



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107595392 B

(45) 授权公告日 2020.11.27

(21) 申请号 201710795325.7

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限

(22) 申请日 2013.05.31

公司 11245

(65) 同一申请的已公布的文献号

代理人 赵志刚 董巍

申请公布号 CN 107595392 A

(51) Int.CI.

(43) 申请公布日 2018.01.19

G06F 17/10 (2006.01)

(30) 优先权数据

A61B 34/30 (2016.01)

61/654,755 2012.06.01 US

A61B 34/37 (2016.01)

B25J 9/16 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

(56) 对比文件

201380027983.1 2013.05.31

US 2011276059 A1, 2011.11.10

(73) 专利权人 直观外科手术操作公司

WO 2007076119 A2, 2007.07.05

地址 美国加利福尼亚州

CN 1461693 A, 2003.12.17

(72) 发明人 A·M·乌尔塔斯 P·海英维

EP 1972415 A1, 2008.09.24

B·M·斯凯纳 R·L·迪万根佐

JP H07241790 A, 1995.09.19

CN 102448680 A, 2012.05.09

审查员 阳敏

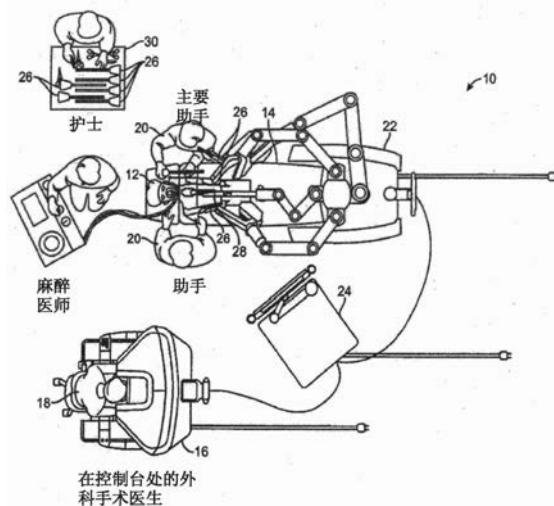
权利要求书2页 说明书15页 附图14页

(54) 发明名称

使用零空间回避操纵器臂与患者碰撞

(57) 摘要

通过在零空间内移动操纵器而回避操纵器臂和患者外表面之间碰撞的装置、系统和方法。响应于回避几何结构和障碍表面之间的距离的确定，对应于操纵器与患者距离小于期望的距离，该系统计算操纵器的一个或更多个接头或连杆在雅可比行列式的零空间内的移动，以增加该距离。根据重新配置命令和计算的移动而驱动接头，以便维持末端执行器的期望的状态。在一个方面，根据雅可比行列式的零垂直空间内的计算的末端执行器移位移动，来驱动接头，从而实现末端执行器或远程中心的期望的移动，且同时通过在零空间内移动接头而回避臂与患者碰撞。



1. 一种用于控制操纵器臂的方法,所述操纵器臂包括远侧部分、耦接至基底的近侧部分以及在所述远侧部分和所述基底之间的多个接头,所述多个接头一起具有足够的自由度以允许用于所述远侧部分的状态的一系列的不同接头状态,所述方法包括:

响应于从用户输入端接收的操纵命令,计算所述多个接头的远侧部分移位移动,以便实现在工作部位内的所述远侧部分的期望状态,其中计算所述远侧部分移位移动包括计算雅可比行列式的零垂直空间内的所述多个接头的接头速度,所述零垂直空间正交于所述雅可比行列式的零空间;

计算所述多个接头的回避移动,以便在所述操纵器臂的一部分和障碍物表面之间提供期望的间隙,其中,计算所述回避移动包括计算在所述零空间内的所述多个接头的接头速度;以及

根据所述远侧部分移位移动和所述回避移动来驱动所述多个接头,以便实现所述远侧部分的所述期望状态并且提供在所述操纵器臂和所述障碍物表面之间的足够的间隙。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中响应于在所述操纵器臂的所述部分和所述障碍物表面之间的不足够间隙的确定,根据所述回避移动来驱动所述多个接头。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中使用所述回避移动来驱动所述多个接头,且同时根据所述远侧部分移位移动来驱动所述多个接头。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述远侧部分包括器械或者经配置可释放地支撑所述器械,所述器械具有向远侧延伸到末端执行器的细长轴,并且其中所述远侧部分移位移动将实现期望的末端执行器状态。

5. 根据权利要求1所述的方法,还包含:

确定对应于所述操纵器臂的所述近侧部分的可移动方位的回避几何结构;以及

通过使用所述操纵器臂的所述接头的一个或更多个传感器,确定所述障碍物表面,其中所述回避移动增加在所述回避几何结构和所述障碍物表面之间的距离。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述远侧部分的所述期望状态包括相对于所述基底的所述远侧部分的方位、取向或速度。

7. 一种机器人系统,包括:

操纵器臂,其包括远侧部分、耦接至基底的近侧部分以及在所述远侧部分和所述近侧部分之间的多个接头,所述多个接头一起具有足够的自由度以允许用于所述远侧部分的状态的一系列的接头状态;

输入装置;以及

被耦接到所述操纵器臂和所述输入装置的处理器,该处理器被配置成执行方法,该方法包括:

响应于从所述输入装置接收的操纵命令,计算所述多个接头的远侧部分移位移动,以便实现在工作部位内的所述远侧部分的期望状态,其中计算所述远侧部分移位移动包括计算雅可比行列式的零垂直空间内的所述多个接头的接头速度,所述零垂直空间正交于所述雅可比行列式的零空间;

计算所述多个接头的回避移动,以便在所述操纵器臂的一部分和障碍物表面之间提供期望的间隙,其中,计算所述回避移动包括计算在所述零空间内的所述多个接头的接头速度;以及

根据所述远侧部分移位移动和所述回避移动来驱动所述多个接头。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中响应于在所述操纵器臂的所述部分和所述障碍物表面之间的不足够间隙的确定,根据所述回避移动来驱动所述多个接头。

9. 根据权利要求7所述的系统,其中使用所述回避移动来驱动所述多个接头,且同时根据所述远侧部分移位移动来驱动所述多个接头。

10. 根据权利要求7所述的系统,其中所述远侧部分包括器械或者经配置可释放地支撑所述器械,所述器械具有向远侧延伸到末端执行器的细长轴,并且其中所述远侧部分移位移动将实现期望的末端执行器状态。

11. 根据权利要求7所述的系统,其中所述方法还包含:

通过使用所述操纵器臂的所述接头的一个或更多个传感器,确定所述障碍物表面;以及

确定对应于所述操纵器臂的所述近侧部分的可移动方位的回避几何结构,其中所述回避移动增加在所述障碍物表面和所述回避几何结构之间的距离。

12. 根据权利要求7所述的系统,其中所述远侧部分的所述期望状态包括相对于所述基底的所述远侧部分的方位、取向或速度。

13. 一种存储用于操作一种系统的指令的可读存储器,该指令能够由处理器执行以便执行根据权利要求1-6中任意一项权利要求所述的方法。

## 使用零空间回避操纵器臂与患者碰撞

[0001] 本申请是2013年5月31日提交的名称为：“使用零空间回避操纵器臂与患者碰撞”的中国专利申请201380027983.1 (PCT/US2013/043557) 的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请是于2012年6月1日提交的名称为“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space (使用零空间回避操纵器臂与患者碰撞)”的美国临时专利申请号61/654,755的非临时性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。

[0004] 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 (围绕运动奇点的医疗机器人系统操纵器的控制)”的美国申请号12/494,695;2009年3月17日提交的名称为“Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion (具有冗余自由度和添加力以造成内部运动的主控制器)”的美国申请号12/406,004;2005年5月19日提交的名称为“Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses (用于外科手术和其它用途的软件中心和高度可配置的机器人系统)”的美国申请号11/133,423(美国专利号8,004,229);2004年9月30日提交的名称为“Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery (用于机器人外科手术的偏置遥控中心操纵器)”的美国申请号10/957,077(美国专利号7,594,912);1999年9月17日提交的名称为“Master Having Redundant Degrees of Freedom (具有冗余自由度的主工具)”的美国申请号09/398,507(美国专利号6,714,839);以及名称为“System and Methods for Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space (使用零空间为命令的外科手术操纵器重新配置的系统和方法)”的美国申请号13/906,767;以及与本申请一同提交的名称为“Systems and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space (使用零空间回避操纵器臂之间的碰撞的系统和方法)”的美国申请号13/906,819;其全部公开以引用方式并入本文。

### 技术领域

[0005] 本发明一般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

[0006] 微创医疗技术的目的是减少在诊断或外科手术过程期间的组织受损量,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;这些手术中的许多能够以微创的方式潜在地被执行。然而,目前仅有相对少量的外科手术使用微创技术,这是因为微创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外科手术培训。

[0007] 外科手术中使用的微创远程外科手术系统经发展增大了外科医生的灵巧性

以及允许外科手术医生从远程位置在患者体上进行手术。远程外科手术是对如下外科手术系统的泛称,即外科手术医生使用远程控制的某种形式,例如伺服机构等来操纵外科手术器械运动而不是通过手直接握持和移动器械。在此种远程外科手术系统中,在远程位置处为外科手术医生提供手术部位的图像。当外科手术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,外科手术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,从而在患者身上执行外科手术。机器人外科手术器械能够通过小的微创外科手术切孔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,通常通过在微创切孔处枢转器械的轴、使轴轴向滑动通过切孔、在切孔中旋转轴和/或其它类似动作来完成。

[0008] 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(每个对应外科手术医生的一只手)的输入并且可以包含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捕捉装置所显示的机器人器械的图像上能够有助于向外科手术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它图像捕捉装置、额外的手术器械或类似器械。

[0009] 各种结构布置能够在机器人外科手术期间用于支撑手术部位处的外科手术器械。从联动装置或者“从”装置通常被称为机器人外科手术操纵器,并且美国专利号6,758,843、6,246,200和5,800,423中描述了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,其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。此种操纵器结构能够约束器械的运动,使得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插管对准),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。例如在美国专利号6,702,805、6,676,669、5,855,583、5,808,665、5,445,166和5,184,601中描述了替代性操纵器结构,其全部内容以引用方式并入本文。

[0010] 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,当在微创手术部位内移动外科手术器械时,机器人外科手术操纵器可以在患者体外表现出大幅度的移动,特别是当器械绕微创孔口在大的角度范围内枢转时,这能够导致运动的操纵器意外地接触彼此、接触外科手术室内的器械车或其它结构、接触外科手术人员和/或接触患者的外表面。具体地,随着操纵器绕微创孔口枢转,靠近远侧器械的操纵器臂可能意外地接触患者外表面。已提出替代性地高度可配置的“软件中心”外科手术操纵器系统并且该系统可以提供大量的优点,但也呈现出不同的挑战。具体地,提出的软件中心系统在一些条件下会不具有机械约束远程中心联动装置的所有安全优势。无论如何,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,这两种变化均会增加与控制和预测在体外的操纵器的运动关联的挑战,并且增加回避操纵器臂的组件与患者的外表面之间的不希望的接触或碰撞的重要性。

[0011] 由于这些和其它原因,提供用于外科手术、机器人外科手术以及其它机器人应用

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回避操纵器臂和患者之间碰撞的能力,同时维持期望的末端执行器状态或器械轴枢转所绕的远程中心的期望位置将尤为有益。理想地,这些改进将允许在手术期间的一个或更多个操纵器臂的改善的运动,同时回避在末端执行器运动期间在操纵器臂和患者之间的碰撞。另外,期望的是在提供此类改进的同时,在至少一些外科手术期间增加器械的运动范围,而不明显地增大这些系统的尺寸、机械复杂性或成本,且同时维持或改善它们的灵巧性。

## 发明内容

[0012] 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。在一个方面,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运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上运动。根据由处理器计算的接头的协调运动,通过驱动操纵器的一个或更多个接头,这导致在运动雅可比行列式的零空间内延伸操纵器的一个或更多个接头,以便维持期望的末端执行器状态和/或枢转点位置,从而该系统允许高度可配置的机器人操纵器的运动以回避与患者的碰撞。通常,响应于操纵器臂和患者外表面之间的距离小于期望距离的确定,计算回避运动。

[0013] 在一个方面,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以及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具有一系列的接头状态。响应于远端执行器或远程中心近侧的操纵器臂的一部分过于接近患者的外表面的确定,该系统计算所述多个接头在零空间内的回避移动。然后,处理器被配置成根据计算的回避移动而使用控制器来驱动接头,以便维持末端执行器的期望状态和/或远程中心位置。通常同时伴随着回避移动,响应于接收以期望的移动来移动末端执行器的操纵命令,该系统通过计算正交于雅可比行列式的零空间的零垂直空间内的接头移动来计算接头的末端执行器移位移动,并且根据所计算的移位移动来驱动接头,从而实现期望的末端执行器移动。

[0014] 在本发明的另一个方面,操纵器臂经配置移动,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,存在多个从动接头,以提供足够的自由度,从而随着器械轴的中间部分延伸通过进入部位,允许针对末端执行器方位具有一系列的接头状态。具有控制器的处理器将输入装置耦接到操纵器。响应于操纵器臂的一部分过于接近患者的外表面的确定,处理器确定一个或更多个接头的移动,以增大操纵器臂的所述一部分和患者的外表面之间的距离,使得器械的中间部分在进入部位内并且维持轴所围绕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,其包括计算正交于零空间的雅可比行列式的零垂直空间内的接头速度,且然后根据计算的移动而驱动接头以影响期望的末端执行器移动,其中根据计算的回避移动,通常同时伴随着驱动接头,器械轴绕远程中心枢转。

[0015] 在一种实施例中,该系统定义了对于操纵器臂的一个或更多个特征的状态的回避几何结构和对于患者外表面的位置的障碍物表面,并且通过确定回避几何结构和障碍物表面之间的距离,来确定操纵器臂和患者外表面之间的最近距离。在某些实施例中,回避几何结构包括一个或更多个基准点、片段或体积(例如,实心体、球体串、圆柱体等)或对于操纵器臂的各部分的任何合适的几何结构。例如,回避几何结构可以包括指示靠近操纵器远端的特征(例如,突起部分)的状态的基准点,所述状态是可使用臂的接头状态传感器来确定的特征的方位或速度。障碍物表面可以包括延伸通过臂的远侧部分(优选地臂的器械所围绕枢转的远程中心位置)的平面,或者建模表面,诸如延伸通过对应于一个或更多个操纵器臂器械轴的一个或更多个远程中心位置的圆柱形表面、球形表面或凸表面。

[0016] 在某些实施例中,响应于回避几何结构和障碍物表面之间的距离小于期望的距离的确定,其中所述期望的距离可以是预先确定的距离或接头状态的函数,则系统的处理器计算操纵器臂的接头或连杆的回避移动,以增加回避几何结构和障碍物表面之间的距离,并且在雅可比行列式的零空间内移动接头或连杆,以便维持末端执行器的状态和/或操纵器臂的远程中心的位置。末端执行器的期望的状态可以包括末端执行器的期望的方位、速度或加速度。在一些实施例中,由用户(诸如在外科手术控制台主输入端上输入命令的外科手术医生)从输入装置中接收末端执行器操纵命令,同时计算回避移动并且用该回避移动驱动接头,从而当操纵器臂的近侧部分和患者外表面之间的距离小于期望的距离时,在患者外表面和操纵器臂的指定部分之间提供足够的间隙。

[0017] 在示例性实施例中,操纵器臂包括围绕其轴线枢转或扭转器械工具的插入轴线的接头,其中所述轴线延伸通过器械的轴枢转所围绕的远程中心。理想地,计算回避移动,以便驱动该接头,从而扭转或枢转特征以远离患者外表面且同时维持末端执行器的状态。在一些实施例中,计算响应于操纵命令而计算的操纵器臂的移位移动,从而避免驱动接头或避免驱动扭转的接头以实现移位移动。计算回避移动以驱动在计算的移位移动中并未被驱动(或反之亦然)的具体接头的这个方面可以被应用至本文所述操纵器臂的任一接头。

[0018] 在某些实施例中,回转接头将操纵器的近侧部分耦接至基底并且支撑操纵器臂,使得回转接头的接头移动围绕回转接头的枢转轴线来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朝向远程中心延伸,可选地通过末端执行器的器械轴枢转所围绕的远程中心。在一个方面,回转接头的移动绕向远侧逐渐变细并且朝向远程中心取向的圆锥而枢转操纵器臂的一个或更多个接头。在该方面,操纵器臂枢转所围绕的圆锥对应于工具尖端的运动范围内的圆锥形空隙,其中工具的移动是不可能的或受损的。在另一个方面,将操纵器的近侧部分耦接到基底的接头相对于基底沿路径(通常是弧形的或基本圆形的路径)是可移动的,使得沿该路径的接头的移动绕一条轴线枢转操纵器臂的一个或更多个接头,其中该轴线朝向器械轴枢转所围绕的远程中心延伸。在一些实施例中,该操纵器包括将操纵器的近侧部分耦接到基底的回转接头,该回转接头相对于基底沿可以是线性的、弧形的或基本圆形的路径是可移动的。

[0019] 在本发明的另一个方面,提供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,如果可以,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,可选地在远程中心处相交。该系统还包括处理器,其具有将输入端耦接到操纵器臂且经配置计算多个接头的回避移动的控制器,如本文所述的任何实施例。

[0020] 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。

## 附图说明

[0021] 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,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,所述多个机器人操纵器用于机器人式地移动具有在患者体内的内部手术部位处的外科手术末端执行器的外科手术器械。

[0022] 图1B图解地示出图1A的机器人外科手术系统。

[0023] 图2是示出用于将外科手术过程命令输入至图1A的外科手术系统内的主外科手术医生控制台或工作站的透视图,所述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。

[0024] 图3是图1A的电子推车(electronics cart)的透视图。

[0025] 图4是具有四个操纵器臂的患者侧推车的透视图。

[0026] 图5A-5D示出示例性操纵器臂。

[0027] 图6A-6B示出在零空间以及在回避几何结构和障碍物表面之间的关联距离内的操纵器臂的移动。

[0028] 图7示出具有多个操纵器臂和被建模成延伸通过每个操纵器臂的远程中心的障碍物表面的示例性系统。

[0029] 图8示出具有在远侧器械夹持器附近的回转接头的示例性操纵器臂。

[0030] 图9示出在远侧器械夹持器附近具有回转接头的示例性操纵器臂,该回转接头使得器械夹持器回转。

[0031] 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夹持器附近具有回转接头。

[0032] 图11A-11B示出通过将远侧回转接头分别从0°角位移驱动到90°角位移的回避移动;

[0033] 图12A-12B图形表示示例性操纵器组件的雅可比行列式的零空间和零垂直空间之间的关系。

[0034] 图13-14是表示根据许多实施例的方法的简化的方框图。

## 具体实施方式

[0035] 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,其中在外科手术过程期间,将多个外科手术工具或器械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具有铰接式联动装置来移动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经调整通过微创进入部位工作。大量的自由度允许在运动雅可比行列式的零空间内重新配置操纵器组件的联动装置,以便移动联动装置远离患者外表面,且同时维持期望的末端执行器状态。在一些实施例中,系统确定何时操纵器臂的一部分和患者外表面之间的距离小于期望

的距离,且然后根据在相应零空间内延伸接头的所计算的回避运动来驱动接头,以便移动操纵器臂远离患者外表面。通常,在外科手术过程期间,根据与远端执行器的命令的位移运动同时的计算的回避运动驱动操纵器臂的接头。

[0036] 本文所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,其中这些后者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夹持器或耦接器,从而允许快速移除和使用替代性工具快速替换该工具。操纵器组件将通常具有基底,该基底在机器人过程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底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(诸如打开或闭合抓紧装置的夹爪、给电外科手术桨(electrosurgical paddle)充能等)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。

[0037] 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,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它切孔的安全运动。此种运动可以包括例如轴通过切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。

[0038] 本文所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,能够以六个自由度通过微创切孔在内部手术部位处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——加上三个自由度来符合进入部位约束),不过可以具有十个或更多个自由度。针对给定的末端执行器方位,具有比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来允许在工作空间内针对末端执行器方位具有一系列的接头状态。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。

[0039] 本发明提供机器人联动装置结构,该结构尤为适合如下外科手术(以及其它)应用,即其期望有广泛的运动范围并且由于其它机器人联动装置、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的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它工作空间之间提供较大的灵活度,从而促进和加速装配。

[0040] 接头等的术语“状态”通常在本文中将指与接头相关联的控制变量。例如,角接头(angular joint)的状态能够指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。虽然本文所述的许多控制器包括速度控制器,不过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。在美国专利号6,699,177中更充分地描述能够用于此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所述的接头的移动和末端执行器的移动的计算。

[0041] 在某些实施例中,示例性操纵器臂的工具绕邻近微创切孔的枢转点枢转。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6,786,896中描述的远程中心运动,其内容以引用的方式并入本文。此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,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装置系统是已知的且/或在将来可以被研发出。令人惊讶的是与本发明结合的工作指示出远程中心联动装置系统可以受益于高度可配置的运动架构。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,不过仍会遇到可回避的缺陷(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,添加一个或更多个也被机械地约束为在进入部位处或附近的枢转运动的额外自由度可以提供运动范围内的少量或任何改进。无论如何,此种接头能够通过允许整个系统被配置成碰撞-抑制姿势或朝向该姿势驱动、通过进一步扩大其它外科手术过程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,其全部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,以便绕计算的枢转点位置(这是与由机械约束定义的枢转点不同)枢转器械轴的中间部分。通过具有计算软件枢转点的能力,能够选择性地实现表征为系统的柔性或刚度的不同模式。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;因此,本发明的实施例适合用于各种类型的操纵器臂,包括软件中心臂和硬件中心臂。

[0042] 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底和器械之间的相对大量的接头和联动装置,所以操纵器臂的运动可以尤为复杂。随着操纵器臂的配置范围和运动范围增大,远端执行器近侧的操纵器臂的一部分与患者的外表面之间的臂与患者碰撞的可能性也增大。例如,相当大的操纵器臂的运动范围可允许操纵器臂的特征或操纵器臂本身的远侧连杆接触和/或碰撞患者的外表面,其中操纵器臂具有绕邻近微创切孔的远程中心而枢转的远侧工具,如本文所述。因为对于用户而言因操纵器臂的移动的复杂性导致难以预测何时可能出现此接触,所以本发明通过计算操纵器臂的回避运动并且驱动接头实现回避移动且同时维持操纵器臂的远侧部分或工具的期望的状态而回避此类臂与患者的碰撞。

[0043] 本发明的实施例包括计算回避移动的处理器,其中回避移动有助于使用运动联动装置的从动接头,从而通常响应于操纵器臂的基准或回避几何结构和患者表面之间的距离不足的确定,在雅可比行列式的零空间内重新配置操纵器结构,以便回避臂与患者碰撞。在一个方面,该系统通过分析定义的“回避几何结构”和“障碍物表面”之间的关系,来确定操纵器臂和患者外表面之间的距离,所述回避几何结构对应于操纵器臂上的一个或更多个基准并且障碍物表面对应于患者外表面。在一些实施例中,该系统确定在回避几何结构和障

碍物表面之间的距离,并且如果该距离小于期望的距离(x),则系统计算运动链的回避移动,以便至少维持在基准几何结构和障碍物表面之间的期望的距离。期望的距离(x)可以是预先确定的距离,或者可以是基于给定的一种接头状态或更多种接头状态的距离范围。例如,期望的距离可以根据患者表面附近的接头的速度或针对患者附近的操纵器臂的具体配置而发生改变。

[0044] 在某些实施例中,基准几何结构包括一个或更多个基准点,所述基准点对应于与操纵器臂有关的一个或更多个突起或特征,并且障碍物表面是在外科手术过程期间对应于患者外表面的近似或建模表面。通常,基准几何结构包括对应于远侧工具(诸如远侧接头)附近的操纵器臂的远侧部分的特征的一个或更多个点。虽然通常回避移动是独立于计算的操纵移动的计算的移动,但是通过控制器组合该移动,以便与命令的末端执行器操纵移动同时地实现回避移动。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,其中可读存储器具有记录在其上的编程有指令或代码的接头控制器,这允许处理器获取合适的接头命令,以用于驱动接头以便允许控制器实现期望的重新配置以回避与患者的外表面的碰撞和/或实现期望的末端执行器移动。

[0045] 在下列描述中,将描述本发明的各种实施例。为了说明的目的,提出了具体配置和细节,以便提供对本实施例的透彻地理解。然而,本领域技术人员应明白在没有具体细节的情况下可以实行本发明。此外,为了不混淆已描述的实施例,可以省略或简化已知特征。

[0046] 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是微创机器人外科手术(MIRS)系统10的俯视图,根据许多实施例,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过程。该系统能够包括供外科手术医生18在手术过程中使用的外科手术医生控制台16。一个或更多个助手20也可以参与该手术过程。MIRS系统10还能够包括患者侧推车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的耦接的工具组件26(下文简称为“工具”)通过患者12身体内的微创切口,且同时外科手术医生18通过控制台16观看外科手术部位。通过内窥镜28(诸如立体内窥镜)能够获得外科手术部位的图像,其中所述内窥镜能够被患者侧推车22操纵以便给内窥镜28定向。电子推车24能够被用于处理通过外科手术医生控制台16随后向外科手术医生18显示的外科手术部位的图像。一次使用的手术工具26的数量将大体取决于诊断或外科手术过程和手术室内的空间约束以及其它因素。如果在手术过程中必须改变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,并且使用手术室内来自托盘30的另一个工具26将其替换。

[0047] 图1B图解地示出机器人外科手术系统50(诸如图1所示MIRS系统10)。如上所述,外科手术医生能够在微创手术过程期间使用外科手术医生控制台52(诸如图1中的外科手术医生控制台16)来控制患者侧推车(外壳手术机器人)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)来捕捉手术部位的图像,并且将被捕捉的图像输出至电子推车56(诸如图1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被捕捉的图像。例如,在将组合的图像经外科手术医生控制台52显示给外科手术医生之前,电子推车56能够使用虚拟控制界面覆盖被捕捉图像。患者侧推车54能够输出被捕捉图像,用于在电子推车56外部进行处理。例如,患者侧推车54能够将被捕捉图像输出至处理器58,该处理器能够被用于处理被捕捉的图像。还能够通过电子推车56

和处理器58的组合来处理图像,该电子推车和处理器能够被耦接在一起以便共同、相继和/或组合地处理被捕捉的图像。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耦接在一起,以用于图像(诸如手术部位的图像或其它有关的图像)的本地和/或远程显示。

[0048] 图2是外科手术医生控制台16的透视图。外科手术医生控制台16包括左眼显示器32和右眼显示器34,以用于为外科手术医生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还包括一个或更多个输入控制装置36,所述装置进而导致患者侧推车22(图1A所示)操纵一个或更多个工具。输入控制装置36能够提供与其关联的工具26(图1A所示)相同的自由度,以便为外科手术医生提供输入控制装置36与工具26一体化的远程呈现或感知,使得外科手术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、力以及触觉反馈传感器(未示出)以便通过输入控制装置36将方位、力以及触觉感觉从工具26传输回外科手术医生手部。

[0049] 外科手术医生控制台16通常和患者位于相同的房间,使得外科手术医生可以直接监控手术、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它通信介质说话。然而,外科手术医生能够位于不同的房间、完全不同的建筑物或距离患者较远的其它位置,以允许远程外科手术过程。

[0050] 图3是电子推车24的透视图。电子推车24能够与内窥镜28耦接并且能够包括处理器,该处理器用于处理被捕捉的图像用于随后的显示诸如在手术控制台或另一个位于本地和/或远程的合适的显示器上向外科手术医生显示。例如,当使用立体内窥镜时,电子推车24能够处理被捕捉的图像,以便为外科手术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。作为另一个例子,图像处理能够包括使用先前确定的照相机校准参数,以便补偿图像捕捉装置的成像误差,诸如光学像差。

[0051] 图4示出具有多个操纵器臂的患者侧推车22,其中每个操纵器臂在操纵器臂的远端处支撑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,所述操纵器臂能够被用于支撑外科手术工具26或成像装置28,诸如用于捕捉手术部位的图像的立体内窥镜。通过具有若干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能够被定位且操纵通过患者体内切口,使得运动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。

[0052] 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,其中在外科手术过程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(包括狄见贝基钳镊(DeBakey Forceps)、微型手术镊、波茨剪刀和施夹器)包括相对于彼此枢转以便限定一对末端执行器夹爪(或刀片)的第一末端执行器元件和第二末端执行器元件。对于具有末端执行器夹爪的器械,通常通过挤压柄部的抓紧构件来致动夹爪。包括解剖刀和电烙术探测器的其它末端执行器具有单个末端执行元件(例如,单个“指状物”)。例如,单个末端执行器型器械还可以通过抓紧抓紧构件被致动以便触发至器械尖端的电烙术能量的输送。

[0053] 器械26的细长轴允许末端执行器和轴的远端通过微创切孔、往往通过腹壁等向远

侧插入至外科手术部位。可以将外科手术部位充气，并且通常至少部分通过绕轴穿过微创切孔所处的位置而枢转器械26来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，使得轴延伸通过微创切孔位置，以便帮助提供末端执行器的期望移动。因此，在外科手术过程期间，操纵器100将通常经历在患者P体外的显著移动。

[0054] 能够参考图5A-14理解根据本发明的许多实施例的示例性操纵器臂。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底的移动。由于在外科手术过程期间(通常在有外科手术助手的帮助下)，具有不同末端执行器的大量不同的器械会被相继安装在每个操纵器上，所以远侧器械夹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，操纵器被近侧安装在患者侧推车的基底。通常，操纵器臂包括在基底和远侧器械夹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，能够通过一系列的不同配置来驱动操纵器臂的接头。这可以是本文公开的任何操纵器臂的实施例的情况。

[0055] 在某些实施例中，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绕接头轴线回转接头远侧的操纵器臂。在一些实施例中，回转接头J1被直接安装到基底，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。操纵器的接头组合地具有冗余的自由度，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纵成不同的配置，而被支撑在器械夹持器510内的远侧构件511(诸如工具512或器械轴延伸所通过的插管)维持具体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延伸所通过的插管，并且器械夹持器510通常是器械在通过插管511延伸通过微创切孔至患者体内之前所附接的托架(示出为在梁上平移的块状结构)。

[0056] 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，第一连杆504从绕其接头轴线枢转且被耦接至绕其接头轴线旋转的回转接头J1的枢转接头J2向远侧延伸。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，在绕接头枢转轴线枢转的枢转接头J3处，第一连杆504的远端耦接至第二连杆506的近端，并且在绕其轴线枢转的枢转接头J4处，第三连杆508的近端耦接至第二连杆506的远端。在枢转接头J5处，第三连杆508的远端耦接至器械夹持器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纵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，器械夹持器还包括额外的接头，诸如棱柱接头J6，该接头有助于器械306通过微创切孔的轴向移动，并且有助于器械夹持器附接至插管，其中器械可滑动地插入至该插管。

[0057] 插管511的远侧构件可以包括器械夹持器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夹持器/器械接口处将器械与支撑操纵器结构分开，使得在器械上的所示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，插管511包括在工具尖端的插入点或在远程中心RC附近或近侧的旋转接头J7(未示出)，其中工具的轴邻近微创切孔围绕所述远

程中心RC枢转。器械的远侧腕部允许延伸通过插管511的外科手术工具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而被控制。

[0058] 在某些实施例中,该系统限定“回避几何结构”700,其包括对应于操纵器臂的部件或特征的一个或更多个基准点、片段或体积。例如,当将工具被定位在外科手术工作空间内时,与器械插管511接合的联动装置510的远端大体朝患者突起,其中联动装置510通常被称为“梁”联动装置。有时被称为“梁转向节”的该特征是重要的,因为该特征在器械插管511围绕其远程中心RC旋转时,会潜在地接触或碰撞患者的外表面。因此,为回避此种碰撞,系统限定“回避几何结构”并且通常通过使用接头传感器来确定其与患者表面的接近度,其中根据接头传感器能够确定“回避几何结构”的方位或速度。实施例还可以使用安装在从动联动装置或从装置上的近程传感器,所述近程传感器能够局部地感测患者表面的附近。在示例性实施例中,回避几何结构700包括对应于“梁转向节”702的基准,不过还可以包括对应于操纵器臂在外科手术过程期间可潜在地碰撞患者表面的其它特征(诸如器械腕部附近的部分704或联动装置504的远侧部分)的额外基准。

[0059] 在图6A和图6B所示实施例中,限定了操纵器臂的“回避几何结构”和对应于患者外表面的“障碍物表面”两者。在该实施例中,通过将障碍物表面800限定为延伸通过远程中心的平面(大体水平面),大致近似患者外表面的位置。因为工具的器械轴绕邻近微创切孔的远程中心枢转,所以假设患者外表面从微创切孔水平延伸;因此,障碍物表面800最准确地表示远程中心位置处的患者外表面的位置。通过两个基准点702、704(统称为回避几何结构700)近似操纵器臂的特征的位置。使用接头状态传感器大体确定在操纵器臂的被命令移动期间的回避几何结构的位置和/或速度,其中根据所述接头状态传感器,系统能够确定回避几何结构和障碍物表面之间的最短距离d。响应于距离d小于期望距离的确定,其中该期望距离表示可能的或潜在的臂与患者碰撞,则该系统计算与操纵器臂相关联地、接头在雅可比行列式的零空间内的协调的回避移动,以便增加回避几何结构700和障碍物表面800之间的距离d,并且然后根据计算的移动而驱动接头。因为接头的回避移动经计算在零空间内延伸,所以该移动维持操纵器臂的远侧部分或末端执行器的期望状态,使得回避移动能够与操纵器臂的被命令移动结合以实现末端执行器的期望状态。

[0060] 在图7的示例性实施例中,障碍物表面800被限定为更接近典型患者的外表面的建模表面。障碍物表面800可以被建模成对应于患者外表面的各种轮廓或形状,或者可以被建模成包括来自包括接头传感器、光学传感器或超声传感器的各种源的方位数据。在一些实施例中,通过使得建模表面延伸通过两个或更多个远程中心位置而近似障碍物表面800,如图7所示的障碍物表面800,其延伸通过三个远程中心RC1、RC2和RC3,并且近似成更加类似于在手术部位处的典型患者的外表面(例如患者躯干)的圆柱形、球形或凸形。通过更准确地近似患者外表面的位置,该系统允许针对三个操纵器臂中的每个增加运动范围,同时仍通过在操纵器的d1、d2和d3中每个之间的最短距离小于期望距离时根据计算的回避移动来驱动操纵器臂的接头,而回避臂与患者碰撞。

[0061] 根据许多实施例,可以根据许多不同的方法来计算回避移动,其能够包括确定操纵器臂和患者表面之间的“最近点”。或者使用基于经由接头传感器而已知的操纵器方位或状态的计算能够确定最近点,或者使用其它合适器件(诸如外部传感器、视频、声纳、电容传

感器、触摸传感器等)能够近似/逼近最近点。

[0062] 在一种方法中,处理器计算操纵器臂的工作空间内的回避向量;将回避向量转换至接头速度空间;并且然后使用该结果将向量投影至零空间上,以获得回避移动。该处理器可以被配置成计算最近点之间的排斥或回避向量;将回避向量映射至在工作空间内的操纵器臂和患者表面的“最近”点的运动,并且然后确定零空间系数( $\alpha$ ),该系数提供了期望的方向和幅值以移动最近点远离彼此。如果在操纵器臂上的各点或特征和患者表面之间使用多个相互作用的点,则能够通过求和来组合来自每个相互作用的特征的与回避向量相关联的所得的零空间系数。

[0063] 在另一种方法中,处理器可以使用零空间基向量;将向量转换成在工作空间内的操纵器的回避几何结构的运动;并且然后将这些和工作空间内的回避向量组合成原始零空间基向量的系数。处理器可以被配置成计算操纵器臂和患者表面(例如回避几何结构和障碍物表面)的最近点之间的排斥或回避向量,并且将这些向量与回避向量组合,如上面刚刚被描述的。如果使用操纵器臂上的多个特征,则能够使用最小二乘法或其它方法来组合所得的接头速度向量或零空间系数。

[0064] 在一个方面,回避移动可以被计算成包括驱动任何数量的接头,或替代性地避免驱动操纵器臂的特定接头。例如,在如图8所示的操纵器臂中,回避移动可以被计算为包括驱动接头J1、J2、J3、J4和J5的各种组合(尽管在所描绘的实施例中,接头J3、J4和J5被包括在平行四边形布置中并且共享相同的状态),或者替代性地可以被计算为驱动J6,以及任何其它所需的接头,以便在零空间内移动操纵器臂。图8所示的操纵器臂的接头J6可以可选地被用作将器械夹持器510耦接至操纵器臂508的远侧连杆的接头。接头J6允许器械夹持器510绕接头J6的轴线扭转或回转,通常该轴线穿过远程中心或插入点。理想地,接头轴线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,从而允许器械尖端遵从外科手术医生命令且同时避免与患者解剖结构碰撞。图9示出接头J6的轴线、J1的轴线以及延伸通过插管511的工具尖端的插入轴线之间的关系。图10A-10C示出当接头J6从一侧向另一侧转移工具尖端的插入轴线时插管511绕接头轴线的相继扭转或枢转移动。

[0065] 图11A-11B示出根据本发明的接头J6的使用的一种示例。图11A示出操纵器臂,同时接头J6的角移位保持在0°,在该处,回避几何结构700的基准点702和障碍物表面800之间的最短距离是距离d。响应于距离d小于期望距离的确定,系统计算零空间内的回避移动并且驱动接头J6,以便绕穿过插管511枢转所围绕的远程中心RC的接头轴线扭转或枢转插管511和连杆510。图11B示出具有接头J6的操纵器臂,其中接头J6绕其轴线被驱动至90°的角移位。如图所示,插管511的运动增加了回避几何结构的最近点702和障碍物表面800之间的距离d。因此,本发明通过计算回避移动,以包括远侧接头(诸如接头J6)的驱动,能够禁止臂与患者碰撞。

[0066] 在示例性实施例中,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。处理器可以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。

[0067] 在示例性实施例中，该系统包括控制器，其中笛卡尔空间的被命令方位和速度是输入。虽然大体上不存在将期望的笛卡尔空间方位映射到等价的接头空间方位的封闭形式关系，但是在笛卡尔空间和接头空间速度之间大体上存在封闭形式关系，使得运动雅可比行列式能够被用于将接头空间速度映射到笛卡尔空间速度。因此，即使当输入方位和输出方位之间不存在封闭形式的映射时，也能够在诸如基于雅可比行列式的控制器内迭代地使用接头的速度的映射，以根据被命令的用户输入实现操纵器的移动，不过也能够使用各种实施方式。

[0068] 在示例性实施例中，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。该特征可以是操纵器上的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进行铰接的控制框架。用于本文所述的许多实施例中的操纵器上的特征示例将是工具尖端。操纵器上的特征的另一个示例将是物理特征，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将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个示例将是目标组织，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”为同义词。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和接头空间速度之间大体存在封闭形式的关系。运动雅可比行列式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，运动雅可比行列式捕捉末端执行器和接头之间的运动学关系。换句话说，运动雅可比行列式捕捉接头运动对末端执行器的影响。运动雅可比行列式（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（ $dx/dt$ ）：

$$[0069] \quad dx/dt = J \quad dq/dt$$

[0070] 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，也能够在诸如基于雅可比行列式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行列式的控制器，但是一些实施方式可以使用可以被配置成访问雅可比行列式以提供本文所述的任何特征的各种控制器。

[0071] 下面以简化的术语描述一个此种实施方式。命令的接头方位被用于计算雅可比行列式（J）。在每个时间步长（ $\Delta t$ ）期间，计算笛卡尔空间速度（ $dx/dt$ ）以执行期望的移动（ $dx_{des}/dt$ ）并且校正期望的笛卡尔空间方位的累积偏差（ $\Delta x$ ）。然后，使用伪逆的雅可比行列式（ $J^\#$ ）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：

$$[0072] \quad dx/dt = dx_{des}/dt + k \Delta x \quad (1)$$

$$[0073] \quad dq/dt = J^\# dx/dt \quad (2)$$

$$[0074] \quad q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t \quad (3)$$

[0075] 雅可比行列式（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(至多六个)更多的有用的接头轴线,(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),则该操作器被称为是冗余的。冗余的操纵器的雅可比行列式包括具有至少一个维度的“零空间(null-space)”。在该背景下,雅可比行列式的“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(包括本文所述的任何重新配置),将上述等式(2)改变如下:

[0076]  $d\mathbf{q}/dt = d\mathbf{q}_{\text{perp}}/dt + d\mathbf{q}_{\text{null}}/dt \quad (4)$

[0077]  $d\mathbf{q}_{\text{perp}}/dt = J^{\#} \mathbf{dx}/dt \quad (5)$

[0078]  $d\mathbf{q}_{\text{null}}/dt = (1 - J^{\#} J) \mathbf{z} = \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^T \mathbf{z} = \mathbf{V}_n \mathbf{a} \quad (6)$

[0079] 根据等式(4)的接头速度具有两个分量:第一个是零垂直空间分量,“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);并且第二个是零空间分量。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)在左侧上针对零空间分量以传统形式开始,并且在远右侧上显示在示例性系统中使用的形式,其中( $\mathbf{V}_n$ )是零空间的正交基向量集,并且( $\mathbf{a}$ )是混合那些基向量的系数。在一些实施例中, $\mathbf{a}$ 是由控制参数、变量或设置确定的,诸如通过使用旋钮或其它控制器件,以便根据需要在零空间内调整或控制运动。

[0080] 图12A图形化地示出在雅可比行列式的零空间和雅可比行列式的零垂直空间之间的关系。图12A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)。

[0081] 图12B图形化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。在示例性实施例中,计算回避移动包括生成零空间系数( $\alpha$ ),该系数增加了回避几何结构和障碍物表面之间的距离,从而增加了操纵器臂到患者的距离。

[0082] 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,使得高势能表示操纵器臂和患者外表面之间的较短的距离,低势能表示较大的距离。然后,零空间系数( $\alpha$ )被选择成优先地最大可能程度地使势场的负梯度下降。在第二种方法中,该系统确定零空间基向量并且将零空间基向量映射到工作空间内回避几何结构的所得运动,然后针对每个基向量选择零空间系数,增加回避几何结构和障碍物表面之间的距离,从而增加整个的操纵器臂与患者的距离。

[0083] 图13-14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以回避臂与患者碰撞的方法。图13示出需要实现与以上讨论的等式有关的以控制患者侧推车接头状态的通用算法所需的方框的简图。根据图13的方法,该系统:计算操纵器臂的

正向运动；然后，使用等式(1)计算 $dx/dt$ ，使用等式(5)计算 $dq_{perp}/dt$ ；再然后基于前段中的描述以及使用等式(6)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，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。

[0084] 图14示出系统的示例性实施例的方框图。响应于用户输入的操纵命令以实现期望的尖端状态，该系统使用可以使用接头状态传感器被确定的当前接头方位来计算合适的雅可比行列式，并因此计算 $dq_{perp}/dt$ 以实现期望的尖端状态。当前接头方位还能够被用于确定操纵器臂的回避几何结构和对应于患者外表面的障碍物表面之间的距离 $D$ 。响应于操纵器臂的回避几何结构和对应于患者外表面的障碍物表面之间的距离 $D$ 小于临界距离( $D_{min}$ )的确定，系统确定增加 $D$ 的接头速度 $dq_{null}/dt$ ，然后该接头速度能够与 $dq_{perp}/dt$ 结合以获得 $dq/dt$ ，据此，(一个或多个)接头被驱动成实现期望的尖端状态且同时回避臂与患者碰撞。

[0085] 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。

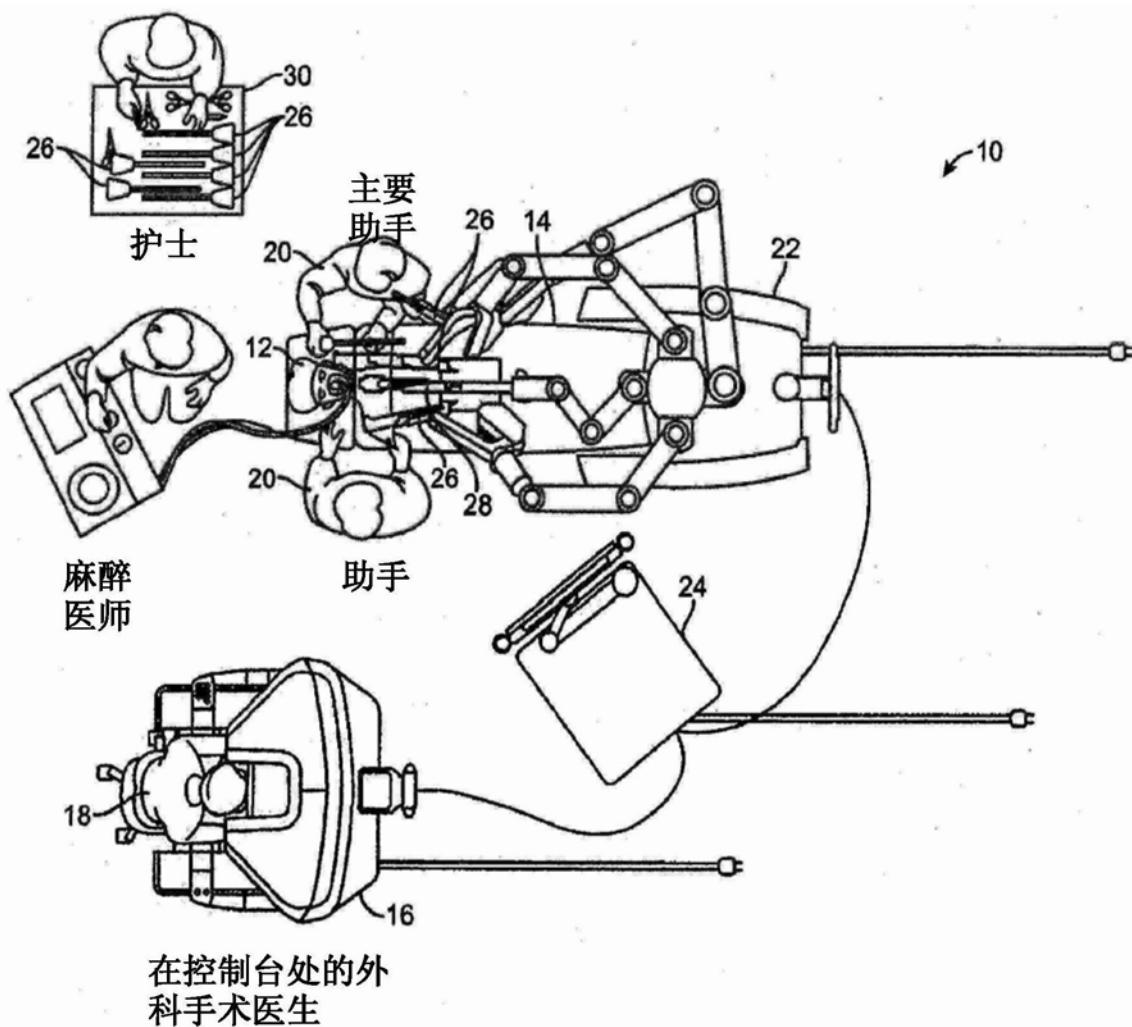


图1A

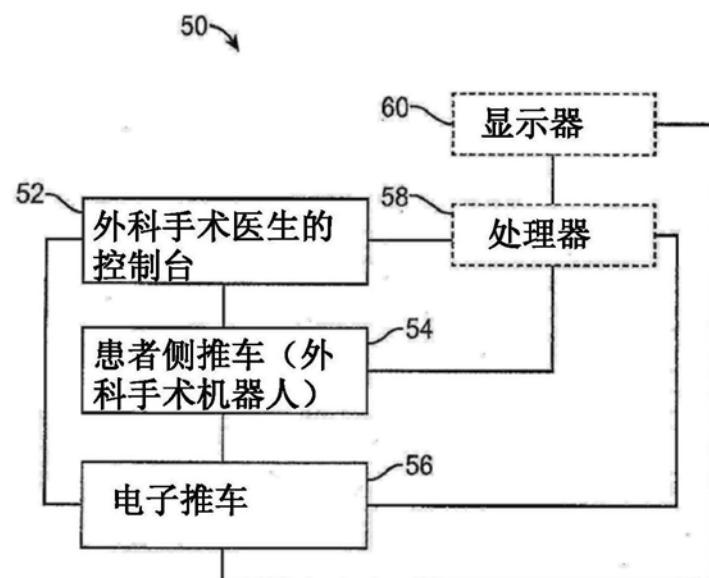


图1B

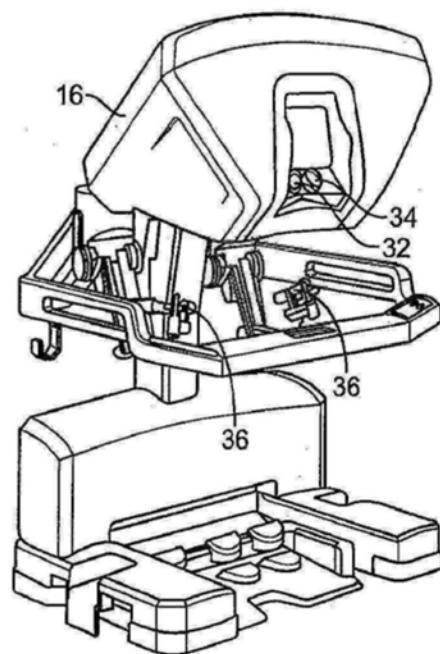


图2

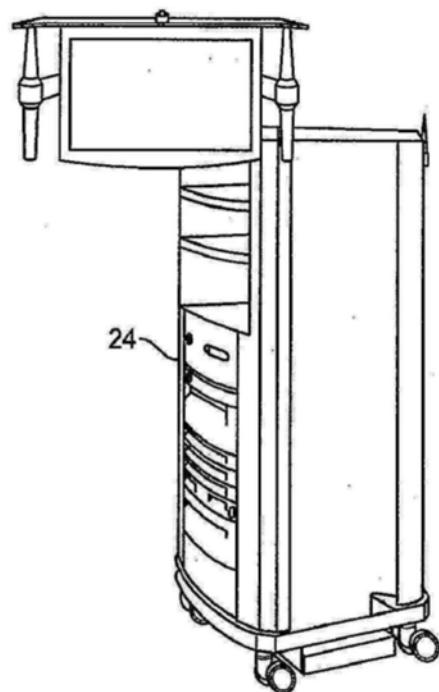


图3

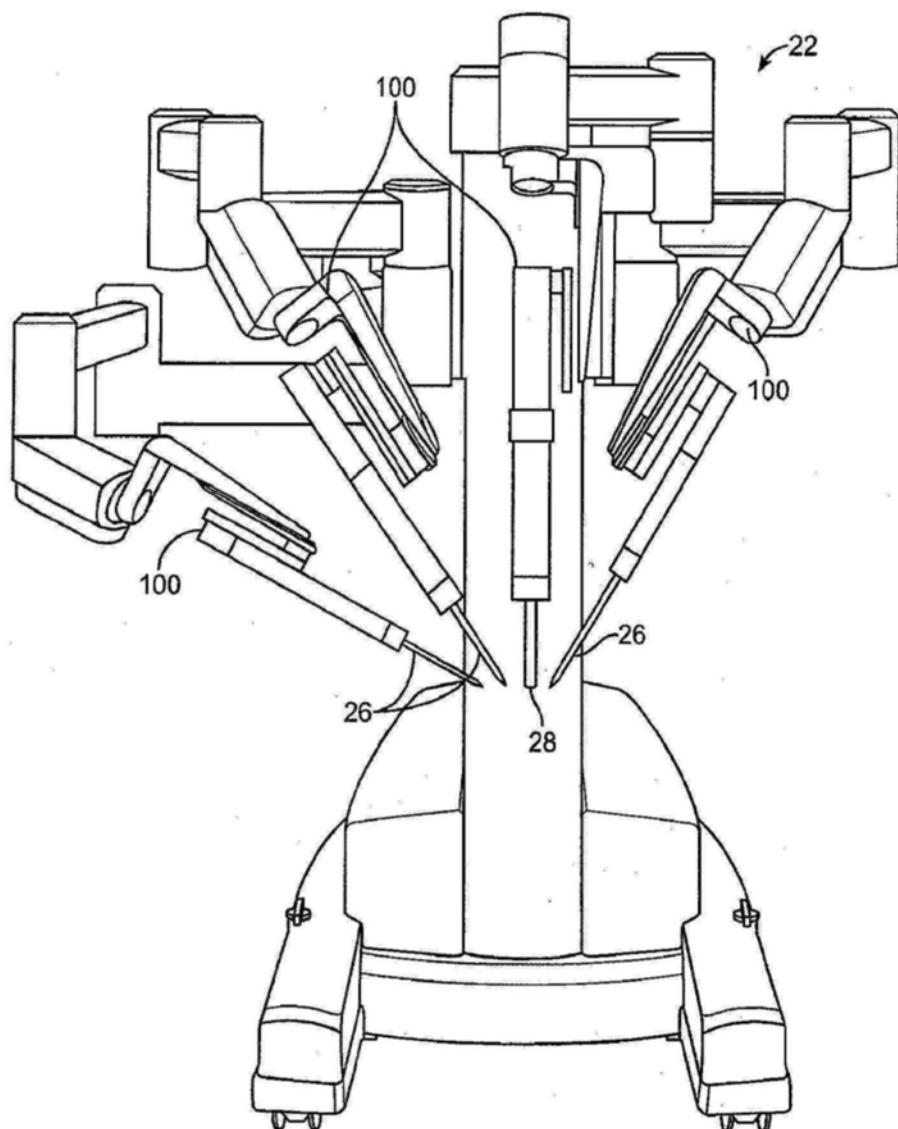


图4

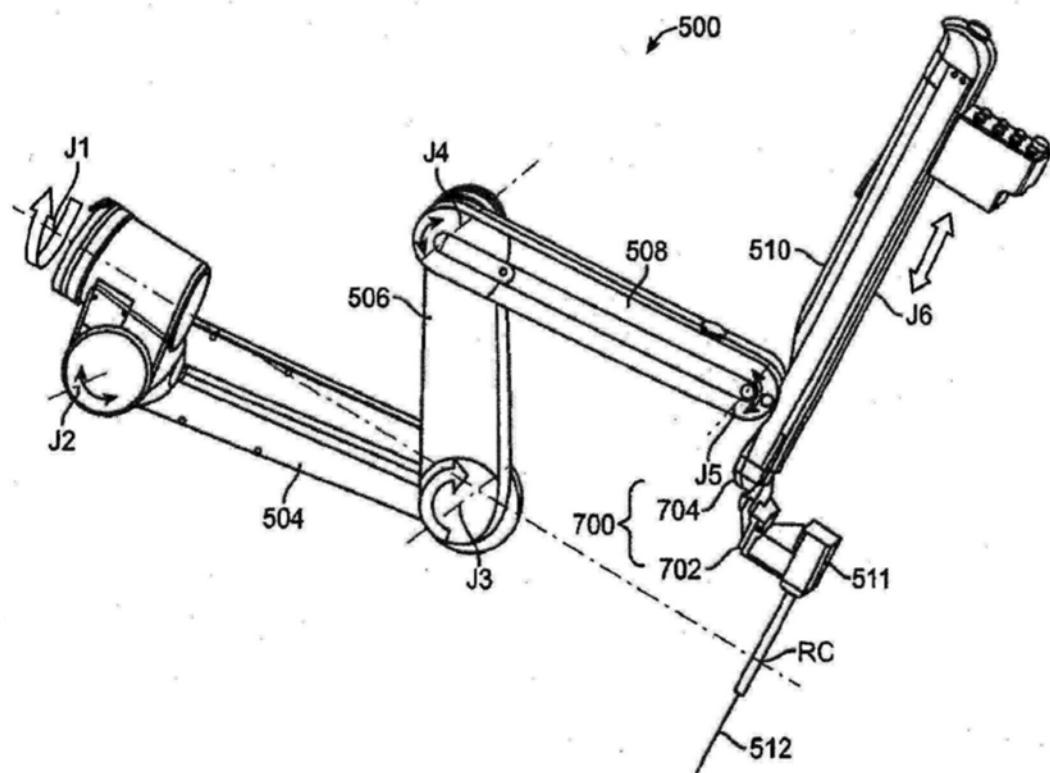


图5A

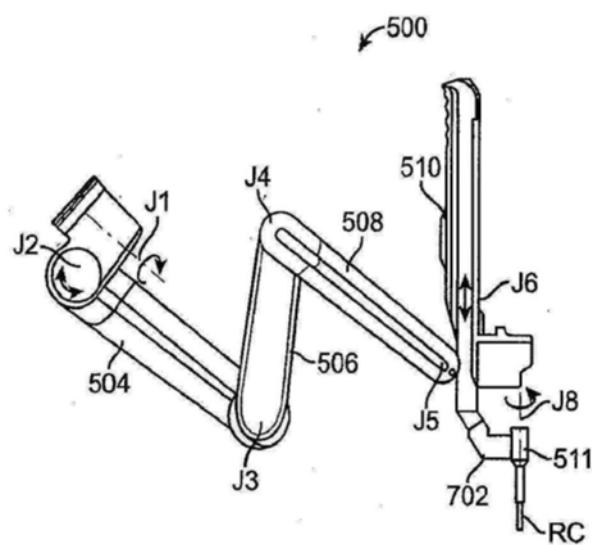


图5B

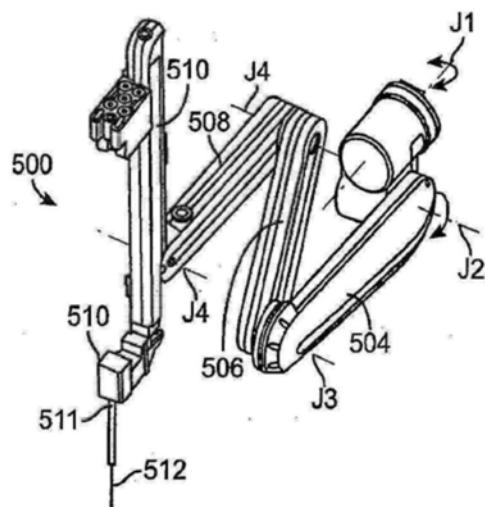


图5C

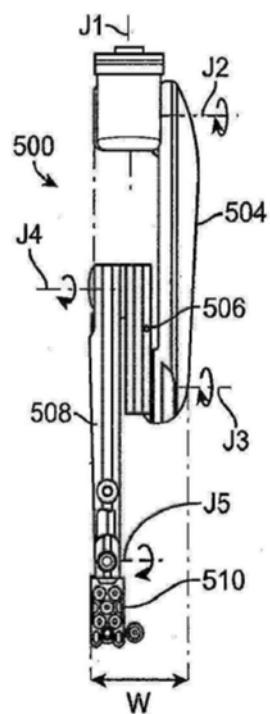


图5D

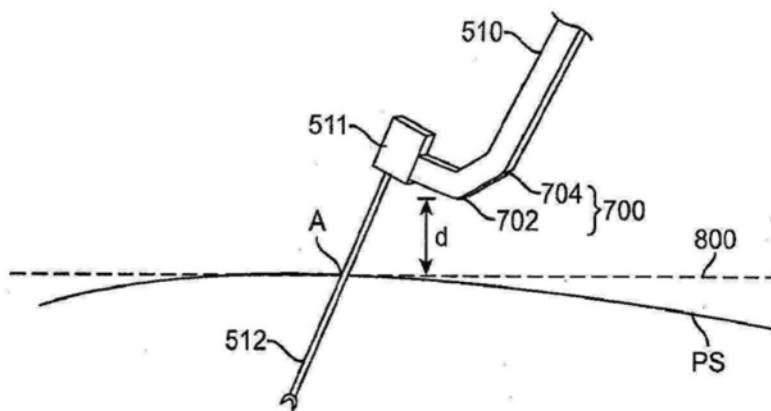


图6A

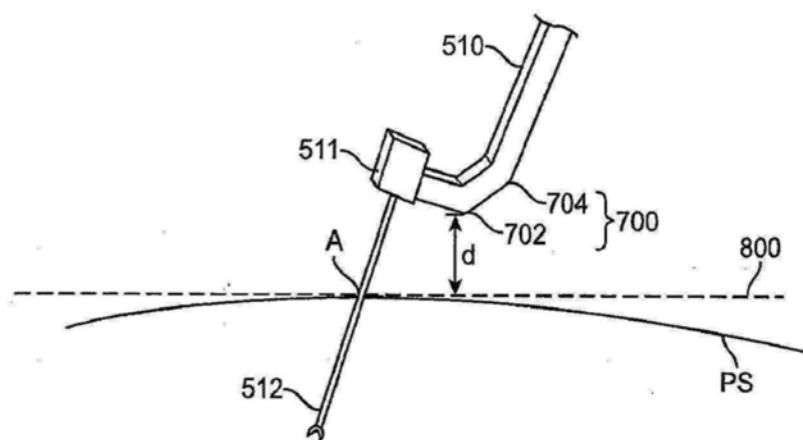


图6B

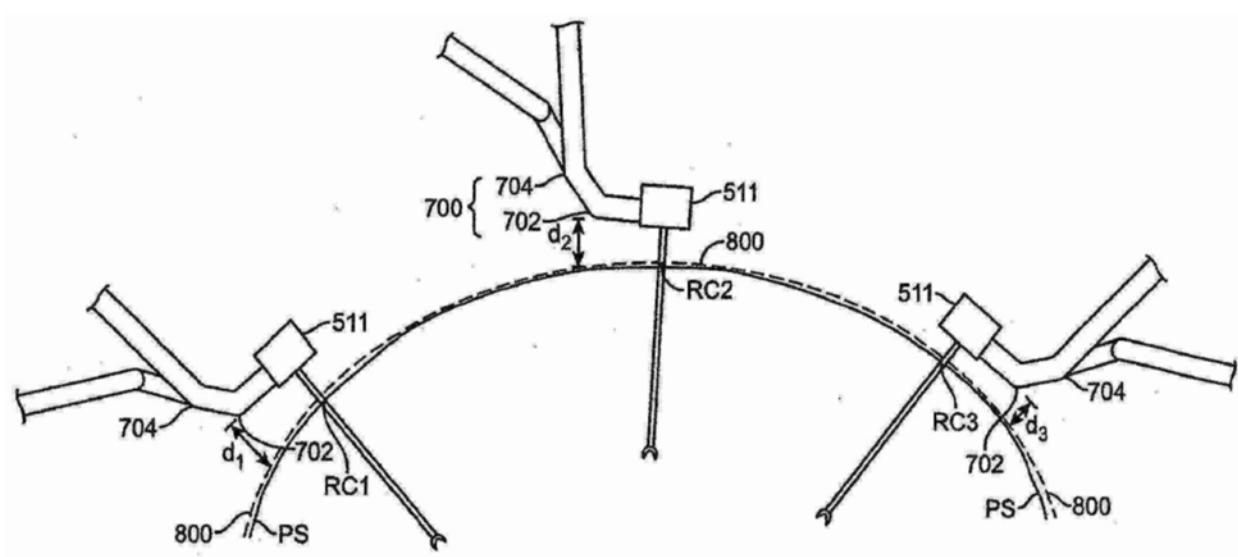


图7

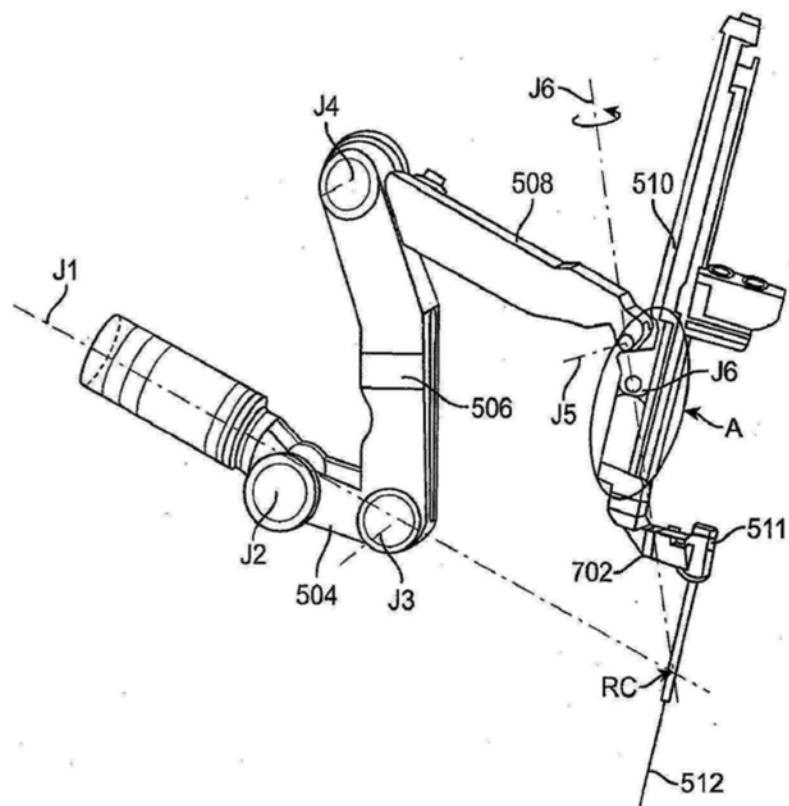


图8

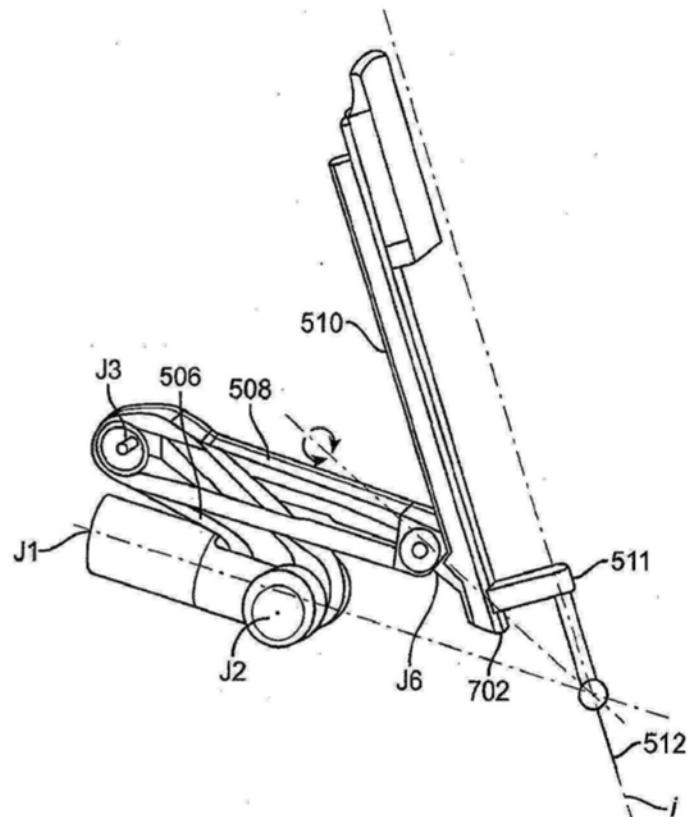


图9

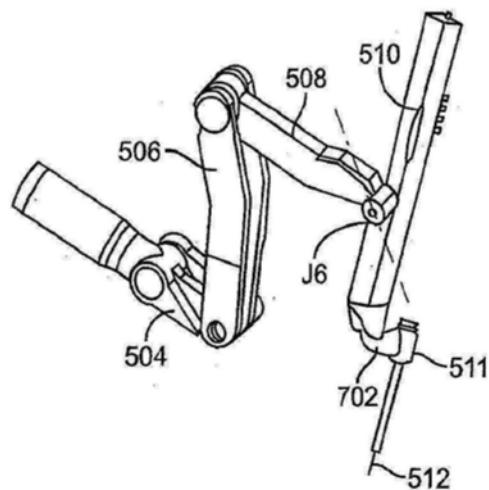


图10A

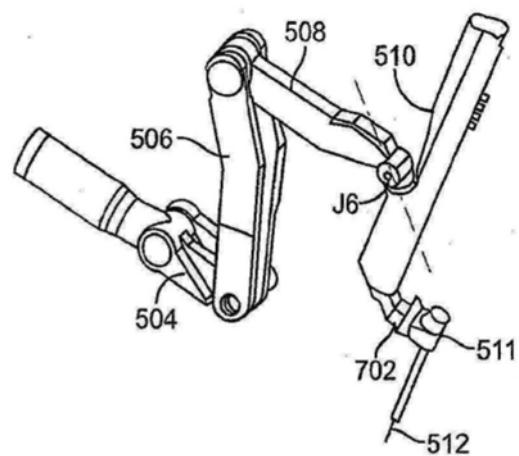


图10B

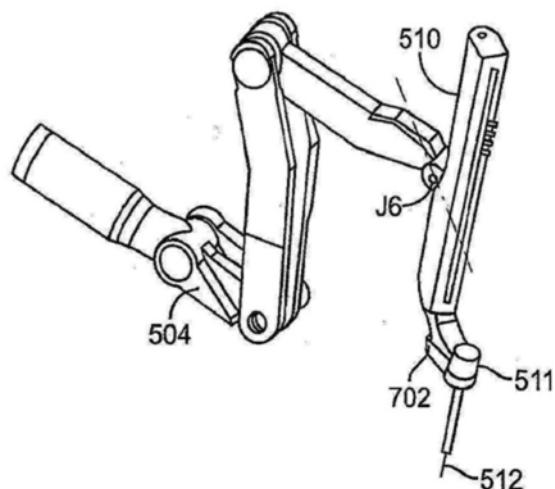


图10C

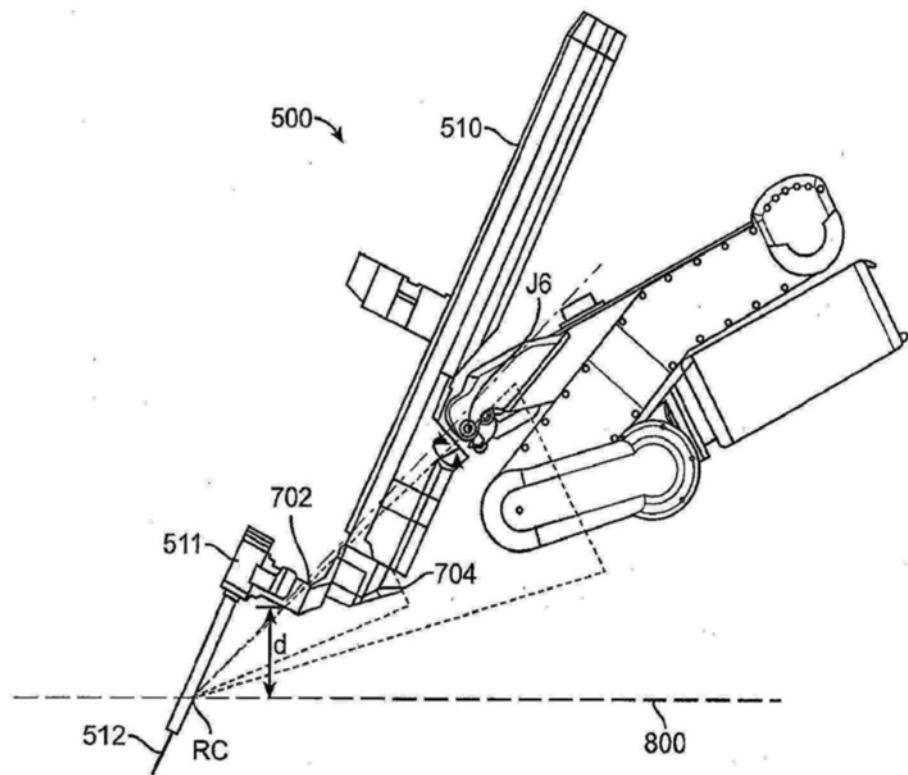


图11A

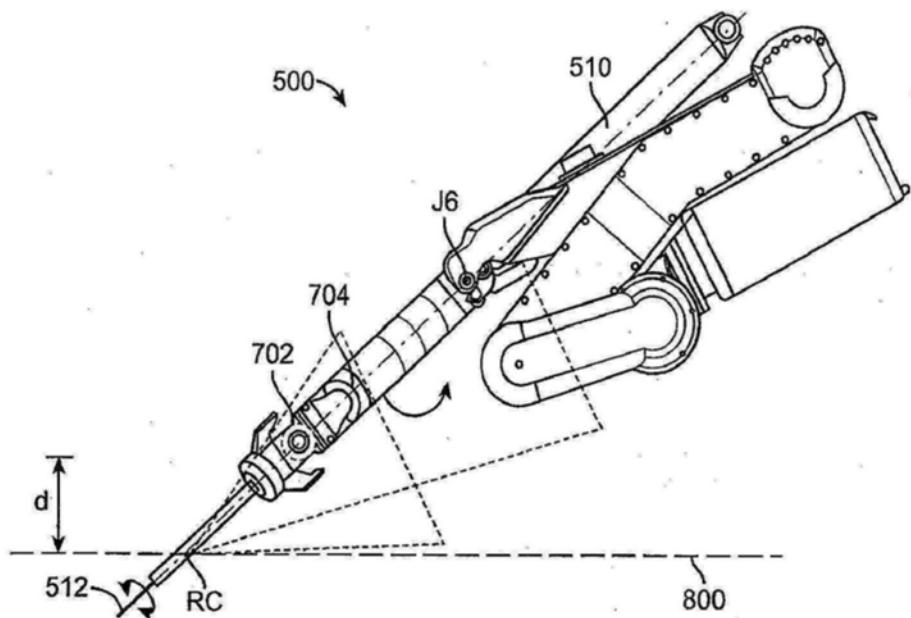


图11B

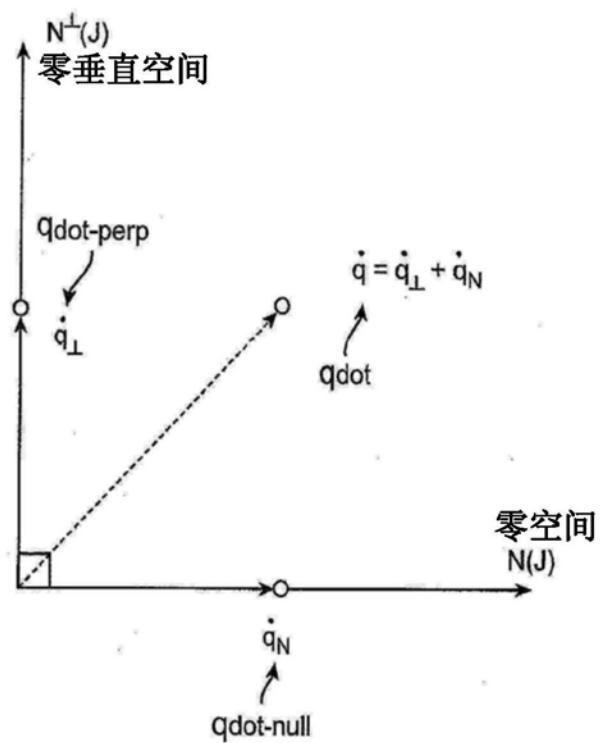


图12A

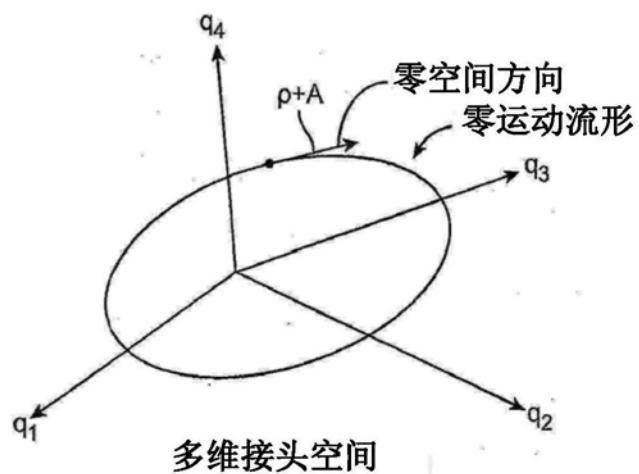


图12B

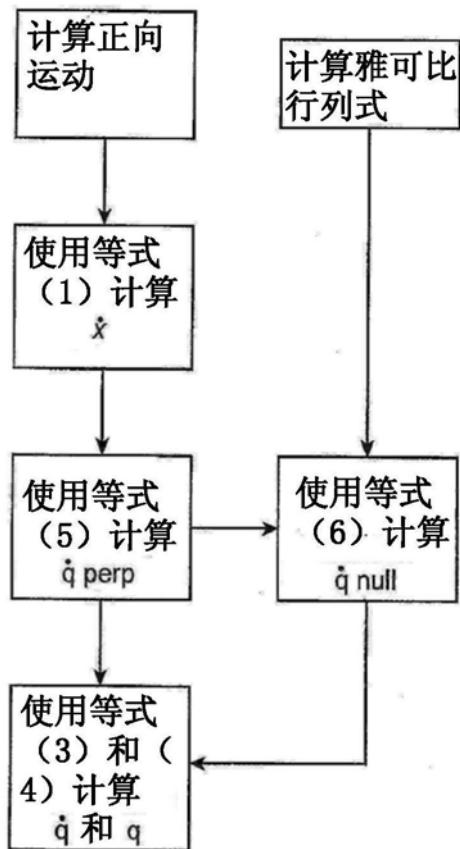


图13

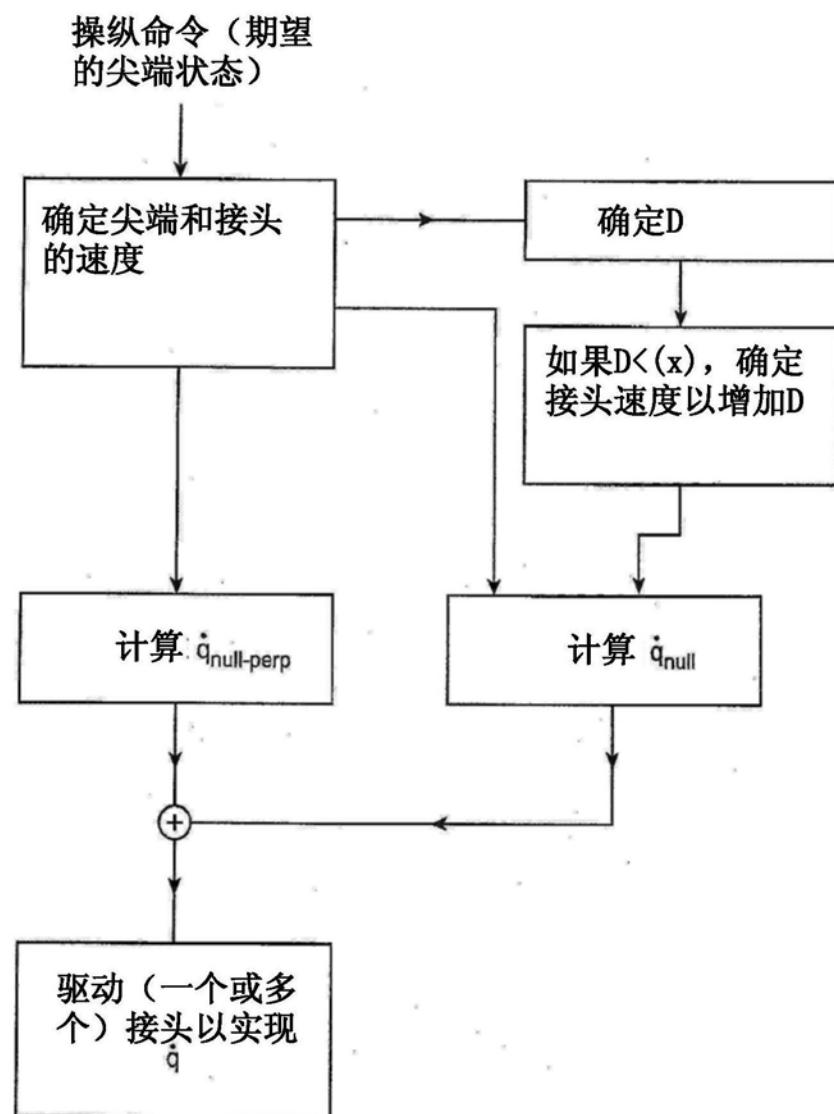


图14