



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105120788 B

(45)授权公告日 2018.10.16

(21)申请号 201480014809.8

(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 105120788 A

(43)申请公布日 2015.12.02

(30)优先权数据

61/800,810 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/US2014/031055 2014.03.18

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/146095 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

(51)Int.Cl.

A61B 34/30(2016.01)

B25J 9/16(2006.01)

B25J 18/00(2006.01)

G05B 19/408(2006.01)

G05B 19/416(2006.01)

审查员 李澍歆

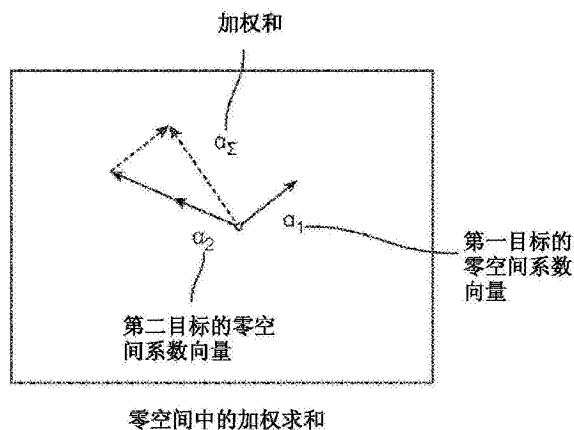
权利要求书5页 说明书17页 附图25页

(54)发明名称

用于管理多个零空间目标和饱和SLI行为的系统和方法

(57)摘要

装置、系统和方法用于根据一个或更多个合并的零空间目标来在伴随有操纵器的一个或更多个接头的期望的移动的同时提供操纵器的末端执行器的被命令的移动。零空间目标可以包括接头状态组合、相对接头状态、接头状态的范围、接头状态轮廓、动能、咬合移动、碰撞回避移动、奇点回避移动、姿态或俯仰偏好、期望的操纵器配置、操纵器的被命令的重新配置和接头的各向异性增强。方法包括根据不同的零空间目标计算多个零空间移动,确定每个零空间目标的属性,以及通过零空间管理器使用各种途径来合并零空间移动。这些途径可以包括,应用加权、缩放、饱和水平、优先级、主速度限制、饱和限制积分和其各种组合。



1. 一种用于操纵器臂的远程操作方法, 所述操纵器臂包括可移动远侧末端执行器、耦连到底座的近侧部分以及在所述远侧末端执行器和所述底座之间的多个接头, 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:

根据第一目标来计算所述多个接头中的第一组接头在雅可比矩阵的零空间内的第一计算的移动, 并且根据第二目标来计算所述多个接头中的第二组接头在所述雅可比矩阵的所述零空间内的第二计算的移动, 所述第二目标不同于所述第一目标;

根据所述第一目标来确定与所述第一计算的移动相关联的第一属性, 并且根据所述第二目标来确定与所述第二计算的移动相关联的第二属性;

根据所述第一和第二目标之间的期望的关系或行为, 部分地基于所述第一和第二计算的移动的相应属性而将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头的组合的移动; 以及

驱动所述多个接头以实现所述多个接头的所述组合的移动; 以及

限制与主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个, 所述主速度与所述末端执行器的被命令的移动相关联。

2. 根据权利要求1所述的远程操作方法, 其中所述第一组接头和所述第二组接头中的每一个包括所述多个接头中的一个或更多个接头。

3. 根据权利要求2所述的远程操作方法, 其中所述第一组接头和所述第二组接头包括所述多个接头的共同的一个或更多个接头或所述多个接头的一个或更多个不同的接头。

4. 根据权利要求2所述的远程操作方法, 其中所述第一目标或所述第二目标包括以下中的任何一个: 接头状态、接头状态的组合、相对接头状态、接头状态的范围、接头状态的轮廓、所述多个接头中的一个或更多个接头的速度、所述多个接头中的一个或更多个接头的速度的合计、所述多个接头中的一个或更多个接头的动能、咬合移动、运动取消移动、所述多个接头中的一个或更多个接头的锁定、碰撞回避移动、奇点回避移动、操纵器姿态偏好、期望的操纵器配置、所述操纵器臂的被命令的重新配置和所述接头的各向异性增强。

5. 根据权利要求2所述的远程操作方法, 其中所述第一和第二属性中的每一个包括对应于所述相应的目标之间的加权的权数。

6. 根据权利要求2所述的远程操作方法, 其中所述第一和第二属性中的每一个包括饱和水平。

7. 根据权利要求6所述的远程操作方法, 其中合并包括, 当所述第一和第二移动冲突时应用所述饱和水平。

8. 根据权利要求2所述的远程操作方法, 其中所述第一和第二属性中的每一个进一步包括所述第一和第二目标之间的优先级。

9. 根据权利要求8所述的远程操作方法, 其中根据优先级的合并包括, 应用所述第一和第二属性的所述优先级, 从而使得当所述第一目标具有超过所述第二目标的优先级时, 合并包括以所述第二计算的移动为代价来应用所述第一计算的移动。

10. 根据权利要求8所述的远程操作方法, 其中根据优先级的合并包括, 仅应用所述第二计算的移动的不与所述第一计算的移动发生冲突的部分。

11. 根据权利要求7所述的远程操作方法, 其中合并包括:

通过确定与所述第一计算的移动正交的所述零空间的第三部分并将所述第二计算的移动投影到所述零空间的所述第三部分上,确定所述第二计算的移动的不与所述第一计算的移动发生冲突的部分。

12. 根据权利要求2所述的远程操作方法,其中计算所述第一计算的移动包括确定第一零空间系数,并且其中所述第一属性应用于所述第一零空间系数,并且其中计算所述第二计算的移动包括确定第二零空间系数,并且其中所述第二属性应用于所述第二零空间系数。

13. 根据权利要求2所述的远程操作方法,其进一步包括:

输出第一零空间命令以便实现所述第一计算的移动,并且输出第二零空间命令以便实现所述第二计算的移动;

在处理器的零空间管理器模块中接收所述第一和第二零空间命令,并且将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头在所述零空间内的组合的移动;以及

输出合并的零空间命令,以便实现所述多个接头在所述零空间内的所述组合的移动。

14. 根据权利要求2所述的远程操作方法,其进一步包括:

确定接头速度命令,以便实现在所述零空间内的所述第一和第二计算的移动中的每一个,以及

基于所述第一属性而将所述第一组接头中的第一接头的接头速度限制在所述第一接头的接头限制处。

15. 根据权利要求14所述的远程操作方法,其中所述第一接头的所述接头速度具有多个自由度,并且在逐个自由度的基础上进行限制,从而使得限制沿第一方向的接头速度独立于限制沿第二方向的接头速度。

16. 根据权利要求14所述的远程操作方法,其进一步包括:

通过在饱和期间缩短向量的长度同时维持所述向量的方向来执行向量化的饱和。

17. 一种存储指令的机器可读介质,当所述指令被至少一个机器执行时,所述指令导致所述至少一个机器执行一种用于操纵器臂的远程操作方法,所述操纵器臂包括可移动远侧末端执行器、耦连到底座的近侧部分以及在所述远侧末端执行器和所述底座之间的多个接头,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:

根据第一目标来计算所述多个接头中的第一组接头在雅可比矩阵的零空间内的第一计算的移动,并且根据第二目标来计算所述多个接头中的第二组接头在所述雅可比矩阵的所述零空间内的第二计算的移动,所述第二目标不同于所述第一目标;

根据所述第一目标来确定与所述第一计算的移动相关联的第一属性,并且根据所述第二目标来确定与所述第二计算的移动相关联的第二属性;

根据所述第一目标和第二目标之间的期望的关系或行为,部分地基于所述第一和第二计算的移动的相应属性而将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头的组合的移动;以及

驱动所述多个接头以实现所述多个接头的所述组合的移动;以及

限制与主速度有关的所述第一和第二计算的移动中的至少一个,所述主速度与所述末端执行器的被命令的组织操纵移动相关联。

18. 一种存储指令的机器可读介质,当所述指令被至少一个机器执行时,所述指令导致所述至少一个机器执行一种用于操纵器臂的远程操作方法,所述操纵器臂包括可移动远侧末端执行器、耦连到底座的近侧部分以及在所述远侧末端执行器和所述底座之间的多个接头,所述多个接头具有足够的自由度以允许针对给定末端执行器状态的一系列的不同接头状态,所述方法包括:

根据第一目标来计算所述多个接头中的第一组接头在雅可比矩阵的零空间内的第一计算的移动,并且根据第二目标来计算所述多个接头中的第二组接头在所述雅可比矩阵的所述零空间内的第二计算的移动,所述第二目标不同于所述第一目标;

根据所述第一目标来确定与所述第一计算的移动相关联的第一属性,并且根据所述第二目标来确定与所述第二计算的移动相关联的第二属性;

根据所述第一目标和第二目标之间的期望的关系或行为,部分地基于所述第一和第二计算的移动的相应属性而将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头的组合的移动;以及

驱动所述多个接头以实现所述多个接头的所述组合的移动;以及

指明是所述第一计算的移动还是所述第二计算的移动与同主速度有关的限制兼容,所述主速度与所述末端执行器的被命令的组织操纵移动相关联;以及

基于所述指明来限制与所述主速度有关的所述第一和第二计算的移动中的至少一个。

19. 一种远程操作系统,其包括:

操纵器臂,其被配置用于相对于近侧底座自动地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和被耦连到所述底座的近侧部分之间的多个接头,并且所述多个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;以及

处理器,其被耦连到输入装置并且被耦连到所述操纵器臂,所述处理器被配置为执行包含以下步骤的操作:

根据第一目标来计算所述多个接头中的第一组接头在雅可比矩阵的零空间内的第一计算的移动,并且根据第二目标来计算所述多个接头中的第二组接头在所述雅可比矩阵的所述零空间内的第二计算的移动,所述第二目标不同于所述第一目标;

确定与第一计算的移动相关联的第一属性,并且确定与第二计算的移动相关联的第二属性;

根据所述第一和第二目标之间的期望的关系或行为,部分地基于所述第一和第二计算的移动的相应属性而将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头的组合的移动;以及

驱动所述多个接头以实现所述多个接头的所述组合的移动;以及

限制与同所述末端执行器的被命令的移动相关联的主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个。

20. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其进一步包括:

输入端,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;

其中所述处理器被配置为,响应于所述操纵命令,通过计算在所述雅可比矩阵的零垂直空间内的接头速度来计算所述接头的末端执行器移位移动。

21. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述第一组接头和所述第二组接头中

的每一个包括所述多个接头中的一个或更多个接头,并且其中所述第一组接头和所述第二组接头包括所述多个接头的共同的一个或更多个接头或所述多个接头的一个或更多个不同的接头。

22. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述第一目标或所述第二目标包括以下中的任何一个:接头状态、接头状态的组合、相对接头状态、接头状态的范围、接头状态的轮廓、所述多个接头中的一个或更多个接头的速度、所述多个接头中的一个或更多个接头的速度的合计、所述多个接头中的一个或更多个接头的动能、咬合移动、运动取消移动、所述多个接头中的一个或更多个接头的锁定、碰撞回避移动、奇点回避移动、操纵器姿态偏好、期望的操纵器配置、所述操纵器臂的被命令的重新配置和所述接头的各向异性增强。

23. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述第一和第二属性中的每一个包括对应于相应的目标之间的加权的权数。

24. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述第一和第二属性中的每一个包括饱和水平。

25. 根据权利要求24所述的远程操作系统,其中合并包括,当所述第一和第二移动冲突时应用所述饱和水平。

26. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述第一和第二属性对应于所述第一和第二目标之间的优先级,所述处理器被配置为根据所述优先级来合并所述第一和第二计算的移动,从而使得当所述第一目标具有超过所述第二目标的优先级时,合并包括以所述第二计算的移动为代价来应用所述第一计算的移动。

27. 根据权利要求26所述的远程操作系统,其中所述处理器被进一步配置为,根据所述优先级来合并所述第一和第二计算的移动,包括当所述第二计算的移动与所述第一计算的移动发生冲突时仅应用所述第二计算的移动的一部分。

28. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中所述处理器被进一步配置为执行包含以下步骤的操作:

输出第一零空间命令以便实现所述第一计算的移动,并且输出第二零空间命令以便实现所述第二计算的移动;

在处理器的零空间管理器模块中接收所述第一和第二零空间命令,并且将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头在所述零空间内的组合的移动;以及

输出合并的零空间命令,以便实现所述多个接头在所述零空间内的所述组合的移动。

29. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中限制与同所述末端执行器的被命令的移动相关联的主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个包括:

限制与主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个,所述主速度与所述末端执行器的被命令的组织操纵移动相关联。

30. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中限制与同所述末端执行器的被命令的移动相关联的主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个包括:

限制与所述主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动两者。

31. 根据权利要求19所述的远程操作系统,其中限制与同所述末端执行器的被命令的

移动相关联的主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个包括：

限制与所述主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的单个。

32. 根据权利要求19所述的远程操作系统，其中所述处理器被进一步配置为执行包括以下步骤的操作：

确定接头速度命令，以便实现在所述零空间内的所述第一和第二计算的移动中的每一个，以及

在逐个自由度的基础上限制具有多个自由度的第一接头的接头速度，从而使得接头速度沿第一方向的限制独立于接头速度沿第二方向的限制。

33. 一种用于操作操纵器臂的远程操作方法，所述操纵器臂包括可移动远侧部分、耦连到底座的近侧部分以及在所述远侧部分和所述底座之间的多个接头，所述多个接头具有足够的自由度以允许针对给定末端执行器状态的一系列的不同接头状态，所述方法包括：

根据第一目标利用增广雅可比矩阵来计算所述多个接头中的第一组接头的的第一计算的移动，并且根据第二目标利用所述增广雅可比矩阵来计算所述多个接头中的第二组接头的第二计算的移动，所述第二目标不同于所述第一目标；

根据所述第一目标来确定与所述第一计算的移动相关联的第一属性，并且根据所述第二目标来确定与所述第二计算的移动相关联的第二属性；

根据所述第一和第二目标之间的期望的关系或行为，部分地基于所述第一和第二计算的移动的相应属性而将所述第一和第二计算的移动合并为所述多个接头的组合的移动；

驱动所述多个接头以实现所述多个接头的所述组合的移动；以及

限制与主速度有关的所述第一计算的移动和所述第二计算的移动中的至少一个，所述主速度与所述末端执行器的被命令的移动相关联。

34. 根据权利要求33所述的远程操作方法，其中利用所述增广雅可比矩阵计算接头移动包括获得所述增广雅可比矩阵的逆。

用于管理多个零空间目标和饱和SLI行为的系统和方法

[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 Managing Multiple Null-Space Objectives and SLI Behaviors”(代理人案卷号ISRG03790PROV/US)的美国临时专利申请No.61/800,810的非临时性申请并且要求其优先权,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30日提交的名称为“Control of Medical Robotic System Manipulators About Kinematic Singularities”的美国申请号 No.12/494,695;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;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;以及2013年3月15日提交的以下美国临时申请 No.61/800,381(代理人案卷号ISRG03800)、61/800,924(代理人案卷号 ISRG03870)和61/799,920(代理人案卷号ISRG03900),其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,一般避免与开放式外科手术进入法相关联的创伤。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,诸如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,操纵器臂可以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,这些接头可能会在患者体外表现出大幅度的移动(通常比所需的或预期的更多移动),特别是当器械绕微创孔口在大的角度范围内枢转时。替代性操纵器结构已经被提出,其采用对高度可配置的运动学操纵器的接头的软件控制,以限制在插入部位处的枢转运动,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,但是也会提出挑战。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以特定程序所期望的配置手动地设置。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,并且进一步增加避免操纵器臂不必要移动以及不期望配置和移动的重要性。

[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。如果这些改进的技术提供了在某些任务期间限制操

纵器臂的移动量和/或提供的一个或更多有益移动的能力将尤为有益。另外,期望的是在提供此类改进的同时,增加对于至少一些任务的器械运动范围,而不明显地增加这些系统的尺寸、机械复杂性或成本,并且同时维持或改善它们的灵巧性。

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患者的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在不同的配置范围内移动。操纵器可以包括额外的冗余接头,以允许各种类型的辅助移动(诸如响应于用户命令的重新配置移动)或另一类型的移动(诸如碰撞回避移动)。虽然描述了本发明的用于具有冗余操纵器的操纵器系统中的各方面,但应意识到,许多方面能够用于具有非冗余操纵器的系统中。

[0012] 在一个方面,会期望操纵器臂在零空间内实现一个或更多个目标同时维持远侧末端执行器的给定状态的各种移动;这些零空间目标可以包括但不限于接头状态、接头状态的组合、相对接头状态、接头状态的范围、接头状态的轮廓、多个接头中的一个或更多个接头的速度、多个接头中的一个或更多个接头的速度的合计、多个接头中的一个或更多个接头的动能、咬合移动、运动取消移动、多个接头中的一个或更多个接头的锁定、碰撞回避移动、奇点回避移动、操纵器姿态偏好、期望的操纵器配置、操纵器的被命令的重新配置和接头的各向异性增强。操纵器系统可以被配置为执行多个不同的零空间目标,并且通常用户会期望操纵器执行同时实现多个零空间目标的零空间移动。例如,在被配置为通过零空间移动来实现四个不同目标的操纵器中,用户会期望两个或更多个目标通过远侧末端执行器的被命令的移动被同时实现。在实现多个目标时遇到的一个难题是,与一个目标相关联的移动会干扰与另一目标的性能相关联的移动。在其他情况下,合并与不同目标相关联的零空间移动可能减少与一个或两个目标相关联的益处,或可能取消目标从而使目标的某些组合完全不合需要。与组合目标相关联的另一难题是,组合某些目标会限制操纵器移动,因为通常操纵器的零空间可能具有比竞争零空间资源的目标数量更少的维度。鉴于这些挑战,存在对具有管理系统的操纵器系统的需要,所述管理系统用于当同时执行多个零空间目标时,管理多个零空间目标以避免上述缺点,以便提供保留各种零空间移动的益处和优点的改善的操纵器移动。这可以通过管理多个零空间目标以便根据零空间目标之间的期望的关系和/或行为执行零空间移动来实现。这些零空间目标可以包括在以引用方式并入本文的任何一个应用中所描述的任何零空间操作或各种其他零空间操作。各种不同的方法或算法可以在合并多个零空间目标时基于其相应的属性来使用,所述方法或算法可以包括加权、缩放、饱和水平、目标之间的优先级、主速度限制、和饱和限制积分算法、或与操纵器移动相关联的各种其他方面。

[0013] 在某些方面,由零空间目标提供的一个或更多个接头的期望的移动可以包括接头状态、接头状态的组合,相对接头状态、接头状态的范围、接头状态的轮廓或其任何组合。例

如,期望的移动可以包括,维持第一组接头的接头之间的相对一致的接头速度、将接头速度限制在期望的范围内或在接头限制处、和/或维持对应于操纵器的期望的姿态或碰撞阻止配置的接头状态的组合。

[0014] 在本发明的一个方面,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末端执行器状态的一系列的接头状态。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。为了提供一个或更多个接头的增加的运动范围或允许各种辅助任务,该系统可以包括最近侧回转接头和/或将器械耦连到操纵器臂的近侧部分的远侧回转接头。

[0015] 在本发明的另一方面,操纵器被配置为移动,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,从而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,包括计算正交于零空间的雅可比矩阵的零垂直空间内的接头速度。

[0016] 在一个方面,操纵器臂的近侧部分被附接到底座,使得当接头被驱动时,近侧部分相对于底座的移动被阻止。在另一方面,近侧部分通过接头被耦连到底座,使得当接头被驱动时,操纵器臂的近侧部分可相对于底座移动。在示例性实施例中,将操纵器的近侧部分耦连到底座的接头是支撑操纵器臂的回转接头,使得回转接头的接头移动绕回转接头的枢转轴线枢转操纵器臂的一个或更多个接头。在一些实施例中,回转接头的枢转轴线从接头延伸通过末端执行器的器械轴绕其枢转的远程中心。在一个方面,回转接头的移动绕朝向远侧末端执行器(通常为远程中心)远侧地减缩和取向的锥体枢转操纵器臂的一个或更多个接头。在这方面,操纵器臂绕其枢转的锥体对应于在工具尖端的运动范围内的锥形空隙,在该运动范围内内工具的移动是不可能的或被削弱,这会在下面进一步详细地讨论。

[0017] 在另一方面,将操纵器的近侧部分耦连到底座的接头可沿着通常弓形的或大体上圆形的路径相对于底座移动,使得接头沿着路径的移动绕延伸通过操纵器臂在器械附近的远侧部分(优选通过器械轴绕其枢转的远程中心)的轴线枢转操纵器臂的一个或更多个接头。在一些实施例中,操纵器包括将操纵器的近侧部分耦连到底座的回转接头,该回转接头可沿着路径相对于底座移动,所述路径可以是线性的、弓形的或大体上圆形的。

[0018] 在本发明的又一方面中,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,如果适当,优选在远程中心处相交。

[0019] 本发明的性质和优点的进一步的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。

附图说明

[0020] 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,该手术末端执行器位于患者体内的内部手术部位处。

[0021] 图1B概略地示出图1A的机器人外科手术系统。

[0022] 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。

[0023] 图3是图1A的电子推车的透视图。

[0024] 图4具有四个操纵器臂的患者侧推车的透视图。

[0025] 图5A-5D示出示例操纵器臂。

[0026] 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操纵器臂。

[0027] 图6C示出示例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。

[0028] 图7A示出具有近侧回转接头的示例操纵器臂,该近侧回转接头绕近侧回转接头的轴线回转操纵器臂。

[0029] 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。

[0030] 图8示出在远侧器械保持器附近具有回转接头的示例操纵器臂。

[0031] 图9示出在远侧器械保持器附近具有回转接头的示例操纵器臂,该回转接头绕接头轴线回转或扭转器械保持器。

[0032] 图10A-10C示出随着接头在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。

[0033] 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。

[0034] 图12A-12C示出具有近侧接头的示例性操纵器臂,该近侧接头绕接头的路径平移支撑操纵器臂的近侧接头。

[0035] 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。

[0036] 图14A-14D图形地描绘根据某些实施例的利用管理器合并多个零空间目标的不同方法。

[0037] 图15示出用于在示例操纵器组件中执行通用算法的方框图。

[0038] 图16-17示出根据本发明的示例方法的方框图。

具体实施方式

[0039] 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将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

理器的机器人系统,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。

[0040] 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联接器,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。

[0041] 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。

[0042] 本文中所描述的许多示例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。

[0043] 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。

[0044] 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,但它们通常也具有一些方位控制方面。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。

[0045] 在一些实施例中,示例性操纵器臂的工具绕邻近微创孔口的枢转点枢转。在一些实施例中,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,与本发明结合的工作指示出远程中心联动系统可以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。令人惊讶的是,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。在另一些实施例中,该系统可以利用软件来实现远程中心,诸如在美国专利申请8,004,229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。

[0046] 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,但由于操纵器包括底座与具有冗余自由度的器械之间的相对大量的接头和连杆,为实现远侧末端执行器和/或远程中心的期望的移动的多个接头的被命令的运动可能产生不期望的接头速度、与一个或更多个接头相关联的过多动能,或可能产生不满足期望的运动偏好的运动。不期望的接头速度的示例可以包括接头状态的不期望的组合、针对一个或更多个接头的过大接头速度、或不相称的接头状态。本发明在被命令的末端执行器移动期间为一个或更多个接头提供期望的移动,诸如本文中所描述的接头状态或其他这种移动的组合。

[0047] 在一个方面,计算的与各种其他目标有关的零空间移动(诸如回避移动、被命令的重新配置、期望的操纵器姿势或接头行为)可以覆盖计算的接头速度,以在实现各种其他目标的同时实现被命令的末端执行器移动。这可以通过使用合并与多个目标相关联的零空间移动的零空间管理系统来实现,以便当这些目标冲突时,根据多个目标或至少根据多个目标之间的期望的关系和/或行为来提供零空间移动。

[0048] 在某些方面,操纵器系统被配置为将每个零空间目标函数确定为单独的软件实体,该软件实体假设每个零空间目标函数存在的唯一目标,分配给每个目标函数一些有用的属性,并且将各个目标函数的输出传送到零空间管理器中。零空间管理器通常包括系统的处理器,处理器具有被记录在其上的可编程指令,用于通过执行本文中所描述的方法来管路目标。零空间管理器可以包括用于根据本文中所描述的方法和途径中的任何一个来管

理与不同目标相关联的零空间移动的一种或更多种模式。零空间目标的属性然后在将多个输入组合为合并的零空间命令时被管理器使用,合并的零空间命令然后可以与零垂直空间命令组合,并发送到操纵器的接头控制器。管理器可以在合并多个零空间目标时基于其相应的属性而使用各种不同的方法或算法,所述方法或算法可以包括加权、缩放、饱和水平、目标之间的优先级,主速度限制以及饱和限制积分算法或各种其他特征。在一个方面,零空间系数可以是用于一组零空间基本向量的乘数。

[0049] 这种回避移动的示例于2012年6月1日提交的名称为“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”的美国临时专利申请No.61/654,755和于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”的美国临时专利申请No.61/654,773中进行了描述,其全部公开以引用方式并入本文。使用被命令的重新配置的零空间目标的示例于2012年6月1日提交的名称为“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space”的美国临时专利申请号 61/654,764中进行了描述,其全部公开以引用方式并入本文。

[0050] 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。

[0051] 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合的工具组件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。

[0052] 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,并且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,并且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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 在许多实施例中,诸如图5A所示的示例,示例性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。在一些实施例中,回转接头J1被直接安装到基座,而在另一些实施例中,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)。

[0061] 现在描述图5A-5D的操纵器臂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。能够通过与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。在许多实施例中,器械保持器还包括额外的接头,诸如棱柱接头J6,该额外的接头便于器械306通过微创孔口的轴向移动,并且便于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。

[0062] 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J7 (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。

[0063] 通过参考图6A-6C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,示例性操纵器臂能够根据需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,但可能仍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。在一个实施例中,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,能够使其中接头移动受限制或不可能的空间锥体完全消失,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,各种实施例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。

[0064] 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,这可能需要替代性操作模式并且推迟外科手术程序。

[0065] 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。因此,这种配置能够通过各种零空间目标,诸如各向异性地增强的操纵器的移动以便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,操纵器的移动会变得更困难。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。

[0066] 虽然上述的操纵器的实施例可以用于本发明中,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。

[0067] 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 可以是弧形的联动装置(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 α 为大约15度。

[0068] 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。

[0069] 图8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,所以能够增加臂俯仰向后运动范围。在图9中示出远侧回转接头J7 的轴线、J1的偏转轴线与工具尖端的插入轴线之间的关系。图10A-10C 示出J7的顺序移动和其如何从一侧向另一侧转移工具尖端的插入轴线。

[0070] 远侧回转接头J7的另一优点是它可以减小患者间隙锥体,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,操纵器臂必须避免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程序中,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。

[0071] 图12A-12C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控性。可平移接头可以包括圆形路径(诸如图12A-12C中的接头J1"所示),或可以包括半圆形或弓形路径。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。在所示的实施例中,J1"的该轴线是垂直轴线,但在各种其他实施例中,该轴线可以成某一角度或是水平的。

[0072] 在一些实施例中,操纵器臂500可以包括近侧和远侧回转接头、近侧可平移接头和远侧联动装置的平行四边形配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所有的使用提供额外的冗余自由度并且便于重新配置,以便通过增加联动装置之间的角度由此改善操纵器的灵巧性和运动来提供更好“调节”的操纵器组件。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。

[0073] 在一示例性实施例中,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和接头移动驱动所述接头。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。

[0074] 在一示例性实施例中,该系统包括控制器,其中工作空间(这里指示为笛卡尔空间)中的特征的命令方位和速度是输入。特征可以是操纵器上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):

$$[0075] \quad dx/dt = J \, dq/dt$$

[0076] 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。

[0077] 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:

$$[0078] \quad dx/dt = dx_{des}/dt + k\Delta x \quad (1)$$

$$[0079] \quad dq/dt = J^\# dx/dt \quad (2)$$

$$[0080] \quad q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t \quad (3)$$

[0081] 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(多达六个)更有用的接头轴线,(并且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),则该操纵器被称为是冗余的。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:

$$[0082] \quad dq/dt = dq_{perp}/dt + dq_{null}/dt \quad (4)$$

$$[0083] \quad dq_{perp}/dt = J^\# dx/dt \quad (5)$$

$$[0084] \quad dq_{null}/dt = (1 - J^\# J) z = V_n V_n^T z = V_n a \quad (6)$$

[0085] 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:

$$[0086] \quad dx/dt = J * dq/dt$$

$$[0087] \quad Y = h(q)$$

$$[0088] \quad dy/dt = \partial h / \partial q * dq/dt$$

$$[0089] \quad [dx/dt^T \quad dy/dt^T]^T = [J^T \quad \partial h / \partial q^T]^T * dq/dt$$

$$[0090] \quad d(x;y)/dt = [J; h'] * dq/dt$$

$$[0091] \quad dq/dt = [J; h']^\# d(x;y)/dt$$

[0092] 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組合的期望的结果。

[0093] 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,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)(4)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。

[0094] 图13A-13B图形地示出在雅可比矩阵的零空间和示例性操纵器臂的雅可比矩阵的零垂直空间之间的关系。图13A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)。

[0095] 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,由于零空间是瞬间产生末端执行器的无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。

[0096] 图14A-14D图形地示出根据本发明的实施例的利用零空间管理器来合并多个目标的各种方法。图14A涉及多个目标的加权求和;图14B涉及多个目标的饱和限制;图14C涉及多个目标在零空间中的优先级;以及图14D涉及与接头空间的壁或边界有关的多个目标的管理。在某些方面,零空间管理器用于通过以下方式来管理多个零空间目标,即通过为每个零空间目标函数确定零空间系数(α),并利用每个目标的以下属性(或其组合)中的任何一个来合并零空间系数:

[0097] (a) 加权:该属性用于加权求和范式(paradigm)中,这允许多个特征或目标的按比例混合。例如,如果用户期望用于延伸的俯仰向后目标的零空间使用的重要性两倍于用于臂与臂碰撞回避目标的零空间使用的重要性,那么前者的权数将会被设定为后者的权数的两倍。这样的示例在图14A中示出,图14A示出用于第一目标的零空间系数向量 α_1 和用于第二目标的零空间系数向量 α_2 。为了确定第二目标被加权为两倍于第一目标的零空间移动,用于第二目标的零空间系数向量在与用于第一目标的零空间系数向量 α_1 相加前被加倍,使得因而产生的和 α_Σ 表示当用于零空间移动的计算中时强调第二目标两倍于第一目标的零空间系数。应意识到,这种加权能够应用于涉及各种其他属性的各种其他管理方法。除了仅仅基本向量的系数外,这还包括直接应用于零空间向量的权数。

[0098] (b) 饱和水平:该属性允许可能冲突或相互抵消的多个零空间目标之间的管理。如上所述,目标函数的数量可以大于零空间的维度。在这些情况下(并且有时还在维度更不严格的情况下),多个目标函数能够产生相互直接相反的零空间输出。这方面的示例在图14B中示出,图14B示出直接相反的零空间系数向量 α_{1u} 和 α_{2u} 。如果这些目标函数在没有干预的情况下被相加,则其结果为零,这导致针对任一目标函数都不采取有益的动作。通过使用饱和和限制,具有最高饱和限制的目标函数能够压倒具有较低限制的目标函数。例如,由于临床原因,用户可能期望臂与患者碰撞回避必须总是优先于臂与臂碰撞回避函数。在这种情况下,零空间管理器能够允许臂与患者回避赢得胜利,并且作为响应,当处于直接冲突时,操纵器能够在刺入患者的身体表面之前驱动其本身进入邻近的操纵器。

[0099] 图14B是零空间中的零空间系数的示意图,示出了上述饱和属性。虽然原始的未饱和向量 α_{1u} 和 α_{2u} 可以一开始相等并相反,但其饱和限制可以不同,使得在饱和之后, α_1 短于

α_2 。在该示例中,当多个系数被加在一起以获得组合的输出时,其饱和水平允许 α_2 压倒 α_1 。因此,如果期望次要目标(诸如操纵器与操纵器碰撞回避)不应当抵消主要目标(诸如患者与操纵器碰撞回避),那么当组合目标时可以应用适当的饱和水平,从而使得主要目标压倒与主要目标冲突或抵消主要目标的任何次要目标。

[0100] (c) 优先级:该方法利用连续空间数学概念、而非逻辑或离散分支概念。例如,假定一种要求是,允许某一目标函数具有不受限制的零空间的使用,并且其他目标函数也使用该零空间,但不干扰前一目标的使用。优先级的概念可以应用于这样的示例中,以允许前一目标进入整个零空间,但仅允许后一目标进入零空间的其余未使用的正交部分。假如前一目标本质上是线性的,并且零空间中的正交干扰对其没有影响,则该方法是有利的,因为后一目标不妨碍前者的使用。该方法可以如图14C 的示例中所示的那样执行。在该示例中,在最高优先级下操作的目标函数可以诸如通过使用上面的(a)和(b)的加权和饱和技术中的一个或两个来组合其输出。因而产生的输出向量然后被映射到零空间中。如果零空间具有大于1的维度,那么在最高优先级下正交于该输出向量的零空间的子空间然后可用于下一个最高优先级。所有目标函数在下一个最高优先级下的饱和加权和然后被投影到其余的零空间子空间上。该过程可以继续,直至所有目标函数优先级水平都已经被解决,或直至所有零空间维度都已经被消耗。在另一方面,该方法也可以用于实现接头锁定或接头运动取消。

[0101] 图14C示出零空间中的系数向量的示意图,示出了上述的优先级属性。在这里,未更改的 α_{p10} 具有最高优先级,并且因此具有到整个零空间的不受阻碍的进入。在该示例中,更改后的形式 α_{p1} 与 α_{p10} 完全相同,而 α_{p20} 处于较低优先级。因此, α_{p20} 仅具有到零空间的未被较高优先级 α_{p1} 使用的部分(例如,正交于 α_{p1} 的部分)的进入。这通过将 α_{p20} 投影到该部分上获得 α_{p2} 来获得,以便允许较低优先级目标仅在它不干扰最高优先级的程度上被执行。

[0102] (d) 用于主速度限制的标志:各种零空间目标函数可以被配置为部分地自治。由于效率和可用性原因,它在各种应用中有益于允许一些自治功能。然而,由于安全原因,会期望允许外科手术医生具有监督并优先于自治运动的能力。允许这种能力的一种方法是,将某些零空间目标函数的输出值限制为与主速度成比例。以此方式,如果自治运动是不期望的,那么外科手术医生可以简单地停止移动主装置,并且自治运动停止。然而,如果主速度限制应用于目标函数,至少一些目标函数不能正确地起作用。因此,该属性告诉零空间管理器是否可以将主速度限制应用于给定目标函数。因此,某些目标可以在零空间管理器中被标记,使得主速度限制仅应用于限制适合的那些目标。

[0103] (e) 用于饱和限制积分 (SLI) 算法的标志:饱和限制积分算法将被命令的接头速度积分为被命令的接头方位,而不干扰接头速度限制或接头方位限制(例如,硬止挡件)。可以对某些实施例作出一些改变(诸如在下面描述的那些),以便允许两个或更多个特定零空间行为。该属性允许管理器将来自多个目标函数的合并的零空间输出分类为两个或更多个桶,每个桶与诸如以下示例中的两个或更多个行为中的每一个相关联。

[0104] 行为1:SLI算法具有更改输入接头速度命令的权限,以便符合在接头速度和接头方位限制内的运动轮廓。然而,为了零空间速度命令保持在零空间中,SLI算法必须仅限制速度值而不限制方向。例如,为了避免干扰工具尖端姿势,速度向量可以不包括方向变化。该行为可以对某些零空间目标输出比其他零空间目标输出更有用,并且可以根据期望合并的零空间目标而选择性地使用。行为1的方面描绘在图14D中。

[0105] 行为2:与行为1相关联的一个缺点是,它可能导致通常被称为“粘性壁”的现象(参见图14D),例如当操纵器紧靠在接头限制壁上并且被命令沿着该壁滑动时,该现象会发生。对于这样的移动,应用行为1将不会改变方向,并且对于任何滑动命令(例如,具有朝向壁的分量的任何移动),仅仅将长度缩短为零。因此,滑动将不会被允许,并且接头限制将会表现为类似粘性壁。某些算法可以通过在逐个DOF(DOF-by-DOF)的基础上执行速度限制来避免该问题。在这种情况下,仅与接头限制相关联的DOF将会被设定为零,而其余的DOF将不会受到影响。该结果将会是沿着接头限制的滑动命令,当命令工具尖端运动时,这是期望的行为。在某些实施例中,接头速度限制可以以向量化的方式应用,而接头方位限制以逐个DOF的方式应用。

[0106] 图14D示出接头空间以及其限制(例如,通过边界绘制的硬止挡件)的示意图,示出了上述的SLI概念。右上的虚线箭头示出穿透接头限制的未饱和的箭头,并且因此必须被饱和。在其之上的更短的箭头示出行为1,(例如仅值变化而无方向变化)。在这种情况下,滑动不会发生。在虚线箭头之下的三角形示出行为2。在这种情况下,仅指向壁的未饱和(虚线)的箭头的(水平)分量被饱和,而垂直分量保持原样。该结果允许沿着接头限制壁的滑动。由于这对应于方向变化,并且因此不能适用于各种零空间移动。

[0107] (f) 其他属性:根据这些一般概念的但目前未被使用或可以被本领域技术人员所设想的其他属性能够通过零空间管理器以特定的方式不同地处理多个目标函数。此外,应理解,以上属性的各种组合可以基于期望的目标和/或相关联的零空间移动以各种方式使用并应用。

[0108] 图15示出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要求的方框的简图。根据图15的方法,该系统:计算操纵器臂的前向运动学;然后,使用等式(1)计算 dx/dt ,使用等式(5)计算 dq_{perp}/dt ;再然后使用等式(6)根据取决于 dq_{perp}/dt 和雅克比矩阵的 z 计算 dq_{null}/dt 。根据计算的 dq_{perp}/dt 和 dq_{null}/dt ,该系统分别使用等式(4)和(3)计算 dq/dt 和 q ,从而提供计算的移动,其中通过该计算的移动,控制器能够实现操纵器的期望的重新配置,并且同时维持末端执行器的期望的状态(和/或远程中心的位置)。

[0109] 图16-17示出根据本发明的各方面的示例性方法的流程图。如图16所示,通过操纵器执行的示例性方法可以包括:接收实现期望的末端执行器移动的操纵命令;针对第一目标计算第一组接头的接头移动;根据第二目标计算第二组接头在零空间内的接头移动;利用第一和第二组接头的计算的零空间接头移动中的每一个的属性来确定合并第一和第二目标的零空间命令;以及根据零空间命令驱动接头,以实现期望的移动,从而实现第一与第二目标的组合。如图17所示,操纵器系统的示例性方法可以包括:接收以期望的末端执行器移动来移动末端执行器的操纵命令;确定多个零空间系数,每一个对应于不同的零空间目标;根据其相应的目标确定多个零空间系数中的每一个的属性;利用其相关联的属性将多个零空间系数合并为单个零空间系数;以及根据计算的接头移动基于单个零空间系数驱动接头,以实现零空间目标的期望的组合。

[0110] 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。

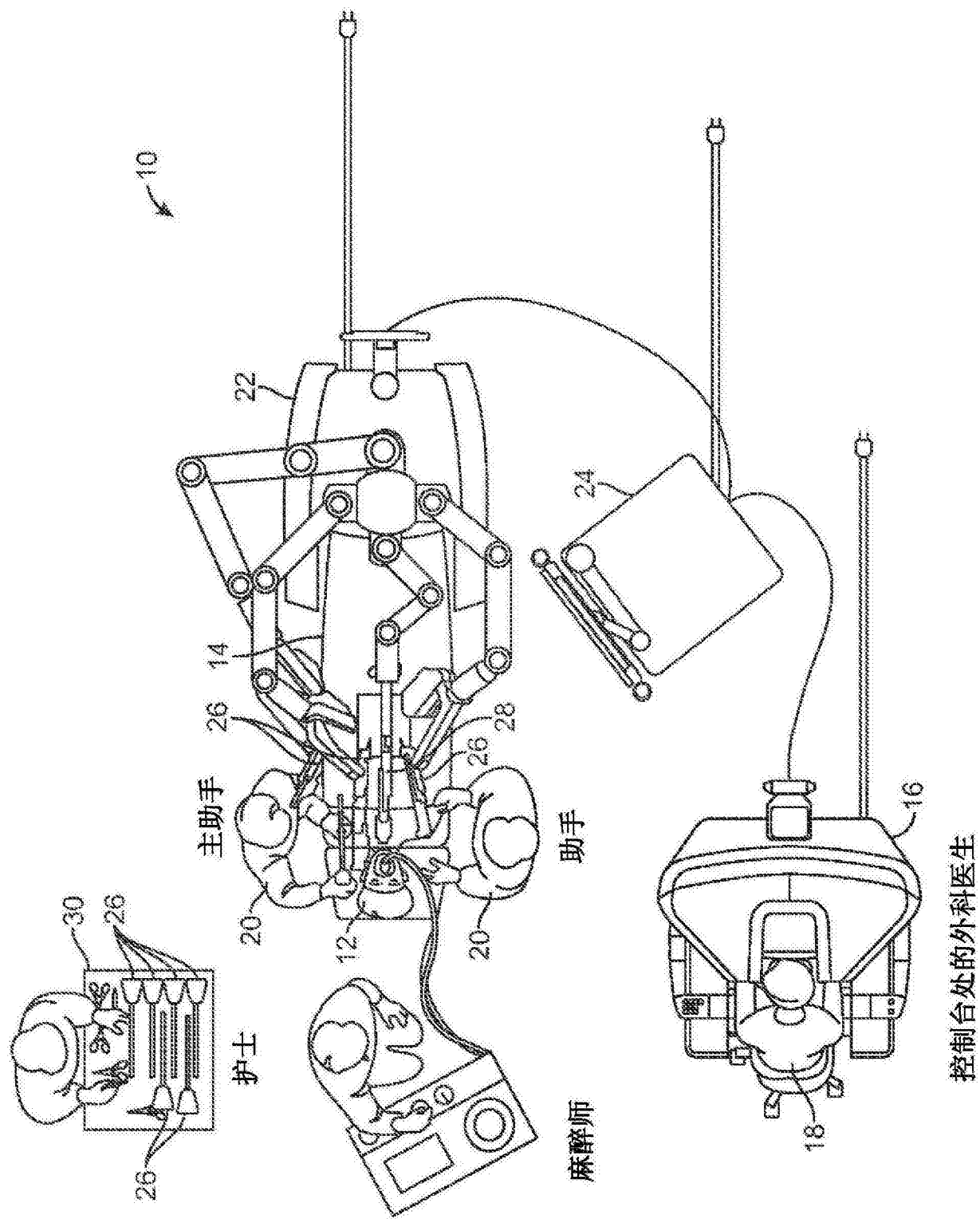


图1A

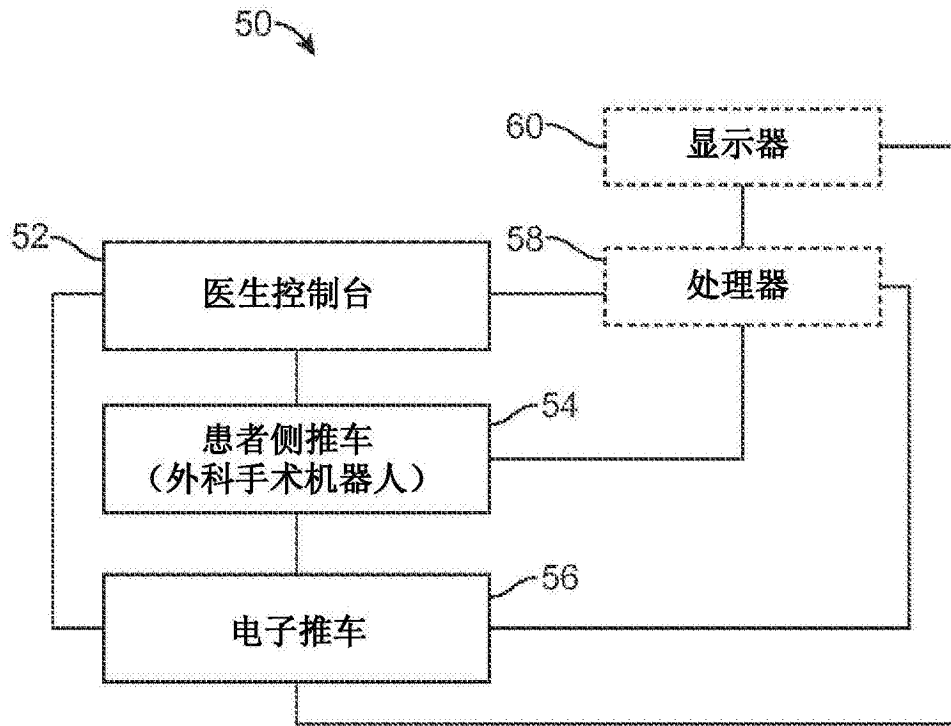


图1B

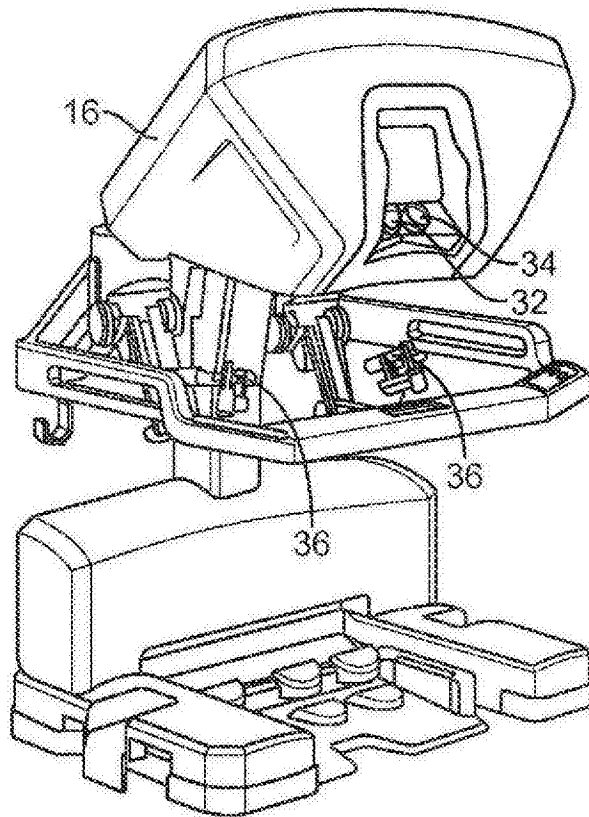


图2

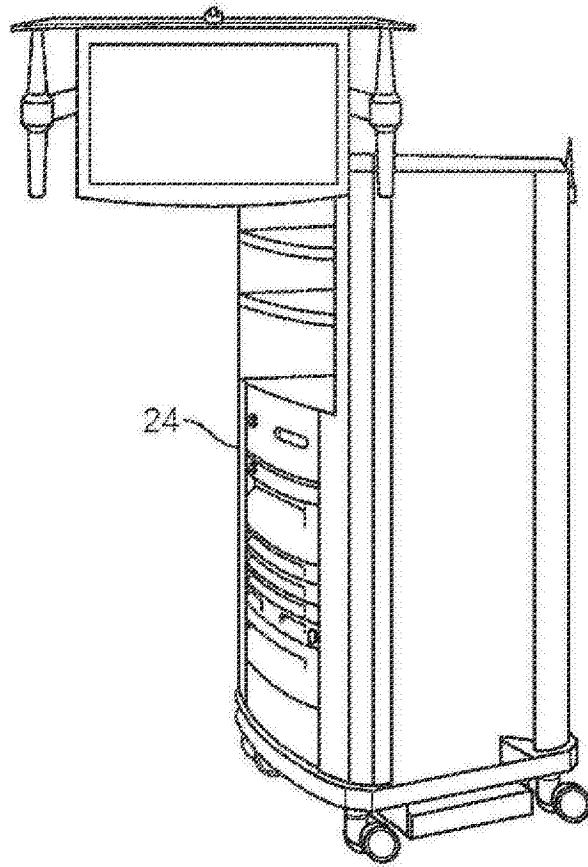


图3

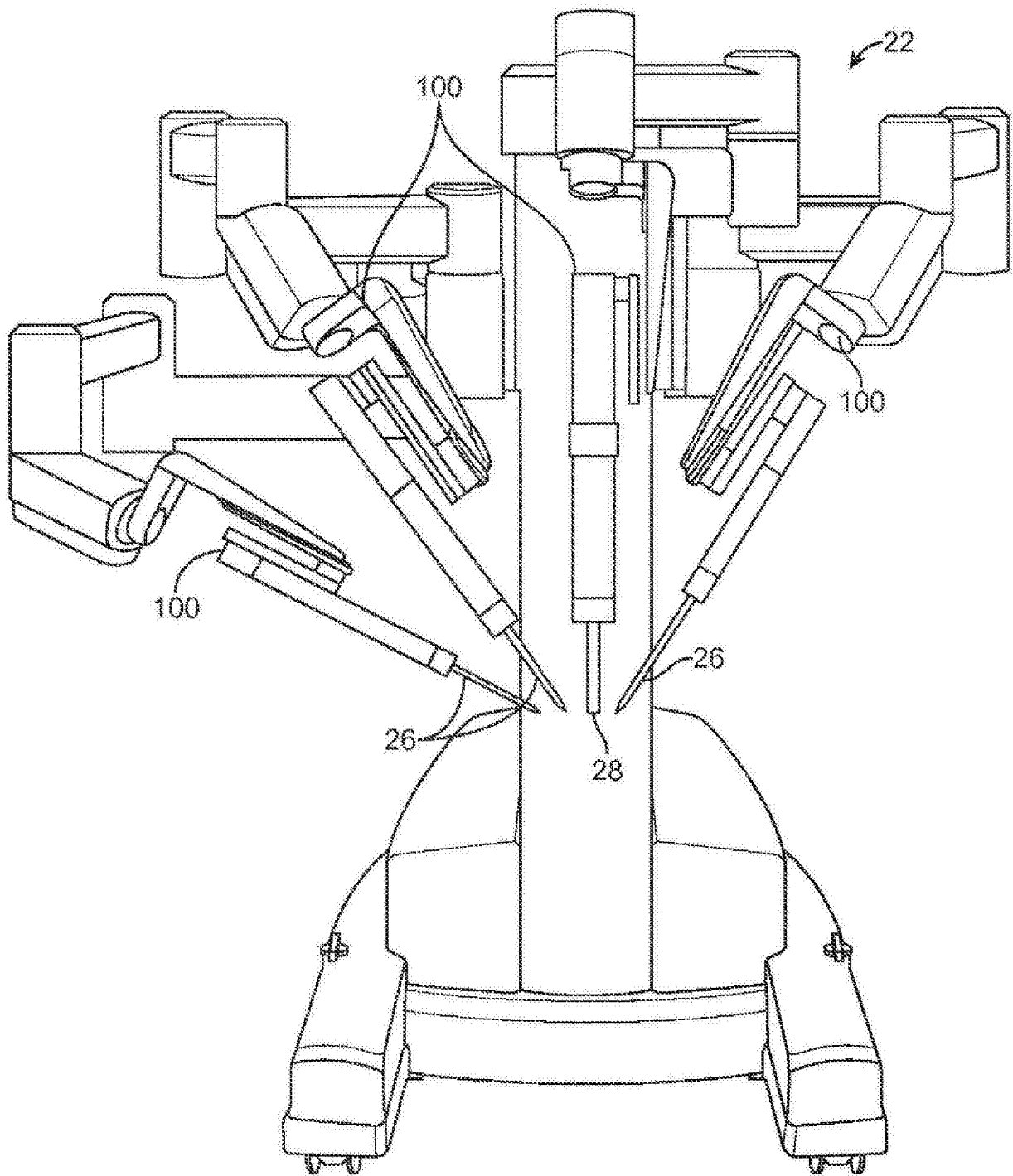


图4

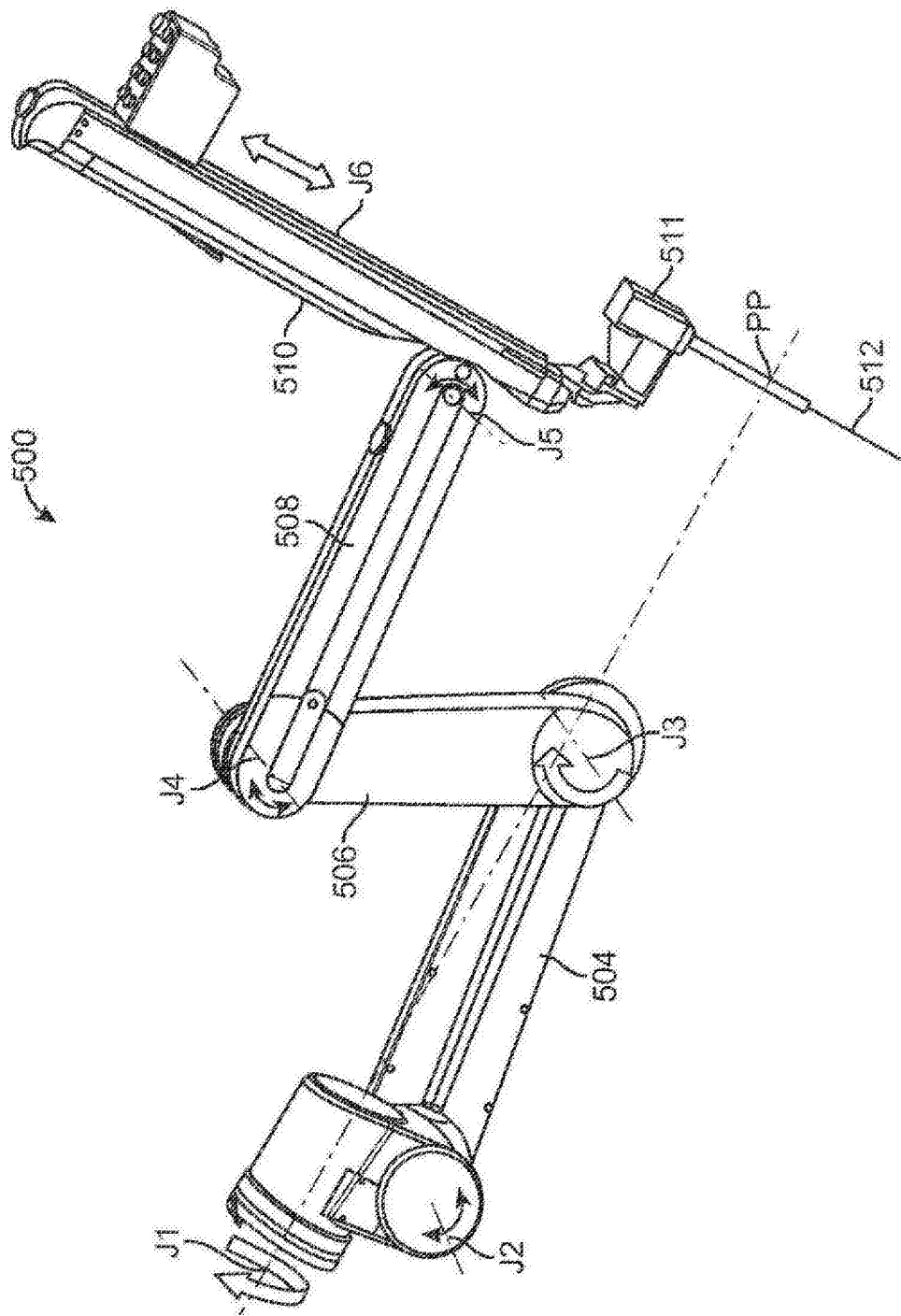


图5A

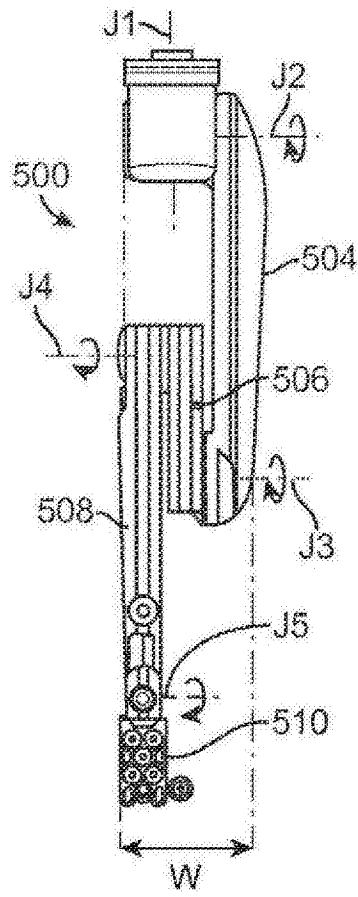


图5D

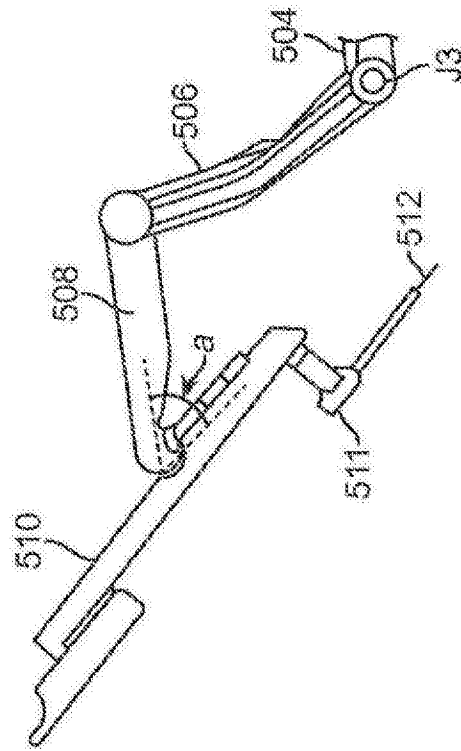


图6A

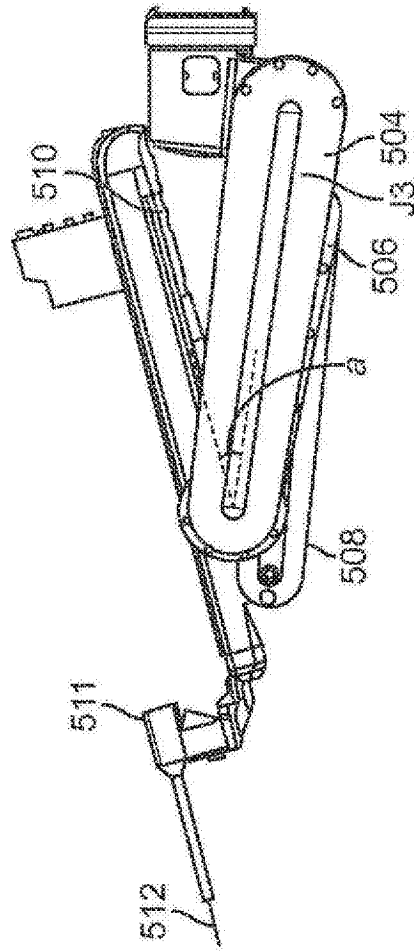


图6B

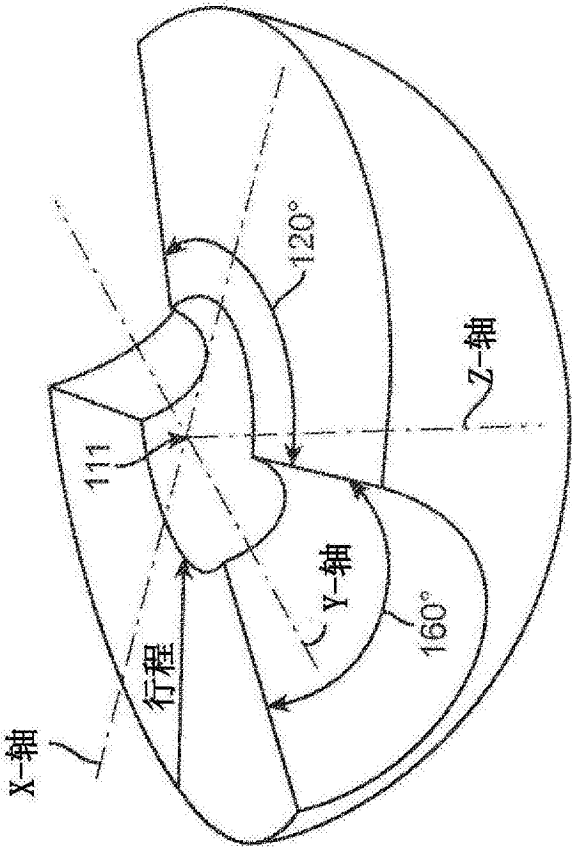


图6C

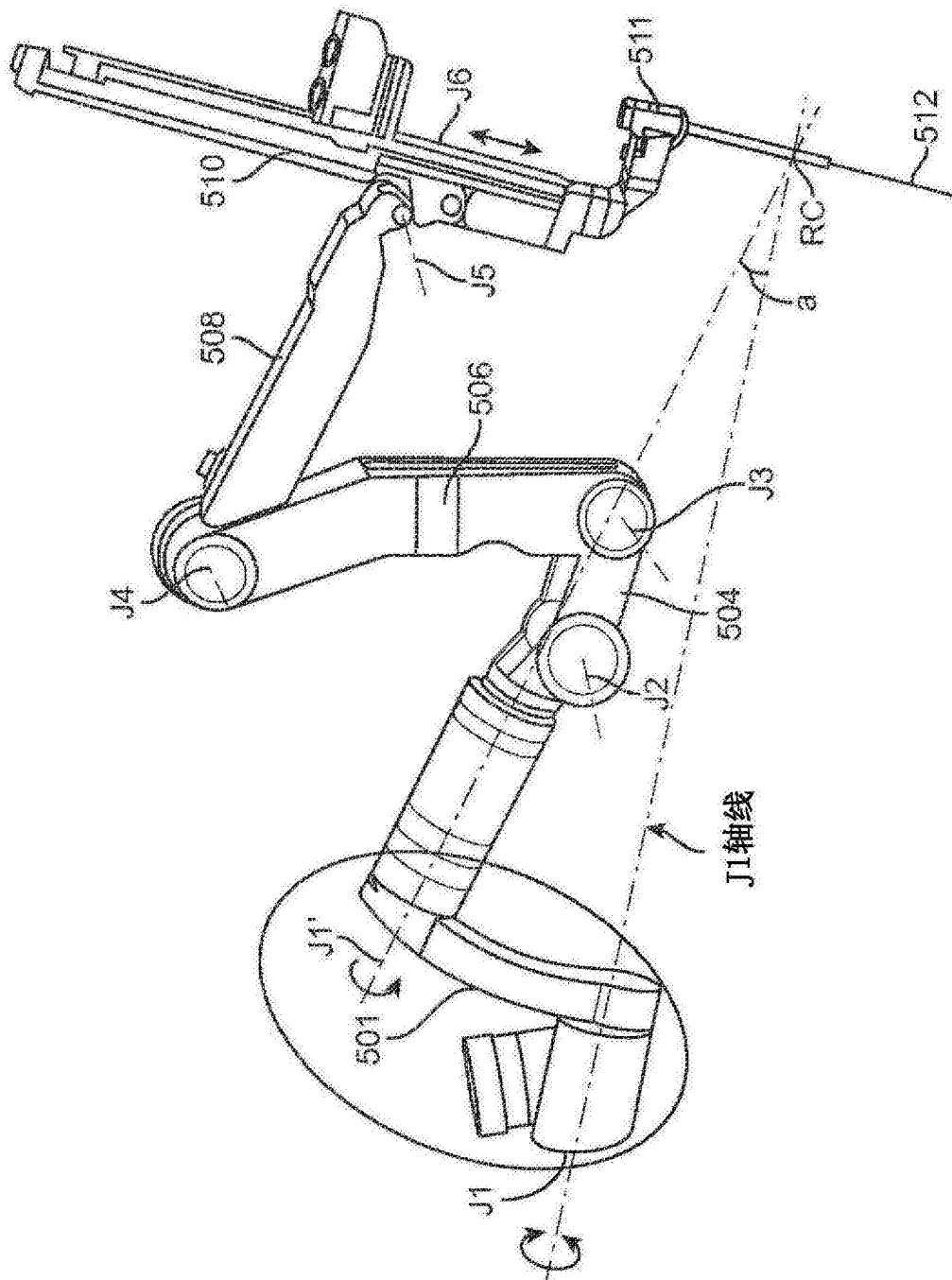


图7A

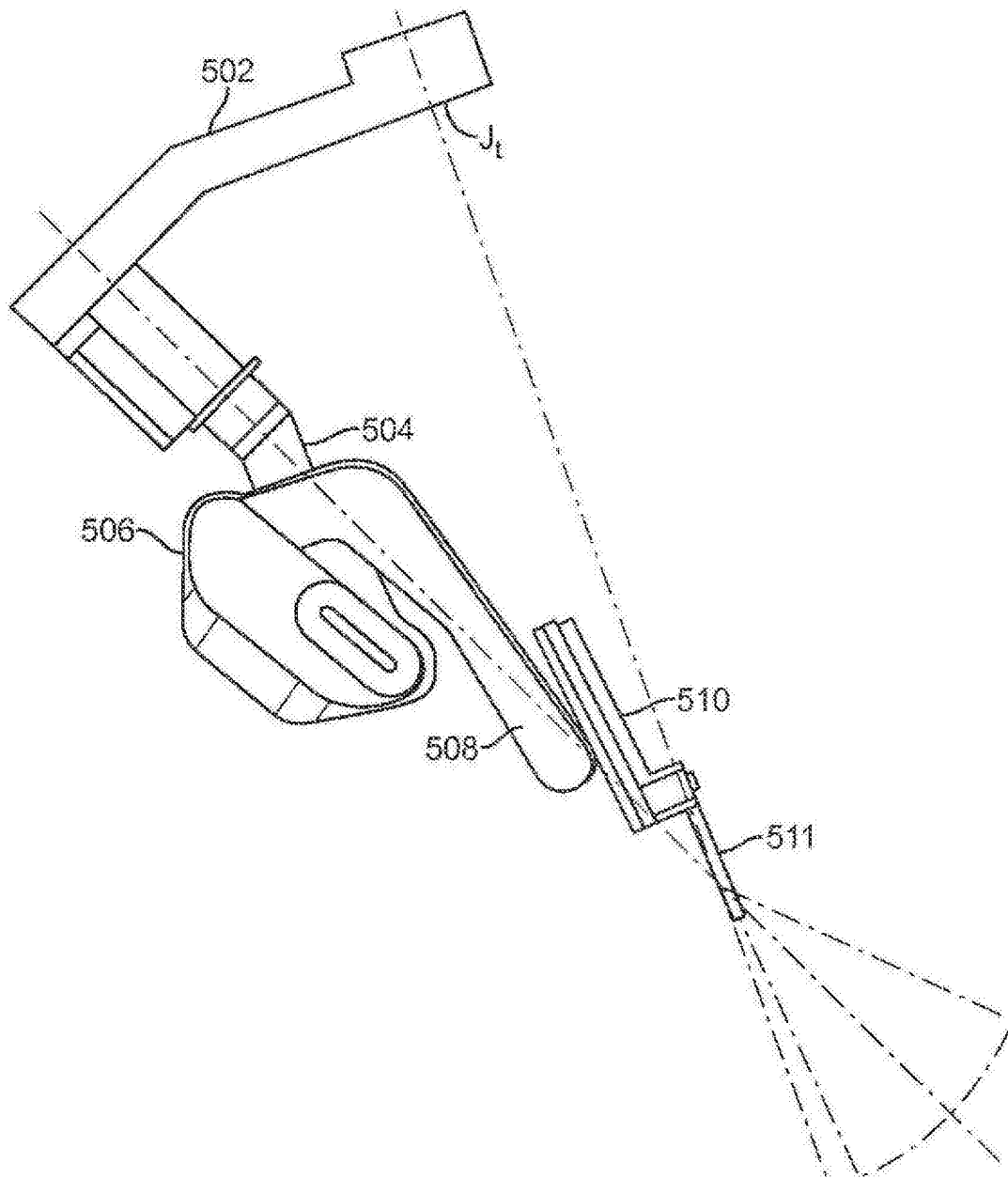


图7B

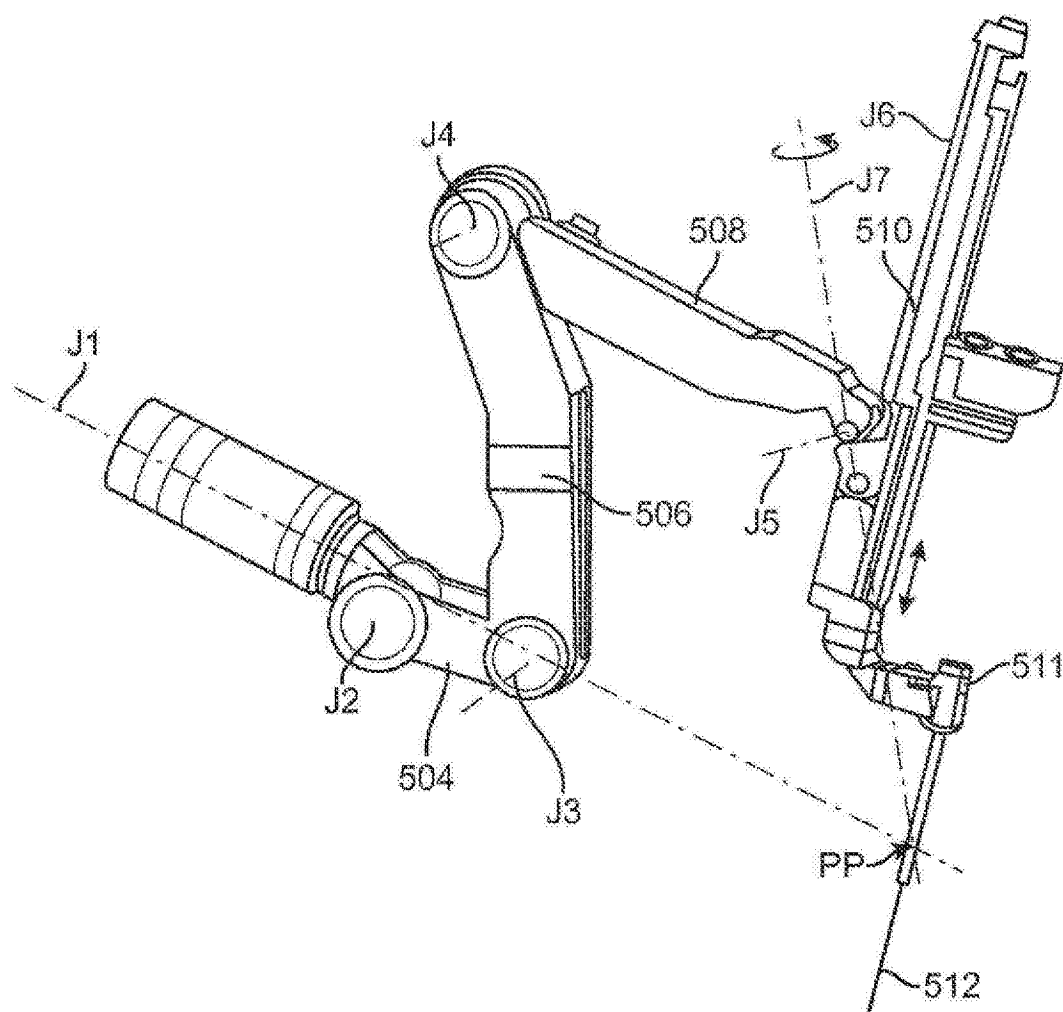


图8

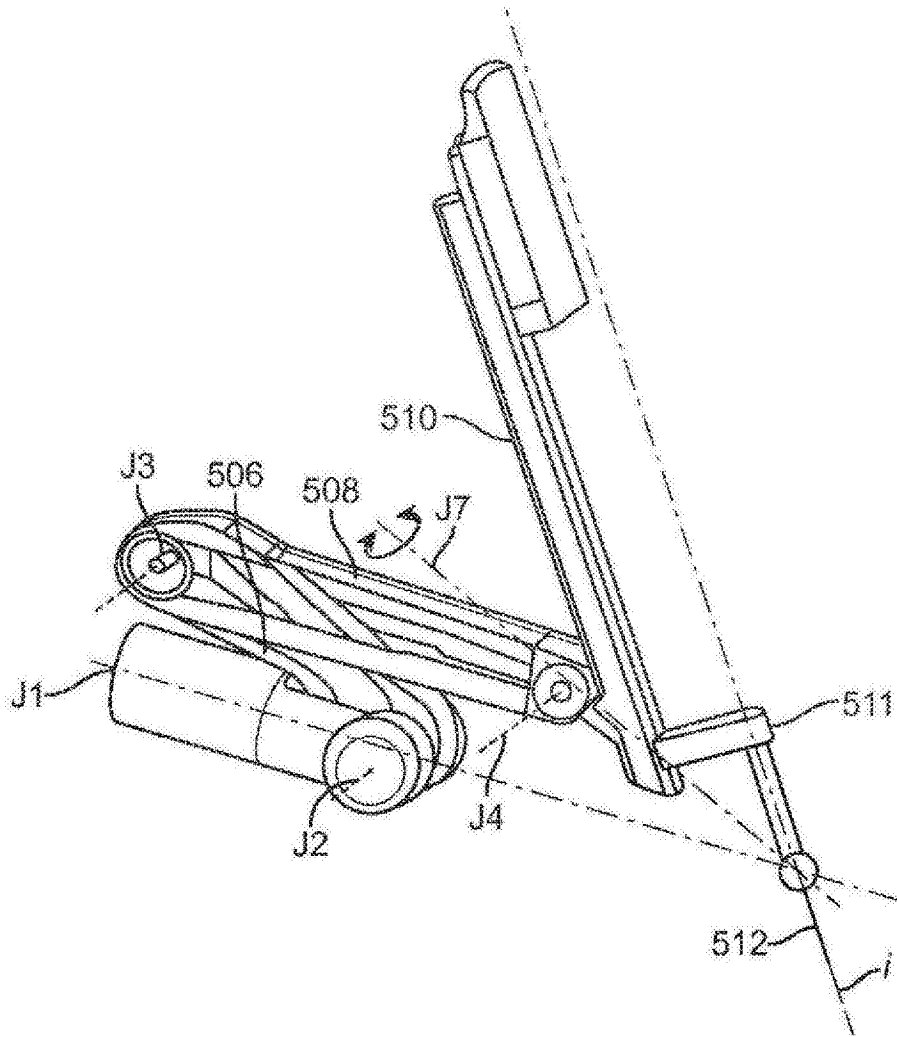


图9

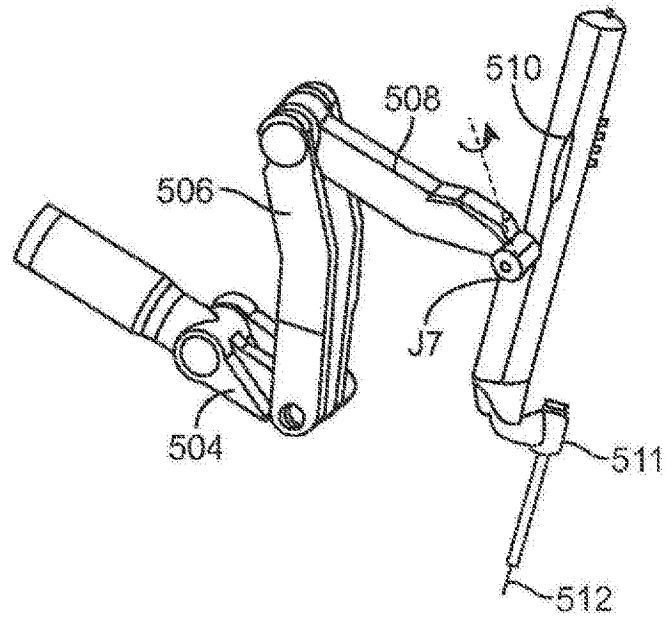


图10A

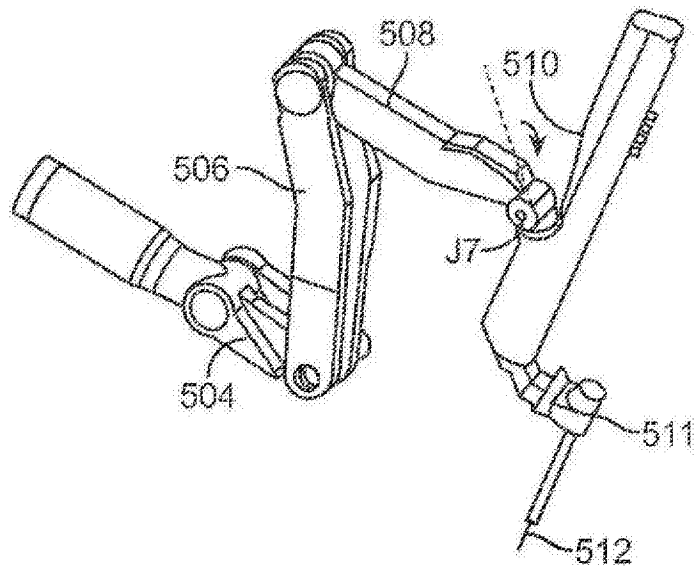


图10B

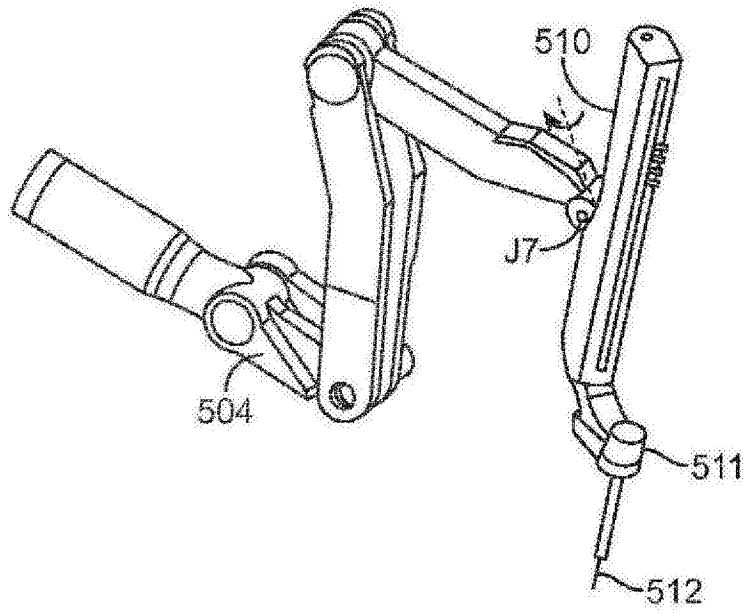


图10C

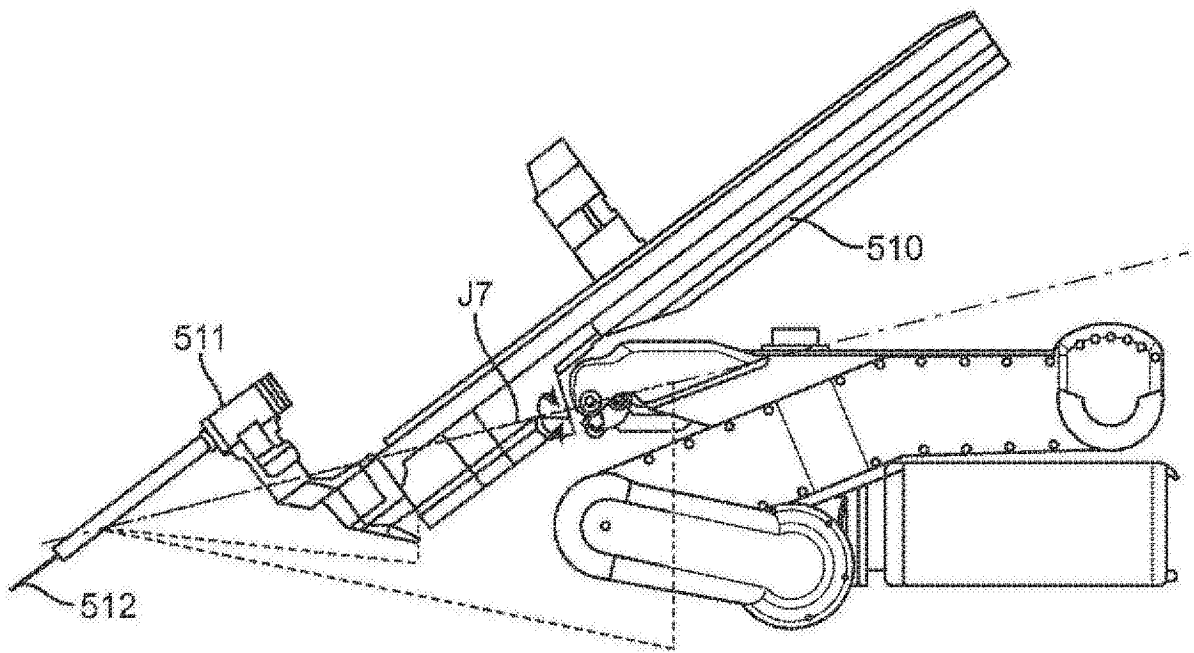


图11A

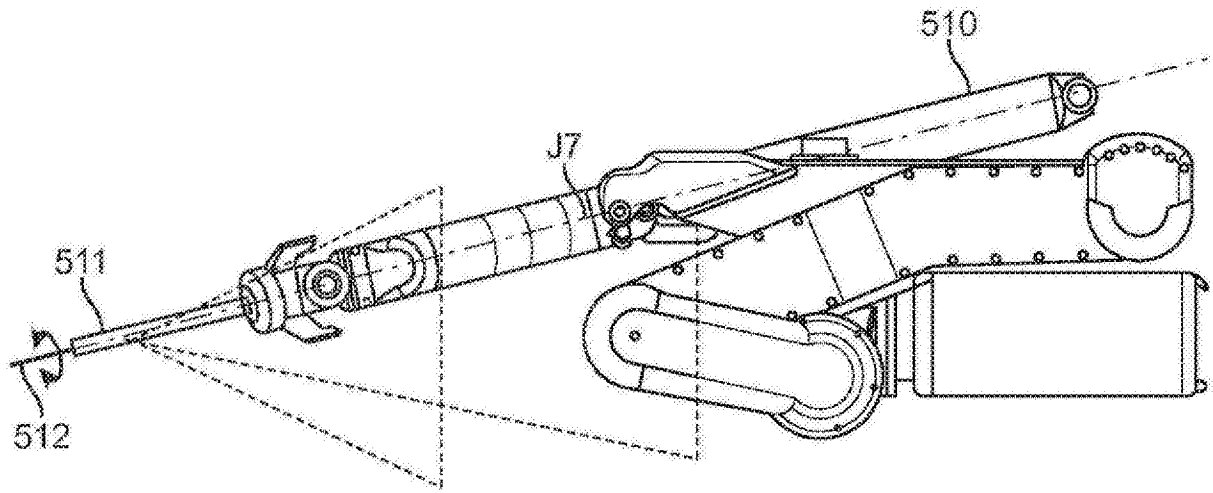


图11B

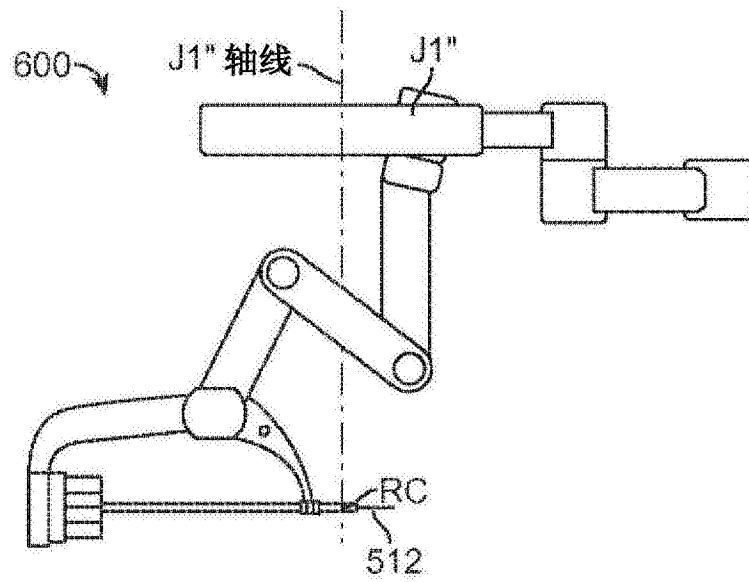


图12A

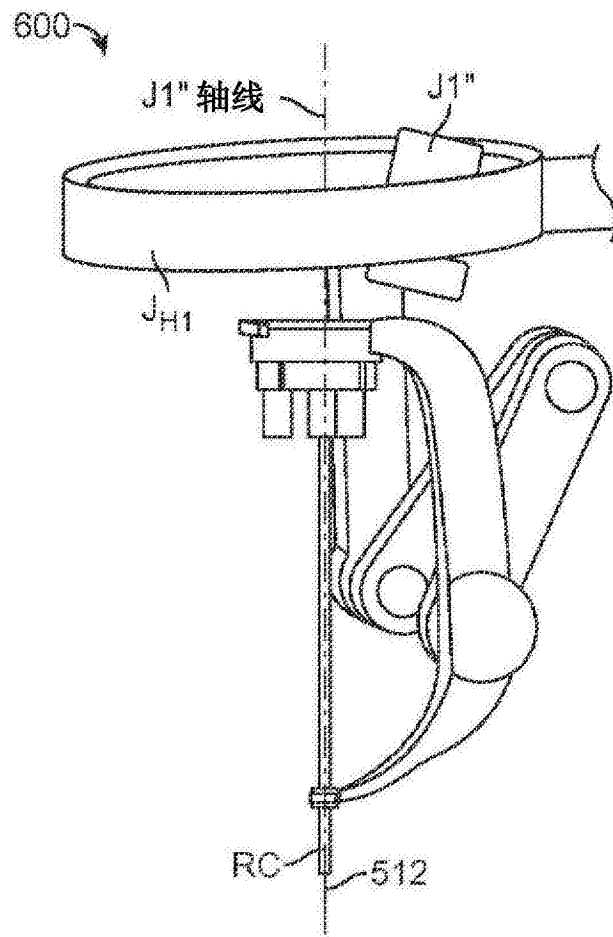


图12B

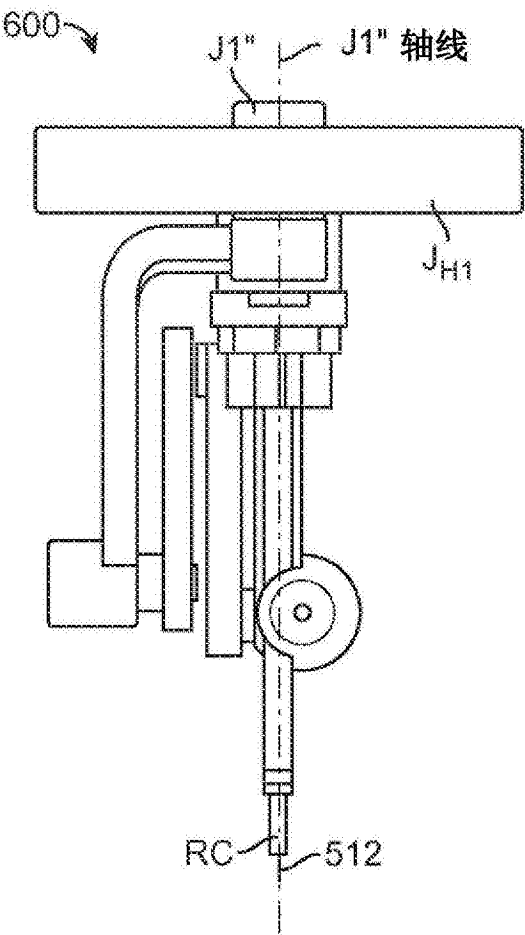


图12C

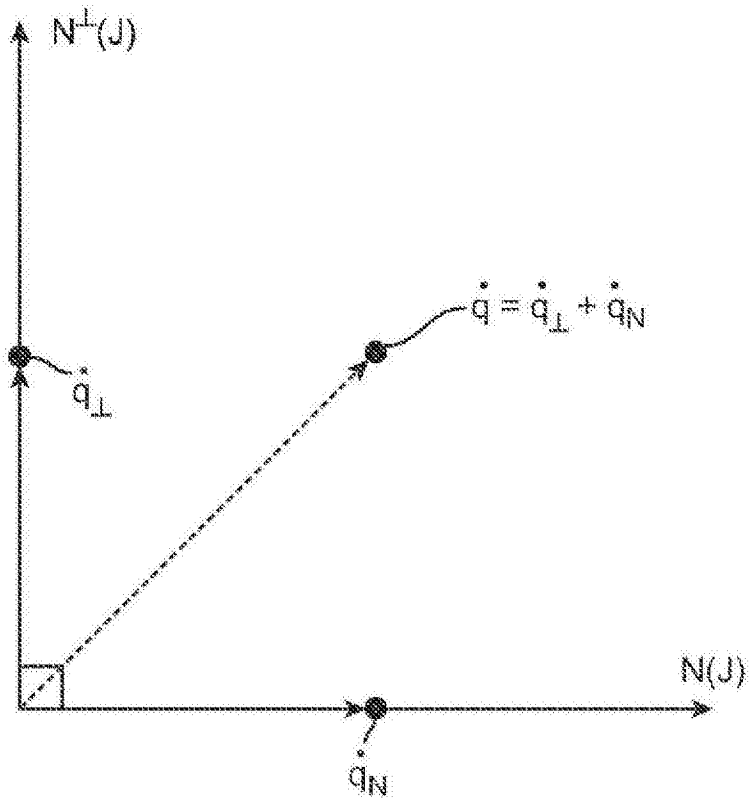


图13A

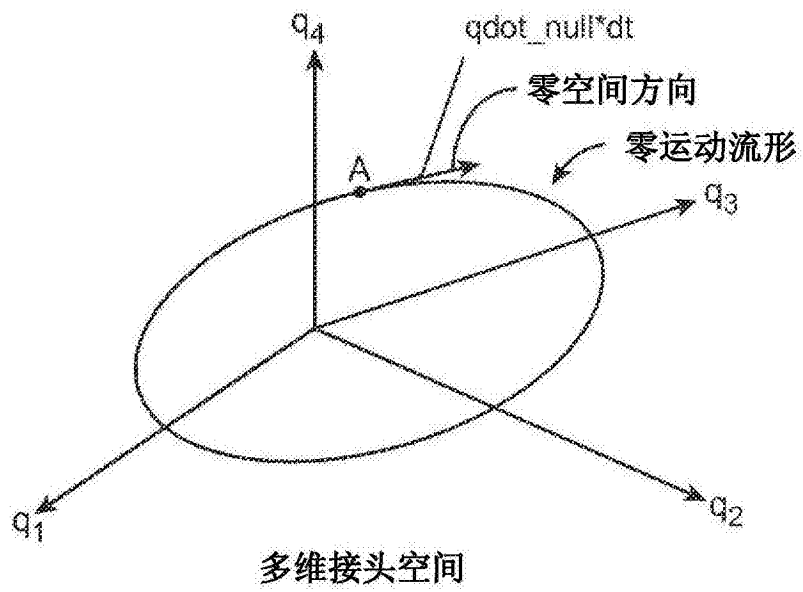


图13B

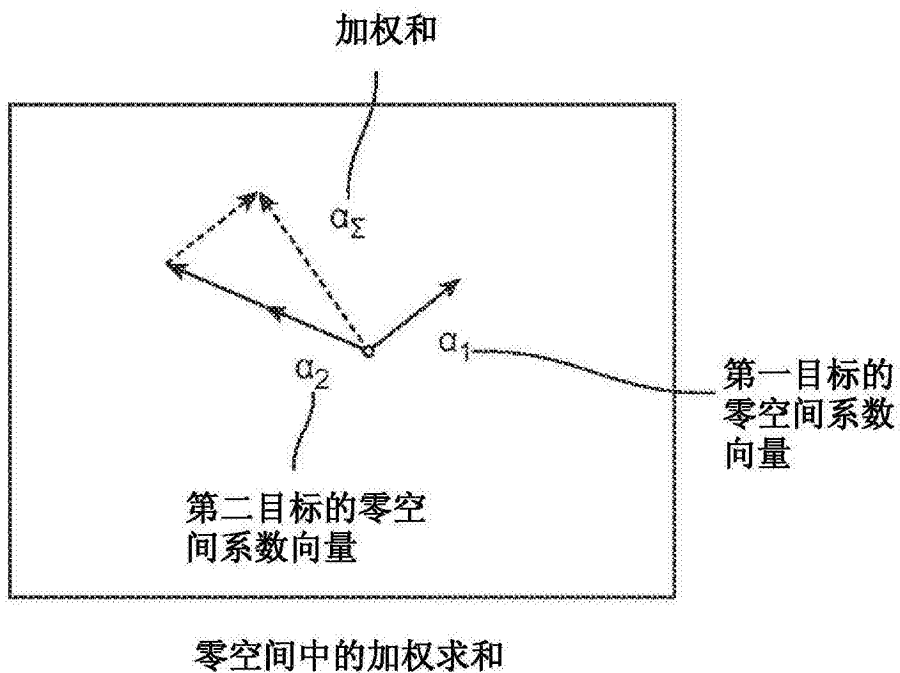


图14A

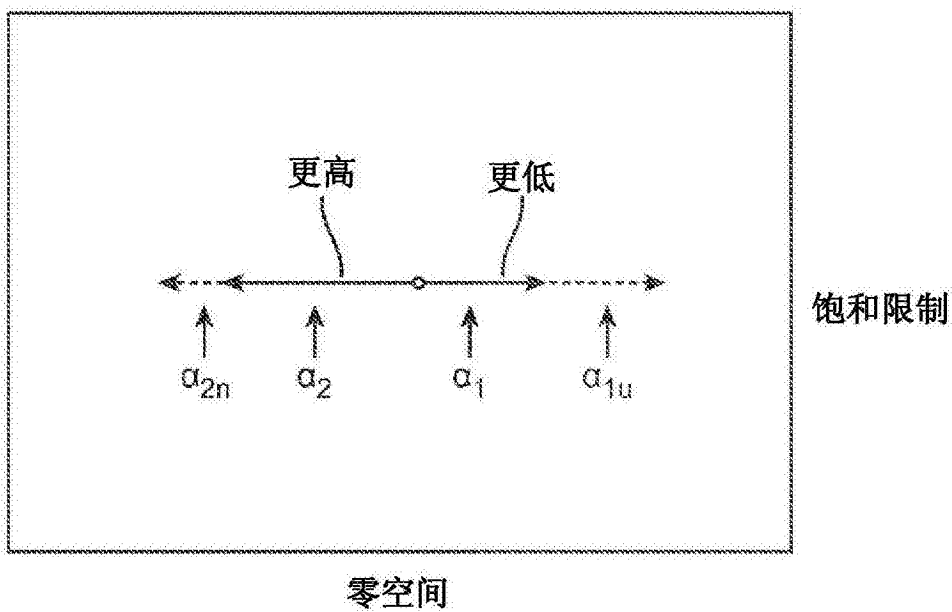


图14B

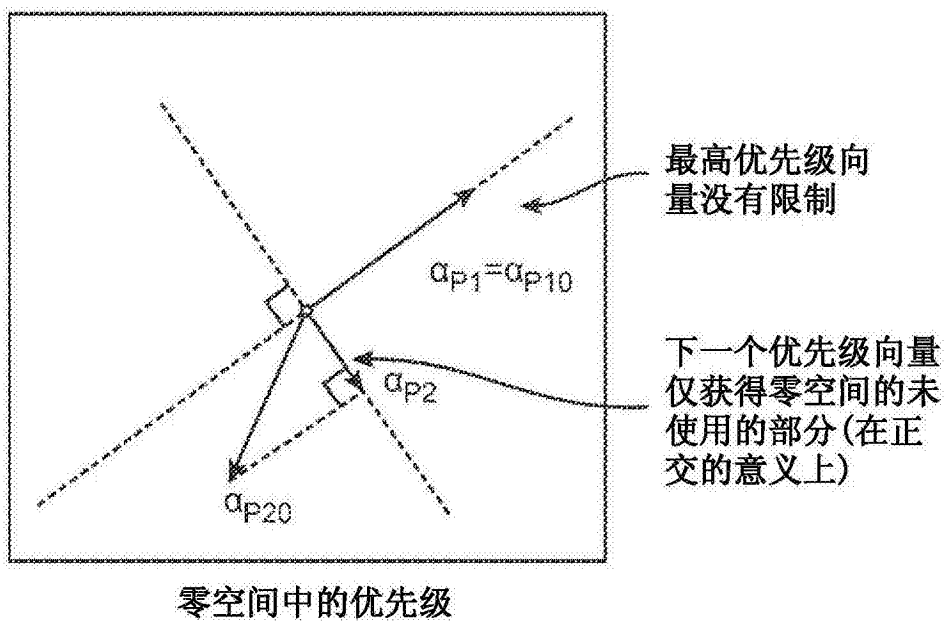


图14C

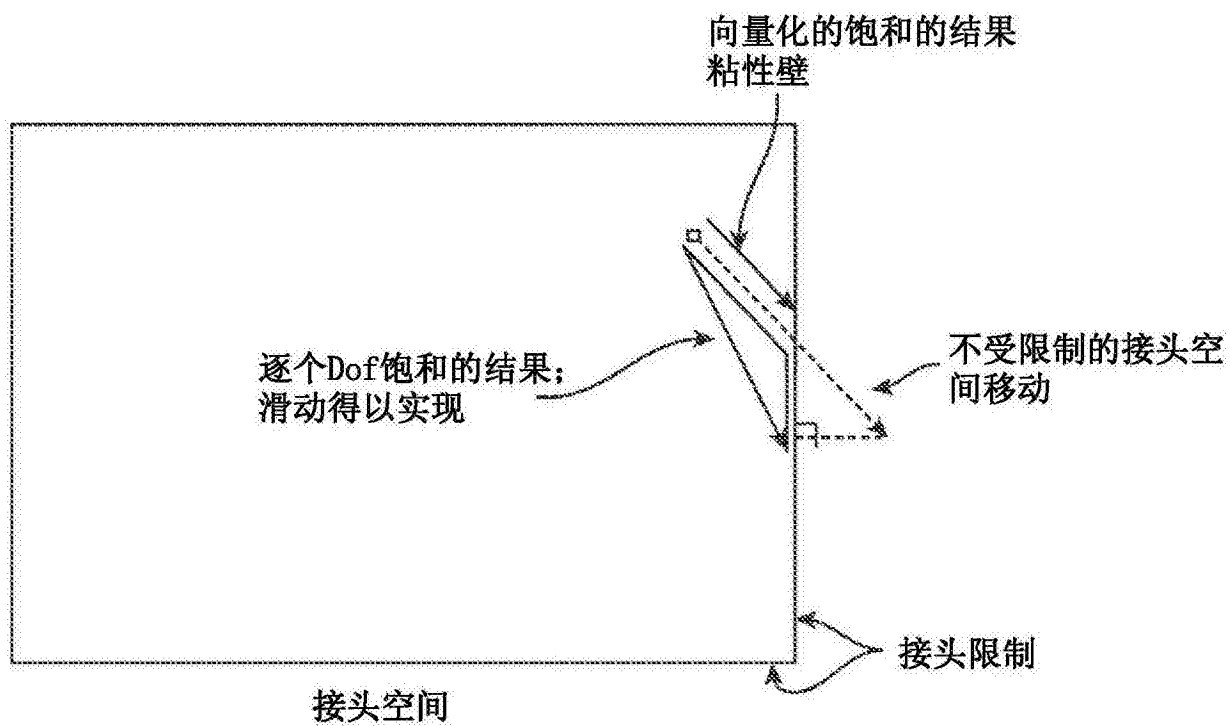


图14D

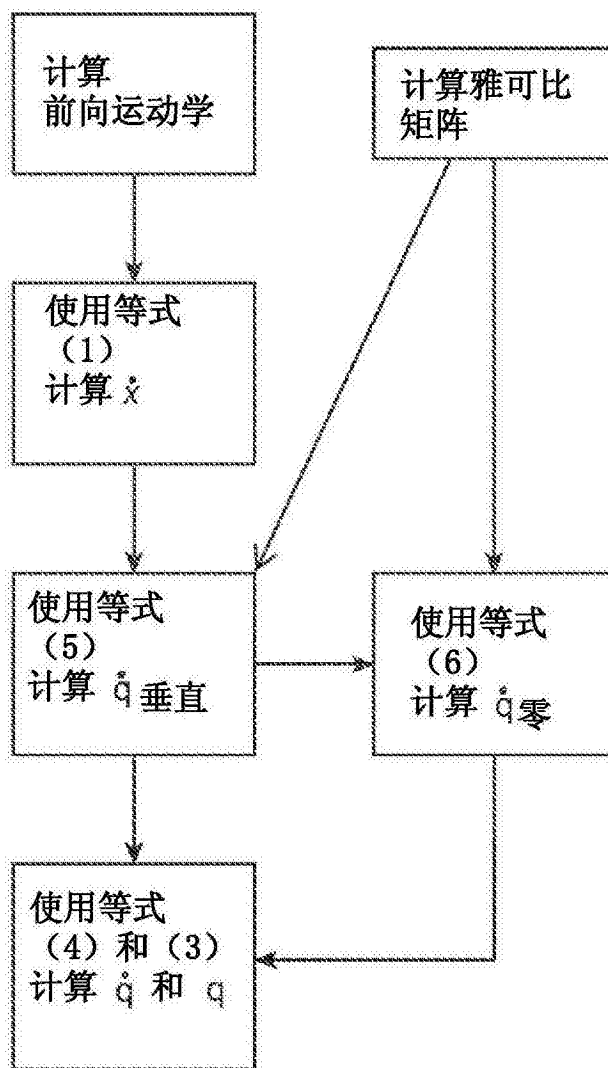


图15

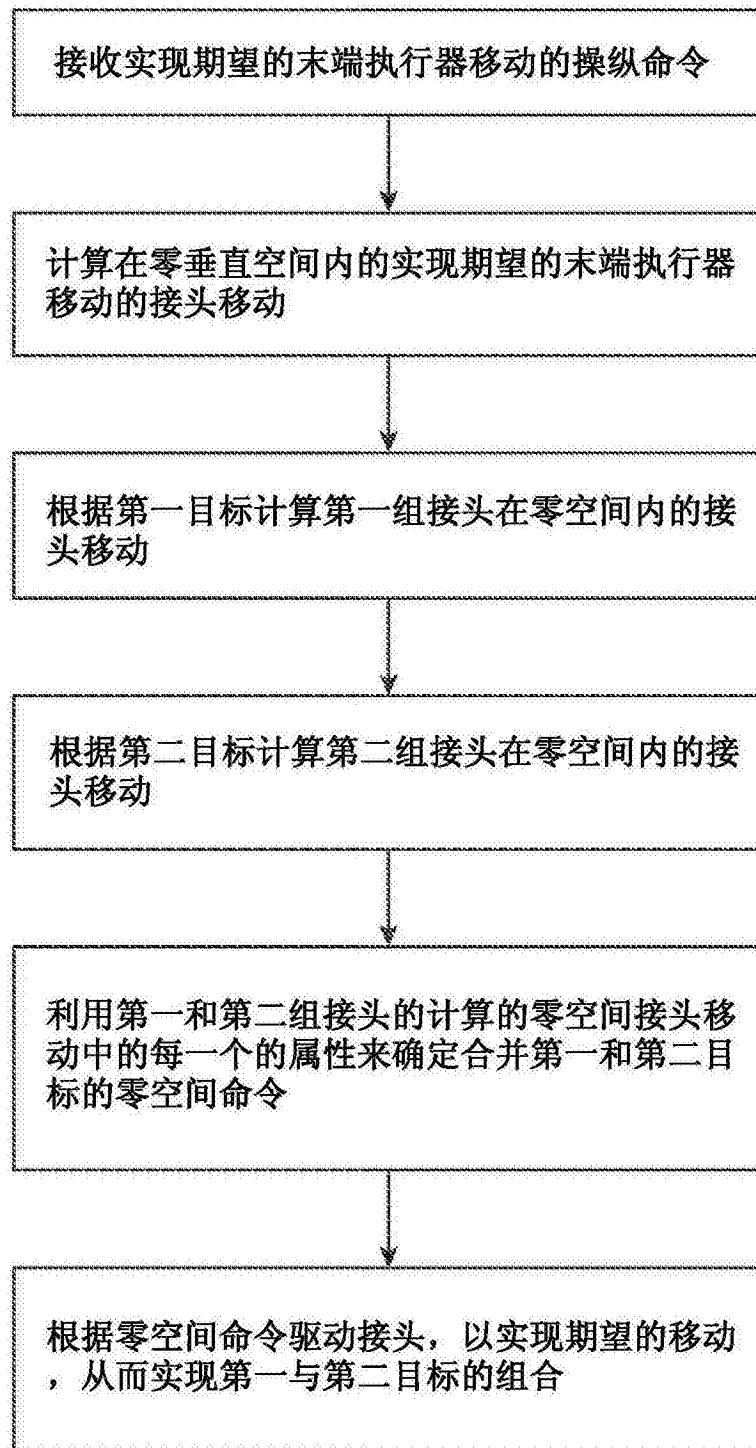


图16

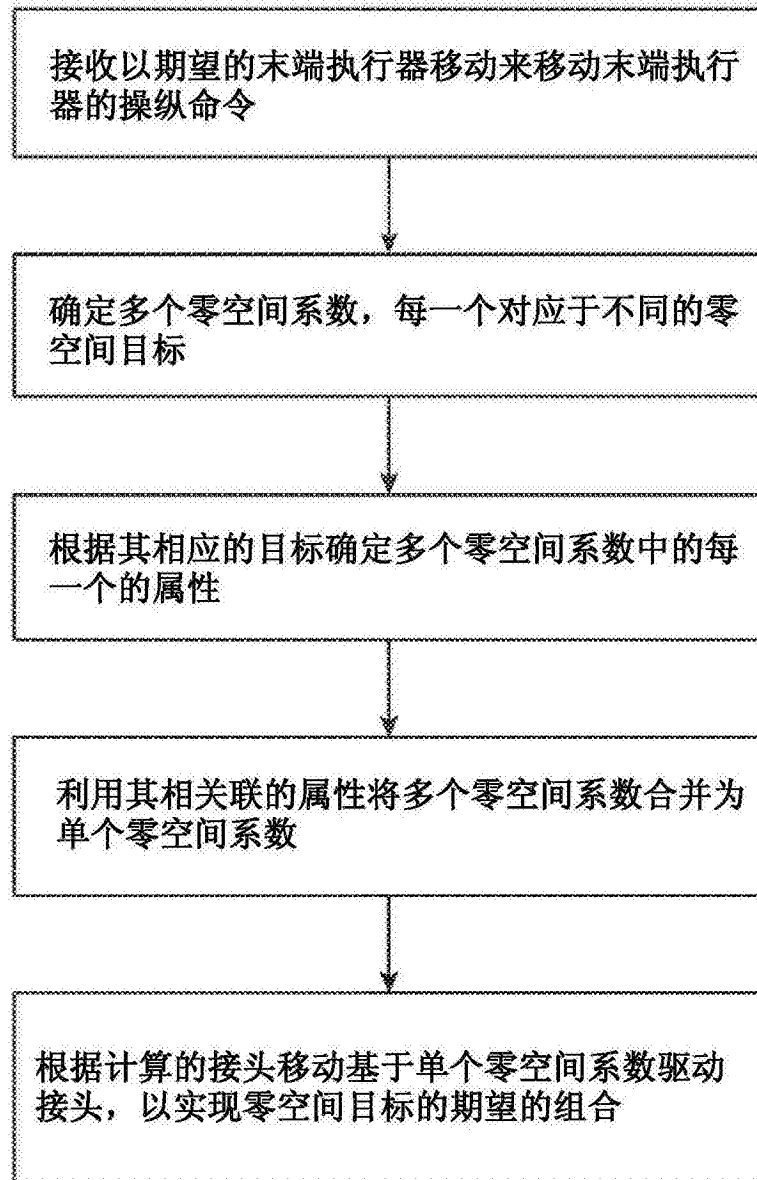


图17