利器械306通过微创孔口的轴向移动,并且便利器械保持器附连到套管,其中器械可滑动地通过该套管插入。

[0067] 在本示例性操纵器臂中,远侧构件或工具512延伸通过其中的套管511可以包括器械保持器510的远侧的额外的自由度。该器械的自由度的致动将通常通过操纵器的马达来驱动,并且替代性实施例可以在快速可拆卸器械保持器/器械接口处将器械与支撑操纵器结构分开,从而使得在此处所示正在器械上的一个或更多个接头实际上在接口上,或者反之亦可。在一些实施例中,套管511包括在工具尖端的插入点或枢转点PP附近或近侧的旋转接头J8(未示出),其中工具尖端的插入点或枢转点PP通常被设置在微创孔口的部位处。器械的远侧腕部允许外科手术工具512的末端执行器在器械腕部处绕一个或更多个接头的器械接头轴线进行枢转运动。末端执行器夹爪元件之间的角度可以独立于末端执行器的位置和取向被控制。

[0068] 通过参考图6A-6C中的示例,能够意识到示例性操纵器组件的运动范围。在外科手术程序中,操纵器臂能够根据需要被操控成俯仰向前配置(如图6A所示)或俯仰向后配置(如图6B所示),以进入外科手术工作空间内的患者特定组织。典型的操纵器组件包括末端执行器,该末端执行器能够绕轴线向前和向后俯仰至少 ± 60 度,优选大约 ± 75 度,并且还能够绕轴线偏转 ± 80 度。尽管该方面允许末端执行器以及组件的增加了的可操控性,但可能存在末端执行器的移动可能被限制的配置,特别是当操纵器臂处于图6A和6B的完全俯仰向前或完全俯仰向后配置时。在本实施例中,操纵器臂分别具有针对外俯仰的(± 75 度)运动范围(ROM)和针对外偏转接头的(± 300 度)运动范围(ROM)。在一些实施例中,可以针对外俯仰增加ROM以提供比(± 90 度)更大的ROM,在此情况下,能够使“静锥区(cone of silence)”完全消失,但是通常与插入限制相关联的内球体将会继续存在。应意识到,操纵器可以被配置为具有增加的或减小的ROM,上面提及的ROM被提供用于说明性目的,并且应进一步意识到,本发明不限于本文中所描述的ROM。

[0069] 图6C图形表示图5A-5B的示例性操纵器的工具尖端的总体运动范围和工作空间。尽管工作空间被显示为半球体,但是取决于操纵器的一个或更多个回转接头(诸如接头J1)的运动范围和配置,它也可以被表示为球体。如图所示,图6C中的半球体包括中心的、小的球形空隙以及两个锥形空隙。空隙表示工具尖端的移动由于机械约束而不可能或由于使末端执行器的移动困难或迟钝的极高的接头速度而不能实行的区域。由于这些原因,锥形空隙被称为“静锥区(cone of silence)”。在一些实施例中,操纵器臂可以到达该锥体内的一点处的奇点。由于操纵器在静锥区内或其附近的移动可能被削弱,因此在不手动地移动操纵器的一个或更多个连杆以重新配置操纵器的联动装置和接头的情况下很难使操纵器臂移动离开静锥区,这通常需要替代性操作模式并且推迟外科手术程序。

[0070] 当操纵器中的远侧联动装置之间的角度相对较小时,器械轴在这些锥形部分内或

其附近的移动通常会发生。这种配置能够通过重新配置操纵器以增加联动装置之间的角度(使得联动装置被移动成相对于彼此更正交的方位)来避免。例如,在6A和6B所示的配置中,当最远侧连杆与器械保持器之间的角度(角度a)变得相对较小时,操纵器的移动变得更困难。在各种实施例中,取决于其余接头的接头移动范围,当某些联动装置之间的角度减小时,操纵器的移动可能被阻止,并且在一些情况下,操纵器臂可能不再是冗余的。器械轴靠近这些锥形部分或联动装置之间的角度相对较小的操纵器配置被认为是“欠佳地调节”,因此操纵器臂的可操控性和灵巧性受限制。期望的是,操纵器被“较佳地调节”,以便维持移动的灵巧性和范围。在一个方面,即使在外科手术程序中的末端执行器移动期间,本发明也允许用户根据需要通过简单地输入重新配置操纵器的命令来避免器械轴在上述锥形部分附近的移动。如果操纵器无论由于什么原因而变得“欠佳地调节”,该方面是特别有用的。

[0071] 虽然上述的实施例用于本发明中,但是一些实施例可以包括额外的接头,这也可以用于改善操纵器臂的灵巧性和调节。例如,示例性操纵器可以包括接头J1近侧的回转接头和/或联动装置,其能够用于绕回转接头的轴线回转图5A的操纵器臂和其相关联的静锥区,以便减小或消除静锥区。在另一实施例中,示例性操纵器还可以包括远侧枢转接头,该远侧枢转接头绕基本上垂直于接头J5的轴线枢转器械保持器,由此偏移工具尖端,以便进一步减小静锥区,并改善外科手术工具的移动范围。在又一实施例中,操纵器臂的近侧接头(诸如J1)可以被可移动地安装在基座上,以便根据需要移动或转移静锥区,并改善操纵器工具尖端的运动范围。通过参考图7A-12C能够理解这种额外的接头的使用和优点,图7A-12C示出这种接头的示例,这种接头均可以在本文中所描述的任何示例性操纵器臂中彼此独立地使用或组合使用。

[0072] 图7A-7B示出用于与示例性操纵器臂一起使用的额外的冗余接头,即,将操纵器臂的近侧部分耦合到基座的第一接头。第一接头是使操纵器臂绕接头J1'的接头轴线回转的近侧回转接头J1'。近侧回转接头J1'包括使接头J1从近侧回转接头J1'偏移预定的距离或角度的连杆501。连杆501可以是弯曲的联动装置(如图7A所示)或线性或成角度的联动装置(如图7B所示)。通常,接头J1'的接头轴线与远程中心RC或工具尖端的插入点对准,均在图7A示出。在示例性实施例中,接头J1'的接头轴线穿过远程中心,操纵器臂中的每个其他回转接头轴线也是如此,以防止在体壁处的运动,并且能够在外科手术期间被移动。接头J1'的轴线被耦合到臂的近侧部分,因此它能够用于改变臂的后部的方位和取向。一般来说,冗余轴线(诸如该轴线)允许器械尖端遵从外科医生的命令同时避免与其他臂或患者解剖结构碰撞。在一个方面,近侧回转接头J1'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并且2)到达体内的解剖结构,该角度是重要的。通常,被附连到近侧回转接头J1'的操纵器近侧连杆与近侧回转接头的轴线之间的角度a为大约15度。

[0073] 图7B示出示例性操纵器臂中的近侧回转接头J1'和其相关联的接头轴线与静锥区的关系。近侧回转接头J1'的接头轴线可以穿过静锥区,或可以完全在静锥区外面。通过绕近侧回转接头J1'的轴线回转操纵器臂,静锥区能够被减小(在接头J1'轴线穿过静锥区的实施例中),或能够被有效地消除(在近侧回转接头轴线完全在静锥区外面延伸的实施例中)。连杆501的距离和角度决定接头J1'轴线相对于静锥区的方位。

[0074] 图8-9示出用于与示例性操纵器臂一起使用的另一类型的冗余接头,即,将器械保持器510耦合到操纵器臂508的远侧连杆的远侧回转接头J7。远侧回转接头J7允许该系统绕

接头轴线侧向地枢转或扭转器械保持器510,该接头轴线通常穿过远程中心或插入点。理想地,回转接头位于臂上远侧并因此尤为适于移动插入轴线的取向。该冗余轴线的添加允许操纵器针对任意单个器械尖端方位呈现多个方位。一般来说,冗余轴线(诸如该轴线)允许器械尖端遵从外科医生的命令同时避免与其他臂或患者解剖结构碰撞。因为远侧回转接头J7具有使插入轴线更靠近偏转轴线移动的能力,所以当操纵器臂处于俯仰向后方位时,能够增加运动范围。图10A-10C示出接头J7的顺序移动和接头J7的移动如何从一侧向另一侧转移工具尖端的插入轴线。

[0075] 在另一方面,本文中所描述的任何一该系统都可以利用用户输入装置来驱动一个或更多个接头,并在零空间内重新配置操纵器臂的一个或更多个接头以实现由于各种原因的期望的重新配置。在上述的具有用于被命令的重新配置或模式的用户输入中的一个或两个的实施例中,该系统可以在移动期间利用上述约束来实现被命令的操纵移动,并在重新配置移动期间或在处于咬合模式时终止约束的应用。当重新配置移动完成或操纵器臂从咬合模式切换出来时,该系统根据操纵器臂的被重新配置的位置而应用基于方位的约束。在其他实施例中,约束可以限定移动的多个方位路径,使得与在笛卡尔坐标空间内的最近路径相关联的约束能够被选择。这些方面允许该系统在操纵器臂处于咬合模式时通过被驱动的重新配置或手动的重新配置进行重新配置之后提供操纵器臂的一个或更多个接头的期望的移动。

[0076] 使用额外的冗余接头(诸如远侧回转接头J7)的一个优点是,它可以用于减小患者间隙锥体,该患者间隙锥体是操纵器臂的在插入点近侧的远侧部分的扫略体积,操纵器臂必须让开患者以回避患者与操纵器臂的器械保持器或远侧联动装置之间的碰撞。图11A示出远侧回转接头的角度位移保持在 0° 时操纵器臂的近侧部分的患者间隙锥体。图11B示出当远侧回转接头被显示具有绕其轴线的 90° 的角度位移时操纵器臂的近侧部分的减小的患者间隙锥体。因此,在具有靠近插入点的最小患者间隙的过程中,根据本发明的接头J7的使用可以提供额外的间隙,同时根据需保持远程中心位置或末端执行器的方位。

[0077] 图12A-12C说明了用于与示例性操纵器臂一起使用的另一类型的冗余接头,绕轴线平移或回转操纵器臂的近侧接头。在许多实施例中,该近侧可平移接头沿着路径平移操纵器的近侧接头(诸如接头J1或J1'),以便通过转移或旋转操纵器臂的运动范围来减小或消除静锥区,从而提供操纵器臂的更好的调节和改善的可操纵性。可平移接头可以包括圆形路径(诸如图12A-12D中的接头J1"所示),或可以包括半圆形或弓形路径(诸如图13A-13C所示)。一般来说,该接头绕可平移接头的轴线回转操纵器臂,可平移接头的轴线与远程中心RC相交,延伸通过插管511的工具512的轴绕远程中心RC枢转。尽管在图12A-12C所示的实施例中,J1"的轴线是垂直轴线,但应意识到,J1"的轴线可以是水平的或以各种倾斜角度进行设置。

[0078] 在一些实施例中,操纵器臂500可以包括近侧或远侧回转接头、近侧可平移接头和平行四边形配置的远侧联动装置中的任何一个或所有。根据本发明,这些特征中的任何一个或全部的使用提供额外的冗余自由度并且利于重新配置,以便通过增加联动装置之间的角度来提供更好“调节”的操纵器组件,由此改善操纵器的灵巧性和运动。该示例性操纵器的增加的灵活度还能够用于优化操纵器联动装置的运动学,以便回避接头限制、奇点等。

[0079] 在一些方面中,通过由控制器使用该系统的马达驱动一个或更多个接头来控制操

纵器的接头移动,其中根据由控制器的处理器计算出的协调移动和接头移动来驱动所述接头。数学上,控制器可以使用向量和/或矩阵执行接头命令的至少一些计算,其中向量和/或矩阵中的一些可以具有对应于接头配置或速度的元素。处理器可获得的替代性接头配置范围可以被概念化为接头空间。例如,该接头空间可以具有与操纵器所具有的自由度一样多的维度,并且操纵器的特定配置可以表示在接头空间中的特定点,其中每个坐标对应于操纵器的相关联接头的接头状态。

[0080] 在一个方面中,该系统包括控制器,其中工作空间(这里表示为笛卡尔空间)中的特征的命令方位和速度是输入。该特征可以是操纵器上的任何特征或脱离操纵器的任何特征,该操纵器能够被用作使用控制输入而被铰接的控制框架。用于本文中所描述的许多示例中的操纵器上的特征示例可以是工具尖端。操纵器上的特征的另一示例可以是物理特征,该特征不在工具尖端上,而是操纵器的一部分诸如销或着色图案。脱离操纵器的特征示例可以是在空的空间中的基准点,该点恰好远离工具尖端一定距离和角度。脱离操纵器的特征的另一示例可以是目标组织,该组织相对于操纵器的方位能够被建立。在所有这些情况中,末端执行器与使用控制输入被铰接的假想控制框架相关联。然而,在下文中,使用的“末端执行器”和“工具尖端”作为同义词使用。虽然大体上,不存在将期望的笛卡尔空间末端执行器方位映射到等价的接头空间方位的封闭形式关系,但是在笛卡尔空间末端执行器速度和接头空间速度之间大体存在封闭形式的关系。运动学雅可比矩阵是末端执行器的笛卡尔空间方位元素相对于接头空间方位元素的偏导矩阵。以这种方式,运动学雅可比矩阵采集末端执行器和接头之间的运动学关系。换句话说,运动学雅可比矩阵采集接头运动对末端执行器的影响。运动学雅可比矩阵(J)能够用于使用下面的关系式将接头空间速度(dq/dt)映射到笛卡尔空间末端执行器速度(dx/dt):

$$[0081] \quad dx/dt = J \, dq/dt$$

[0082] 因此,即使在输入方位和输出方位之间不存在封闭形式的映射时,也能够基于雅可比矩阵的控制器中迭代地使用速度的映射,从而根据命令的用户输入实现操纵器的移动,不过还能够使用各种实施方式。尽管许多实施例包括基于雅可比矩阵的控制器,但是一些实施方式可以使用可以被配置成访问操纵器臂的雅可比矩阵以提供本文中所描述的任何特征的各种控制器。

[0083] 下面以简化的术语描述一个这种实施方式。命令的接头方位被用于计算雅可比矩阵(J)。在每个时间步长(Δt)期间,计算笛卡尔空间速度(dx/dt)以执行期望的移动(dx_{des}/dt)并且校正与期望的笛卡尔空间方位的累积偏差(Δx)。然后,使用雅可比矩阵的伪逆($J^\#$)将该笛卡尔空间速度转换成接头空间速度(dq/dt)。然后,将所得的接头空间的命令速度进行积分,以产生接头空间的命令方位(q)。这些关系列出如下:

$$[0084] \quad dx/dt = dx_{des}/dt + k \Delta x \quad (1)$$

$$[0085] \quad dq/dt = J^\# dx/dt \quad (2)$$

$$[0086] \quad q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t \quad (3)$$

[0087] 雅可比矩阵(J)的伪逆直接将期望的工具尖端运动(以及在某些情况下,枢转工具运动的远程中心)映射到接头速度空间内。如果正在使用的操纵器具有比工具尖端自由度(例如多达六个自由度)更有用的接头轴线,则该操纵器被称为是冗余的。例如,当工具运动的远程中心在使用时,操纵器应该具有额外的3个接头轴线,以用于与远程中心的位置相关

联的3个自由度。冗余的操纵器的雅可比矩阵包括具有至少一个维度的“零空间 (null-space)”。在该背景下,雅可比矩阵的“零空间”(N(J))是瞬间实现无工具尖端运动(并且当使用远程中心时,无枢转点位置的移动)的接头速度的空间;并且“零运动”是接头方位的组合、轨迹或路径,该“零运动”也产生了工具尖端和/或远程中心的位置的非瞬时移动。将计算的零空间速度并入或注入操纵器的控制系统以实现操纵器的期望的重新配置(包括本文中所描述的任何重新配置),将上述等式(2)改变如下:

$$[0088] \quad dq/dt = dq_{\text{perp}}/dt + dq_{\text{null}}/dt \quad (4)$$

$$[0089] \quad dq_{\text{perp}}/dt = J^{\#} dx/dt \quad (5)$$

$$[0090] \quad dq_{\text{null}}/dt = (I - J^{\#}J) z = V_n \quad V_n^T z = V_n \alpha \quad (6)$$

[0091] 根据等式(4)的接头速度具有两个分量:第一个分量是零垂直空间分量 dq_{perp}/dt ,“最单一的”接头速度(最短向量长度),其产生期望的工具尖端运动(并且当使用远程中心时,产生期望的远程中心运动);并且第二个分量是零空间分量 dq_{null}/dt 。等式(2)和(5)显示,在没有零空间分量的情况下,实现相同的等式。等式(6)在左侧以零空间分量的传统形式开始,并且在远右侧显示在示例性系统中使用的形式,其中(V_n)是零空间的正交基向量集,并且(α)是混合那些基向量的系数。在一些实施例中, α 是由控制参数、变量或设置确定的,诸如通过使用旋钮或其他控制器件确定,以便根据需要在零空间内调整或控制运动。

[0092] 图13A图形地示出在雅可比矩阵的零空间和雅可比矩阵的零垂直空间之间的关系。图14示出二维示意图,该图示出沿水平轴线的零空间以及沿竖直轴线的零垂直空间,这两个轴线彼此正交。该对角线向量表示零空间中的速度向量和零垂直空间中的速度向量之和,其表示上述等式(4)。

[0093] 图13B图形地示出在四维接头空间内的零空间和零运动流形(null-motion-manifold)之间的关系,示出为“零运动流形”。每个箭头(q_1 、 q_2 、 q_3 和 q_4)表示主要接头轴线。封闭曲线表示零运动流形,该零运动流形是瞬间实现相同末端执行器方位的一组接头空间方位。对于曲线上的给定点A,由于零空间是不产生末端执行器的瞬间移动的接头速度的空间,所以零空间在点A处平行于零运动流形的切线。

[0094] 图14图形地示出示例性操纵器臂的接头空间的二维子空间。水平和垂直轴线表示具有独立的接头移动的两个接头的移动,具体地,接头的移动实现操纵器臂的器械保持器的俯仰(水平轴线),而远侧回转接头的移动沿任一方向自操纵器臂的近侧部分延伸通过的平面侧向地枢转器械保持器(垂直轴线)。子空间的最右侧表示俯仰接头的向前俯仰极限,而最左侧表示俯仰接头的向后俯仰极限。在曲线A、B和C、D附近、在俯仰接头的向前和向后俯仰极限附近的限定的路径分别示出在操纵器臂的接头的雅可比矩阵的零空间内的接头移动的接头状态。例如,对于给定的末端执行器状态,控制器能够沿着曲线A、B、C和D中的每一条移动侧向枢转接头和俯仰接头,以增加正交于曲线A、B、C和D的接头空间的范围,同时维持末端执行器的期望的状态。

[0095] 图14所示的曲线A、B、C指出在接头空间内的导致大体上恒定的笛卡尔空间俯仰的接头空间值。如在图13B中所描述的,每条曲线是零运动流形。在图14中由接头空间所表示的特定操纵器臂的操作期间,通过接近水平轴线能够以向前俯仰的方式横穿更大量的路径曲线(例如,侧向枢转接头的角度位移接近零度)。替代地,通过接近接头空间的上和下角落能够以向后俯仰的方式横穿更大量的路径曲线(例如,侧向枢转接头的角度位移接近其±

极值)。

[0096] 如在图14中能够看出的,所表示的操纵器臂的笛卡尔坐标接头空间具有四个角落。一般来说,对于操纵器臂的进入四个角落的接头,实现接头移动的控制器指向角落。在一个方面,控制器计算在雅可比矩阵的零空间内的移动,以沿着在接头空间内的一个或多个路径(诸如图14所示的在接头空间内的曲线)移动接头,从而改善操纵器臂到笛卡尔坐标空间的最远角落的进入。在一种方法中,势场被限定在操纵器臂的接头子空间内,以沿着用于能够到达接头空间的边缘和角落、或各种接头组合中的接头极限、并且特别是笛卡尔坐标空间的最远范围的曲线族移动接头。在图14中示出由在接头空间内的俯仰接头和侧向枢转接头范围所表示的笛卡尔空间范围。

[0097] 在图14中示出的限定势场的一种方法如下:

$$[0098] \quad C = 1/2 (q_{\text{俯仰}} - q_{\text{俯仰-设定值}})^2$$

$$[0099] \quad z = (dC/dt)^T = \partial C / \partial q * dq/dt = (q_{\text{俯仰}} - q_{\text{俯仰-设定值}}) * dq/dt$$

[0100] 其中z然后用于上面的公式(6)中。

[0101] 替代地,在某些方面,可以使用包括势函数梯度并且应用于笛卡尔空间末端执行器速度的增广雅可比矩阵。雅可比矩阵的增广根据需要来计算接头速度。应理解,参考利用雅可比矩阵来计算接头移动,这种计算可以包括增广雅可比矩阵方法。根据增广雅可比矩阵方法,可以使用以下公式,但是应意识到,可以使用列向量:

$$[0102] \quad dx/dt = J * dq/dt$$

$$[0103] \quad Y = h(q)$$

$$[0104] \quad dy/dt = \partial h / \partial q * dq/dt$$

$$[0105] \quad [dx/dt^T \quad dy/dt^T]^T = [J^T \quad \partial h / \partial q^T]^T * dq/dt$$

$$[0106] \quad d(x;y)/dt = [J; h'] * dq/dt$$

$$[0107] \quad dq/dt = [J; h']^\# d(x;y)/dt$$

[0108] 在一个示例中,设定势场函数的复杂网络 $y = h(q)$, $dy/dt = \partial h / \partial q * dq/dt$ 。dy/dt和 $\partial h / \partial q$ 和dy/dt能够根据需要基于势场函数来指定,并且增广公式将会产生既驱动末端执行器也跟踪接头空间中的路径的组合作为期望的结果。

[0109] 控制器可以利用雅可比矩阵的伪逆来正交于路径A、B、C和D移动接头,以便根据被命令的末端执行器移位移动来实现接头在零垂直空间内的移动,从而实现期望的末端执行器操纵移动。当俯仰接头的俯仰在被命令的末端执行器移动期间沿着水平轴线移动时,该系统确定接头方位在零空间内的移动,以增加接头空间的范围。例如如图14所示,当俯仰接头的移动朝向向后极限移动时,该系统可以确定并实现侧向枢转接头在零空间内沿着最近的曲线(参见沿着图14中的曲线B的箭头)的移位移动,以便通过增加曲线路径与操纵器接头空间的极限之间的正交距离来增加在零垂直空间内的接头运动的范围。例如,在图14所示的接头空间中,当俯仰接头朝向向前俯仰接头极限移动时,该系统可以确定并实现侧向枢转接头朝向非移位方位的移动,以便通过增加曲线路径(C和D)与俯仰接头向前极限之间的正交距离来增加在零垂直空间内的运动范围。虚拟势场空间可以用于接头空间中,以允许能够用于确定接头速度的虚拟力的确定,从而实现接头在接头空间内的期望的移动。

[0110] 在某些实施例,操纵器臂使用平行四边形联动装置,其中接头J3、J4和J5被配置

为具有相互关联的移动,以维持由接头J3、J4、J5和枢转点PP形成的平行四边形(例如参见图5A)。由于该相互关联的移动,器械轴的俯仰可以通过俯仰接头(例如J3)的状态来确定。俯仰接头(诸如通过图5A的接头J3)的移动将插入轴线的俯仰从俯仰向前方位(参见图6A)改变为俯仰向后方位(参见图6B)。在各种其他实施例中,俯仰接头可以包括操纵器臂的一个或更多个接头,其移动决定器械轴的俯仰。支撑器械保持器510和相关联的套管511的远侧回转接头(诸如远侧回转接头J7)的移动相对于操纵器在接头J7近侧的部分延伸通过的平面侧向地枢转或扭转延伸通过器械保持器510的器械轴。操纵器接头空间的子空间示出针对俯仰接头J3和回转接头J7的接头状态的可能的组合的范围。尽管在该实施例中,方位约束被限定在接头空间的由上述俯仰接头和远侧回转接头所限定的子空间内,但应意识到,子空间可以由各种其他接头或由三个或更多个接头来限定。

[0111] 在所示出的实施例中,沿着曲线路径的移动包括远侧回转接头与俯仰接头的相对移动,使得俯仰接头到增加的俯仰向后方位的移动对应于回转接头的增加的旋转位移,而俯仰接头到俯仰向前方位的移动对应于远侧回转接头的最小或零位移。当外俯仰接头向后俯仰时,器械轴上的工具尖端向前移动。如果外俯仰接头到达其俯仰向后方位的极限,那么工具尖端在器械轴512的末端上的向前移动仍然能够通过远侧回转接头J7的移动来实现。然而,当外俯仰接头J3接近其俯仰向后方位的极限时,对远侧回转接头J7的初始移动是有用的。类似地,当远侧回转接头的移动最小时,该移动处于远侧回转接头的零角度位移处,能够在沿向后方向引起工具尖端运动的俯仰向前方向上获得最向后的工具尖端定位。

[0112] 在一个方面,在任一时间点处,在路径或曲线中的任何一个上与满足需要一维零空间的一维约束一致。操纵器接头空间的该二维子空间能够用于通过产生引力势场而将操纵器臂的移动引导到期望的方位路径,该引力势场趋向于朝向或沿着所限定的路径(通常沿着路径)“牵引”或引导主体接头状态的方位X。该系统可以被配置为使得接头的进入便利移动引起指定的接头沿着所限定路径区段的移动,或可以使用势场内的各种引力幅度来引起接头沿着所限定的路径移动,以便针对操纵器的接头的给定状态提供在至少一个接头的接头空间内的移动范围。

[0113] 在一种方法中,这通过如下方式实现,即在接头空间内生成势场,使得高势能表示X(例如,当前或计算的操纵器方位)与方位约束(例如,路径网络)之间的较短的距离,而低势能表示较长的距离。然后,零空间系数(α)被计算为优选最大可能程度地使势场的负梯度下降。在一些实施例中,与每个路径(例如b'和c')相关联的势能根据一个或更多个操纵器接头的计算的方位与所限定的路径之间的距离来确定。响应于人造势场在当前接头方位上的计算的引力,该系统计算操纵器臂的一个或更多个接头在零空间内的移动。

[0114] 虽然约束可以被限定为在如图14A-14C所示的由远侧回转接头和外俯仰接头所限定的子空间内的三个区段A、B和C,但应意识到,上面提及的优点与给定操纵器臂的某些运动相关联。因此,当运动可以在操纵器臂之间不同时,期望的接头移动也可以如此,并且配置约束在操纵器臂之间也不同。例如,取决于操纵器臂的设计,对限定子空间是有用的,在子空间中,方位约束被操纵器臂的两个或更多个其他接头限定。例如,假设N维零空间,全部接头空间的任何维度的子空间中的N维流形网络可以被限定。在第一示例中,在一维或更多维零空间中,一维曲线或直线段的网络可以被限定在整个接头空间中或在其中的任何一个子空间中。引力势能或速度然后可以被计算并被投影到零空间上以确定进入便利移动,使

得一个或更多个接头的方位对应于所限定的路径,所限定的路径提供增加的接头移动范围,由此便利进入到一个或更多个接头的接头空间的接头极限的边缘。在第二示例中,假设二维或更多维的零空间,二维表面网络仍将会被限定在整个接头空间中或在其中的任何一个子空间中。此外,如上所述,引力势能或速度可以被计算并被投影到零空间上。在两个示例中,该方法引起操纵器遵从路径网络或表面,以产生期望的移动。在第三示例中,假设一维的零空间,二维表面网络仍将会被限定在整个接头空间中或在其子空间中,然而,将速度或引力势能映射到零空间上会在随后的网络表面中提供有限的能力。

[0115] 在某些方面,该方法包括限定诸如在接头空间中或在工具尖端(或操纵器的一些其他部分,并且可以包括诸如存在于硬件或软件中心系统中的远程中心)的笛卡尔坐标空间中的方位约束。对于具有 n 个冗余DOF的操纵器(多达 n 个约束的 n 维零空间能够同时被满足)。对于具有一维约束的情况,这可以包括一组分段连续的约束。一个或更多个路径(例如一系列曲线)可以用于限定接头空间或笛卡尔坐标空间中的路径网络。路径网络可以是静态的,或可以在外科手术的过程中被动态地重新限定。静态网络路径可以在启动时被限定,或可以由用户或系统从多个静态网络路径中选择,而动态网络路径可以在外科手术的过程中被系统或被用户动态地重新限定。

[0116] 一旦用于便利进入到笛卡尔空间的边缘的曲线路径被确定,操纵器臂的接头的移动就被计算使得一个或更多个接头的方位跟踪曲线路径,以便提供一个或更多个接头的期望的移动。在一些实施例中,操纵器臂的接头基于为将操纵器吸引到路径而针对该路径的每个区段产生的虚拟或人造势场来跟踪曲线路径。由计算的势能引起的移动然后可以被投影到零空间上以用于零空间系数的计算,以提供这样的接头速度,该接头速度提供在笛卡尔空间内的期望的接头运动范围。

[0117] 图15-16示出根据本发明的许多实施例的重新配置机器人外科手术系统的操纵器组件的方法。图15示出需要实现与以上讨论的等式有关的用以控制患者侧推车接头状态的通用算法所需的方框的简化示意图。根据图15的方法,该系统:计算操纵器臂的前向运动;然后,使用等式(1)计算 dx/dt ,使用等式(5)计算 dq_{perp}/dt ;再然后基于 z 使用等式(6)计算 dq_{nu11}/dt , z 可以取决于 dq_{perp}/dt 和雅可比矩阵。根据计算的 dq_{perp}/dt 和 dq_{nu11}/dt ,该系统分别使用等式(4)和(3)计算 dq/dt 和 q ,从而提供移动,其中通过该移动,控制器能够实现操纵器的期望的重新配置,同时维持末端执行器的期望的状态和/或远程中心的位置。

[0118] 图16示出该系统的示例性实施例的方框图。响应于命令期望的工具尖端状态的操纵命令,该系统的处理器确定工具尖端的速度和接头的状态,其中根据工具尖端的速度和接头的状态来计算 dq_{perp}/dt 。为了给操纵器臂的一个或更多个接头提供增加的接头移动范围,该系统确定在接头的子空间内的基于方位的约束(诸如表示在零空间内的接头移动的一系列曲线路径),针对该约束期望受控的移动,该曲线路径被限定为增加曲线路径与接头空间的极限或边缘之间的正交距离,该正交距离对应于在接头空间内的非垂直移动。 dq_{nu11}/dt 然后被计算以便在零空间内沿着方位约束移动接头,诸如通过使用在接头空间中沿着曲线路径计算的引力势场,该引力势场可以被加到 dq_{perp}/dt 以计算 dq/dt ,以便驱动该系统的(一个或多个)接头,并实现末端执行器的期望的移动(或状态),同时根据需要来提供一个或更多个接头在零垂直空间内的增加的移动范围。

[0119] 图17示出根据本发明的方面的示例性方法的流程图。该方法包括:确定在接头空

间内的一组基于方位的约束,该组约束对应于一个或更多个接头的期望的接头移动范围;确定一个或更多个接头的方位与在人造势场内的约束之间的势能;利用经确定的势能来计算(一个或多个)接头在零空间内的移动,以提供一个或更多个接头在零垂直空间内的增加的接头移动范围;以及根据计算的移动来驱动接头,以实现一个或更多个接头的期望的移动,同时维持和/或增加一个或更多个接头的接头移动范围。

[0120] 虽然为了清楚地理解,已详细地并且通过示例的方式描述了示例性实施例,但各种修改、改进和变化对本领域技术人员将是显然的。因此,本发明的范围由随附的权利要求唯一地限制。

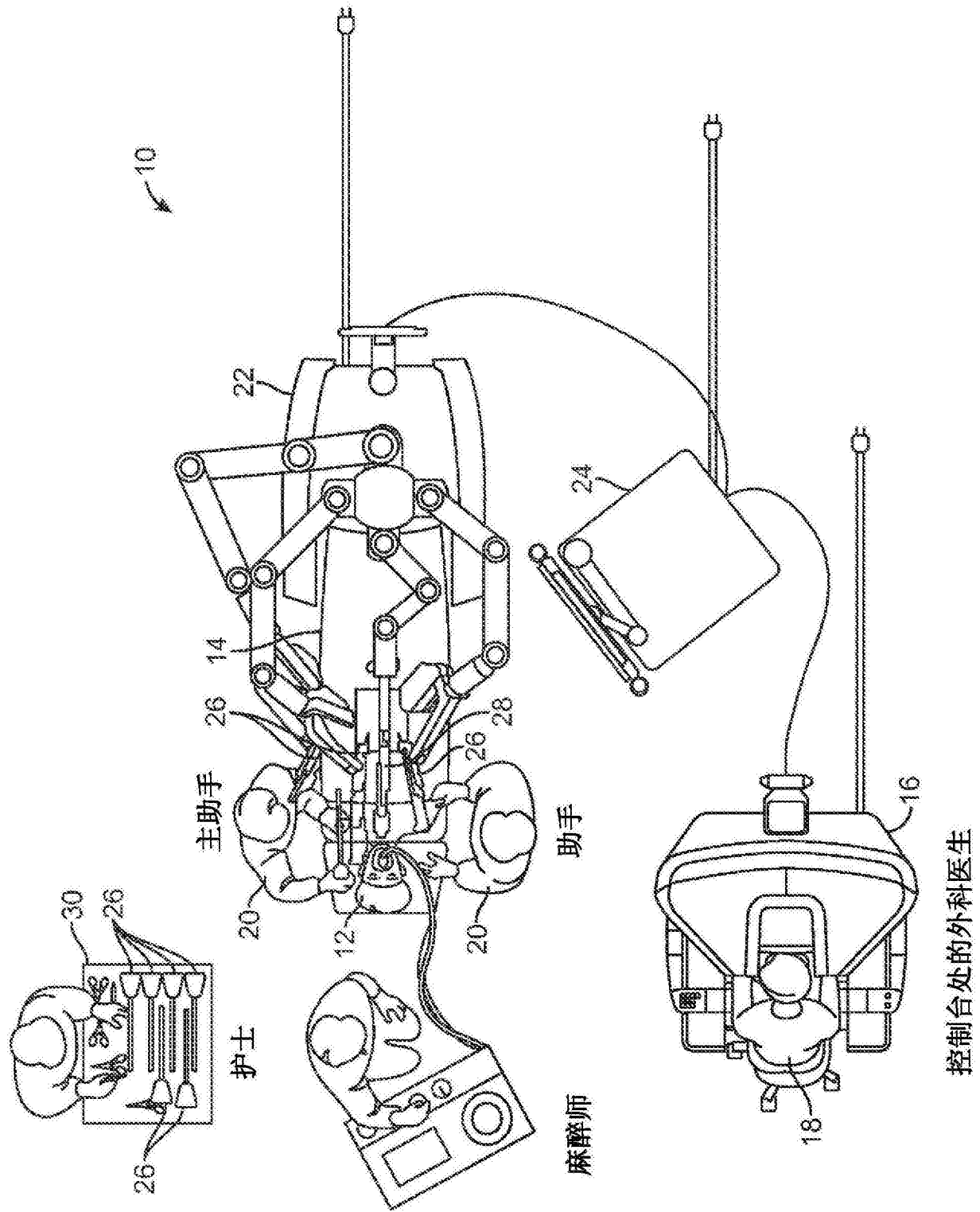


图1A

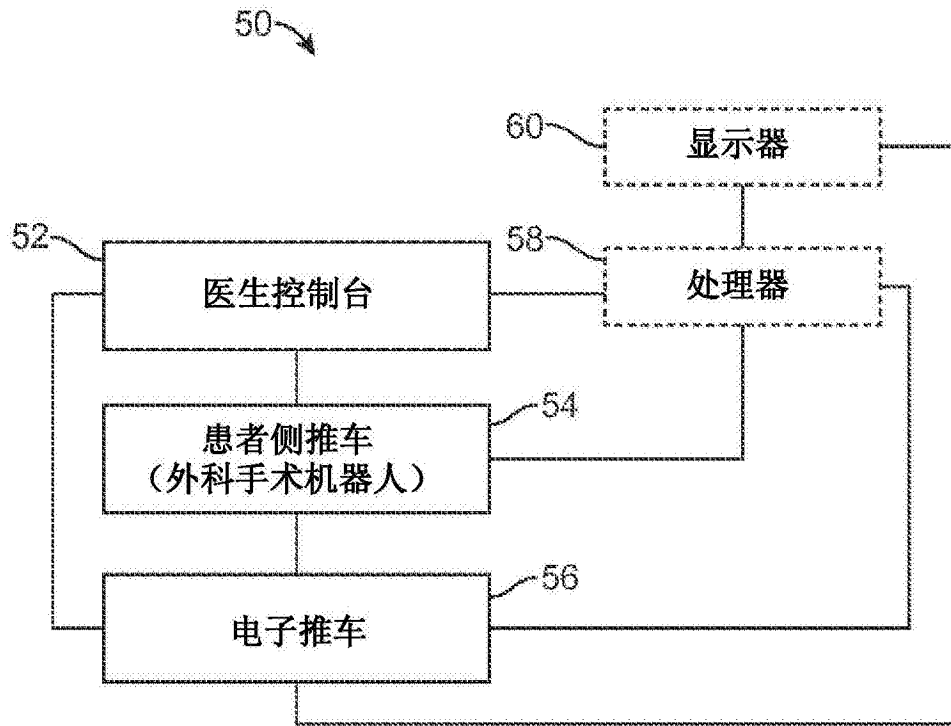


图1B

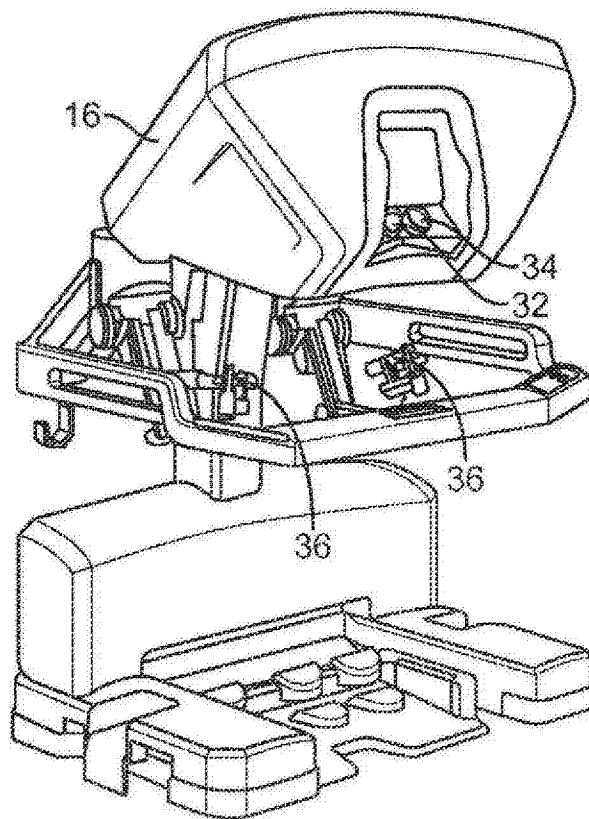


图2

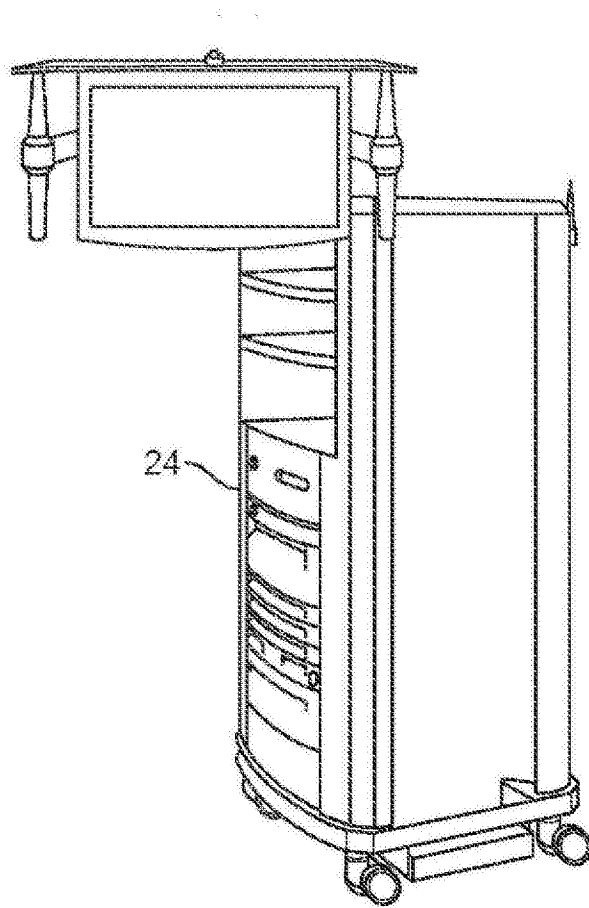


图3

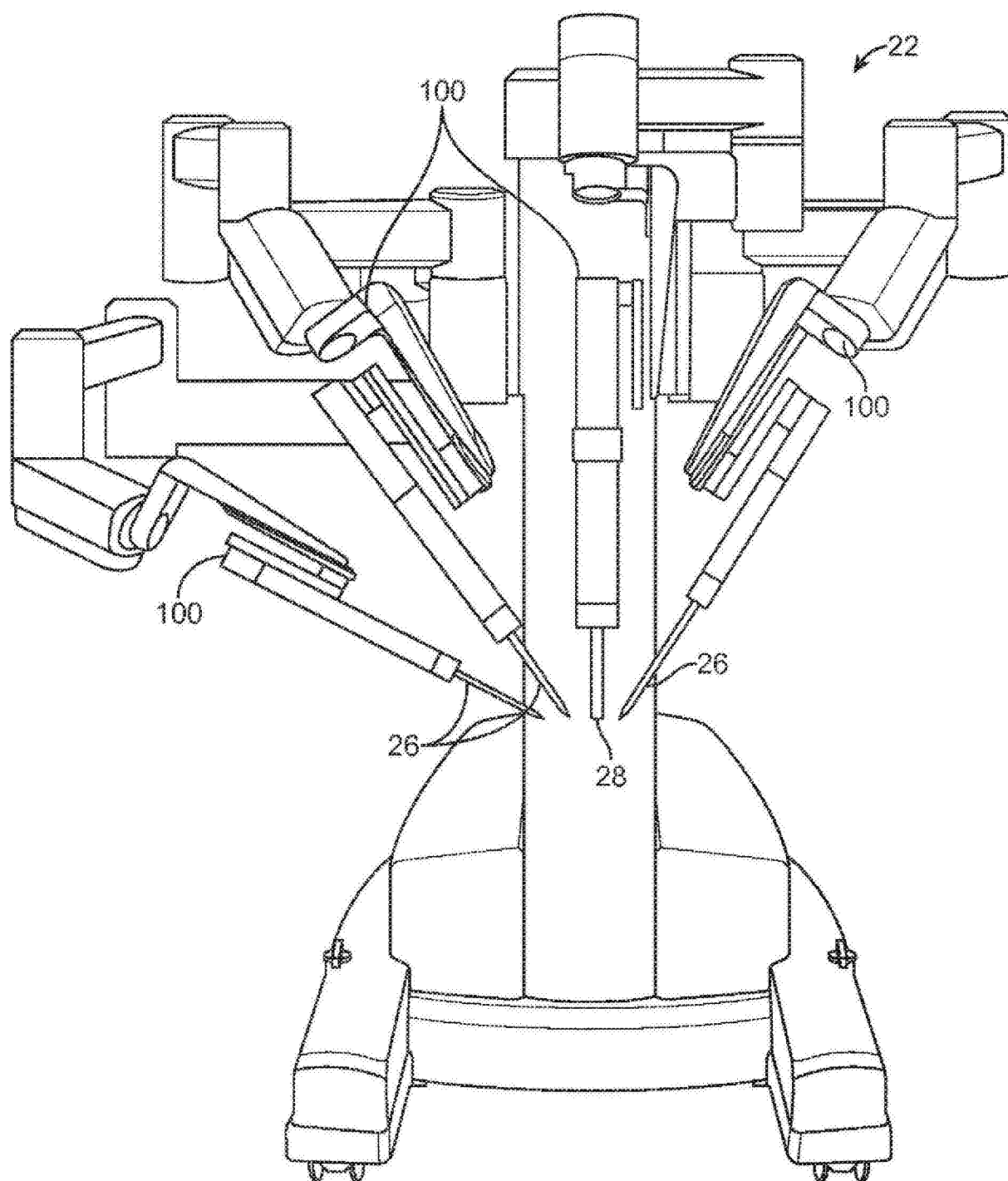


图4

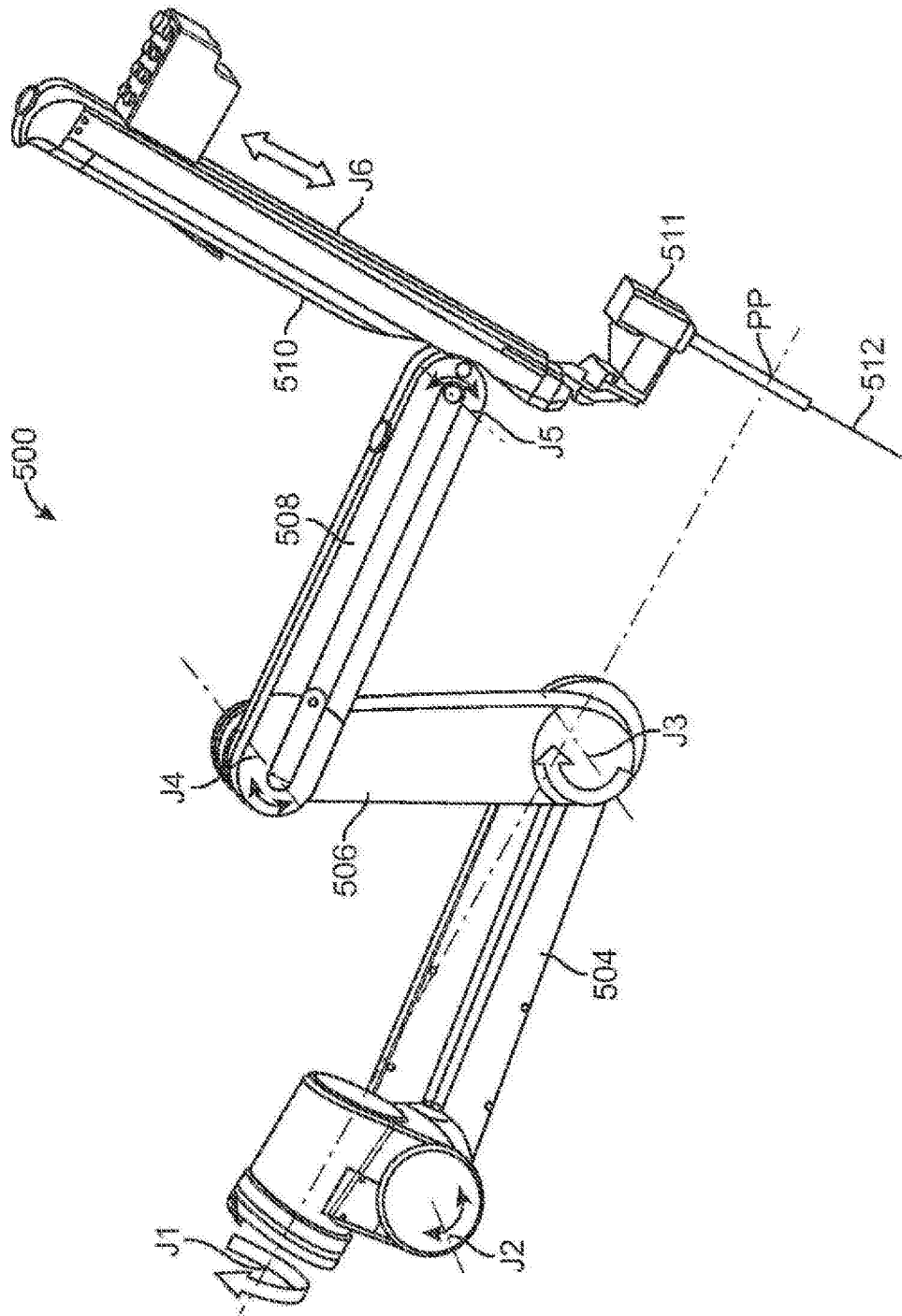


图5A

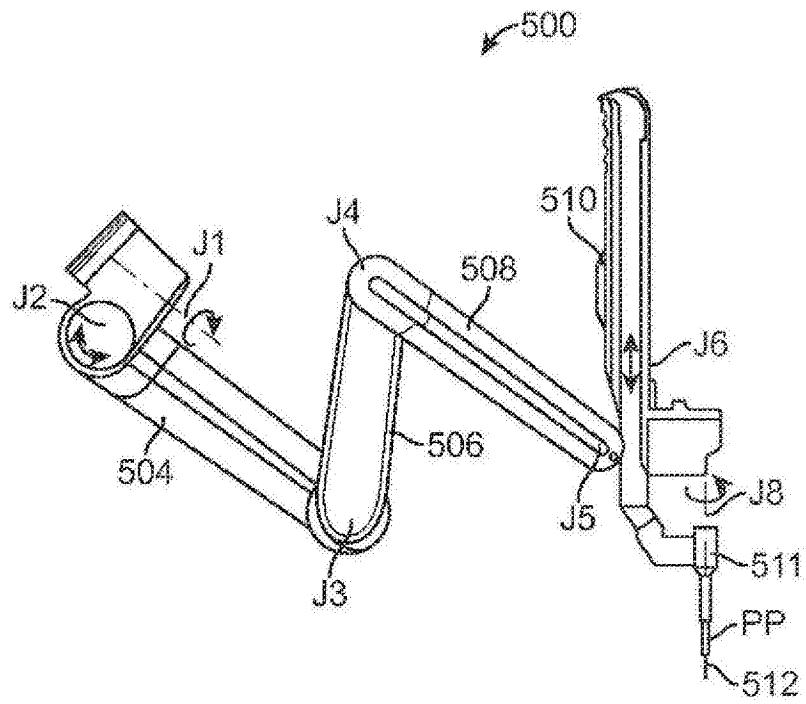


图5B

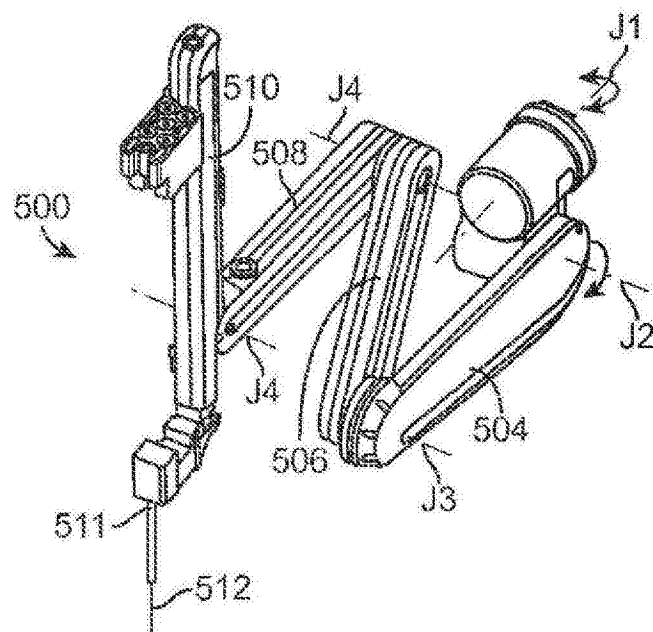


图5C

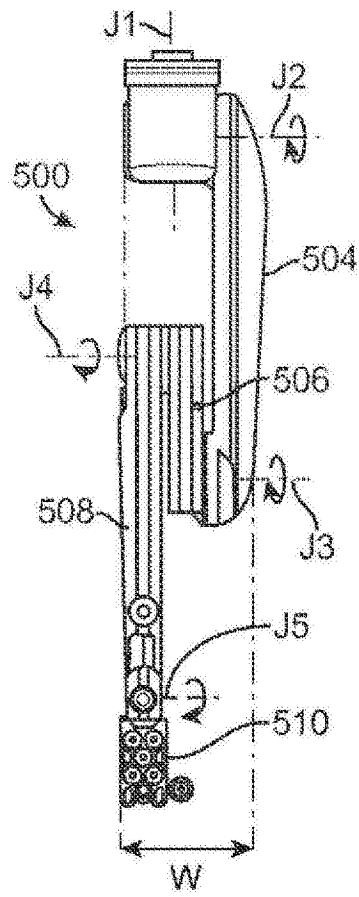


图5D

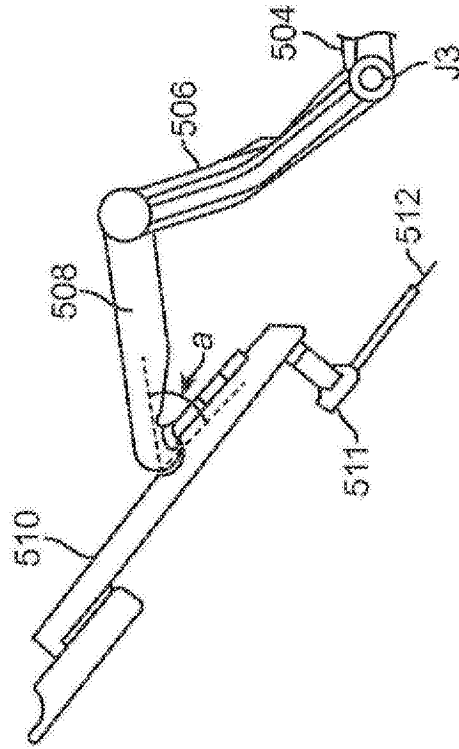


图6A

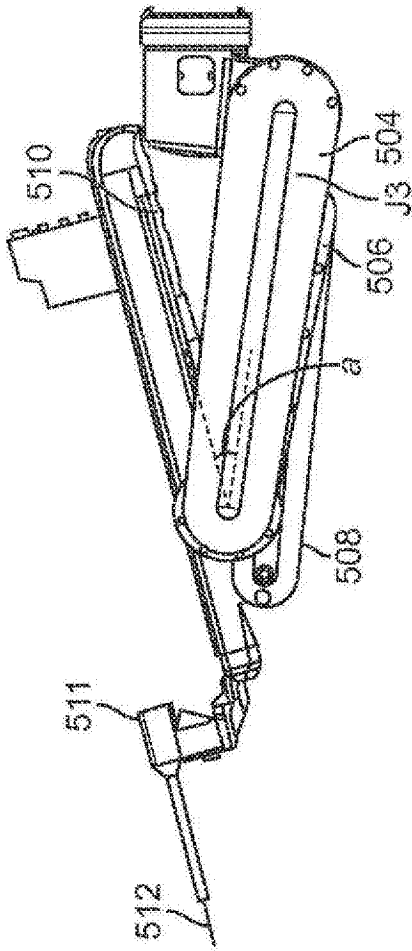


图6B

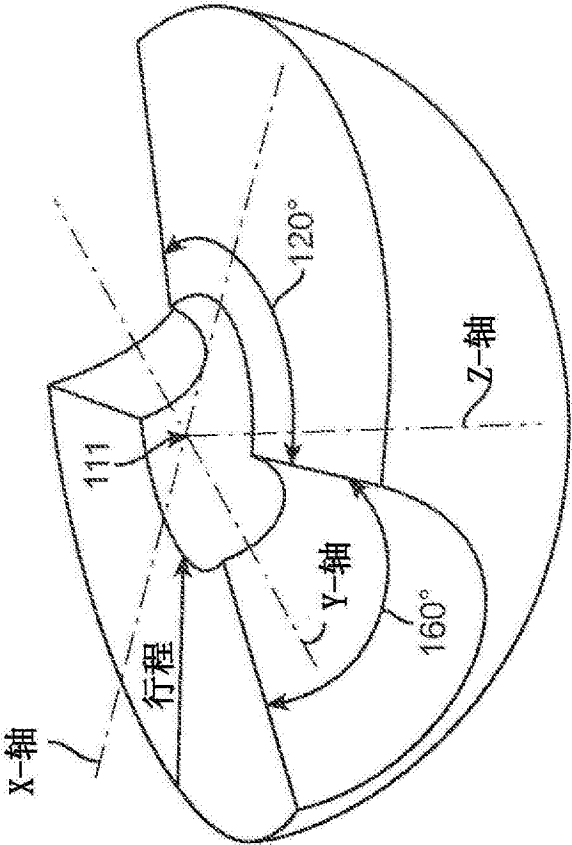


图6C

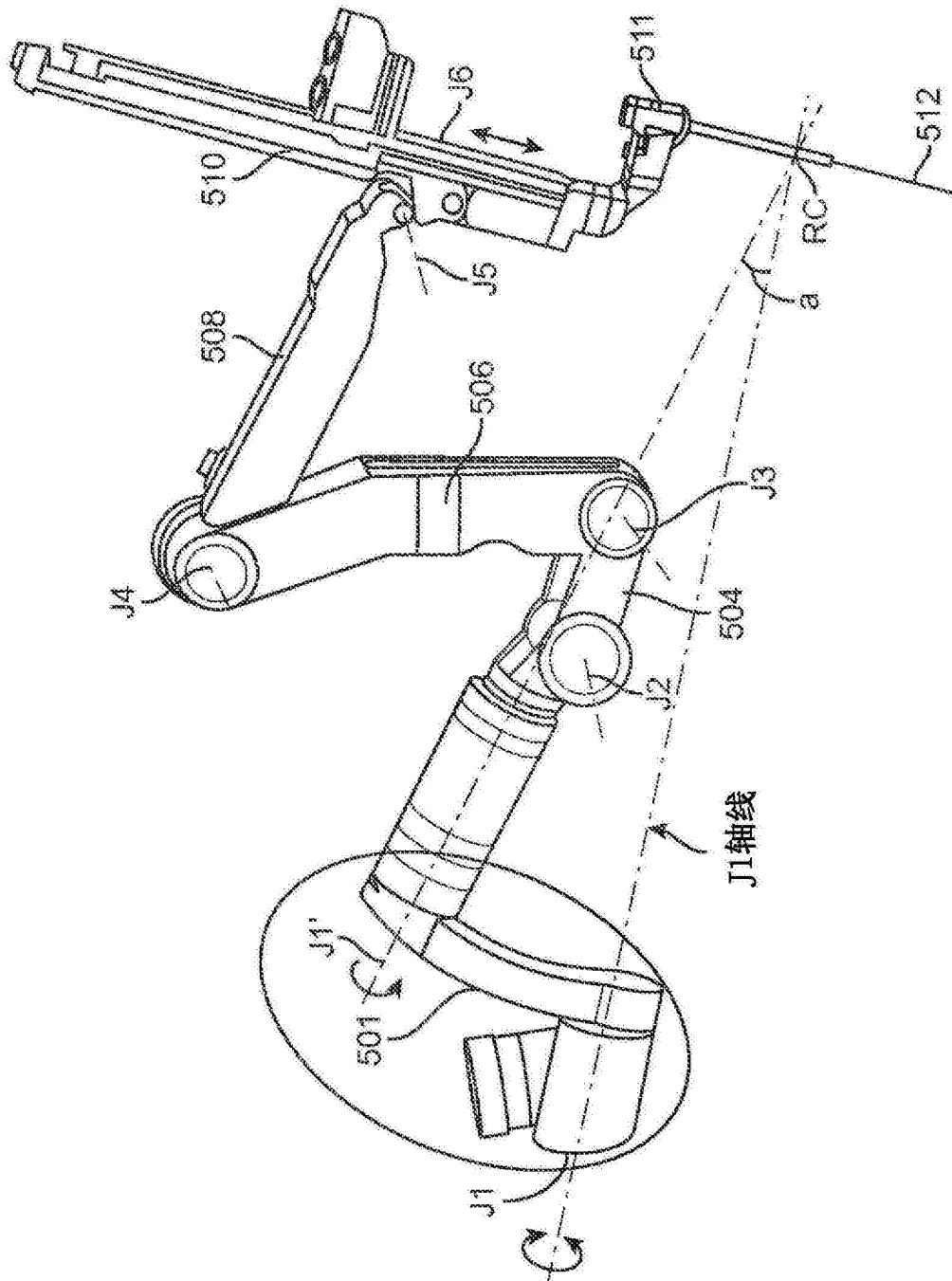


图7A

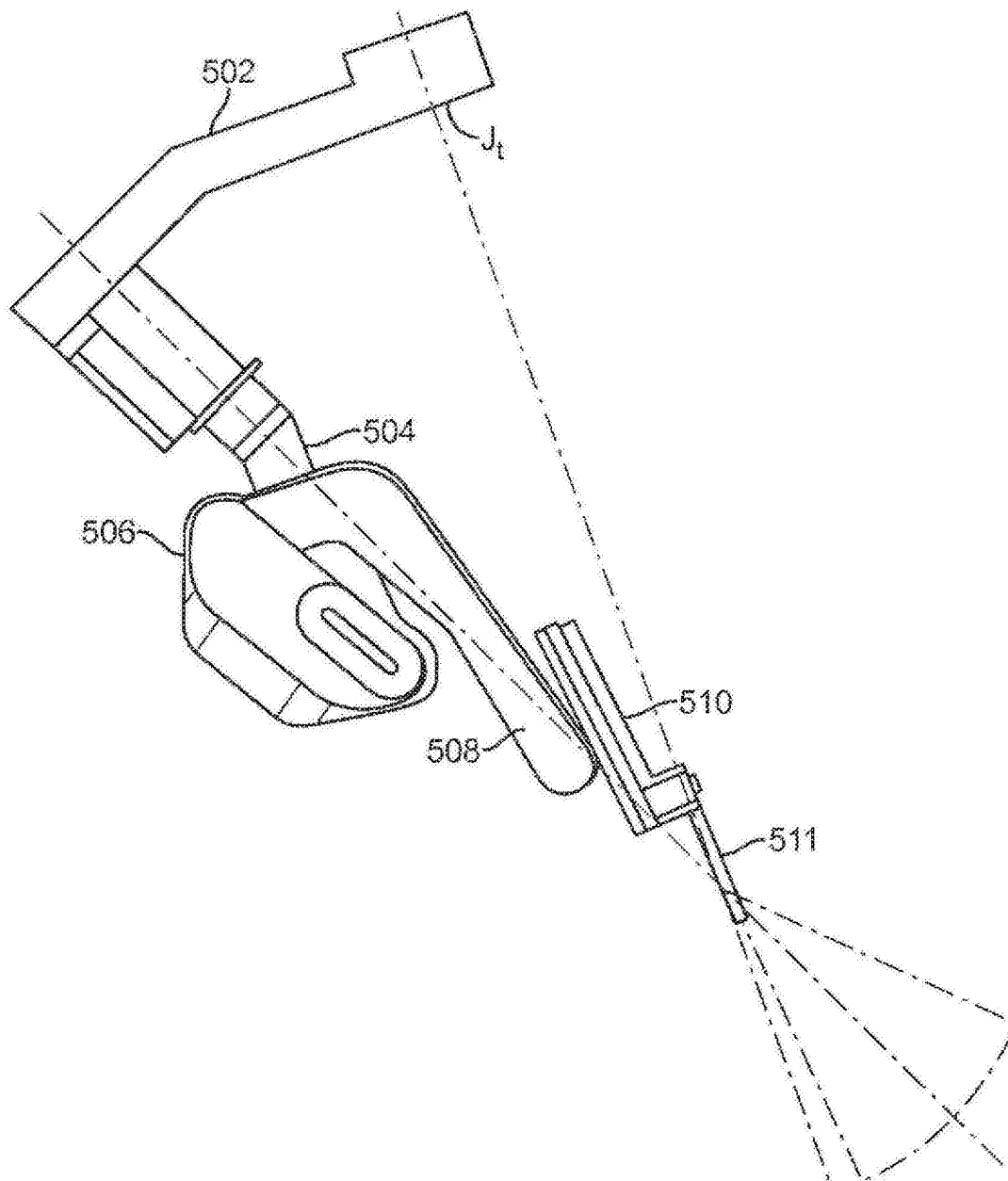


图7B

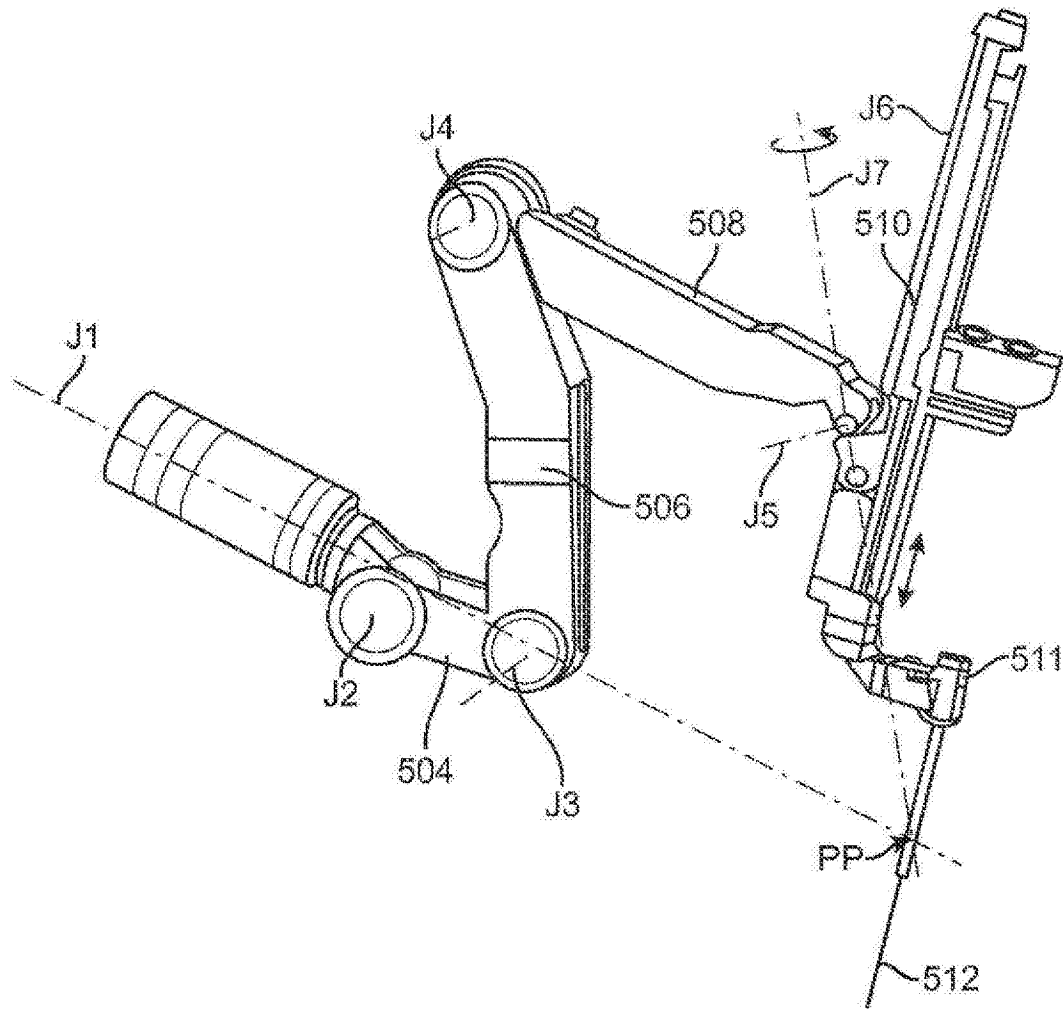


图8

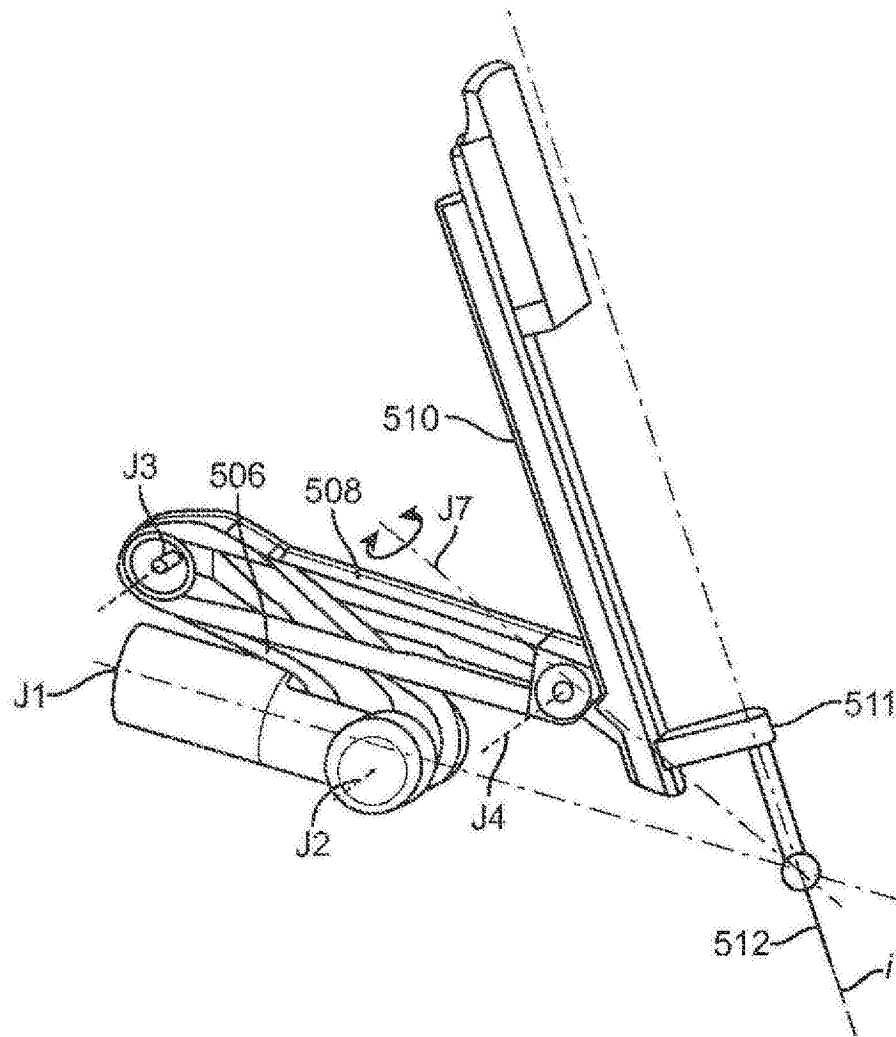


图9

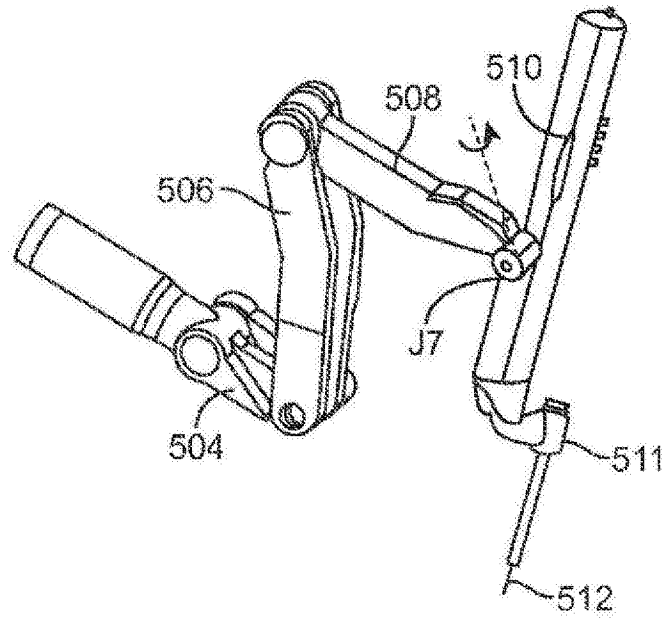


图10A

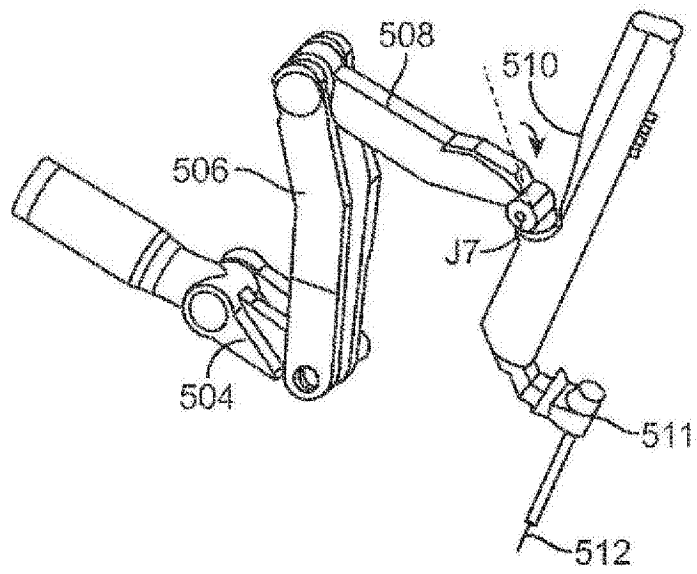


图10B

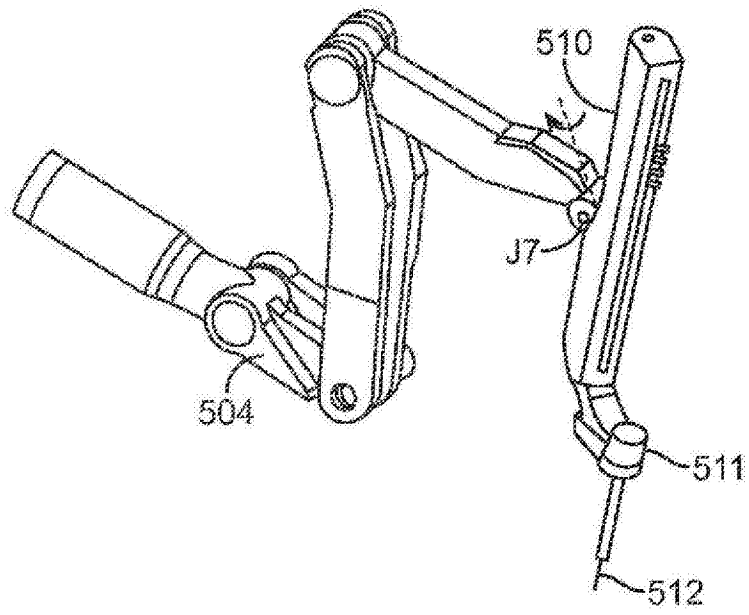


图10C

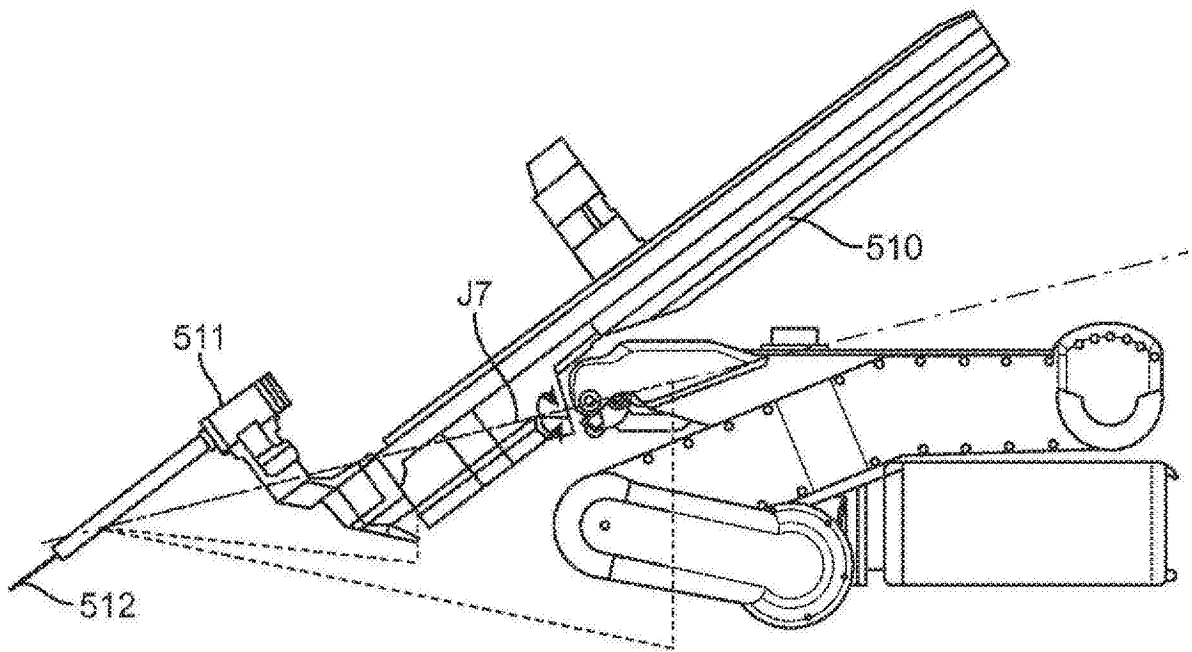


图11A

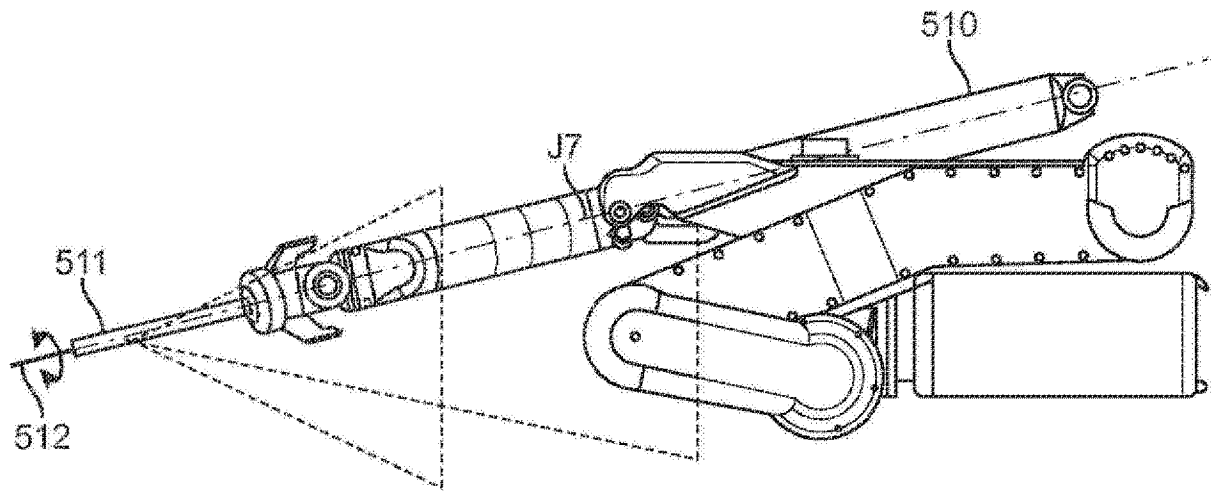


图11B

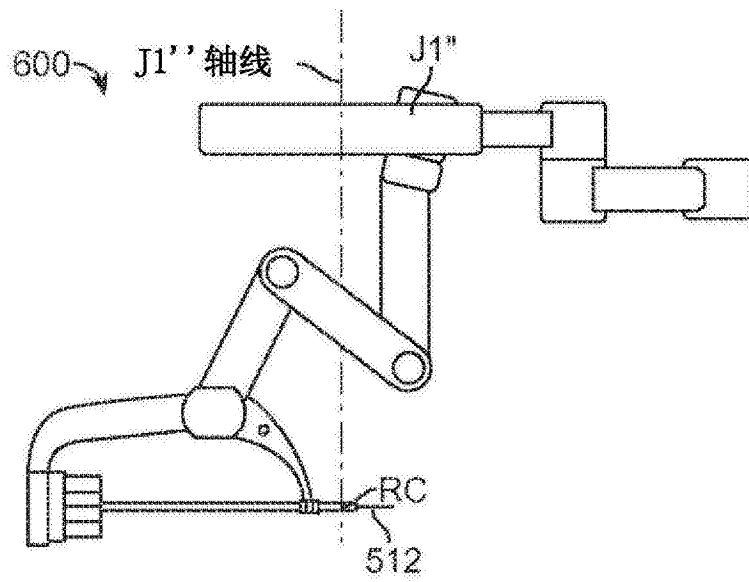


图12A

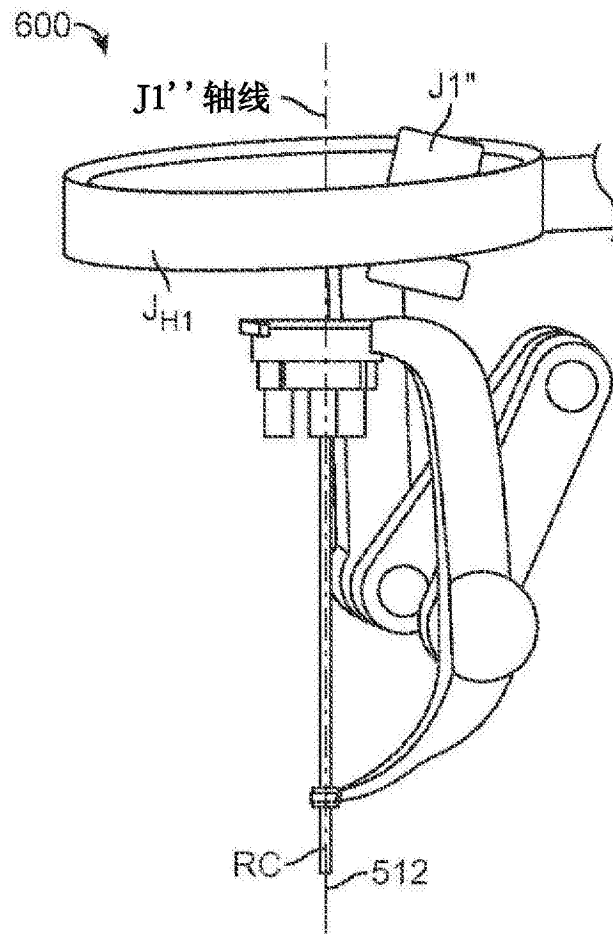


图12B

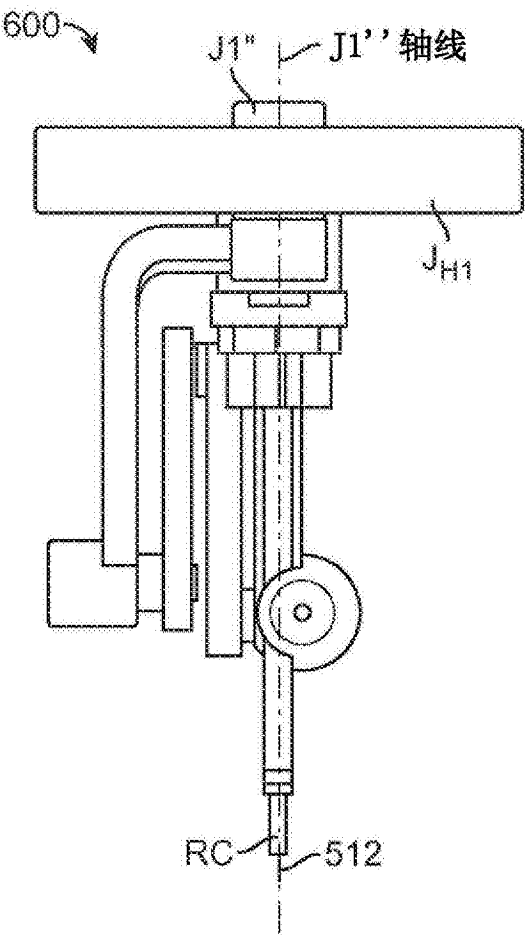


图12C

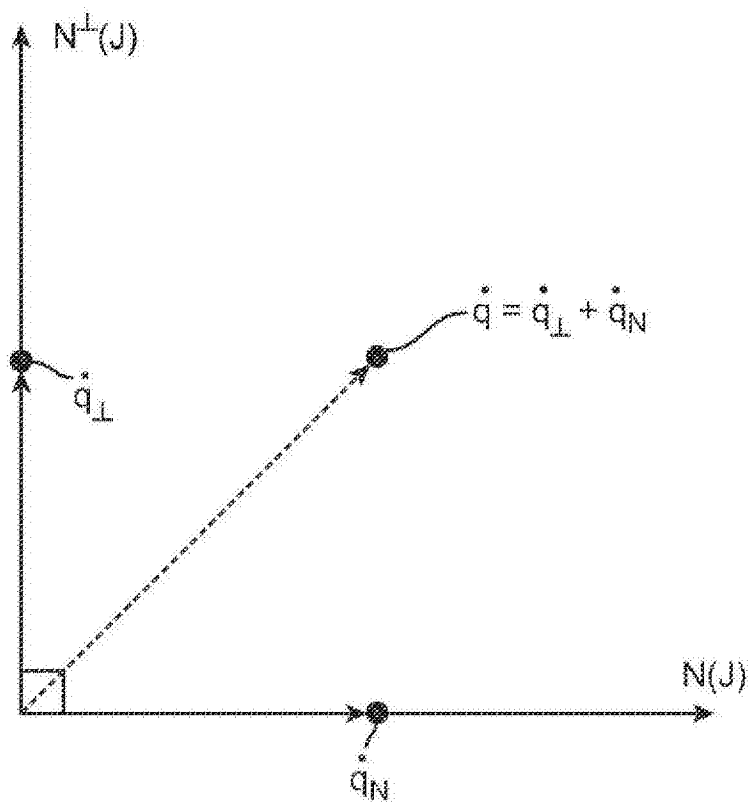


图13A

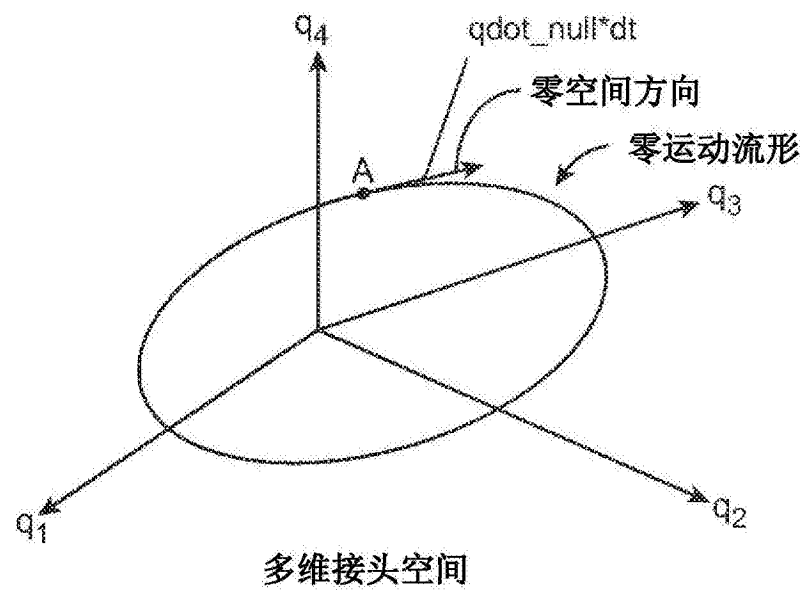


图13B

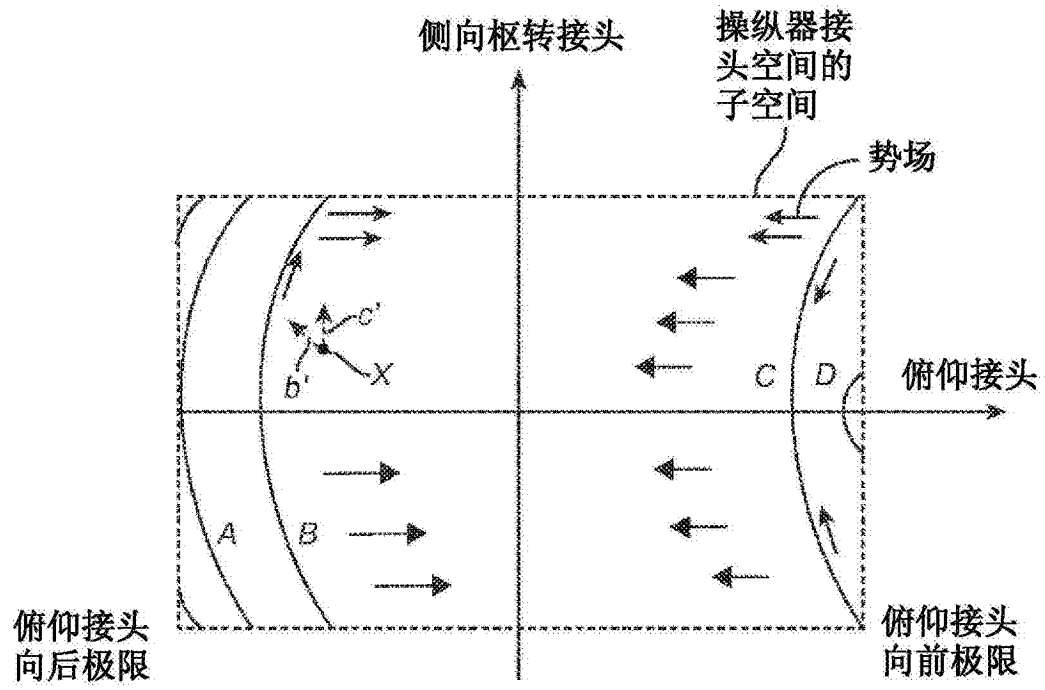


图14

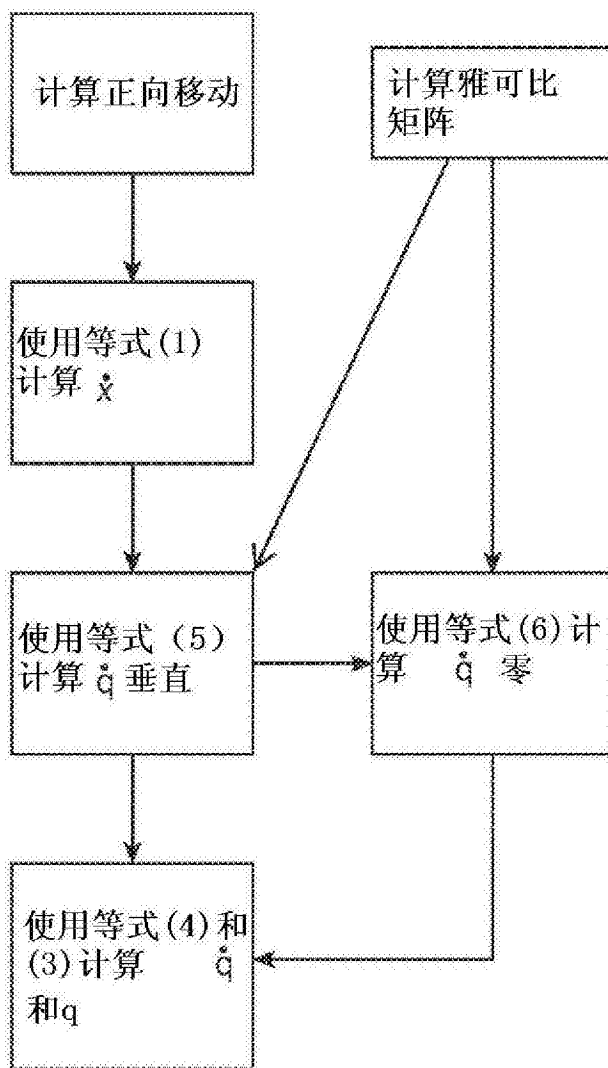


图15

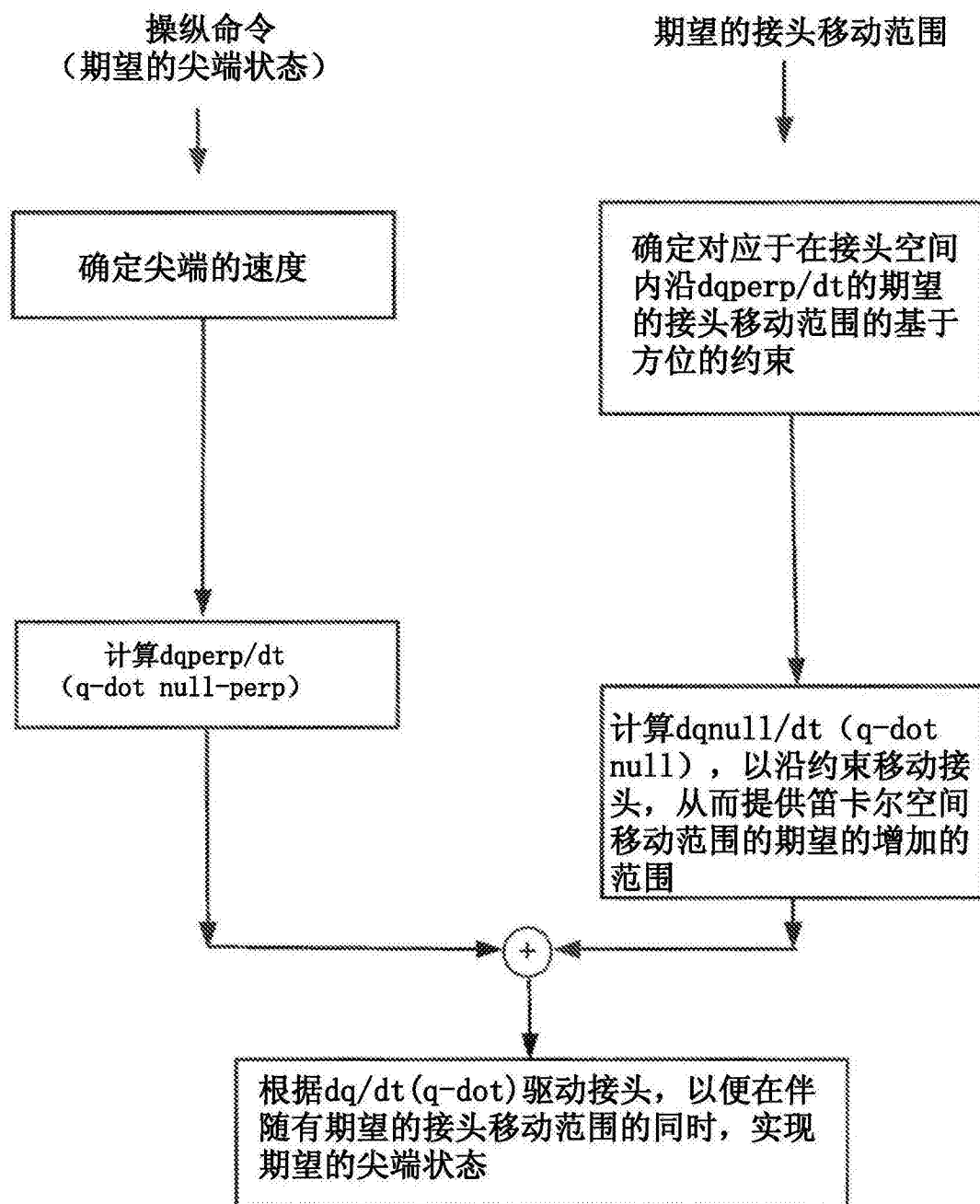


图16

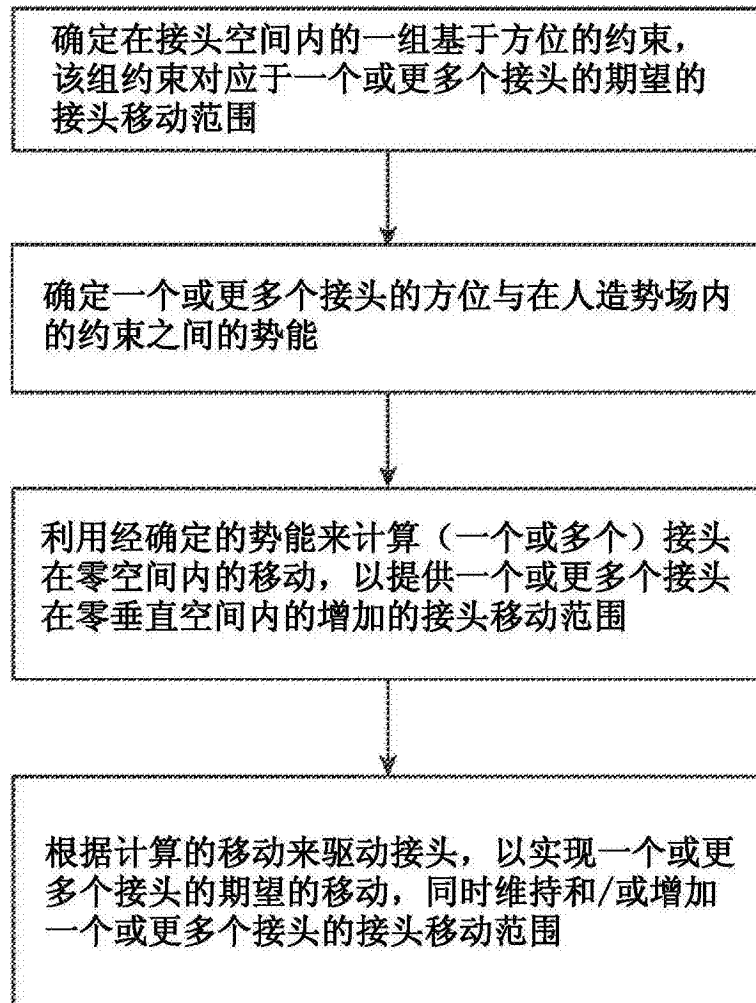


图17