



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104736094 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201380053691.5

(22)申请日 2013.08.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104736094 A

(43)申请公布日 2015.06.24

(30)优先权数据

61/683,576 2012.08.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.04.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/054838 2013.08.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/028558 EN 2014.02.20

(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 P·海英维 S·K·W·奥

R·A·博诺 N·迪奥拉伊蒂

A·M·乌尔塔斯 A·E·科尔德

M·特纳

(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 陆惠中

(51)Int.Cl.

A61B 34/30(2016.01)

B25J 13/08(2006.01)

B25J 13/06(2006.01)

B25J 19/04(2006.01)

(56)对比文件

US 2004/0039485 A1,2004.02.26,

WO 2010/122563 A1,2010.10.28,

US 2012/0078053 A1,2012.03.29,

WO 2012/049623 A1,2012.04.19,

CN 101360462 A,2009.02.04,

审查员 王婷婷

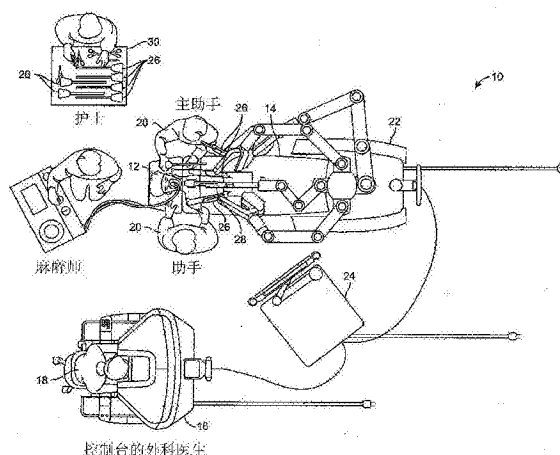
权利要求书2页 说明书26页 附图14页

(54)发明名称

操纵外科系统的活动的假想自由度

(57)摘要

通过患者的孔实施最小侵入性手术的方法、设备和系统。根据方法,接收来自与外科医生相关的输入装置的参数,该参数指示通过孔定向的外科器械的末端效应器的期望状态。外科器械被包含在机械组件中,该机械组件具有第一组接头。然后利用接收到的参数,通过计算用于控制第二组接头的指令,来计算用于控制机械组件的指令,第二组接头包括第一组接头和另外的接头,另外的接头不存在于机械组件中。然后驱动机械组件,从而基于计算的指令使末端效应器移向期望状态。



1. 一种操作机械组件的方法,所述方法包括:

接收来自与所述机械组件相关联的输入装置的参数,所述机械组件具有第一组接头,并且所述参数指示在所述机械组件的远端处被包括在所述机械组件中的器械的末端效应器的期望状态;

利用接收到的所述参数通过计算用于控制第二组接头的指令来计算用于控制所述机械组件的指令,所述第二组接头包括所述第一组接头和另外的接头,所述另外的接头对应于假想自由度,该假想自由度将不包括在所述机械组件中的接头配置的范围模型化;和

驱动所述机械组件,从而基于计算的指令使所述末端效应器移向期望状态。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二组接头可操作以控制所述末端效应器的滚动、俯仰、偏转或平移自由度。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述另外的接头可操作以控制选自下列的自由度:所述末端效应器的滚动、所述末端效应器的俯仰、所述末端效应器的偏转和所述末端效应器的平移。

4. 根据权利要求2所述的方法,其中所述另外的接头可操作以控制所述末端效应器的滚动。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述器械是摄像机,并且驱动所述机械组件包括移动所述摄像机的端部的方位。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中所述方位包括位置或方向中的至少一者。

7. 根据权利要求5所述的方法,其中移动所述摄像机的所述端部的所述方位包括通过操纵所述摄像机的俯仰和偏转以致使所述摄像机平移。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述摄像机在被致使平移时保持处于指定的位置处。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述输入装置包括可操作以控制所述器械的功能特性而非所述器械的方位的至少一个自由度。

10. 根据权利要求9所述的方法,进一步包括:

接收来自所述输入装置的用于致动所述器械的所述功能特性的参数;和

基于接收到的所述参数,致动所述器械的所述功能特性。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述功能特性选自由以下项组成的组:抽吸、冲洗、供能、切割和夹持。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中致动所述器械的所述功能特性,而非控制所述另外的接头。

13. 一种外科系统,所述系统包括:

外科医生控制台,包括输入装置,用于接收来自外科医生的输入;

至少一个操纵器结构,其可操作以接收第一外科器械和第二外科器械,所述第一外科器械具有第一数量的自由度,所述第二外科器械具有第二数量的自由度,并且所述第一数量的自由度不同于所述第二数量的自由度;和

控制器,用于控制与所述至少一个操纵器结构偶联的至少一个器械,

其中所述控制器可操作以利用所述第一外科器械的对应第一运动模型和所述第二外科器械的对应第二运动模型来控制所述第一外科器械和所述第二外科器械,

所述第一运动模型或所述第二运动模型中的至少一个包括假想自由度,该假想自由度将不包括在对应所述第一外科器械或第二外科器械中的接头配置的范围模型化。

14.根据权利要求13所述的系统,其中所述第一运动模型和所述第二运动模型具有相同数量的自由度。

15.根据权利要求13所述的系统,其中所述第一运动模型和所述第二运动模型均限定 $6 \times N$ 雅各比矩阵。

16.根据权利要求13所述的系统,其中所述假想自由度的值根据所述对应第一运动模型或第二运动模型的输出被抛弃。

17.根据权利要求13所述的系统,其中所述第一外科器械和相应的操纵器结构共同具有第三数量的自由度,所述第三数量的自由度不包括完全限定所述第一外科器械的方位所需的至少一个自由度。

18.根据权利要求17所述的系统,其中所述第二外科器械和相应的操纵器结构共同具有第四数量的自由度,所述第四数量的自由度不包括完全限定所述第二外科器械的方位所需的至少两个自由度。

19.根据权利要求13所述的系统,其中所述第一外科器械是摄像机,并且所述控制器可操作以控制所述摄像机的端部的方位。

20.根据权利要求19所述的系统,其中所述控制器可操作以通过操纵所述摄像机的俯仰和偏转自由度来致使所述摄像机平移或倾斜。

21.根据权利要求19所述的系统,其中所述控制器可操作以通过操纵所述摄像机平移来致使所述摄像机倾斜。

22.根据权利要求20所述的系统,其中所述控制器可操作以在致使所述摄像机平移时保持所述摄像机的位置处于患者的孔。

23.根据权利要求13所述的系统,其中所述第一外科器械具有至少一个非运动自由度。

24.根据权利要求23所述的系统,其中所述控制器可操作以致动所述至少一个非运动自由度,而非控制所述第一外科器械的运动自由度。

操纵外科系统的活动的假想自由度

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求2012年8月15日提交的美国临时申请号61/683,576的权益,其全部内容被引入本文作为参考,用于所有目的。

[0003] 本申请总体上与下列共同拥有的申请相关:美国临时申请号61/654,764,2012年6月1日提交,标题为“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null Space”;美国申请号12/494,695,2009年6月30日提交,标题为“Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities”;美国申请号12/406,004,2009年3月17日提交,标题为“Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion”;美国申请号11/133,423,2005年5月19日提交(美国专利号8,004,229),标题为“Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses”;美国申请号10/957,077,2004年9月30日提交(美国专利号7,594,912),标题为“Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery”;和美国申请号09/398,507,1999年9月17日提交(美国专利号6,714,839),标题为“Master Having Redundant Degrees of Freedom”,其全部公开内容被引入本文作为参考。

[0004] 发明背景

[0005] 本发明的实施方式总体上提供改良的外科和/或机器人装置、系统和方法。

[0006] 最小侵入性医疗技术的目的在于减少在诊断或外科程序期间损伤的外部组织量,从而减少患者恢复时间、不适、和有害副作用。在美国每年进行数百万的手术。这些手术中很多有可能可以最小侵入性方式进行。然而,由于最小侵入性外科器械和技术的限制和将其掌握所需的额外外科训练,当前仅相对少数量的手术应用这些技术。

[0007] 用于手术的最小侵入性远距外科系统正被研发,以增加外科医生的灵活性以及允许外科医生在远程位置对患者进行操作。远距外科是外科医生利用一定形式的远程控制——例如,伺服机构或类似形式——操纵外科器械活动,而非直接手持和手动器械的外科系统的统称。在这种远距外科系统中,给远程位置的外科医生提供以外科位点的图像。外科医生一般在适当的查看器或显示器上观看外科位点的三维图像的同时对患者进行外科程序——通过操纵主控制输入装置,其进而控制机器人器械的动作。机器人外科器械可穿过小型的最小侵入性外科孔被插入,以处理患者体内外科位点的组织,这样的孔造成一般与开放性手术相关的创伤。这些机器人系统可以以充分的灵活性活动外科器械的工作端,以进行相当复杂的外科任务——通常通过在最小侵入性孔处枢转器械的轴,使轴轴向滑动通过孔,旋转孔内的轴,和/或类似方式。

[0008] 用于远距外科的伺服机构通常接受来自两个主控制器(外科医生一手一个)的输入,并且可包括两个或更多个机器人臂或操纵器。手活动至图像采集装置显示的机器人器械的图像的映射可有助于为外科医生提供对各手关联的器械的精确控制。在多种外科机器人系统中,包括一个或多个额外的用于活动内窥镜或其他图像采集装置、额外的外科器械、或类似物的机器人操纵臂。

[0009] 多种结构安排可用于在机器人手术期间支撑外科位点的外科器械。被驱动连接机构或“从动装置”通常被称为机器人外科操纵器,并且在最小侵入性机器人手术期间用作机器人外科操纵器的示例性连接机构安排被描述于美国临时申请号61/654,764,2012年6月1日提交,标题为“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null Space”,和美国专利号6,758,843;6,246,200;和5,800,423,其充分公开的全部内容被引入本文作为参考。这些连接机构通常利用平行四边形安排,以固定具有轴的器械。这种操纵器结构可限制器械活动,使得器械轴围绕沿着刚性轴长度的空间定方位的球形旋转的远程中心枢转。通过将此旋转中心与内部外科位点的切口点对齐(例如,在腹腔镜手术期间利用腹壁处的套针或套管),可通过利用操纵器连接机构活动轴的近端,而不对腹壁强加危险性力,将外科器械的末端执行器安全地定方位。可选的操纵器结构被描述于,例如,美国专利号7,594,912;6,702,805;6,676,669;5,855,583;5,808,665;5,445,166;和5,184,601,其充分公开的全部内容被引入本文作为参考。

[0010] 虽然新型机器人外科系统和装置已被证明是高效和有利的,但仍期望进一步的改良。在一些情况下,外科医生使用的主控制器(一个或多个)具有的自由度(DOF)的数量多于或等于远程控制的机器人操纵臂和/或工具的末端执行器具有的自由度数量。在这种情况下,用于控制机器人操纵臂和/或工具的控制器可被过度限制。例如,在远程工具是延伸通过最小侵入性孔的刚性内窥镜的情况下,两个方向自由度在工作区内不可用(与接近末端执行器的工具腕相关的那些,例如,腕俯仰和偏转)。因此,具有内窥镜的机器人操纵器在其末端仅具有四个自由度。实际上,这些数学问题可以是有形的,导致对于外科医生而言滞后、反应迟钝的感觉,这是不期望的。进一步的问题可在具有不同自由度的工具与相同机器人外科操纵器一起使用时产生。例如,外科医生可希望利用具有三个自由度的夹爪,然后用具有两个自由度的抽吸装置取代夹爪。再进一步的问题可在输入和输出自由度不同的情况下利用估测的接头方位来控制工具活动时产生。这种情况可导致数值误差被施加于接头方位估测,从而造成不期望的工具活动。

[0011] 基于这些和其他原因,提供改良的装置、系统和方法用于手术、机器人手术、和其他机器人应用将是有益的。如果这些改良的技术提供通过具有的自由度数量少于外科医生操纵的主控制器的自由度数量的末端执行器而有效控制机器人操纵臂和/或工具的能力,则将是尤其有益的。如果这些改良的技术允许相同的计算引擎用于机器人系统的所有器械,从而减少控制器复杂性和成本,同时增加灵活性,则将是更加有益的。

[0012] 发明概述

[0013] 本发明的实施方式总体上提供改良的机器人和/或外科装置、系统和方法。在一个实施方式中,公开了操作外科系统的方法。该方法包括不同操作,包括接收来自外科医生相关的输入装置的参数,该参数指示通过孔定向的外科器械的末端效应器的期望状态,并且该外科器械被包含在具有第一组接头的机械组件中。方法还包括利用接收的参数通过计算用于控制第二组接头的指令来计算用于控制机械组件的指令,该第二组接头包括第一组接头和另外的接头,该另外的接头不存在于机械组件中。方法进一步包括驱动机械组件,从而基于计算的指令使末端效应器移向期望状态。

[0014] 根据另一实施方式,公开了用于通过患者的孔实施最小侵入性手术的外科系统。该系统包括外科医生控制台,其包括输入装置,用于接收来自外科医生的输入。系统还包括

至少一个操纵器结构,其可操作以接收第一外科器械和第二外科器械,该第一外科器械具有多个自由度,该多个自由度不同于第二外科器械的多个自由度。系统进一步包括控制器,用于控制与至少一个操纵器结构偶联的器械。在一些实施方式中,控制器可操作以利用第一器械的第一运动模型和第二器械的第二运动模型控制第一外科器械和第二外科器械。

[0015] 为更加充分地理解本发明的实质和优势,应参考下文详细描述和附图。本发明的其他方面、目的和优势将通过附图和下文详细描述显而易见。

[0016] 附图简述

[0017] 图1A是根据本发明的实施方式的机器人外科系统的俯视图。

[0018] 图1B图解图1A的机器人外科系统。

[0019] 图2是图1A的外科医生控制台的透视图。

[0020] 图3是图1A的电子推车的透视图。

[0021] 图4是患者侧推车的透视图,其具有多个操纵臂,每个操纵臂均支撑外科器械。

[0022] 图5是根据实施方式的操纵臂的透视图。

[0023] 图6A是根据实施方式的机器人手术工具的透视图,其包括末端执行器,该末端执行器具有相对钳夹爪。

[0024] 图6B示例根据实施方式的有腕内窥镜。

[0025] 图6C是根据实施方式具有抽吸端口的外套管的远端的透视图。

[0026] 图6D示例根据实施方式的无腕内窥镜。

[0027] 图7A是根据实施方式的主控制输入装置的透视图。

[0028] 图7B是图7A的输入装置的万向接头或腕的透视图。

[0029] 图7C是图7A的输入装置的铰接臂的透视图。

[0030] 图8是显示用于控制机械体的简化的系统的框图,其具有的自由度少于数学建模的那些。

[0031] 图9是根据实施方式的致动器的框图。

[0032] 图10A是显示根据第一实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0033] 图10B是显示根据第二实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0034] 图10C是显示根据第三实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0035] 图10D是显示根据第四实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0036] 图11A是显示根据第一实施方式的利用工具方位测量装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0037] 图11B是显示根据第二实施方式的利用工具方位测量装置控制操纵器组件的简化的系统的框图。

[0038] 图12A是根据实施方式具有多于五个自由度的操纵器组件。

[0039] 图12B显示示例根据实施方式的多个操纵器组件部件的接头方位的计算的框图。

[0040] 图13是显示根据第一实施方式的利用输入装置控制操纵臂、工具和/或末端执行

器的方法的流程图。

[0041] 图14是显示根据第二实施方式的利用输入装置控制操纵臂、工具和/或末端执行器的方法的流程图。

[0042] 发明详述

[0043] 本发明的实施方式总体上提供改良的用于控制机械体的活动的技术。一些实施方式尤其有利于用于外科机器人系统,其中多个外科工具或器械被安装在相关的多个机器人操纵器上并且在外科程序中通过相关的多个机器人操纵器活动。机器人系统通常包括遥控机器人、远距手术、和/或遥现(telepresence)系统,其包括被配置为主从式控制器的处理器。通过提供利用被适当配置以通过具有相对较大数量的自由度的铰接式连接机构活动操纵器组件的处理器机器人系统,可调整连接机构的动作,用于通过最小侵入性通入位点工作。

[0044] 本文描述的机器人操纵器组件通常包括机器人操纵器和安装在其上的工具(工具通常包括外科形式的外科器械),虽然术语“机器人组件”还包括其上未安装工具的操纵器。术语“工具”包括一般或工业机器人工具和专用机器人外科器械,其中后面这些结构通常包括适于组织操纵、组织处理、组织成像、或类似工作的末端执行器。工具/操纵器界面通常是快速断开工具固定器或偶联,允许快速移除工具和用替代性工具替换工具。操纵器组件通常具有基体,该基体在机器人程序的至少部分的过程中被固定在空间中,并且操纵器组件可包括在基体和工具末端执行器之间的多个自由度。例如,操纵器组件可包括操纵器的运动自由度以及连接于操纵器的工具的运动自由度。这些的组合在本文中可被称为“操纵器自由度”,并且一般被限定在接头空间中(下文描述)。末端执行器的致动(如打开或闭合夹持装置的夹爪、供能电外科桨、激活真空气压、或类似方式)通常独立于和加之于这些操纵器组件自由度。这些在本文中可被称为“致动自由度”。

[0045] 末端执行器(或者,更一般地,控制框,如下文描述)一般在工作区中在两个和六个自由度之间活动。末端执行器的自由度(或者,更一般地,控制框的自由度)在本文中可被称为“末端执行器自由度”,并且一般被限定在笛卡尔空间中(下文描述)。如本文所用,术语“方位”包括位置(定位)和方向(定向)。因此,末端执行器的方位的变化(例如)可包括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旋转至第二方向,或两者的组合。当用于最小侵入性机器人手术时,操纵器组件的活动可被系统的处理器控制,使得工具或器械的轴或中间部分通过最小侵入性外科通入位点或其他孔被限制至安全动作。这种动作可包括,例如,轴通过孔位点轴向插入外科工作区,轴绕其轴线旋转,和轴绕孔位点处的枢转点的枢转动作。

[0046] 本文描述的操纵器组件中多个的可用自由度少于与在末端执行器在工作区中的方位上完全控制一般相关的那些(其中末端执行器的完全控制需要末端执行器自由度包括三个独立的平移和三个独立的方向)。即,操纵器组件可具有不足数量或类型的自由度,用于独立地控制六个末端执行器自由度。例如,不具有铰接腕的刚性内窥镜末端可失去在腕处的一个或两个自由度,如腕俯仰和/或偏转。因此,内窥镜可仅具有四个或五个自由度来对末端执行器定方位,而非六个,因此有可能限制内窥镜的动作。

[0047] 然而,本文描述的操纵器组件中一些的自由度数量大于完全控制末端执行器的定方位所需的自由度数量(其中末端执行器的完全控制需要末端执行器自由度包括三个独立

的平移和三个独立的方向),但由于操纵器组件的接头的类型或安排,操纵器组件仍无法完全控制末端执行器的定方位。例如,操纵器组件可具有七个操纵器自由度,但其中三个是多余的。因此,末端执行器有效地具有五个自由度。

[0048] 与可用于控制末端执行器的方位的自由度数量无关,本文描述的操纵器组件还可促进额外的用于致动工具的自由度(即,致动自由度)。例如,操纵器组件可被配置以安装具有电炙探头的工具,其可操作以例如在激活后热选择组织。再例如,操纵器组件可被配置以安装具有真空装置的工具,其可操作以例如在激活后在选定组织周围施加抽吸力。在这种情况下,这些额外的自由度不是运动的,因此不影响末端执行器的方位(即,位置和方向)。

[0049] 术语接头“状态”或类似术语在本文中通常指代与接头相关的控制变量。例如,角接头的状态可指代该接头在其动作范围内限定的角度,和/或指代接头的角速度。类似地,轴向或棱形接头的状态可指代接头的轴向方位,和/或其轴向速度。虽然本文描述的控制器中多个包括速度控制器,但其通常还具有一些方位控制方面。可选的实施方式可主要或完全依靠方位控制器、加速控制器、或类似物。可用于这种装置的控制系统的多个方面被更充分地描述于美国专利号6,699,177,其全部公开内容被引入本文作为参考。因此,只要描述的活动基于相关计算,则本文描述的接头活动和末端执行器活动的计算可利用方位控制算法、速度控制算法、两者组合、和/或类似算法进行。

[0050] 在多个实施方式中,示例性操纵臂的工具绕最小侵入性孔邻近的枢转点枢转。在一些实施方式中,系统可利用硬件远程中心,如远程中心运动学,其被描述于美国专利6,786,896,其全部内容被引入本文。这种系统可利用双平行四边形连接机构,其限制连接机构的活动,使得由操纵器支撑的器械的轴绕远程中心点枢转。可选的机械限制的远程中心连接机构系统是已知的,和/或可在未来被研发。在其他实施方式中,系统可利用软件获得远程中心,如美国专利号8,004,229所述,其全部内容被引入本文作为参考。在具有软件远程中心的系统中,处理器计算接头的活动,从而绕期望的枢转点枢转器械轴的中间部分,这与机械限制相反。通过具有计算软件枢转点的能力,可选择性地实施特征在于系统依从性或刚性的不同模式。更具体地,可按需实施一定范围内的枢转点/中心(例如,可活动枢转点、被动枢转点、固定/刚性枢转点、软枢转点)的不同系统模式。

[0051] 在多种配置中,机器人外科系统可包括主控制器(一个或多个),具有的自由度数量少于、多于或等于远程控制的机器人操纵臂和/或工具具有的自由度数量。在这种情况下,用于控制机器人操纵臂和/或工具的基于雅各比的或其他的控制器一般提供完整数学方案和令人满意的控制。例如,完全控制刚性体的方位(即,位置和方向)可利用刚性体的六个可独立控制的自由度,其包括三个平移自由度和三个方向自由度。这使其本身适于其中应用 $6 \times N$ 雅各比矩阵的基于雅各比的控制算法。

[0052] 然而,当利用 $6 \times N$ 雅各比控制器控制具有少于6个自由度的机器人操纵臂和/或工具时,可由于过度限制数学问题而引起问题。例如,在远程工具是延伸通过最小侵入性孔(使得内窥镜在孔处枢转)的刚性内窥镜的情况下,两个操纵器自由度是不可用的(通常与末端执行器邻近的工具腕相关的那些,例如,腕俯仰和偏转。这两个失去的操纵器自由度中的每一个均影响末端执行器的平移和方向。因此,内窥镜仅具有在其末端的四个可独立控制的自由度(即,末端执行器自由度),这可导致 $6 \times N$ 雅各比方法的上述数学问题。实践中,这些数学问题通常是有形的。当例如命令内窥镜末端平移(pan)或倾斜时,由于其具有无腕

末端,其可仅进行一项,即进行两者的组合。换句话说,内窥镜末端可不是被独立地控制平移或倾斜;而是,其可仅进行这些的固定组合。这有可能导致对于外科医生而言滞后、反应迟钝的感觉,而这是不期望的。

[0053] 进一步问题通常在具有不同自由度的工具与相同机器人外科操纵器一起使用时产生。例如,外科医生可希望使用具有三个运动自由度的夹爪,然后用具有两个运动自由度的抽吸装置替换夹爪。由于控制夹爪动作的数学模型不同于控制抽吸装置动作的数学模型,机器人系统利用两个不同的模型来避免使用相同数学模型导致的上述问题。例如,在操纵器提供除工具自由度之外的三个自由度的情况下,控制夹爪和抽吸装置的动作的控制器可分别包括 $6 \times N$ 基于雅各比的控制器和 $5 \times (N-1)$ 基于雅各比的控制器。多个控制器的使用导致复杂度增加一层,这可增加成本和/或限制大组不同工具的可扩展性,并且 $5 \times (N-1)$ 雅各比由于其行数减少而使用更加复杂化。

[0054] 再进一步问题通常在利用操纵器组件的当前接头方位的估测结果控制接头的后续活动时产生。接头控制器可利用期望的接头方位和当前接头方位的估测结果的组合来确定施加于接头以使接头移动得更接近期望接头方位的适当扭矩。在操纵器组件的运动模型的自由度数量等于操纵器组件的自由度数量,但工具末端的方位经测量自由度数量较大的情况下,利用那些测量结果作为运动模型的输入以确定接头角会导致误差被赋予所得接头角计算结果。这些误差在利用那些接头角计算结果控制操纵器组件的动作时导致对操纵器组件的不期望的控制。

[0055] 虽然本文公开了具有多个自由度的操纵器组件——包括具有少于、等于或多于完全控制末端执行器方位的六个自由度的组件,但这些组件的多个实施方式缺少至少一个用于完全控制末端执行器方位的自由度。在操纵器组件可缺少这些自由度其中一个时,控制操纵器组件的输入装置(例如,主控制输入装置)可包括该缺少的自由度。根据本发明的实施方式,响应于控制操纵器组件失去的自由度(一个或多个)的输入,操纵器组件的其他可用的自由度可提供动作,从而模拟失去的自由度(一个或多个)的控制。这可通过利用包括和进行失去的操纵器自由度(一个或多个)的计算的操纵器组件的运动模型来实现。通过进行这种计算,可更有效控制操纵器组件的剩余自由度,致使末端执行器呈现沿要求的自由度(一个或多个)活动。进一步,这种运动模型的应用可有益地减少促进具有不同自由度数量的工具的定方位和/或致动的复杂性。

[0056] 在下文描述中,将描述本发明的不同实施方式。以说明为目的,提出具体配置和细节以提供对实施方式的充分理解。然而,对于本领域技术人员也是显而易见的是,本发明可在没有该具体细节的情况下实践。此外,为了不遮挡所述实施方式,公知的特征可被省略或简化。

[0057] 现参考附图,其中贯穿若干视图的相同参考编号代表相同部件,图1A是用于对躺在操作台14上的患者12进行最小侵入性诊断或外科程序的、根据多个实施方式的最小侵入性机器人外科(MIRS)系统10的俯视图示例。系统可包括供外科医生18在程序期间使用的外科医生控制台16。一个或多个助手20也可参与程序。MIRS系统10可进一步包括患者侧推车22(外科机器人)和电子推车24。患者侧推车22可通过患者12身体的最小侵入性切口操纵至少一个可移除式偶联的工具组件26(在下文中被简称为“工具”),同时外科医生18通过控制台16观看外科位点。外科位点的图像可通过成像装置28获得,如立体内窥镜,其可被患者侧

推车22操纵,从而方向成像装置28。电子推车24可用于处理外科位点的图像,从而随后通过外科医生控制台16显示给外科医生18。一次使用的外科工具26的数量总体上取决于诊断或外科程序和操作室内的空间限制以及其他因素。如果需要改变程序期间使用的工具26中的一个或多个,助手20可从患者侧推车22移除工具26,并用来自操作室中的托盘30的另一工具26将其替换。

[0058] 在某些实施方式中MIRS系统10是对患者进行最小侵入性诊断或外科程序的系统,其包括不同的构件,如外科医生控制台16、电子推车24、和患者侧推车22。然而,本领域普通技术人员将理解,该系统可通过具有相对于图1A示例较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图1A中的系统10的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0059] 图1B图解机器人手术系统50(如图1A的MIRS系统10)。如上所述,外科医生控制台52(如图1A中的外科医生控制台16)可在最小侵入性程序期间被外科医生用来控制患者侧推车(外科机器人)54(如图1A中的患者侧推车22)。患者侧推车54可利用成像装置,如立体内窥镜,来采集程序位点的图像并输出采集的图像至电子推车56(如图1A中的电子推车24)。如上所述,电子推车56可在任何随后的显示前以多种方式处理采集的图像。例如,电子推车56可用虚拟控制界面覆盖采集的图像,然后通过外科医生控制台52向外科医生显示组合图像。患者侧推车54可输出采集的图像,以在电子推车56之外处理。例如,患者侧推车54可输出采集的图像至处理器58,该处理器58可用于处理采集的图像。图像还可被电子推车56和处理器58的组合处理,电子推车56和处理器58可偶联在一起,以共同地、相继地和/或其组合处理采集的图像。一个或多个单独的显示器60也可与处理器58和/或电子推车56偶联,用于图像如程序位点的图像或其他相关图像的本地和/或远程显示。

[0060] 在某些实施方式中MIRS系统50是对患者进行最小侵入性诊断或外科程序的系统,其包括不同的构件,如外科医生控制台52、电子推车56、和患者侧推车54。然而,本领域普通技术人员将理解,该系统可通过具有相对于图1B示例减少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图1B中的系统50的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0061] 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展示能够实现深度感知的外科位点的协调立体视图。控制台16进一步包括一个或多个输入控制装置36,其进而导致患者侧推车22(图1A显示)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显示)相同的自由度,或更多自由度,从而向外科医生提供遥现,或输入控制装置36与工具26一体的感知,使得外科医生具有直接控制工具26的强烈意识。为此,可利用方位、力和触觉反馈传感器(未显示)将方位、力和触觉感受从工具26通过输入控制装置36传送到外科医生的手。

[0062] 外科医生控制台16通常与患者位于相同室中使得外科医生可直接监控程序——如需,在物理上存在——并且与助手直接交谈,而非通过电话或其他通信介质。然而,外科医生可位于不同室、完全不同的建筑、或其他允许远程外科程序的患者远程位置。

[0063] 在某些实施方式中外科医生控制台16是向科医生展示外科位点相关信息和从外科医生接收输入信息的装置,并且包括不同的构件,如眼视显示器和输入控制装置。然而,本领域普通技术人员将理解,外科医生控制台可通过具有相对于图2示例较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图2中外科医生控制台16的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0064] 图3是电子推车24的透视图。电子推车24可与成像装置28偶联,并且可包括处理器来处理采集的图像以随后显示,如在外科医生控制台上显示给外科医生,或在本地和/或远程所在的另一适当的显示器上显示。例如,在使用立体内窥镜的情况下,电子推车24可处理采集的图像,以向外科医生展示外科位点的协调立体图像。这种协调可包括相反图像之间的对齐,并且可包括调节立体内窥镜的立体工作距离。作为另一实例,图像处理可包括预先确定的照相机校正参数的采用,从而补偿图像采集装置的成像误差,如光学像差。

[0065] 在某些实施方式中电子推车24是向外科团队展示手术相关信息的装置,并且包括不同的构件,显示器、处理器、存储元件等。然而,本领域普通技术人员将理解,电子推车可通过相对于图3示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图3中电子推车24的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0066] 图4显示患者侧推车22,其具有多个操纵臂,分别在操纵臂的远端支撑外科器械或工具26。显示的患者侧推车22包括四个操纵臂100,其可用于支撑外科工具26或成像装置28,如立体内窥镜——用于采集程序位点的图像。操纵由机器人操纵臂100提供,该机器人操纵臂100具有多个机器人接头,其中每个接头提供操纵器自由度。每个接头的角可由致动器如马达或马达组件控制,并且在一些实施方式中每个接头的角可利用位于或接近每个接头的一个或多个传感器(例如,编码器、或电位计、或类似物)来测量。成像装置28和外科工具26可通过患者的切口来定方位和操纵,使得运动远程中心保持处于切口,从而最小化切口的尺寸。外科位点的图像可包括外科器械或工具26的远端的图像——在其定方位在成像装置28的视野内时。

[0067] 关于外科工具26,可使用多种不同类型和不同末端执行器的可选的机器人外科工具或器械,其中操纵器中至少一些的器械在外科程序期间被移除和替换。这些末端执行器——包括DeBakey钳,微型钳,Potts剪,和施夹器——中的若干包括第一和第二末端执行器元件,其相对彼此枢转,从而限定末端执行器夹爪对。其他末端执行器,包括手术刀和电炙探头,具有单一末端执行器元件。关于具有末端执行器夹爪的器械,夹爪通常通过挤压手柄的夹持部件来致动。单一末端执行器器械还可通过夹持部件的夹持来致动,例如,从而供能电炙探头。

[0068] 器械26的伸长轴使末端执行器和轴远端通过最小侵入性孔,通常通过腹壁或类似物,在远侧插入外科工作位点。外科工作位点可被吹张,并且末端执行器在患者体内的活动通常至少部分受到器械26围绕轴通过最小侵入性孔的位置枢转的影响。换句话说,操纵器100将移动患者外侧的器械近端外壳,使得轴延伸通过最小侵入性孔位置,从而有助于提供末端执行器的期望活动。因此,操纵器100通常在外科程序期间在患者12外侧进行显著活动。

[0069] 在某些实施方式中患者侧推车22是提供用于协助对患者的外科程序的外科工具的装置,并且可包括不同的构件,如操纵臂100和工具26。然而,本领域普通技术人员将理解,患者侧推车可通过相对于图4示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图4中患者侧推车22的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0070] 可参考图5理解根据本发明的一些实施方式的示例性操纵臂。如上所述,操纵臂通常支撑远侧器械或外科工具,并且影响器械相对于基体的活动。由于多个具有不同末端执行器的不同器械可在外科程序期间被相继安装在各操纵器上(一般借助于外科助手),远侧

器械固定器将优选地允许被安装器械或工具的快速移除和替换。参考图4可理解,操纵器被近侧安装至患者侧推车的基体。一般,操纵臂包括多个连接机构和在基体和远侧器械固定器之间延伸的相关接头。一方面,示例性操纵器包括多个接头,其具有多余的或不多余的自由度,但缺少至少一个完全指定末端执行器的方位(即,位置和方向)所需的自由度。

[0071] 在多个实施方式中,如图5所示那种,示例性操纵臂包括近侧回转接头J1,其围绕第一接头轴线旋转,从而使接头远侧的操纵臂围绕接头轴线旋转。在一些实施方式中,回转接头J1被直接安装于基体,而在其他实施方式中,接头J1可被安装于一个或多个可活动连接机构或接头。组合的操纵器接头可具有多余的自由度,使得操纵臂的接头可被驱使进入用于给定末端执行器方位的不同配置的范围。例如,图5的操纵臂可被调动至不同配置,而器械固定器510内支撑的远侧器械或工具511保持特定状态,其可包括末端执行器的给定方位或速度。在一些实施方式中,操纵器的接头不可操作以独立地控制完全限定工具511的方位的六个末端执行器自由度中的至少一个。例如,操纵器可以不可操作以致使工具511独立地滚动、俯仰、偏转、和/或沿一个或多个方向平移。

[0072] 描述图5的操纵臂500的各个连杆和如图5示例连接连杆的接头的旋转轴线,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偶联于回转接头J1,该回转接头J1绕其接头轴线旋转。其余接头中很多可通过其相关旋转轴线被识别,如图5所示。例如,第一连杆504的远端在枢转接头J3——绕其枢转轴线枢转——处偶联于第二连杆506的近端,并且第三连杆508的近端在枢转接头J4——绕其轴线枢转——处偶联于第二连杆506的远端,如示。第三连杆508的远端在枢转接头J5处偶联于器械固定器510。一般,接头J2、J3、J4、和J5中每一个的枢转轴线基本上平行,并且连接机构在彼此相邻定方位时呈现“堆叠”,从而使操纵臂的宽度减少和在调动操纵器组件期间提高患者清拆(clearance)。在多个实施方式中,器械固定器510还包括额外的接头,如棱形接头J6,其促进器械511通过最小侵入性孔的轴向活动和促进器械固定器510附接至器械511滑动插入的套管。在一些实施方式中,即使在组合器械固定器510的自由度与操纵臂500其余自由度时,所得自由度也仍不足以提供完全限定工具511的方位所需的六个自由度中的至少一个。

[0073] 器械511可包括器械固定器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将器械在可快速拆卸的器械固定器/器械界面与支撑操纵器结构分开,使得在此显示处于器械上的一个或多个接头反而处于界面上,或反之亦然。在一些实施方式中,器械511包括在通常被布置在最小侵入性孔的位点的工具末端插入点或枢转点PP附近或近侧的旋转接头J7(未显示)。器械的远侧腕允许外科工具511的末端执行器绕处于器械腕的一个或多个接头的器械接头轴线进行的枢转动作。末端执行器夹爪元件之间的角可独立于末端执行器位置和方向被控制。虽然外科工具511提供的这些额外的运动自由度可被认为是操纵器自由度的部分,但在一些实施方式中,即使组合外科工具511的运动自由度与操纵臂500的那些运动自由度(包括,例如,器械固定器510的那些运动自由度),所得运动自由度也仍不足以完全控制工具511的末端的方位。

[0074] 在某些实施方式中操纵臂500是固定和控制工具的机械体,并且可包括多个连杆和接头。然而,本领域普通技术人员将理解,操纵臂可通过相对于图5示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图5中操纵臂500的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0075] 图6A显示外科工具600,其包括近侧机壳602、器械轴604、和远侧末端执行器606,该远侧末端执行器606具有夹爪608,该夹爪608可铰接以夹持患者组织。近侧机壳包括输入耦合器,其被配置以与患者侧推车22(图1A)的输出耦合器相互联系并受其驱动。输入耦合器与弹簧组件610的输入连杆驱动地偶联。弹簧组件610被安装于近侧机壳602的框架612,并且包括输出连杆,该输出连杆与布置在器械轴604内的驱动轴驱动地偶联。驱动轴与夹爪608驱动地偶联。

[0076] 根据一些实施方式和如图6A显示,外科工具600可不包括任何改变末端执行器606的方位的自由度。在其他实施方式中,外科工具600可包括一个或多个接头,用于增加改变末端执行器606的方位的自由度。例如,器械轴604可包用于改变末端执行器606的俯仰和/或偏转的接头。进一步,在一些实施方式中和如图6A显示,外科工具600可包括一个或多个自由度,用于致动末端执行器606。例如,弹簧组件610可以可操作以致动夹爪608。外科工具600的额外特征以及其他外科工具,被描述于2011年11月15日提交的共同拥有的美国申请号13/297,158,其标题为“Method for Passively Decoupling Torque Applied By a Remote Actuator Into an Independently Rotating Member”,其公开的全部内容被引入本文作为参考。

[0077] 图6B示例有腕内窥镜620,其在一些实施方式中可用于机器人最小侵入性手术。内窥镜620包括伸长轴622和位于轴622的工作端的可弯曲的腕624。外壳626使外科器械620可释放地偶联于位于轴624的相反端的操纵器。内窥镜摄像机镜头在可弯曲的腕624的远端实施。腔(未显示)沿连接可弯曲的腕624的远端至外壳626的轴622的长度延伸。在“纤维镜”实施方式中,内窥镜620的成像传感器(一个或多个),如电荷耦合装置(CCD),可被安装在外壳626内部,其中连接的光纤沿轴622长度在腔的内部延伸并且基本上终止于可弯曲的腕624的远端。在可选的“棒上芯片”实施方式中,内窥镜620的成像传感器(一个或多个)可被安装在可弯曲的腕624的远端。成像传感器(一个或多个)可以是二维或三维的。

[0078] 在一些实施方式中,可弯曲的腕624可具有至少一个自由度,以使内窥镜620容易在内部身体组织、器官等周围铰接和调动,以到达期望的目的地(例如,心外膜或心肌组织)。外壳626可容纳驱动机构,用于铰接可弯曲的腕624的远侧部分。驱动机构可以是线缆驱动式、齿轮驱动式、带驱动式、或另一类型的适于沿其自由度(一个或多个)驱动可弯曲的腕624的驱动机构。例如,在一个实施方式中,可弯曲的腕624可具有两个平移自由度,并且轴622可以可操作以围绕沿轴622长度的轴线旋转。在一些医疗程序中,铰接内窥镜620在内部器官、组织等周围调动和铰接,以获得难以看见和/或难以到达位置的视觉图像。内窥镜620的额外特征以及其他外科工具被描述于2005年12月27日提交的共同拥有的美国申请号11/319,011,其标题为“Articulate and Swapable Endoscope for a Surgical Robot”,其公开的全部内容被引入本文作为参考。

[0079] 图6C是具有抽吸端口的外套管的远端的透视图。外套管630限定器械腔632,该器械腔632延伸穿过外套管630,以允许器械通过。外套管630进一步包括一个或多个抽吸通道634,该抽吸通道634偶联于真空源。外套管630在多个实施方式中可由多种适于外科使用的材料中的任意种形成,并且可被赋予多种刚度中的任意种。例如,外套管630可包括基本上刚性的材料,可包括可弯曲的材料,或可包括一个或多个基本上刚性部分和一个或多个可弯曲的部分的组合,以提供可弯曲结构。外套管630的横截面形状也可改变。在示例的实施

方式中,外套管630具有基本上圆形的横截面形状,并且由聚氨酯制成。在其他实施方式中,可根据应用采用其他横截面形状,如,例如,椭圆形、矩形、三角形等。

[0080] 在示例的实施方式中,抽吸通道634包括处于外套管630的壁内的多个真空腔,其中每个真空腔偶联于真空源(未显示)。可操作真空源以在每个抽吸通道634中产生真空压力,从而产生对抽吸通道634接触的组织表面的抽吸力。由于该抽吸力,外套管630将附接至组织表面。如果真空压力中断,则组织表面将被释放,并且外套管630将不再附接至组织。因此,通过经由抽吸通道634可控地提供抽吸力,外套管630可被可释放地附接至患者组织表面。然后可通过器械腔200插入外科器械,如灌注工具、切割工具等,以处理布置在器械腔632内的组织。

[0081] 根据一些实施方式,外套管630可由基本上刚性的材料制成,并且不包括任何改变外套管630方位的自由度。在其他实施方式中,外套管630可包括用于增加改变外套管630远端方位的自由度的一个或多个接头。例如,外套管630可包括用于改变外套管630远端的俯仰和/或偏转的接头。进一步,在一些实施方式中,外套管630可包括一个或多个自由度,用于致动外套管630的功能。例如,真空源(未显示)可以可操作以产生或去除一个或多个抽吸通道634中的真空压力。外套管630的额外特征以及其他外科工具被描述于2006年12月29日提交的共同拥有的美国申请号11/618,374,其标题为“Vacuum Stabilized Overtube for Endoscopic Surgery”,其公开的全部内容被引入本文作为参考。

[0082] 图6D示例无腕内窥镜640,其在一些实施方式中可用于机器人最小侵入性手术。无腕内窥镜640类似于图6B所示并且参考图6B讨论的有腕内窥镜620,因此类似地包括外壳646和轴622。差别是无腕内窥镜640不包括可弯曲的腕。无腕内窥镜与有腕内窥镜相比具有减少的自由度数量,并且在此具体实例中,无腕内窥镜640不具有腕式俯仰或腕式偏转。

[0083] 外科工具600、内窥镜620、和外套管30是包括多种构件的不同工具。然而,本领域普通技术人员将理解,这些工具可通过相对于图6A至6C示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。进一步,还将理解,其他工具也可被使用或替代地使用,如夹持装置、电外科桨、真空装置、灌注器、装订器、剪刀、刀等。因此,图6A至6C中外科工具的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0084] 图7A是主控制输入装置700的透视图,其可以是根据实施方式的外科医生控制台16(图1A)的部分。主控制700包括万向接头或腕720,其可操作地偶联于铰接臂740。

[0085] 主控制输入装置700具有多个自由度,并且可操作以控制操纵器组件(例如,图5的操纵臂500)。输入装置700的自由度包括输入装置700的接头限定的运动自由度,用于控制操纵臂500的活动,并且还可包括致动自由度,用于致动连接于操纵臂500的工具(例如,器械511)。输入装置700,如同操纵臂500的工具,也可被考虑具有与其相关的末端执行器(或者,更一般地,控制框),该末端执行器本身具有多个运动自由度。

[0086] 在一些实施方式中,输入装置700可具有足量自由度,以完全控制末端执行器的方位。例如,输入装置700可具有可独立地控制器械511的末端执行器的三个平移和三个方向自由度的六个自由度。在一些情况下,即使输入装置700具有这种足量自由度,操纵器组件(例如,操纵臂500)仍具有不足以独立地控制末端执行器的三个平移和三个方向自由度的自由度数量。例如,操纵臂500可仅具有五个自由度。

[0087] 在一些实施方式中,输入装置700可具有额外的自由度,其可以是可操作以控制末

端执行器的方位的自由度(例如,多余的自由度),和/或可以是可操作以致动器械26(例如,打开或关闭抽吸或灌注、致动钳具、啮合U形钉与组织、等)的自由度。具有额外的自由度的输入装置被描述于2002年4月11日提交的共同拥有的美国申请号10/121,283,其标题为“Master Having Redundant Degrees of Freedom”,其公开的全部内容被引入本文作为参考。进一步,在至少一个实施方式中,单独或与操纵臂500组合的器械511可具有在操纵臂500的自由度之外的额外的运动自由度。例如,器械511可具有用于控制末端执行器的方位的接头。在一些情况下,即使在组合操纵臂500的运动自由度与器械的运动自由度时,末端执行器的方位也不可被完全控制。这可以是例如由于器械511的接头仅增加对于操纵臂500已提供的运动自由度而言多余的运动自由度。在一些实施方式中,器械511可具有额外的致动自由度,用于致动器械511(例如,打开或关闭抽吸或灌注、致动钳具、啮合U形钉与组织、等)。

[0088] 为促进器械511的控制,主控制输入装置700可包括一个或多个致动器或马达,以及在一些实施方式中,针对主控制输入装置700的多个接头中的每一个的传感器。输入装置700的马达和传感器可通过控制系统被可操作地连接于与操纵臂(例如,图5的臂500)和其上安装的外科器械(例如,图5的器械511)相关的马达和传感器,该控制系统被布置于例如外科医生控制台16、电子推车24、和/或患者推车22、和/或MIRS系统10(图1)的任何其他元件中。控制系统可包括一个或多个处理器,用于在主控制装置输入和响应性机器人臂和外科器械输出之间产生控制和用于在例如力反馈的情况下在机器人臂和外科器械输入和响应性主控制输出之间产生控制。

[0089] 图7B是根据实施方式的万向接头或腕720的透视图。根据此实施方式,万向接头或腕720允许可致动手柄722围绕三个轴线——轴线1、轴线2和轴线3——旋转。更具体地,手柄722通过第一枢转接头726偶联于第一肘形连杆724。第一连杆724通过第二枢转接头730偶联于第二肘形连杆728。第二连杆728通过第三枢转接头734枢转地偶联于第三肘形连杆732。万向接头或腕720可在轴线4处被安装在铰接臂740(如图7A显示)上,使得万向接头或腕720可围绕轴线4角度移位。通过这种连杆和接头,万向接头或腕720可为控制输入装置700提供多个运动自由度,并且可操作以控制末端执行器自由度中的一个或多个。

[0090] 在一些实施方式中,手柄722可包括夹持部件对723,用于致动工具或末端执行器。例如,通过打开或闭合夹持部件723,可类似地打开或闭合末端执行器606(图6)的夹爪608。在其他实施方式中,手柄722和/或外科医生控制台16的其他元件中的一个或多个输入元件可以可操作以致动器械511的除控制器械26的方位的自由度以外的一个或多个自由度。例如,外科医生控制台16可包括脚踏板,其偶联于控制系统,用于激活和撤销真空压力。

[0091] 在一些实施方式中,万向接头或腕720的接头可被可操作地连接于致动器,例如电力马达或类似物,以提供例如力反馈、重力补偿和/或类似物。此外,传感器,如编码器、电位计和类似物,可被方位处于或接近万向接头或腕720的各接头,从而能够通过控制系统确定万向接头或腕720的接头方位。

[0092] 图7C是根据实施方式的铰接臂740的透视图。根据此实施方式,铰接臂740允许万向接头或腕720(图7B)围绕三个轴线——轴线A、轴线B和轴线C——旋转。更具体地,万向接头或腕720可在轴线4处被安装在臂740上,如前参考图7B描述。万向接头或腕720偶联于第一连杆742,该第一连杆742通过第一枢转接头746枢转地偶联于第二连杆744。第二连杆744

通过第二枢转接头750枢转地偶联于第三连杆748。第三连杆748可通过第三枢转接头752枢转地偶联于外科医生控制台16(图1)。通过这种连杆和接头,铰接臂740可为控制输入装置700提供多个运动自由度,并且可操作以控制操纵器组件的运动自由度中的一个或多个,从而控制器械(例如,图5的器械511)的方位。

[0093] 在一些实施方式中,铰接臂740的接头可以可操作地连接于致动器例如电力马达或类似物,以提供例如力反馈、重力补偿和/或类似物。此外,传感器,如编码器、电位计和类似物,可被定方位处于或接近铰接臂740的每个接头,从而能够通过控制系统确定铰接臂740的接头方位。

[0094] 在某些实施方式中输入装置700是用于接收来自外科医生或其他操作人员的输入的装置,并且包括不同的构件,如万向接头或腕720和铰接臂740。然而,本领域普通技术人员将理解,输入装置可通过相对于图7A至7C示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图7A至7C中输入装置700的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0095] 图8是框图,显示用于控制相对于数学建模的那些具有较少自由度的机械体的简化的系统800。系统800包括信息源810、具有运动模型822的运动处理器820、一个或多个致动器830和机械体840。

[0096] 信息源810可以是用于控制机械体方位的控制信息812的任何适当的来源。在一个实施方式中,信息源810是输入装置,如外科医生控制台16(图1)、输入控制装置36(图2)、和/或主控制输入装置700(图7A至7C)。在这种实施方式中,控制信息812可以是具有N个自由度的机械体的期望方位。在一个实施方式中,N个自由度是完全限定机械体的方位所需的那些,即,三个可独立控制的平移和三个可独立控制的旋转。因此,来自信息源810的输出可包括完全控制机械体的方位的参数。在一个实施方式中,N个自由度不足以完全限定机械体的方位。例如,N个自由度是不足以独立地控制机械体的三个平移和三个旋转全部的自由度。因此,来自信息源810的输出可包括不足以完全控制机械体方位的参数。在又一实施方式中,N个自由度可包括一个或多个不限定机械体方位的自由度(即,非运动自由度)。例如,N个自由度可包括一个或多个致动器械如致动真空压力的自由度。因此,来自信息源810的输出可包括控制机械体的非运动特征的参数。这些可不限于通过真空压力抽吸,而且另外地或可选地可包括灌注、供能(例如,烧灼)、切割(利用例如单刀片或多刀片如剪刀)、和抓握(利用例如钳子、指或类似物)。

[0097] 在一些实施方式中,当信息源810是输入装置时,输入装置本身也具有N个自由度,使得至少在一些情况下,输入装置的各自由度可对应于机械体的自由度。例如,输入装置的滚动可对应于机械体的期望滚动,或输入装置的俯仰可对应于机械体的期望俯仰。在其他实施方式中,输入装置可具有多于或少于机械体的多个自由度。例如,输入装置可具有一个或多个多余的自由度,而机械体可不具有多余的自由度。再例如,机械体可具有一个或多个多余的自由度,而输入装置可不具有多余的自由度。

[0098] 虽然输入装置提供指示具有N个自由度的机械体的期望方位的输出,但通过输入装置控制的机械体840缺失完全限定机械体的方位必要的自由度中的至少一个。例如,机械体840可缺少滚动、偏转、和/或俯仰自由度,和/或可缺失上/下、左/右、和/或前/后平移自由度。在N表示控制机械体方位的自由度数量并且M表示机械体缺少的关于方位的自由度数量的情况下,则在一个实施方式中机械体可具有N-M个自由度。例如,N可等于6,对应于机械

体的全部三个平移和全部三个旋转,而M可表示1,对应于机械体的滚动。然而,在其他实施方式中,机械体可具有N个或甚至大于N个自由度,如在机械体包括多余的自由度,但仍缺少至少一个完全限定机械体方位所需的自由度的情况下。

[0099] 在其他实施方式中,信息源810不是如同外科医生控制台的输入装置,而是工具方位测量装置。在此情况下,运动框820不是控制器,而是接头方位估测器。例如,工具方位测量装置可包括延伸经过工具组件26长度至工具组件26的自由端的光纤、安排在操纵器组件的接头近侧的电磁传感器、或可操作以测量操纵器组件的接头的方位的其他传感器或成像装置。在多个实施方式中,工具方位测量装置足够小和轻从而不干扰工具的动作。在工具方位测量装置包括光纤的实施方式中,光纤的性质(例如,折射指数)可根据接头方位的变化而改变。光纤传感器的一些实例被描述于美国专利申请公开号US2007/0156019A1(2006年7月20日提交),标题为“Robotic Surgery System Including Position Sensors Using Fiber Bragg Gratings”,Larkin等,和美国专利申请号12/164,829(2008年6月30日提交),标题为“Fiber optic shape sensor”,Giuseppe M. Prisco,其全部内容均被引入本文作为参考,用于所有目的。然后工具方位测量装置可以基于光纤的变化性质可操作以确定工具末端(例如,工具组件26的自由端)的方位。工具方位测量装置可进一步可操作以测量工具的多个自由度的方位。例如,工具方位测量装置可测量工具的一个、两个或三个平移方位(例如,x、y、z方位),和/或工具的一个、两个或三个方向方位(例如,俯仰、偏转、滚动)。在至少一个实施方式中,工具方位测量装置可能不可操作以测量工具的一个或多个自由度方位。例如,在工具方位测量装置包括光纤并且基于光纤性质变化推断末端方位时,工具方位测量装置可具有确定工具的滚动活动的困难。在信息源810是工具方位测量装置的实施方式中,控制信息812可以是测量信息,指示工具末端的自由度的测量方位。

[0100] 在一些实施方式中,工具方位测量装置可以可操作以测量少于、等于或大于操纵器组件多个自由度的工具多个自由度的方位。在多个实施方式中,如关于信息来源是输入装置时已经描述,机械体可具有不足以完全限定机械体方位的N个自由度,可包括非运动自由度,可包括多余的自由度,等。

[0101] 来自信息源810的输出,与信息源810是输入装置还是工具方位测量装置无关,在运动处理器820中被施加于N个自由度机械体的运动模型822。运动处理器820可被提供在MIRS系统10(图1)中任何适当的构件中,如外科医生控制台16、电子推车24、和/或患者侧推车22、工具组件26、操纵器组件、和/或参考图7A讨论的控制系统。

[0102] 在信息源810是输入装置的实施方式中,运动模型822可以是具有N个自由度的机械体的模型,所述N个自由度对应于输入装置输出期望控制的N个自由度。例如,输入装置可输出用于完全控制机械体方位的参数,如控制机械体的三个平移和三个旋转的参数。然后运动模型822可以是具有三个平移和三个旋转的机械体的运动模型。在一些实施方式中,不限定机械体方位的一个或多个自由度可以被独立于运动模型822建模或以其他方式控制。无论如何,在大多数实施方式中,运动模型822包括机械体840缺少的一个或多个自由度的数学表示。例如,机械体840可缺少用于控制机械体840的滚动的自由度。然而,运动模型822可以是具有控制机械体滚动的自由度的机械体的运动模型,并且输入装置810可输出指示机械体滚动的期望控制的信息。

[0103] 在信息源810是工具方位测量装置的实施方式中,运动模型822可以是生成接头估

测结果(即,相应于机械体840的自由度的接头方位估测结果)所针对的机械体的模型。例如,如果应用工具方位测量装置仅可提供N个自由度测量的接头估测技术,则运动模型822可具有至少N个自由度,机械体可具有(N-M)自由度,等。然而,在其他实施方式中,机械体可具有大于N个的自由度,操纵器组件可被符合逻辑地分成多个部分,其中每个部分具有不多于N个接头或运动自由度,而工具测量工具装置用于测量每个部分的端部的方位和方向。

[0104] 由于将来自信息源810的控制信息812施加于运动处理器820,一个或多个个体控制输出824可通过运动处理器820生成,并且通信至一个或多个致动器830,该致动器830可操作以影响机械体840的自由度中的一个或多个的控制。生成并通信至致动器830的个体控制输出824的数量少于可由运动处理器820生成的个体控制输出824的总数。即,通信至致动器830的个体控制输出824不包括控制机械体840缺少的自由度(一个或多个)的信息。例如,运动模型822可模拟具有完全限定机械体方位的自由度的机械体,并且可计算得到控制所有那些自由度的输出。然而,仅使用那些计算得到的输出的子集,因为实际控制的机械体(即,机械体840)不具有运动模型822模拟的全部自由度。因此,通信至致动器830的个体控制输出824仅仅是可利用运动模型822生成的可能指令的子集。

[0105] 在信息源810是输入装置的实施方式中,个体控制输出824可包括指示机械体840的某个自由度的期望方位的信息。例如,个体控制输出824可指示与机械体840的自由度中的一个相关的接头的期望方位(例如,角)。

[0106] 在信息源810是工具方位测量装置的实施方式中,个体控制输出824可包括指示机械体840的某个自由度的实际方位的信息。例如,个体控制输出824可指示与机械体840的自由度中的一个相关的接头的实际方位(例如,角)。

[0107] 个体控制输出824由用于控制机械体840的自由度中的至少一些的一个或多个致动器830接收。例如,致动器830可以是电力马达或类似物,其可操作以致动机械体840的接头,如前参考例如图5所述。根据一个实施方式,各致动器可操作以控制机械体840的对应自由度。然而,在其他实施方式中,一个致动器可以可操作以控制机械体840的多于一个或少于一个自由度。

[0108] 机械体840可以是任何适当的具有至少一个自由度的机械体。例如,机械体可以是机器人操纵臂(例如,参考图4描述的操纵臂100或参考图5描述的操纵臂500)和/或外科器械(例如,参考图1A描述的器械26或参考图5描述的器械511)。在一些实施方式中,机械体可包括操纵臂和外科器械两者的运动方面。

[0109] 如前所述,多种实施方式包括信息源810作为输入装置,使得运动处理器820输出机械体840的接头的期望方位,而其他实施方式包括信息源810作为工具方位测量装置,使得运动处理器820输出机械体840的接头的实际方位。在再其他实施方式中,系统可包括输入装置——用于向输入装置专属的运动模型和控制器(即,一种运动处理器)提供期望方位——和工具方位测量装置——用于向工具方位测量装置专属的运动模型和估测器(即,一种运动处理器)提供工具末端方位信息。在这种情况下,工具末端方位测量装置使用的运动模型可不同于输入装置使用的运动模型。进一步,各运动模型的输出,即操纵器组件的接头的期望方位和实际方位,可被一起用于计算将要施加于各接头马达的实际扭矩量。在不提供工具方位测量装置的实施方式中,系统可获得估测的接头方位,并将其与在利用输入装置生成扭矩量时输出的期望方位结合。参考图9描述这些进一步实施方式中的一些。

[0110] 在某些实施方式中系统800是简化的用于控制机械体的系统,并且包括不同的构件,如输入装置810、运动处理器820、致动器(一个或多个)830、和机械体840。然而,本领域普通技术人员将理解,系统可通过相对于图8示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。因此,图8中系统800的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0111] 图9是根据实施方式的致动器830的框图。致动器830包括接头控制器832和马达834,其中接头控制器832可操作以生成扭矩命令836,用于控制马达834。马达834可偶联于操纵器组件的用于控制操纵器组件的自由度的一个或多个接头。在此实施方式中,致动器830可操作以控制自由度(X)。

[0112] 为生成扭矩命令836,接头控制器834接收自由度(X)的期望方位824A。期望方位可从输入装置如外科医生控制台接收。例如,在信息源810是输入装置时,期望的方位824A可由运动处理器820(图8)生成。因此,期望的方位824A可通过如下生成:将从输入装置传送的控制信息施加于运动模型822,和仅利用个体控制输出824的子集中的一个作为期望的方位824A。

[0113] 为生成扭矩命令836,接头控制器834还接收自由度(X)的实际方位824B。实际方位可利用多种技术中的一种或多种而生成。在一个实施方式中,实际方位可基于用于各接头马达的编码器来确定。在其他实施方式中,实际方位可根据操纵器组件的端部(例如,工具末端)的方位(例如,位置和/或方向)和利用逆向运动学来计算。用于感应操纵器组件端部的方位的传感器装置可包括沿操纵器组件的长度布置的光纤,其中一端固定在工具末端,使得接头方位变化导致光纤性质(例如,折射指数)变化。在另一实施方式中,传感器装置可包括附接至操纵器组件端点的一个或多个电磁传感器,使得末端方位的任何变化可由电磁场发生器测量。例如,参考图8,信息源810可以是感应装置,其可操作以确定工具末端方位,并且通过将工具末端方位测量施加于运动模型822,个体控制输出824的子集中的一个可被用作实际方位824B。

[0114] 在接收DOF(X)的期望方位和实际方位后,接头控制器832可确定导致自由度从其实地(即,当前)方位移至期望方位的适当马达扭矩量。然后,接头控制器832向马达834发送指示该扭矩量的扭矩命令836。

[0115] 图10A是显示根据第一实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统1000的框图。系统1000包括输入装置1010、控制器1020、和操纵器组件1030。输入装置1010可类似于参考图8讨论的信息源810,控制器1020可类似于参考图8讨论的运动处理器820,和操纵器组件1030可类似于参考图8讨论的致动器和机械体840。在一个实施方式中,操纵器组件1030包括操纵器(例如,操纵器500)和/或工具(例如,工具511)。操纵器组件1030可具有一个或多个操纵器运动自由度,并且在一些实施方式中可另外地或可选地具有一个或多个致动自由度。进一步,操纵器组件1030可以可操作以控制一个或多个末端执行器(或者,更一般地,控制框)的方位。例如,末端执行器可被限定在作为操纵器组件1030的部分的工具的末端,这种工具的轴的中途,等。末端执行器也具有多个自由度,其可与操纵器自由度相同或不同。

[0116] 根据图10A所示的实施方式,输入装置1010和控制器1020可操作以控制比操纵器组件1030实际具有的数量更多的运动操纵器自由度(即,操纵器组件1030的自由度)。例如,输入装置1010可具有六个运动自由度1012,包括三个可独立控制的旋转自由度和三个可独

立控制的平移自由度。输入装置1010输出相应于输入装置1010的方位或以其他方式指示操纵器组件1030相关的末端执行器的期望方位的参数或其他信息。

[0117] 输入装置1010的输出被控制器1020接收和处理,以提供控制操纵器组件1030的指令(例如,控制操纵器组件1030的接头相关的马达的指令)。在此实施方式中,控制器1020包括具有六个运动自由度的操纵器组件的运动模型1022,该六个运动自由度用于控制末端执行器的三个可独立控制的旋转和三个可独立控制的平移自由度。

[0118] 然后,来自输入装置1010的输出施加于运动模型1022的结果的子集被用于控制操纵器组件1030。例如,可将结果的子集通信至与操纵器组件1030的接头相关的一个或多个致动器。在此实施方式中操纵器组件1030具有四个运动自由度。因此,操纵器组件1030缺少两个运动自由度。例如,操纵器组件1030可缺少对应于偏转和俯仰活动的自由度,或可缺少对应于两种平移活动的自由度,等。因此,子集包括仅用于控制操纵器组件1030被配置具有的那些自由度的指令。在此情况下,指令指示操纵器组件1030的接头的期望方位,并且可与指示操纵器组件1030的接头的实际方位的信息组合。该组合可用于确定适于施加至接头马达的扭矩。

[0119] 在其他实施方式中,输入装置和运动模型可不具有六个运动自由度,并且末端执行器可不具有四个运动自由度。而是输入装置和运动模型可被配置以控制比操纵器组件配备的数量更多的自由度。例如,输入装置1010和控制器1020可被配置以控制五个运动自由度,而操纵器组件可具有1至4个运动自由度中的任一种。

[0120] 图10B是显示根据第二实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统1001的框图。系统1001包括输入装置1010、控制器1020、和操纵器组件1030,其可类似于参考图10A讨论的那些。

[0121] 根据此实施方式,输入装置1010和控制器1020可操作以控制比操纵器组件1030具有的数量更多的运动自由度,类似于参考图10A讨论的实施方式。进一步,输入装置1010可操作以致动操纵器组件1030的非运动自由度。例如,输入装置1010可以可操作以致动操纵器组件1030相关的真空压力。

[0122] 因此,在此实施方式中,输入装置1010包括六个运动自由度1012以及至少一个致动自由度1014,其中致动自由度指代非运动自由度。在一个实施方式中,致动自由度可通过输入装置1010上的元件如一个或多个夹持部件723(图7B)来致动。然后,输入装置1010,通过六个运动自由度,可输出相应于输入装置1010的方位或以其他方式指示操纵器组件1030相关的末端执行器的期望方位的参数或其他信息。进一步,输入装置1010,通过一个致动自由度,可输出致动操纵器组件1030或偶联于操纵器组件1030或操纵器组件1030的部分的工具的功能(例如,致动真空装置、一个或多个钳子/指、等)的参数或其他信息。

[0123] 输入装置1010的输出被控制器1020接收和处理,以提供控制操纵器组件1030的指令。在此实施方式中,控制器1020包括具有六个运动自由度的操纵器组件的运动模型1022,类似于参考图10A描述的那种。进一步,控制器1020还包括致动控制器1024,其可以可操作以处理输入装置1010的关于致动自由度1014的输出,并且利用该输出致动操纵器组件1030的功能。

[0124] 然后,来自输入装置1010的输出施加于运动模型1022的结果的子集用于控制操纵器组件1030,类似于参考图10A讨论的那种。进一步,来自输入装置1010的致动输出施加于

致动控制器1024的结果可用于控制操纵器组件1030的致动(或偶联于操纵器组件1030或操纵器组件1030的部分的工具的致动)。如参考图10A所述,在其他实施方式中,输入装置和运动模型可不具有六个运动自由度,并且末端执行器可不具有四个运动自由度。进一步,在一些实施方式中,输入装置1010可包括多个致动自由度,致动控制器1024可以可操作以处理来自输入装置1010的多个致动自由度的输出,并且操纵器组件1030可具有可由输入装置1010控制的、独立于操纵器组件1030的控制的、相应数量的致动自由度。

[0125] 图10C是显示根据第三实施方式的利用输入装置控制操纵器组件的简化的系统1002的框图。系统1002包括输入装置1010、控制器1020、和操纵器组件1030,其可类似于参考图10A讨论的那些。

[0126] 根据此实施方式,操纵器组件1030具有多个运动自由度(例如,八个),其包括至少一个零空间自由度(例如,三个零空间自由度),但仍缺少至少一个完全限定与操纵器组件1030相关的末端执行器的方位所需的自由度。例如,虽然操纵器组件1030包括八个包括多余的自由度在内的运动自由度,其仍缺少至少一个可独立控制的旋转或平移自由度。

[0127] 应理解,当本文描述操纵器组件的零空间自由度时,假定控制框位于操纵器组件上(例如,控制框位于工具末端)。然而,实施方式不限于这种情况,因此在描述操纵器组件的零空间自由度时,实施方式可选地包括雅各比零空间自由度,其中雅各比与下列相关:操纵器组件和具有任意限方位置的控制框,如在患者组织处、在距工具末端固定距离处、等。

[0128] 输入装置1010包括六个运动自由度1012,类似于参考图10A讨论的那些。然后,控制器1020可操作以通过施加输出至运动模型1026处理来自输入装置1010的输出,该运动模型1026包括九个运动自由度,其包括六个运动自由度,如参考图10A讨论的那些,以及三个零空间自由度。因此,控制器1020可在操纵器组件1030包括九个运动自由度——包括三个零空间自由度——的假设下生成输出。然而,由于操纵器组件1030仅包括八个运动自由度,控制器1020不提供相应于操纵器组件1030的缺失运动自由度的输出。而是,控制器1020输出用于控制操纵器组件1030的八个运动自由度的指令。

[0129] 图10D是显示利用根据第四实施方式的输入装置控制操纵器组件的简化的系统1003的框图。系统1003包括输入装置1010、控制器1020、和操纵器组件1030,其可类似于参考图10A讨论的那些。

[0130] 根据此实施方式,输入装置1010包括一个或多个零空间自由度,而操纵器组件1030不包括任何零空间自由度,并且包括的运动自由度少于输入装置1010。在其他实施方式中,操纵器组件1030还可包括与输入装置1010相同或更多数量的零空间自由度。

[0131] 因此,在此实施方式中,输入装置1010包括多个自由度1016——包括七个运动自由度,其包括一个零空间自由度。然后,来自输入装置1010的输出可被处理并且最终递送到控制器1020中,其中控制器1020包括具有五个自由度的操纵器组件的运动模型。然后,控制器1020可将来自输入装置1010的输出施加至运动模型1028,然后利用结果的子集控制操纵器组件1030,类似于参考图10A讨论的那种。

[0132] 在此实施方式中,操纵器组件1030包括四个运动自由度1032。然而,在其他实施方式中,操纵器组件1030可具有少于四个运动自由度。进一步,在输入装置1010被描述为具有一个零空间自由度时,输入装置1010可具有多于一个零空间自由度。例如,输入装置1010可具有两个、三个、或四个零空间自由度。

[0133] 某些实施方式中的系统1000、1001、1002、和1003是简化的利用输入装置控制末端执行器的系统,并且包括不同构件,如输入装置1010、控制器1020、和操纵器组件1030。然而,本领域普通技术人员将理解,系统可通过相对于图10A至10D示例具有较少或较多数量的构件而同样出色地操作。例如,在一些实施方式中,输入装置可除一个或多个运动自由度之外还具有零空间自由度和致动自由度,控制器可具有零空间自由度和致动控制器,和操纵器组件可具有零空间自由度和致动自由度。因此,图10A至10D中系统的显示实质上应被用作示例,而非限制本公开的范围。

[0134] 图11A是显示根据第一实施方式的利用工具方位测量装置控制操纵器组件的简化的系统1100的框图。系统1100包括工具方位测量装置1110、接头估测器1120、和操纵器组件1130。

[0135] 系统1100的元件类似于系统1000中相似标记的元件,除提供工具方位测量装置1110代替输入装置1010和提供接头估测器1120代替控制器外。因此,参考系统1000的描述同样适用于系统1100,除了在系统1100的情况下代替控制器接收和施加期望的方位信息,控制器接收和应用方位测量信息。而且,接头估测器1120生成操纵器组件接头的实际方位(例如,接头角),而非生成期望方位。在一些实施方式中,实际方位可与指示操纵器组件1130的接头的期望方位的信息组合。该组合可用于确定施加至接头马达的适当扭矩。

[0136] 进一步,工具方位测量装置1100可仅测量五个自由度或更少自由度。在此具体实施方式中,工具方位测量装置1100被示例为测量五个自由度,然而,其可类似地测量四个自由度、三个自由度、或少于三个自由度。而且,接头估测器1120仅利用5-运动DOF模型1122,其仅生成五个接头方位,其中四个被利用(因为其对应于操纵器组件1130的实际接头),并且其中一个被抛弃(因为操纵器组件1130中无对应接头)。在一些实施方式中,可使用6-运动DOF模型1122,其中然后两个接头估测结果将被抛弃,或少于五个运动DOF可被利用。

[0137] 图11B是显示根据第二实施方式的利用工具方位测量装置控制操纵器组件的简化的系统1102的框图。系统1102包括工具方位测量装置1110、接头估测器1120、和操纵器组件1130。

[0138] 系统1102的元件类似于系统1002中相似标记的元件,除提供工具方位测量装置1110代替输入装置1010和提供接头估测器1120代替控制器以外。因此,参考系统1002的描述同样适用于系统1102,除了在系统1102的情况下代替控制器接收和施加期望方位信息,接头估测器接收和应用方位测量信息。而且,接头估测器1120生成操纵器组件接头的实际方位(例如,接头角),而非生成期望方位。在一些实施方式中,实际方位与可指示操纵器组件1130的接头的期望方位的信息组合。该组合可用于确定施加至接头马达的适当扭矩。

[0139] 进一步,在此具体实施方式中,操纵器组件被显示为借助多个俯仰和偏转接头具有八个运动自由度。关于操纵器组件的一些实施方式,操纵器组件可被按逻辑分成多个部件。在利用光纤测量各部件端部的方位和方向的实施方式中,在工具方位测量装置1112(a)或1112(b)测量五个自由度时,各部件具有五个或更少接头或自由度。各部件可具有相同或不同数量的自由度。例如,在此实施方式中,操纵器组件被按逻辑分成两个部件,每个部件具有四个自由度。

[0140] 在至少一个实施方式中,在将接头合并到其他部件中前,可最大化各部件的接头数量。例如,关于具有七个自由度的操纵器组件,一个部件可具有五个自由度(即,最大数

量),并且另一部件可具有剩余自由度,即两个自由度。再例如,关于具有十二个自由度的操纵器组件,两个部件可分别具有五个自由度,而第三部件仅具有两个自由度。在一些情况下,可利用几何学而非逆向运动学计算一个或多个部件的接头角,这样做更加计算有效。例如,在计算具有等于或少于两个的自由度数量的部件的接头估测时利用几何学而非逆向运动学可更加计算有效。

[0141] 工具方位测量装置1110可以可操作以测量操纵器组件的各逻辑部件的方位。例如,工具方位测量装置1110可测量第一部件的末端方位和第二部件的末端方位。各部件的末端方位可以在相同或不同的数量的自由度下测量,其中测量的自由度可少于、等于或大于相应部件的自由度。在此具体实例中,第一部件的末端方位在五个自由度下测量1112(a),并且第二部件的末端方位类似地在五个自由度下测量1112(b)。应理解,这些无需相同,并且在一些实施方式中可以是少于五个的任何数量。

[0142] 然后,接头估测器1120可包括针对操纵器组件的每个逻辑部件的运动模型。在此实施方式中,接头估测器1120包括第一运动模型1126(a)和第二运动模型1126(b)。第一运动模型1126(a)是操纵器组件1130的第一部件的运动模型,并且第二运动模型1126(b)是操纵器组件1130的第二部件的运动模型。各运动模型接收来自相应于其各自的操纵器组件部件的末端测量的输出。例如,第一测量1112(a)的输出用于第一运动模型1126(a),并且第二测量1112(b)的输出用于第二运动模型1126(b)。然后第一运动模型1126(a)输出操纵器组件1130的第一部件的实际方位,而第二运动模型1126(b)输出操纵器组件1130的第二部件的实际方位。

[0143] 应显而易见的是,运动模型1126(a)和1126(b)中至少一个的自由度可大于相应操纵器组件部件的实际自由度数量。在此具体实施方式中,虽然不是一定,运动模型具有数量大于其相应操纵器组件部件的自由度。即,第一运动模型1126(a)具有五个自由度,而操纵器组件1130的第一部件仅具有四个自由度,并且第二运动模型1126(b)和操纵器组件1130的第二部件也同样。这种多余的自由度用于生成输出,但类似于本文描述的其他多余的运动模型自由度,不在之后用于确定操纵器组件部件的实际方位。

[0144] 应理解,虽然为描述起见考虑参考图11A和11B描述的系统是类似的,但参考图10A至10D描述的实施方式涉及用于生成操纵器组件接头的期望方位的系统,而本文参考图11A和11B描述的实施方式涉及用于生成操纵器组件接头的实际方位的系统。在一些实施方式中并且如前描述,这些系统可组合成一个系统。例如,图10A至10D的输入装置和控制器可用于生成期望方位,图11A和11B的工具方位测量装置和接头估测器可用于生成实际方位,并且这些生成的方位可组合应用,如参考图9描述。

[0145] 图12A是根据实施方式的操纵器组件1200。操纵器组件1200可类似于参考图11B描述的操纵器组件1130。操纵器组件1200包括多个连杆1202和多个接头1204。操纵器组件1200被按逻辑分成第一部件1206和第二部件1208。第一部件1206自操纵器组件上距操纵器组件的自由端最远的点——其被定义为基体1210——延伸。第一部件1206自基体1210延伸至操纵器组件中被识别为第一部件1212的末端方位的点。然后,第二部件1208自第一部件1212的末端方位延伸至被定义为第二部件1214的末端方位的点,其在此实例中位于操纵器组件1200的自由端。

[0146] 一定数量的接头位于第一部件1206内,并且一定数量的不同接头位于第二部件

1208内。该数量可不相同,但在此实例中第一和第二部件中的每一个均包括四个接头。在接头总数是八个的其他实例中,第一和第二部件可分别包括五个和三个、或三个和五个接头。具有多于五个接头的操纵器组件的其他不同组合也可实施。进一步,操纵器组件可被按逻辑分成多于两个部件。例如,当接头总数是八个时,第一部件可具有五个接头,第二部件可具有两个接头,和第三部件可具有一个接头。在大多数实施方式中,当适用其中工具方位测量装置仅可提供N个自由度测量的接头估测技术时,则每个部件包括不多于N个接头或自由度。进一步,当操纵器组件包括多于N个运动自由度时,将那些自由度分成多个逻辑部件。在一个实施方式中,在应用其中滚动方向估测不可获得的光纤方法的情况下,则每个部件可包括不多于五个接头或运动自由度。

[0147] 简单转至图12B,图12B显示框图1250,示例根据实施方式的多个操纵器组件部件的接头方位的计算。在此实例中接头估测器1252包括第一运动模型1254和第二运动模型1256。第一运动模型1254是操纵器组件的第一分段或部件的运动模型。例如,这可以是第一部件1206的运动模型。第二运动模型1256是操纵器组件的第二分段或部件的运动模型。例如,这可以是第二部件1208的运动模型。

[0148] 每个运动模型均包括假想自由度;即,不存在于操纵器组件的相应部件中的自由度。例如,在图12A所示的实施方式中,每个运动模型均可包括假想滚动自由度,因为在利用光纤方法时滚动方向估测不可获得。在其他实施方式中,然而,运动模型中的一个或多个可包括多于一个假想自由度。在一些实施方式中,仅一个运动模型包括假想自由度。

[0149] 第一分段的末端方位被输入到第一运动模型1254。例如,末端方位1212可被输入第一运动模型1254。来自第一运动模型1254的输出是第一分段1206的接头方位(以及可忽略的相应于假想自由度的一组输出)。第一分段的末端方位(例如,末端方位1212)和第二分段的末端方位(例如,末端方位1214)之间的差异被输入第二运动模型1256。来自第二运动模型1256的输出是第二分段1208的接头方位(以及可忽略的相应于假想自由度的一组输出)。

[0150] 图13是显示根据第一实施方式的利用输入装置控制操纵臂、工具、和/或末端执行器的方法1300的流程图。操纵臂、工具、和/或末端执行器可以是本文描述的那些中的任意种,如操纵臂100(图4)、操纵臂500(图5)、工具26(图1A)、外科工具600(图6A)、内窥镜620(图6B)、外套管630(图6C)、致动器830和/或机械体840(图8)、等。输入装置可以是本文描述的输入装置中的任意种,如输入装置36(图2)、输入装置700(图7A至7C)、输入装置810(图8)、等。进一步,方法1000可通过本文描述的控制器中的任意种进行,如参考图7A讨论的控制系统、运动处理器820(图8)、和/或MIRS系统10(图1)的任何适当构件中提供的任何其他适当的控制器,如外科医生控制台16、电子推车24、和/或患者侧推车22。

[0151] 在一个具体实施方式中,操纵器组件的运动自由度可通过如下控制:通过控制器、利用系统的马达驱动一个或多个接头,根据通过控制器的处理器计算的协调接头活动来驱动接头。在数学上,控制器可利用矢量和/或矩阵——其中一些可具有相应于接头配置或速度的要素——进行接头命令计算中的至少一些。处理器可用的可选的接头配置的范围可被概念化为接头空间。接头空间可例如具有与操纵器组件具有的自由度同等多的维度,并且在一些示例性实施方式中,接头空间可具有比操纵器组件具有的自由度更多的维度,因为操纵器组件可缺少至少一个完全限定与操纵器组件相关的末端执行器的方位所需的自由

度。进一步,操纵器组件的具体配置可代表接头空间中的具体点,其中每个坐标对应于在操纵器的相关接头存在之处操纵器组件的相关接头的接头状态。

[0152] 在示例性实施方式中,系统包括控制器,其中工作区——在此被称为其笛卡尔空间——中特征的被命令的方位和速度是输入。特征可以是操纵器组件上或操纵器组件之外的可用作控制框以利用控制输入铰接的任何特征。在本文描述的多个实例中使用的操纵器组件上的特征的实例是工具末端。操纵器组件上的特征的另一实例是不在工具末端上而是操纵器组件的部件的物理特征,如销或绘制的图案。操纵器组件之外的特征的实例是空白区中精确地距工具末端一定距离和角度的参考点。操纵器组件之外的特征的另一实例是相对于操纵器组件的方位可被建立的目标组织。在所有这些情况下,末端执行器与将要利用控制输入铰接的假想控制框相关。然而,在下文中,“末端执行器”和“工具末端”被同义地使用。虽然通常没有使期望的笛卡尔空间末端执行器方位映射至等同的接头空间方位的封闭式关系(closed form relationship),但通常笛卡尔空间末端执行器和接头空间速度之间存在封闭式关系。运动雅各比是关于接头空间方位要素的末端执行器笛卡尔空间方位要素的部分变形的矩阵。以这种方式,运动雅各比获取末端执行器和操纵器组件的接头之间的运动关系。换句话说,运动雅各比获取接头动作对末端执行器的影响。运动雅各比(J)可用于利用下列关系使接头空间速度(dq/dt)映射至笛卡尔空间末端执行器速度(dx/dt):

$$[0153] \quad dx/dt = J \, dq/dt$$

[0154] 因此,即使在输入和输出方位之间无封闭式映射时,也可重复利用速度的映射——如在基于雅各比的控制器中——来根据所命令的用户输入实施操纵器的活动。然而,可应用多种实施方式。虽然多个实施方式包括基于雅各比的控制器,但一些实施方式可应用各种可被配置以访问雅各比以提供本文描述的特征中的任意种的控制器。

[0155] 一种这样的实施方式以下列简称描述。利用所命令的接头方位计算雅各比(J)。每个时间步(Δt)计算笛卡尔空间速度(dx/dt),以进行期望的活动(dx_{des}/dt)和校正相对于期望的笛卡尔空间方位建立的偏差(Δx)。然后利用雅各比假倒数($J^\#$)将该笛卡尔空间速度转化成接头空间速度(dq/dt)。然后将所得接头空间命令速度整合,以生成接头空间命令方位(q)。这些关系被列举如下:

$$[0156] \quad dx/dt = dx_{des}/dt + k \, \Delta x \quad (1)$$

$$[0157] \quad dq/dt = J^\# dx/dt \quad (2)$$

$$[0158] \quad q_i = q_{i-1} + dq/dt \, \Delta t \quad (3)$$

[0159] 雅各比假倒数($J^\#$)直接将期望的工具末端动作(以及在一些情况下,枢转工具动作的远程中心)映射到接头速度空间中。如果所用的操纵器组件具有比工具末端(即,末端执行器)自由度(上至六个)更多的可用接头轴线,(并且当使用工具动作的远程中心时,操纵器组件应具有额外的与远程中心位置相关的3个自由度的3个接头轴线),则该操纵器组件被称为是多余的。与多余的操纵器组件相关的雅各比包括具有至少一个维度的“零空间”。在这种情况下,雅各比的“零空间”(N(J))是瞬间实现无工具末端动作(并且在使用远程中心时,枢转点位置无活动)的接头速度空间,并且“零动作”是实现远程中心的工具末端和/或位置无瞬间活动的接头方位的路径。将计算得到的零空间速度合并或投入到操纵器组件的控制系统中以实现操纵器组件的期望的再配置(包括本文描述的任何再配置)使得上述方程式(2)转变成下列:

$$[0160] \quad dq/dt = dq_{\text{perp}}/dt + dq_{\text{null}}/dt \quad (4)$$

$$[0161] \quad dq_{\text{perp}}/dt = J^{\#} dx/dt \quad (5)$$

$$[0162] \quad dq_{\text{null}}/dt = (I - J^{\#}J) z = V_n \quad V_n^T z = V_n \alpha \quad (6)$$

[0163] 根据方程式(4)的接头速度具有两个组分:第一个是零垂直空间组分,“最纯粹的”接头速度(最短矢量长度),其产生期望的工具末端动作(并且在使用远程中心时,产生期望的远程中心动作);并且第二个是零空间组分。方程式(2)和(5)显示在没有零空间组分的情况下实现相同方程式。方程式(6)起始于左侧的零空间组分的传统形式,并且在极右侧显示示例性系统所用的形式,其中(V_n)是零空间的正交基础矢量组,并且(α)是调和那些基础矢量的系数。在一些实施方式中, α 通过用于根据需要塑造零空间内的动作的调节器(knobs)来确定。

[0164] 如前所述,完全控制刚性体的方位需要六个可独立控制的自由度,三个用于平移和三个用于方向。这使其本身适于基于雅各比的控制算法,如上文所述,其中应用 $6 \times N$ 雅各比矩阵。然而,一些刚性体缺少这些自由度中的至少一个。例如,无铰接腕的刚性内窥镜末端缺失在腕处的两个自由度,具体地腕俯仰和偏转。因此,其仅具有在末端处的四个自由度。这使 $6 \times N$ 雅各比方法产生问题,因为该问题现在被过度约束。应用 $6 \times N$ 基于雅各比的控制器,在命令内窥镜末端平移或倾斜时,由于其具有无腕末端,其可仅实施一者,并且这将要实施两者的组合。这会导致滞后的无响应感觉,而这是不期望的。因此,不仅期望避免这种无响应感觉,而且期望利用 $6 \times N$ 雅各比方法,因为于是用于其他臂和器械的相同计算引擎和/或运动模型也可用于摄像机臂。

[0165] 因此,在一些实施方式中,上述方程式(2)和(3)可被改造。第一,可通过利用相应于受控机械体的缺失自由度的一定数量的假想自由度来改造方程式(2)。这将会使(dq/dt)矢量的长度延伸至等于现存自由度加假想自由度的数量总和。例如,假想自由度可被包括在方程式(2)中,其中那些假想DOF可以可操作以控制腕俯仰和偏转,以控制上述内窥镜。通过利用假想自由度,基于雅各比的控制器被篡改以实施针对全部六自由度的内窥镜末端——即有腕内窥镜——的假倒数计算。其输出是一组接头速度,用于控制六个自由度内窥镜,即使被控制的实际内窥镜仅具有四个可独立控制的自由度。

[0166] 第二,根据方程式(3),通过整合接头速度计算接头方位。然而,方程式(3)可被改造,使得假想自由度的速度——例如,不存在的内窥镜腕接头——不被整合,因此保持固定的方位。在一些实施方式中,固定的或期望的方位可被设置成任何适当的值,独立于操纵器状态。例如,固定的方位可被设置成0度、15度、30度、45度、0度至45度范围内的值、少于0度的值或大于45度的值。

[0167] 通过改造上述控制算法的方程式(2)和(3),在关于内窥镜的实施方式中,内窥镜末端可因此良好地服从指示的命令,而无不必要的滞后。无腕内窥镜不具有腕接头来致动,因此腕可保持笔直。进一步,如果有自从动装置返回主控装置的力的反映,则主控装置可被命令以遵从内窥镜的笔直末端,有利地导致直观的行为。

[0168] 在一些实施方式中,内窥镜的俯仰和偏转可被独立地控制,但内窥镜可不能够独立地滚动。响应平移的指令,可仅利用俯仰和偏转自由度来平移内窥镜的末端。通过利用俯仰和偏转而非平移和滚动,可控制内窥镜平移,同时基本上保持位置处于患者的孔。例如,可控制内窥镜平移,而不增加布置内窥镜所穿过的患者的孔上的尺寸或布置压力。这可例

如通过在孔处(即,通入位点)围绕枢转点枢转内窥镜来实施。

[0169] 应理解,优势不限于增加受控工具的响应性和通过利用相同的控制器操作具有不同自由度的工具而增加系统的灵活性。而是,在一些实施方式中,在这样的情况下可实现优势:在输入装置上不需要任何额外的自由度的情况下,可致动工具。

[0170] 例如,在一些实施方式中,操纵器组件可仅有四个输入,其中三个一般用于控制诸如滚动、俯仰、和偏转的活动,而第四个一般用于控制器械的单一致动(例如,抽吸激活)。然而,可期望利用在操纵器组件相同数量的输入来控制器械的两种致动(例如,抽吸激活和灌注激活)。通过应用利用全部三个运动自由度即滚动、俯仰和偏转来计算工具指令的运动模型,然后抛弃其中一个输出如滚动的,可仅利用两个输入即俯仰和偏转控制工具的动作。然后另外两个输入可用于控制器械的两种致动,如抽吸激活和灌注激活。因此,虽然器械总共仅具有包括活动和致动自由度的四个自由度,但由于控制器中利用假想自由度,器械呈现具有五个自由度。在一些实施方式中,假想自由度可用于轴对称器械,这可有利地使系统操作人员(例如,外科医生)进一步增加如下错觉:其正在控制实际上可能不存在于器械中的自由度。

[0171] 现返回图13,在操作1310中,控制器根据操纵器接头方位计算正向运动学。基于这种计算,控制器确定被命令的笛卡尔空间速度(dx_{des}/dt)、被命令的笛卡尔空间方位(x_{des})、实际笛卡尔空间方位(x)、和后两个之间的误差($dx = x_{des} - x$)。为计算正向运动学,控制器可利用在前命令的接头方位(例如,上一步计算得到的变量(q))。在操作1320中,控制器利用方程式(1)计算期望的运动(dx/dt)。为计算期望的运动,控制器可利用来自步骤1310的输出以及被命令的末端执行器方位(x_{des})。在操作1330中,控制器计算雅各比(J),其中计算雅各比(J)利用了在前命令的接头方位(q)。在操作1340中,控制器计算雅各比的假倒数($J^{\#}$)。

[0172] 在操作1350,控制器利用在操作1340计算得到的雅各比($J^{\#}$)的假倒数和利用在操作1320计算得到的期望的运动(dx/dt)来计算接头空间速度(dq/dt)。此操作中的雅各比的假倒数包括前述的假想自由度。即,雅各比的假倒数包括机械体自由度的数学表达,即使那些自由度实际上可能不存在于被控制器控制的机械体中。然后,在操作1360中,控制器利用方程式(3)和在操作1350计算得到的接头空间速度(dq/dt)来计算接头空间命令的方位(q)。然而,如前所述,假想自由度的速度不在此操作中被整合,因此保持在(或可被设置成)固定的方位。

[0173] 本领域技术人员将知道,参考图13讨论的操作可频繁执行,以提供响应用户输入的器械实时控制。例如,操作可每秒多次进行,在一些实施方式中约1,000次每秒、1,300次每秒、1,500次每秒、1,000次每秒至1,500次每秒的范围、少于1,000次每秒或多于1,500次每秒。

[0174] 应理解,图13示例的具体操作提供根据本发明的某些实施方式的控制操纵臂、工具、和/或末端执行器的具体方法。根据可选的实施方式也可进行其他操作顺序。例如,本发明的可选实施方式可以不同顺序进行上述操作。另外,图13示例的个体操作可包括多个子操作,该子操作可以以适于个体操作的不同顺序进行。此外,根据具体应用,可增加额外的操作或去除现有的操作。本领域技术人员将知道和理解多种改变、改造和替代形式。

[0175] 图14是显示根据第二实施方式的利用输入装置控制操纵臂、工具和/或末端执行器的方法1400的流程图。用于执行方法1400的操纵臂、工具等、输入装置和控制器可类似于

上文参考图13描述的那些,因此省略进一步的详细内容。

[0176] 与参考图13描述的方法1300相反,方法1400可以可操作以计算和控制与操纵器组件相关的雅各比的零空间。例如,操纵器组件可具有一个或多个多余的自由度,但仍可利用一个或多个假想接头,其中操纵器组件即使具有其多余的自由度,也仍缺少完全限定末端执行器或工具的方位所需的那些自由度中的一个或多个。

[0177] 操作1410至1440类似于参考图13描述的操作1310至1340,因此省略进一步描述。在操作1450中,控制器利用在操作1440计算得到的雅各比假倒数($J^{\#}$)和在操作1420计算得到的笛卡尔空间速度(dx/dt)来计算零垂直空间内的接头速度组分(dq_{perp}/dt)。在操作1460中,控制器如下计算零空间内的接头速度组分(dq_{null}/dt):利用在操作1430计算得到的雅各比和在操作1440计算得到和方程式(6)显示的雅各比假倒数($J^{\#}$),或在一些实施方式中利用雅各比奇异值分解(SVD(J)),或在一些实施方式中利用方程式(6)显示的零空间基础矢量(V_n)和调和系数(α),或利用任何其他等同技术。在至少一个实施方式中,可利用操作1450的输出在操作1460计算零空间内的接头速度组分(dq_{null}/dt)。类似于参考操作1350和方程式(2)讨论的那种,可利用在雅各比中(例如,在雅各比假倒数中)假想自由度来计算零垂直空间内的接头速度组分(dq_{perp}/dt)和零空间内的接头速度组分(dq_{null}/dt)。因此,可利用数学表达可能实际上不存在于受控操纵器中的自由度的雅各比来计算接头空间速度的这些组分中的每一个。

[0178] 在操作1470中,控制器通过加和在操作1450和1460计算得到并且方程式(4)显示的组分,零垂直空间内的接头速度组分(dq_{perp}/dt)和零空间内的接头速度组分(dq_{null}/dt),来计算被命令的接头空间速度(dq/dt)。由于被命令接头空间速度(dq/dt)的每个组分均被计算以包括一个或多个假想自由度,所得接头空间速度(dq/dt)也包括一个或多个假想自由度。然后,操作1480类似于参考图13描述的操作1360,因此省略进一步描述。

[0179] 应理解,图14示例的具体操作提供了根据本发明的某些实施方式控制操纵臂、工具和/或末端执行器的具体方法。根据可选的实施方式也可进行其他操作顺序。例如,本发明的可选实施方式可以以不同的顺序进行上述操作。另外,图14示例的个体操作可包括多个子操作,该子操作可以适于个体操作的不同顺序进行。此外,根据具体应用,可增加额外的操作或去除现有的操作。本领域技术人员将知道和理解多种改变、改动和替代形式。

[0180] 本领域技术人员还将知道,虽然图13和14的方法是参考其中输入信息是期望方位并且来自输入装置(如同参考图10A至10D描述的实施方式)的实施方式描述的,但该方法可同样适用于其中输入信息是实际方位并且来自工具方位测量装置(如同参考图11A和11B描述的实施方式)的实施方式。在这种实施方式中,不是利用被命令的末端执行器方位(x_{des})(例如,作为对操作1320和1420的输入),而是利用实际末端执行器方位。而且,不是生成被命令的接头方位(q)(例如,作为对操作1360和1480的输出),而是生成实际接头方位。

[0181] 本申请描述的操作可作为软件代码实施,该软件代码将由一个或多个处理器执行——利用任何适当的计算机语言如,例如,Java,C,C++或Perl,利用例如常规、顺序或目标方向技术。软件代码可被存储在计算机可读介质如随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、磁介质如硬盘驱动或软盘、闪速存储器、或光学介质如CD-ROM上作为一连串指令或命令。任何这种计算机可读介质也可存在于单一计算设备之上或之中,并且可存在于一个系统或网络中的不同计算设备之上或之中。

[0182] 本发明可以软件、固件、或硬件、或其组合中的控制逻辑的形式实施。控制逻辑可被存储在信息存储介质中,作为适于引导信息处理装置进行本发明的实施方式公开的步骤组的多个指令。基于本文提供的公开和教导,本领域普通技术人员将理解实施本发明的其他方式和/或方法。

[0183] 在描述实施方式的背景下(特别是在所附权利要求的背景下),术语“一(a)”和“一(an)”和“所述(the)”以及类似指代的使用被解释为包括单数和复数,除非本文另外指明或上下文明确否认。术语“包括”、“具有”、“含有”和“包含”被解释为开放式术语(即,意为“包括但不限于”),除非另外注明。术语“连接”被解释为被部分地或完全地包含、附接、或接合在一起,即使其间有物。本文对数值范围的描述仅意图充当逐个指代落入范围的每个单独数值的速记法,除非本文另外指明,并且每个单独数值被包含在说明书中,如同其在本文中被分别记载。本文描述的所有方法可以以任何适当的顺序进行,除非本文另外指明或上下文以其他方式明确否认。本文提供的任何和所有实例或示例性语言(例如,“如”)的使用仅意图更好地示例实施方式,而不造成范围限制,除非另外主张。说明书中的语言不应被解释为表示至少一个实施方式的实践所必需的任何未主张的要素。

[0184] 本文描述了优选实施方式,包括发明人所知的最佳实施方式。那些优选实施方式的改动可在阅读前文描述后对于本领域普通技术人员而言是显而易见的。发明人预期本领域技术人员适当地运用这种改动,并且发明人意图实施方式在本文具体描述之外被解释。因此,适当的实施方式包括所附权利要求所述的主题的所有被适用法律允许的改造和等同形式。此外,上述要素以其所有可能变型的任何组合被认为包含在一些适当的实施方式中,除非本文另外指明或上下文以其他方式明确否认。因此,本发明的范围不应参考上文描述来确定,而是应参考在审权利要求及其全部范围或等同形式来确定。

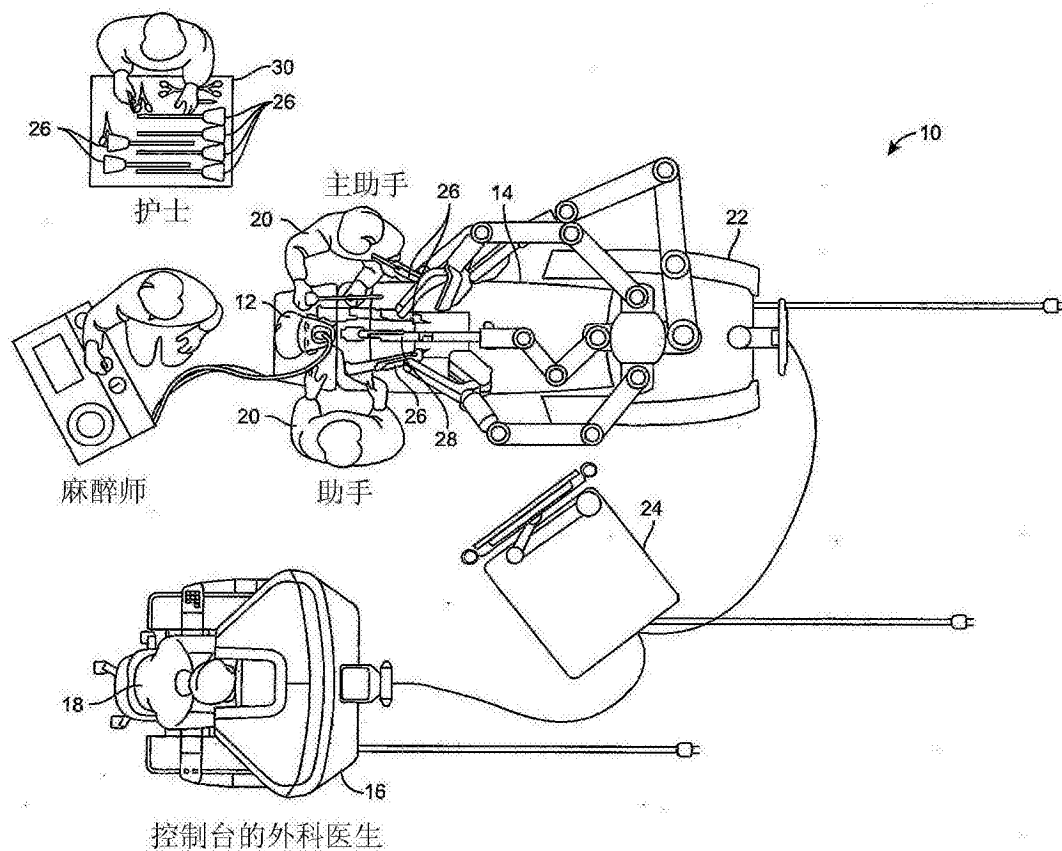


图1A

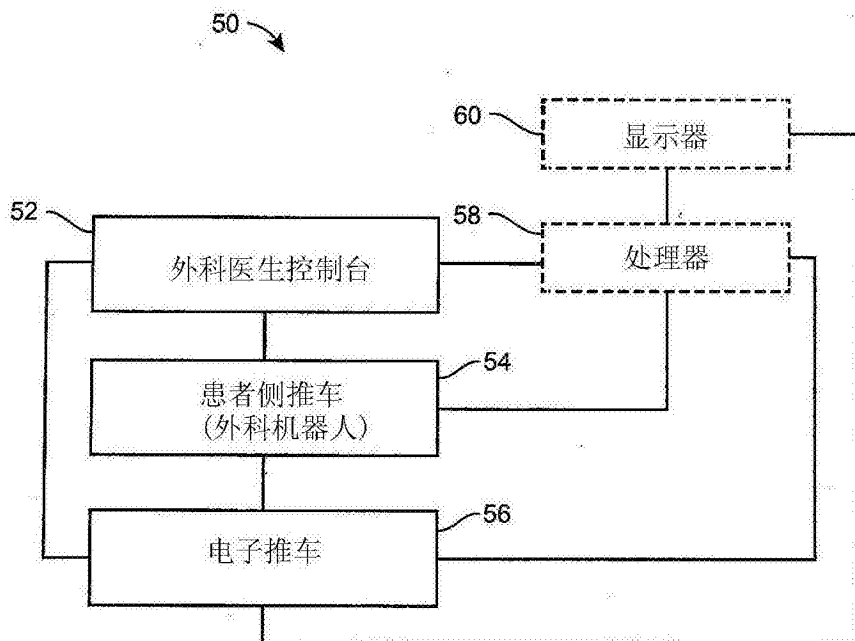


图1B

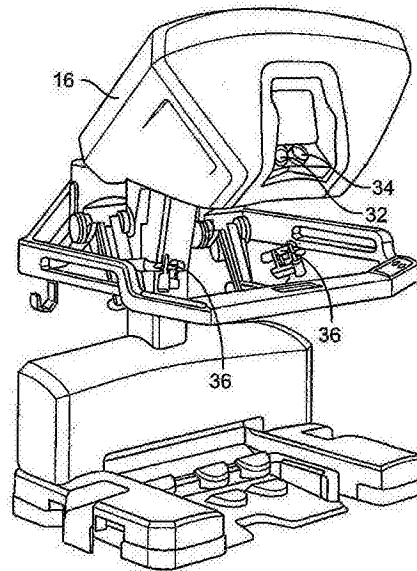


图2

a

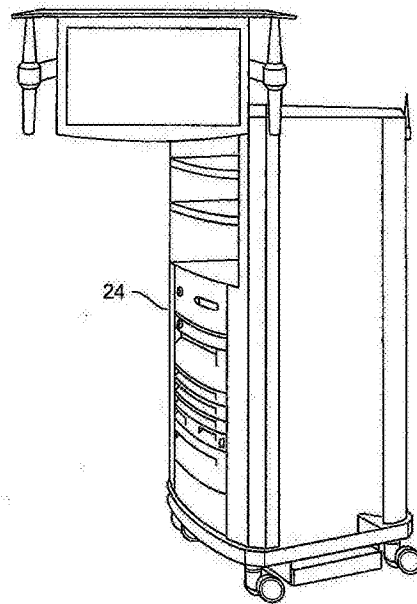


图3

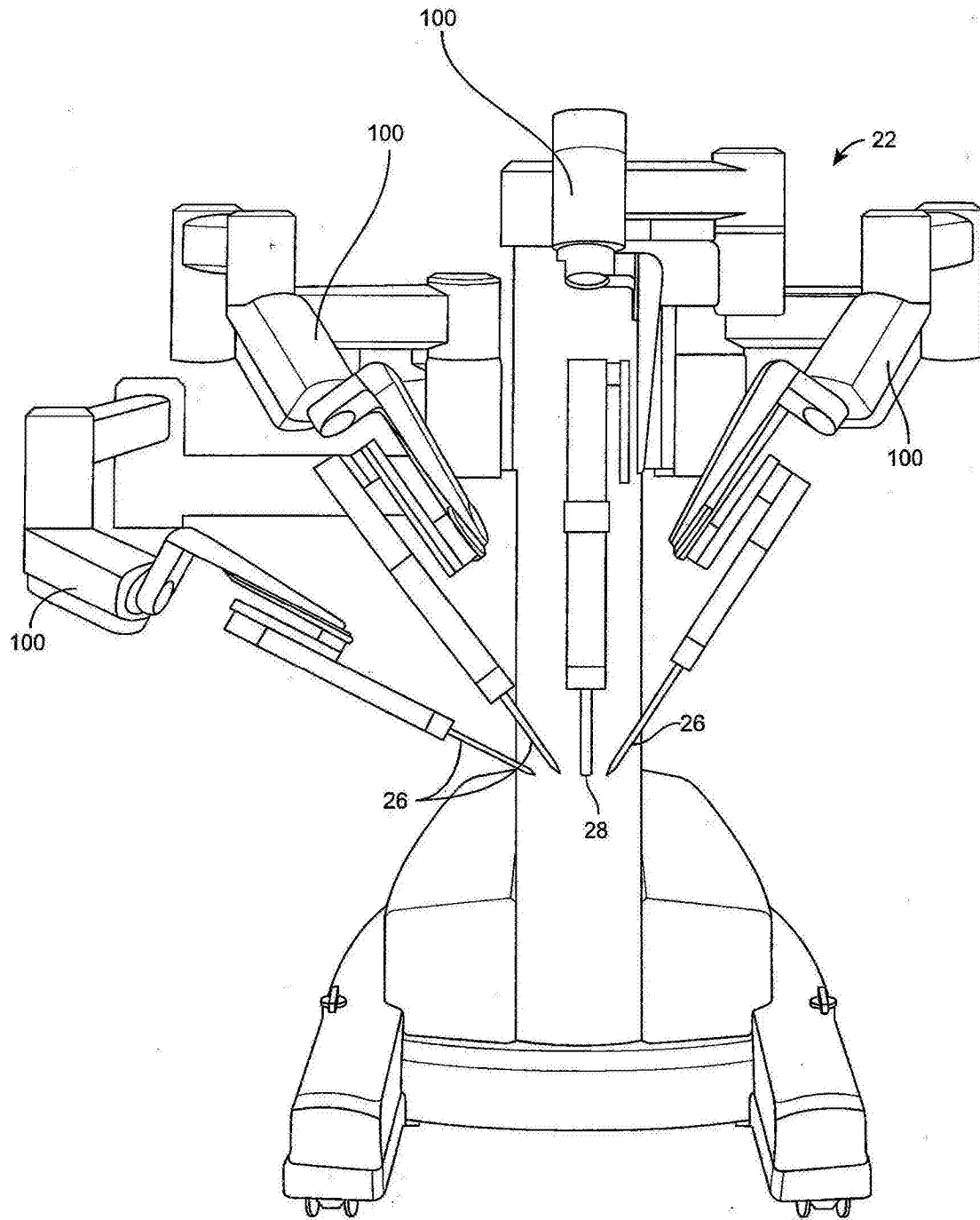


图4

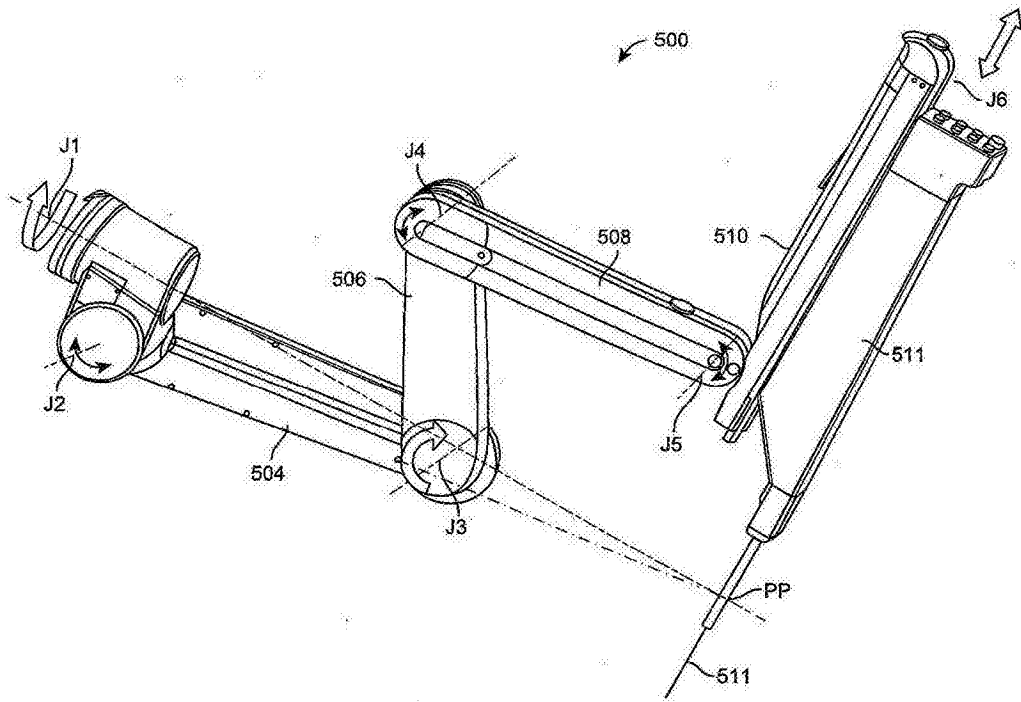


图5

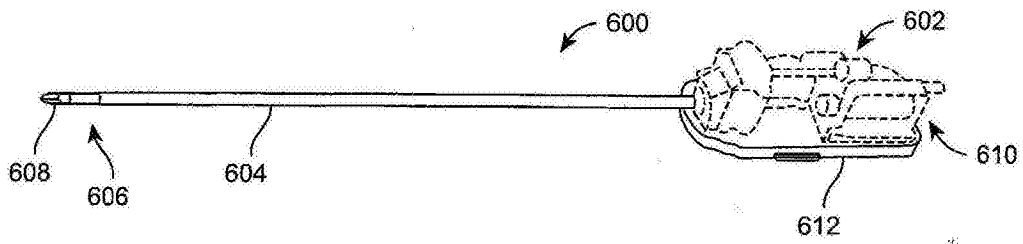


图6A

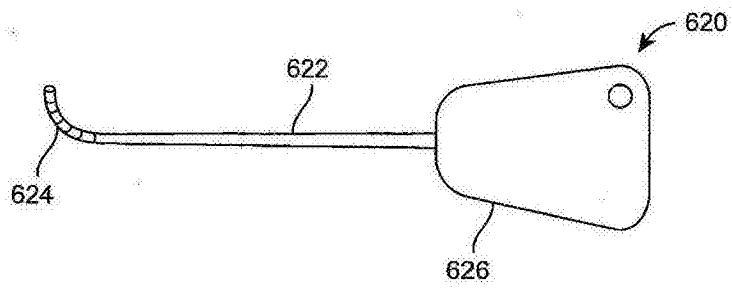


图6B

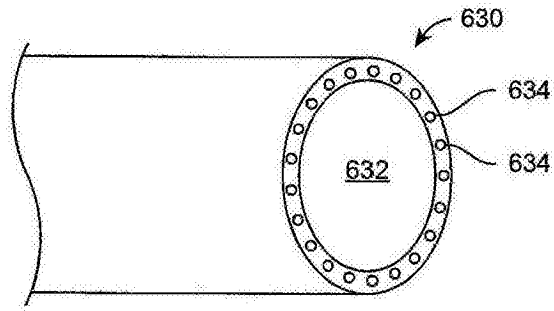


图6C

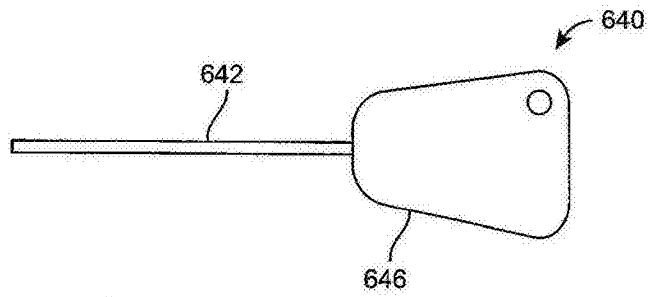


图6D

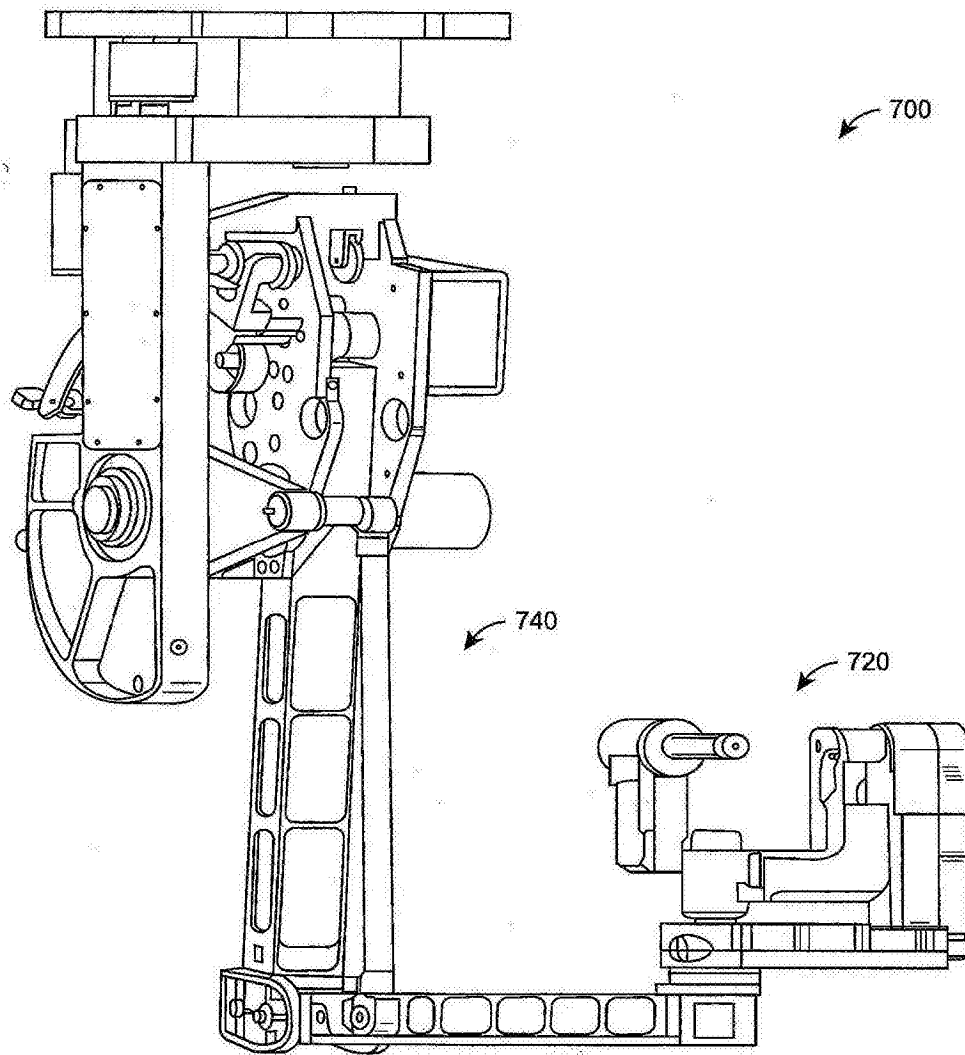


图7A

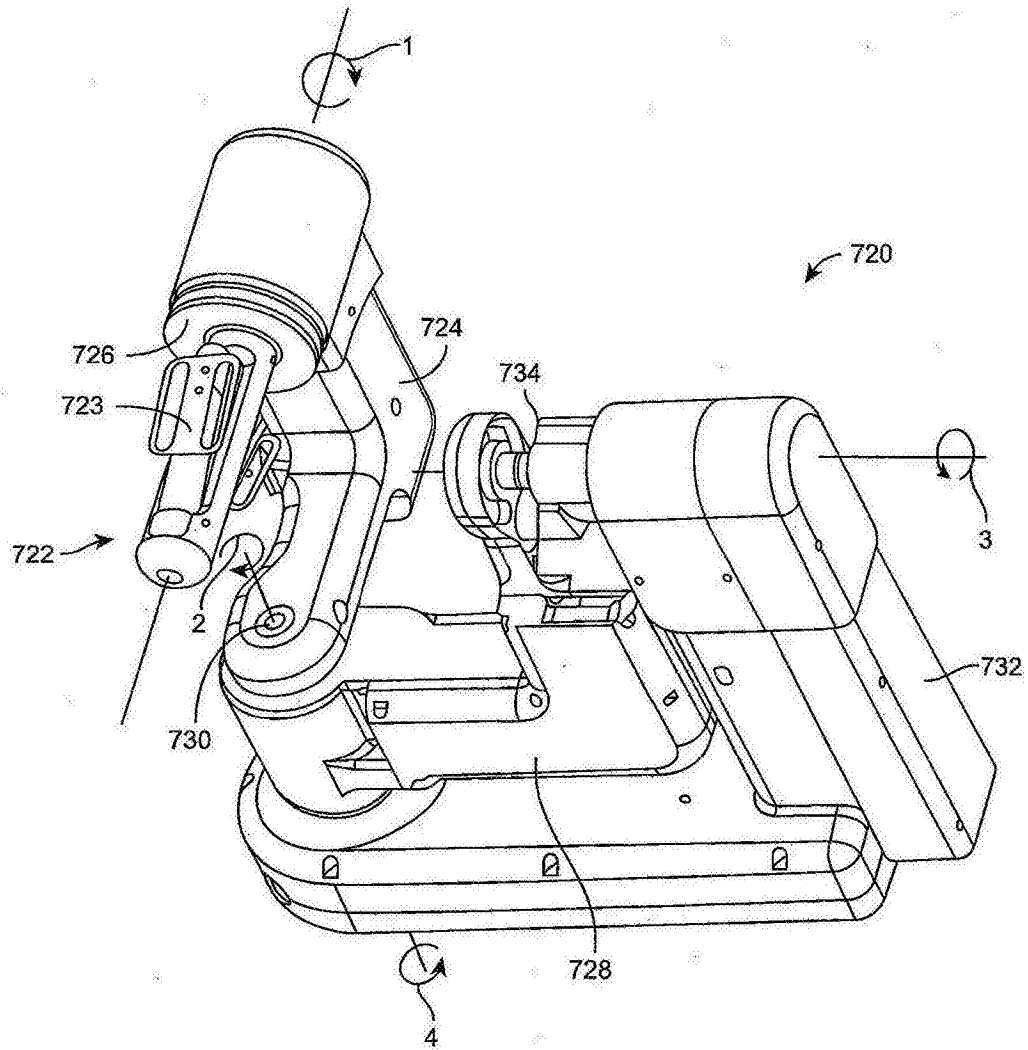


图7B

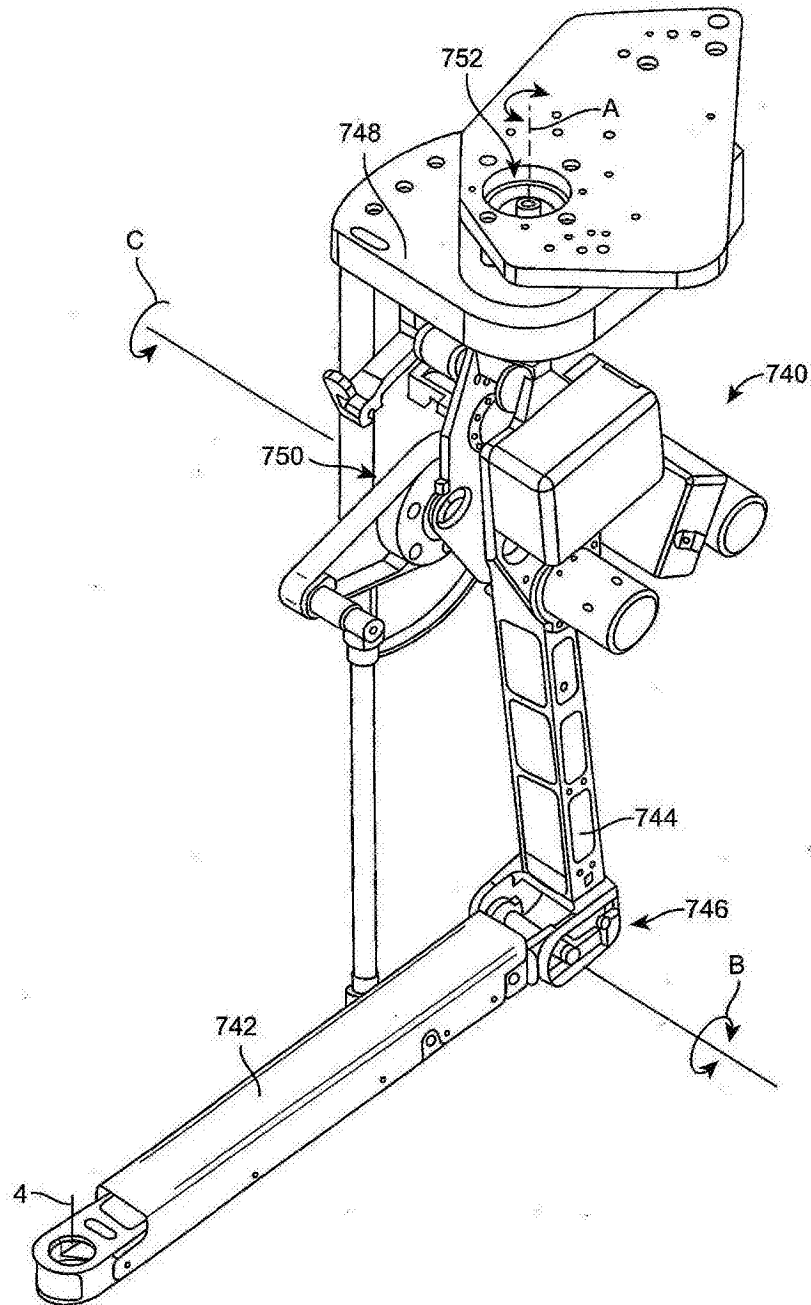


图7C

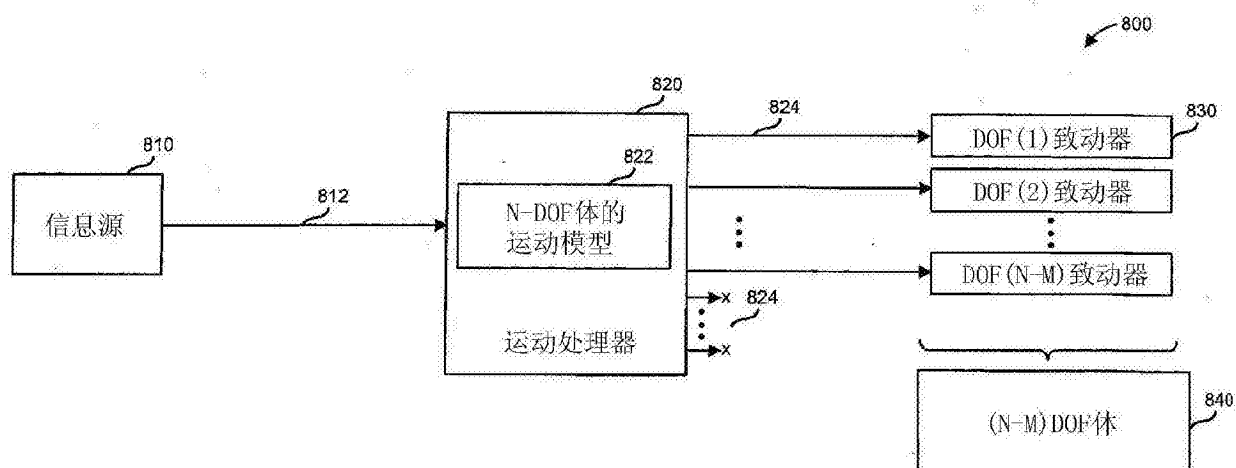


图8

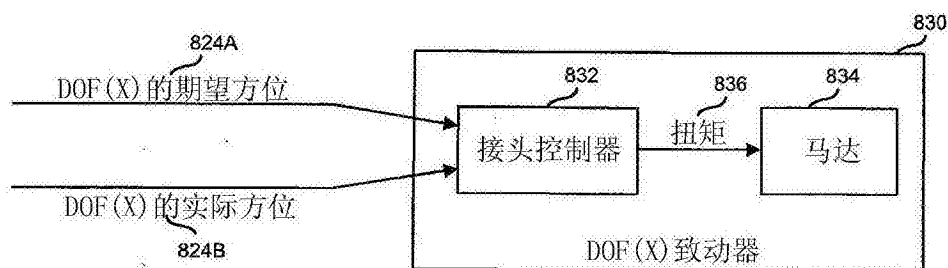


图9

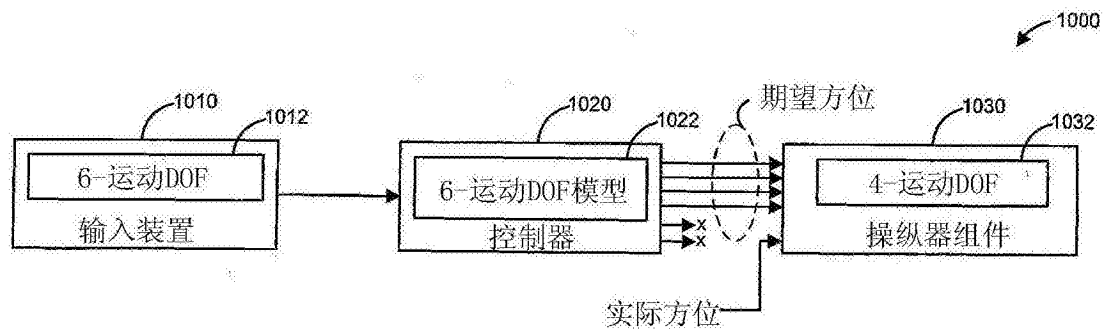


图10A

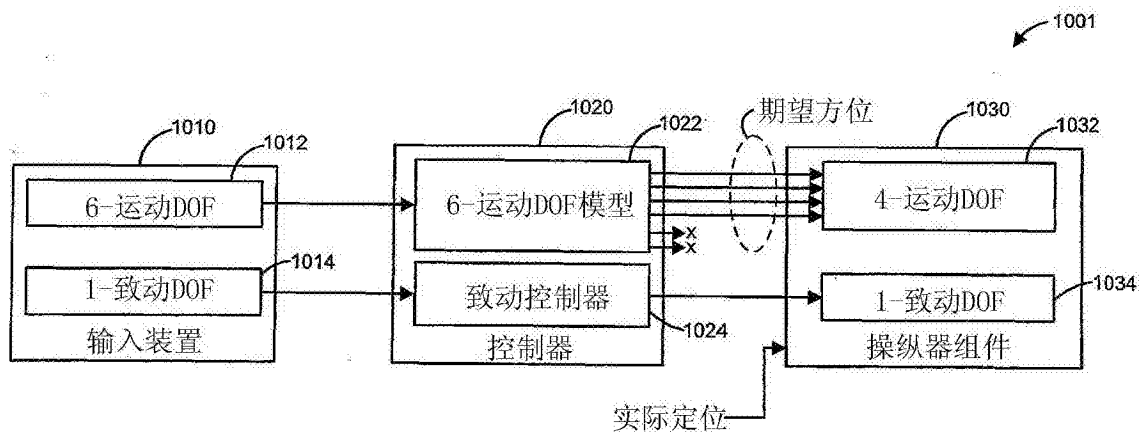


图10B

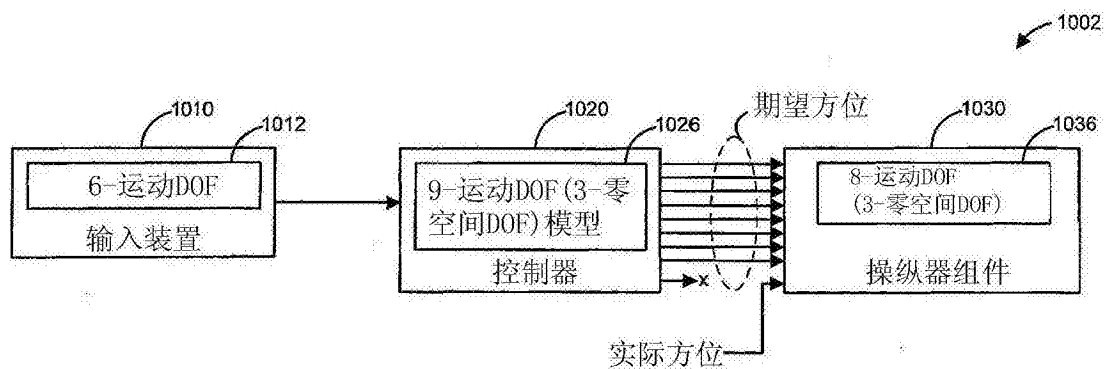


图10C

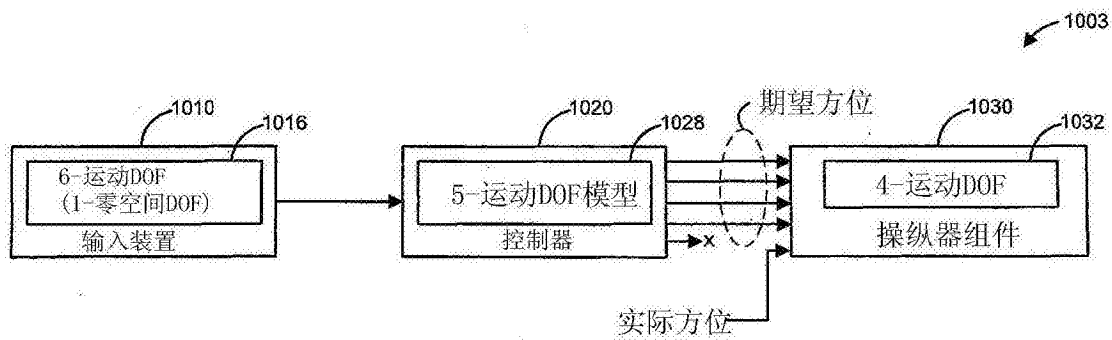


图10D

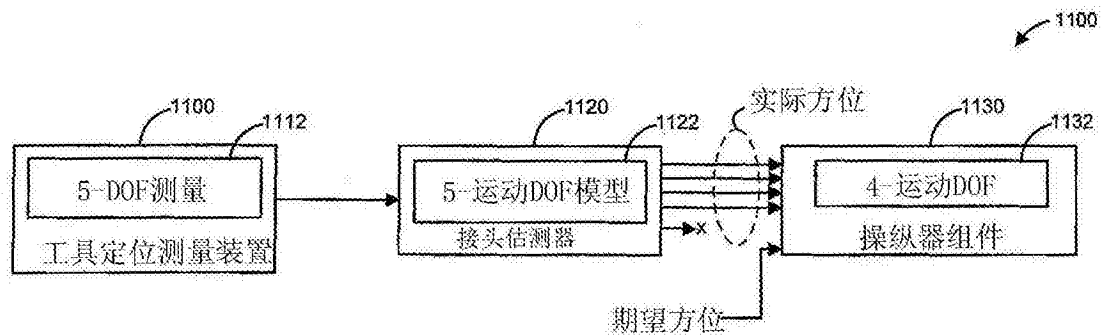


图11A

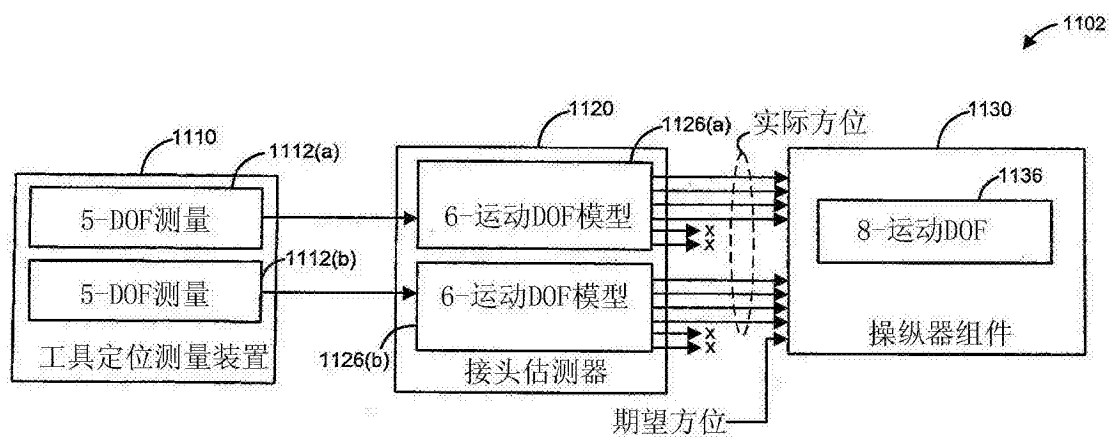


图11B

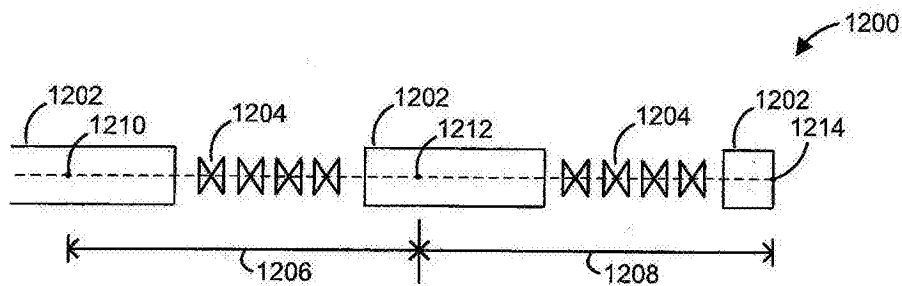


图12A

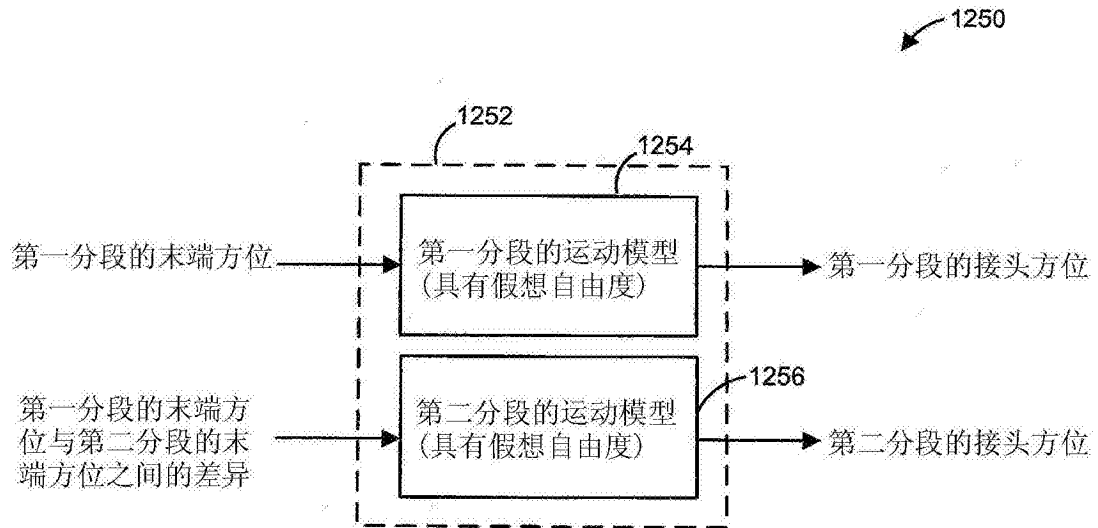


图12B

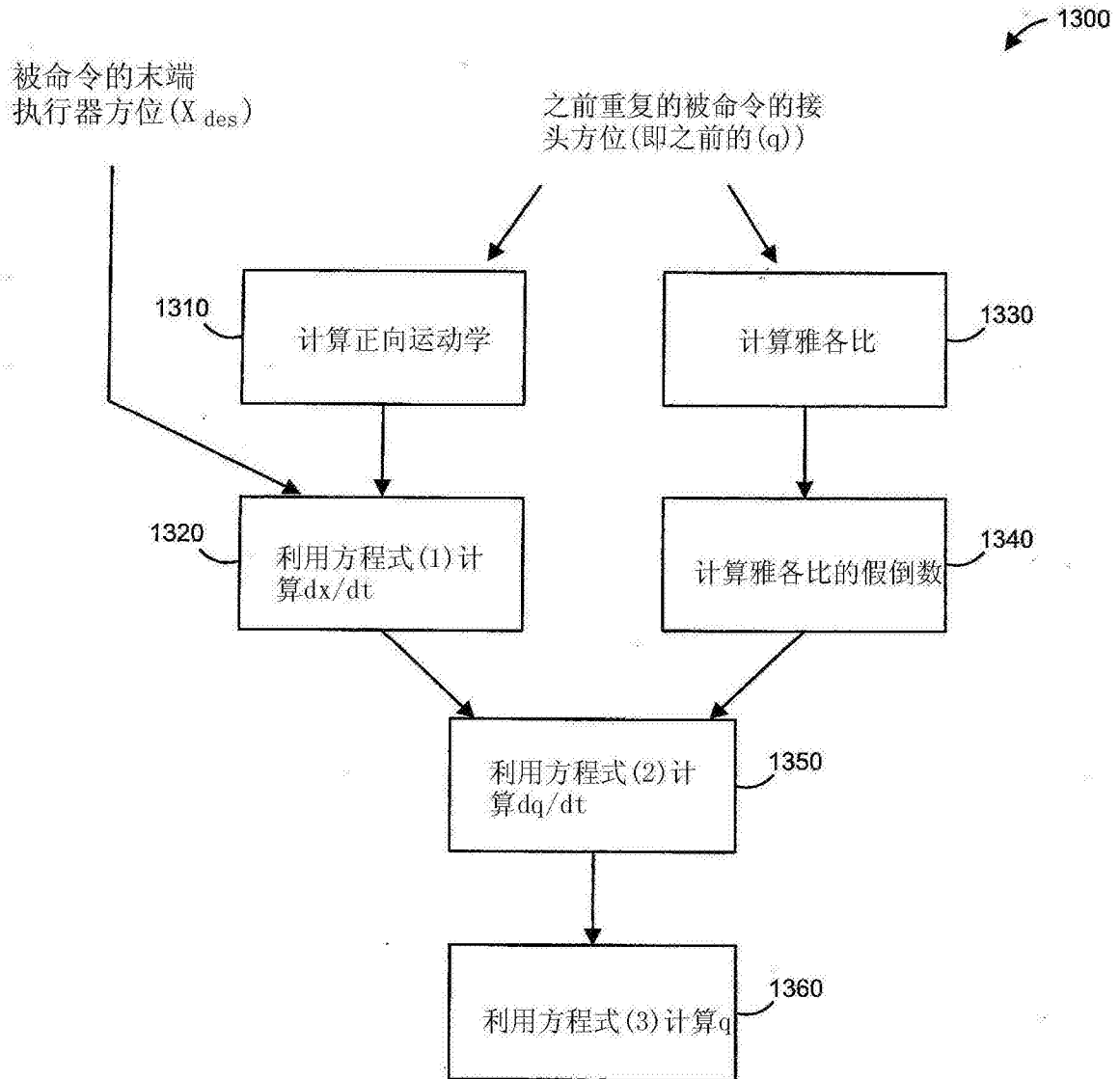


图13

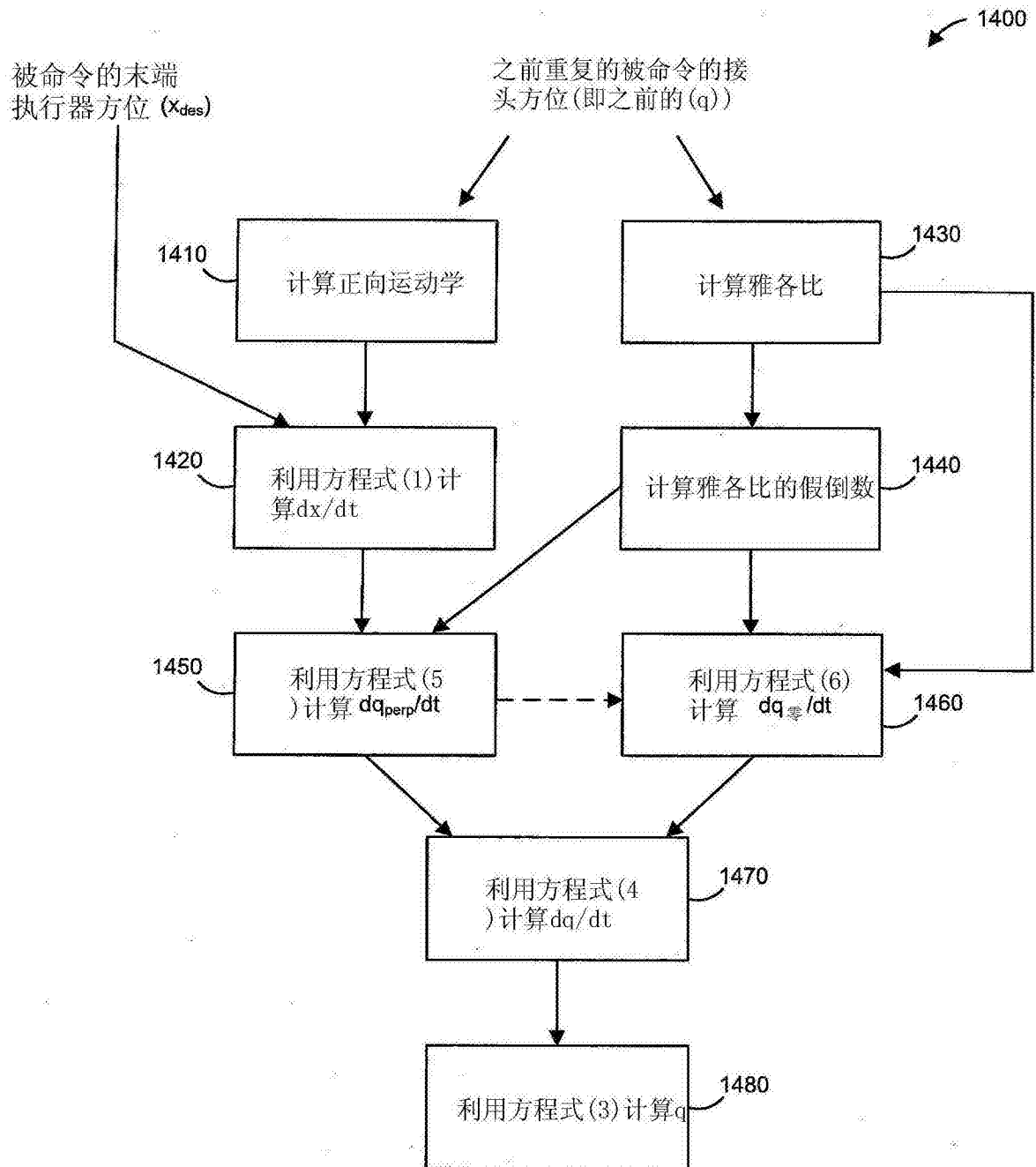


图14