(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110769773 B
(45)授权公告日 2025.01.07

(21)申请号 201880038183.2
(22)申请日 2018.11.13
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110769773 A
(43)申请公布日 2020.02.07
(30)优先权数据
62/587,175 2017.11.16 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.12.09
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/060612 2018.11.13
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2019/099346 EN 2019.05.23
(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 S·P·迪马奥 G·J·拉伯维尔 K·M·蒂林
(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
专利代理师 张颖
(51)Int.Cl.
A61B 34/35(2006.01)
A61B 34/37(2006.01)
A61B 34/00(2006.01)
A61B 90/00(2006.01)
(56)对比文件
WO 2016201207 A1,2016.12.15
审查员 王龄焓

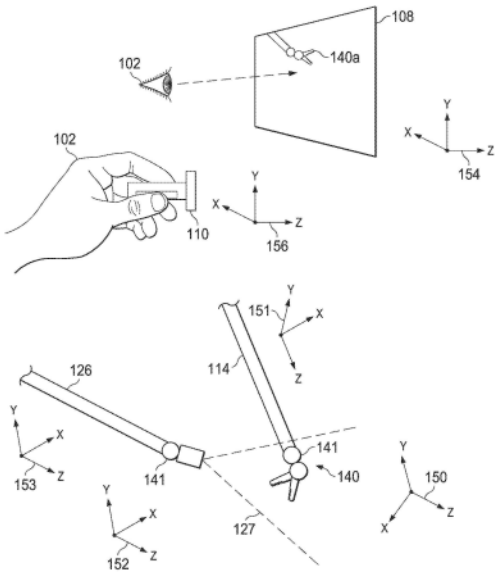
权利要求书7页 说明书30页 附图16页

(54)发明名称

用于遥控操作的主/从配准和控制

(57)摘要

本申请公开了一种遥控操作式系统,其包括显示器、主输入设备和控制系统。所述控制系统被配置成确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向,确定主输入设备参考系相对于显示器参考系的取向,建立所述主输入设备参考系和所述显示器参考系之间的对准关系,以及基于所述对准关系,响应于所述主输入设备的姿势的改变而命令所述末端执行器的姿势的改变。所述对准关系独立于所述主输入设备参考系和所述显示器参考系之间的位置关系。在一个方面,所述遥控操作式系统是遥控医疗系统,诸如遥控外科手术系统。



CN 110769773 B

1.一种遥控操作式系统,包括:

显示器;

主输入设备;以及

控制系统,所述控制系统包括一个或多个处理器和存储器,所述存储器包括适于致使所述一个或多个处理器执行包括以下步骤的操作的编程指令:

确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向,所述末端执行器参考系能够相对于所述视场参考系移动,所述末端执行器参考系被限定以用于工具的末端执行器,并且所述视场参考系被限定以用于成像设备的视场,

确定输入设备参考系相对于显示器参考系的取向,所述输入设备参考系被限定以用于所述主输入设备,并且所述显示器参考系被限定以用于由所述显示器显示的图像,

建立第一对准关系,所述第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或输入设备与显示器的对准关系,

其中所述末端执行器与视场的对准关系在所述末端执行器参考系和所述视场参考系之间并且其中所述末端执行器与视场的对准关系通过使所述末端执行器参考系与所述视场参考系相关的小于完整位置信息而建立,并且

其中所述输入设备与显示器的对准关系在所述输入设备参考系和所述显示器参考系之间,并且其中所述输入设备与显示器的对准关系通过使所述输入设备参考系与所述显示器参考系相关的小于完整位置信息而建立,

其中所述小于完整位置信息包括无位置信息或包括仅沿着全部三个笛卡尔坐标轴中的一个或两个轴的部分位置信息,并且

基于所述第一对准关系,响应于所述主输入设备的姿势的改变而命令所述末端执行器的姿势的改变。

2.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,其中所述第一对准关系包括所述末端执行器与视场的对准关系。

3.根据权利要求2所述的遥控操作式系统,其中:

所述操作还包括:建立第二对准关系,所述第二对准关系包括所述输入设备与显示器的对准关系;以及

命令所述末端执行器的所述姿势的改变还基于所述第二对准关系。

4.根据权利要求3所述的遥控操作式系统,其中所述输入设备参考系相对于所述显示器参考系的所述取向是第一相对取向,并且所述末端执行器参考系相对于所述视场参考系的所述取向是第二相对取向,其中所述第一相对取向与所述第二相对取向相差一差值,并且其中所述操作还包括:

多次更新所述第二对准关系以逐渐减小所述差值。

5.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,其中所述第一对准关系包括所述输入设备与显示器的对准关系。

6.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,

其中所述末端执行器的所述姿势是相对于所述视场参考系的;

其中所述主输入设备的所述姿势是相对于所述显示器参考系的;并且

其中所述末端执行器的所述姿势的改变包括:

所述末端执行器相对于所述视场参考系的取向的改变,所述取向的改变相应于所述主输入设备相对于所述显示器参考系的取向的改变。

7.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,其中所述操作还包括:

基于所述第一对准关系建立遥控操作式主从控制关系。

8.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,

其中确定所述末端执行器参考系相对于所述视场参考系的所述取向包括:

确定所述视场参考系的完整取向,以及

确定所述末端执行器参考系的完整取向;并且

其中确定所述输入设备参考系相对于所述显示器参考系的取向包括:

确定所述显示器参考系的完整取向,以及

确定所述输入设备参考系的完整取向。

9.根据权利要求1所述的遥控操作式系统,其中所述编程指令不适于使所述一个或多个处理器执行以下操作:

确定至少一个参考系的完整位置,所述至少一个参考系选自由以下项目组成的组:所述视场参考系、所述末端执行器参考系、所述显示器参考系和所述输入设备参考系;或者

确定所述末端执行器参考系相对于所述视场参考系的完整位置;或者

确定所述输入设备参考系相对于所述显示器参考系的完整位置。

10.根据权利要求1至9中的任一项所述的遥控操作式系统,其中:

所述遥控操作式系统是遥控操作式医疗系统;

所述工具是医疗工具;

所述遥控操作式系统还包括被配置成可移除地支撑所述工具的操纵器臂,所述操纵器臂包括多个接头和多个连杆;并且

命令所述末端执行器的所述姿势的改变包括命令所述操纵器臂改变所述末端执行器的所述姿势。

11.根据权利要求10所述的遥控操作式系统,其中所述遥控操作式医疗系统是遥控外科手术系统,并且其中所述医疗工具是外科手术工具。

12.根据权利要求1至9中的任一项所述的遥控操作式系统,其中建立所述第一对准关系包括:

响应于开始遥控操作的指示而建立所述第一对准关系。

13.根据权利要求12所述的遥控操作式系统,其中所述开始遥控操作的指示包括接收用户命令以开始遥控操作。

14.根据权利要求13所述的遥控操作式系统,其中:

所述开始遥控操作的指示包括从离合器模式退出,并且

所述操作还包括:在所述离合器模式下,不响应于所述主输入设备的所述姿势的改变而命令所述末端执行器的所述姿势的改变。

15.根据权利要求1至9中的任一项所述的遥控操作式系统,其中所述操作还包括:

更新所述第一对准关系。

16.根据权利要求15所述的遥控操作式系统,其中更新所述第一对准关系包括以下操作中的一个:

在响应于所述主输入设备的姿势的改变而命令所述末端执行器的姿势的改变的同时更新所述第一对准关系;或者

以预定时间间隔更新所述第一对准关系。

17.根据权利要求1至9中的任一项所述的遥控操作式系统,还包括:

与第二输入设备参考系相关联的第二主输入设备;

与第二末端执行器参考系相关联的第二末端执行器;

其中所述操作还包括:

独立于建立所述第一对准关系,在所述第二输入设备参考系和所述显示器参考系之间建立第二对准关系;以及

基于所述第二对准关系,响应于所述第二主输入设备相对于所述显示器参考系的姿势的改变而命令所述第二末端执行器相对于所述视场参考系的姿势的改变。

18.一种用于操作系统的非治疗方法,所述方法包括:

确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向,所述末端执行器参考系能够相对于所述视场参考系移动,所述末端执行器参考系被限定以用于工具的末端执行器,并且所述视场参考系被限定以用于成像设备的视场;

确定输入设备参考系相对于显示器参考系的取向,所述输入设备参考系被限定以用于所述系统的主输入设备,并且所述显示器参考系被限定以用于所述系统的显示器;

建立第一对准关系,所述第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或输入设备与显示器的对准关系,

其中所述末端执行器与视场的对准关系在所述末端执行器参考系和所述视场参考系之间,并且其中所述末端执行器与视场的对准关系通过使所述末端执行器参考系与所述视场参考系相关的小于完整位置信息而建立,并且

其中所述输入设备与显示器的对准关系在所述输入设备参考系和所述显示器参考系之间,并且其中所述输入设备与显示器的对准关系通过使所述输入设备参考系与所述显示器参考系相关的小于完整位置信息而建立;

其中所述小于完整位置信息包括无位置信息或包括仅沿着全部三个笛卡尔坐标轴中的一个或两个轴的部分位置信息,并且

基于所述第一对准关系,响应于所述主输入设备的姿势的改变而命令所述末端执行器的姿势的改变。

19.根据权利要求18所述的方法,其中所述第一对准关系包括所述末端执行器与视场的对准关系。

20.根据权利要求19所述的方法,还包括:

建立第二对准关系,所述第二对准关系包括所述输入设备与显示器的对准关系,其中命令所述末端执行器的所述姿势的改变还基于所述第二对准关系。

21.根据权利要求18所述的方法,其中所述第一对准关系包括所述输入设备与显示器的对准关系。

22.根据权利要求18所述的方法,

其中所述末端执行器的所述姿势是相对于所述视场参考系的;

其中所述主输入设备的所述姿势是相对于所述显示器参考系的;并且

其中所述末端执行器的所述姿势的改变包括：

所述末端执行器相对于所述视场参考系的取向的改变，所述取向的改变相应于所述主输入设备相对于所述显示器参考系的取向的改变。

23.根据权利要求18所述的方法，

其中确定所述末端执行器参考系相对于所述视场参考系的所述取向包括：

确定所述视场参考系的完整取向，以及

确定所述末端执行器参考系的完整取向；并且

其中确定输入设备参考系相对于显示器参考系的所述取向包括：

确定所述显示器参考系的完整取向，以及

确定所述输入设备参考系的完整取向。

24.根据权利要求18至23中任一项所述的方法，其中建立所述第一对准关系包括：

响应于开始遥控操作的指示而建立所述第一对准关系。

25.根据权利要求18至23中任一项所述的方法，还包括：

更新所述第一对准关系。

26.根据权利要求18至23中任一项所述的方法，还包括：

独立于建立所述第一对准关系，在与第二输入设备相关联的第二输入设备参考系和所述显示器参考系之间建立第二对准关系；以及

基于所述第二对准关系，响应于所述第二输入设备相对于所述显示器参考系的姿势的改变而命令第二末端执行器相对于所述视场参考系的姿势的改变。

27.一种非暂时性机器可读介质，其包括多个机器可读指令，所述多个机器可读指令在由与医疗系统相关联的一个或多个处理器执行时适于使所述一个或多个处理器执行一种方法，所述方法包括：

确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向，所述末端执行器参考系能够相对于所述视场参考系移动，所述末端执行器参考系被限定以用于工具的末端执行器，并且所述视场参考系被限定以用于成像设备的视场；

确定输入设备参考系相对于显示器参考系的取向，所述输入设备参考系被限定以用于所述医疗系统的主输入设备，并且所述显示器参考系被限定以用于所述医疗系统的显示器；

建立第一对准关系，所述第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或输入设备与显示器的对准关系，

其中所述末端执行器与视场的对准关系在所述末端执行器参考系和所述视场参考系之间，并且其中所述末端执行器与视场的对准关系通过使所述末端执行器参考系与所述视场参考系相关的小于完整位置信息而建立，

其中所述输入设备与显示器的对准关系在所述输入设备参考系和所述显示器参考系之间，并且其中所述输入设备与显示器的对准关系通过使所述输入设备参考系与所述显示器参考系相关的小于完整位置信息而建立，并且

其中所述小于完整位置信息包括无位置信息或包括仅沿着全部三个笛卡尔坐标轴中的一个或两个轴的部分位置信息，并且

基于所述第一对准关系，响应于所述主输入设备的姿势的改变而命令所述末端执行器

的姿势的改变。

28.根据权利要求27所述的机器可读介质,其中所述第一对准关系包括所述末端执行器与视场的对准关系,并且其中所述方法还包括:

建立第二对准关系,所述第二对准关系包括所述输入设备与显示器的对准关系,其中命令所述末端执行器的所述姿势的改变还基于所述第二对准关系。

29.根据权利要求27所述的机器可读介质,

其中所述末端执行器的所述姿势是相对于所述视场参考系的;

其中所述主输入设备的所述姿势是相对于所述显示器参考系的;并且

其中所述末端执行器的所述姿势的改变包括:

所述末端执行器相对于所述视场参考系的取向的改变,所述取向的改变相应于所述主输入设备相对于所述显示器参考系的取向改变。

30.根据权利要求27所述的机器可读介质,

其中确定所述末端执行器参考系相对于所述视场参考系的所述取向包括:

确定所述视场参考系的完整取向,以及

确定所述末端执行器参考系的完整取向;并且

其中确定输入设备参考系相对于显示器参考系的所述取向包括:

确定所述显示器参考系的完整取向,以及

确定所述输入设备参考系的完整取向。

31.一种遥控操作式系统,包括:

显示器,显示器参考系被限定以用于所述显示器;

主设备,主设备参考系被限定以用于所述主设备;以及

控制系统,所述控制系统包括存储指令的存储器,所述指令在由所述控制系统执行时使所述控制系统执行包括以下步骤的操作:

确定被限定以用于成像设备的视场的视场参考系的完整取向;

确定被限定以用于工具的末端执行器的末端执行器参考系的完整取向;

确定所述显示器参考系的完整取向;

确定所述主设备参考系的完整取向;

通过建立第一对准关系而在所述主设备和所述末端执行器之间建立遥控操作式主/从控制关系,所述第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或主设备与显示器的对准关系,其中所述末端执行器与视场的对准关系在所述末端执行器参考系和所述视场参考系之间并且基于将所述末端执行器参考系和所述视场参考系相关的小于完整位置信息,并且其中所述主设备与显示器的对准关系在所述主设备参考系与所述显示器参考系之间,其中所述主设备参考系与所述显示器参考系之间的所述第一对准关系基于将所述主设备参考系与所述显示器参考系相关的小于完整位置信息;

其中所述小于完整位置信息包括无位置信息或包括仅沿着全部三个笛卡尔坐标轴中的一个或两个轴的部分位置信息;以及

通过相应于所述主设备的姿势的改变而改变所述末端执行器的姿势来执行所述主设备和所述末端执行器之间的所述主/从控制关系。

32.根据权利要求31所述的遥控操作式系统,

其中所述末端执行器的所述姿势是相对于所述视场参考系的;

其中所述主设备的所述姿势是相对于所述显示器参考系的;并且

其中所述末端执行器的所述姿势的改变包括:

所述末端执行器相对于所述视场参考系的取向的改变,其相应于所述主设备相对于所述显示器参考系的取向的改变。

33.根据权利要求31所述的遥控操作式系统,其中所述遥控操作式系统是遥控外科手术系统,所述遥控外科手术系统包括:

所述成像设备,其中所述成像设备包括内窥镜相机;

所述工具,其中所述工具包括外科手术工具,所述外科手术工具包括所述末端执行器;

被配置成可移除地支撑所述工具的操纵器臂,所述操纵器臂包括多个接头和多个连杆,其中改变所述末端执行器的所述姿势包括使用所述操纵器臂来改变所述末端执行器的所述姿势。

34.根据权利要求31所述的遥控操作式系统,其中所述操作还包括:

确定至少一个参考系的部分位置信息,所述参考系选自由以下组成的组:所述视场参考系、所述末端执行器参考系、所述显示器参考系和所述主设备参考系。

35.根据权利要求31至34中的任一项所述的遥控操作式系统,其中改变所述末端执行器的姿势以相应于所述主设备的姿势的改变包括:

改变所述末端执行器的移动方向以相应于所述主设备的移动方向的改变。

36.根据权利要求31至34中的任一项所述的遥控操作式系统,还包括:

包含以下项目中的一个或多个的空间确定系统:一对遥控操作式系统单元之间的临时局部机械关系、固定传感器定位器系统、固定特征定位器系统、同时定位和标测系统、使用来自所述成像设备的图像的机器视觉系统、光纤形状传感器、加速度计、磁力计、陀螺仪、振动检测器和振动注入器。

37.根据权利要求31至34中的任一项所述的遥控操作式系统,其中建立所述第一对准关系包括:

响应于开始遥控操作的指示而建立所述第一对准关系。

38.一种非暂时性机器可读介质,其包括多个机器可读指令,所述多个机器可读指令在由与医疗系统相关联的一个或多个处理器执行时适于使所述一个或多个处理器执行一种方法,所述方法包括:

确定被限定以用于成像设备的视场的视场参考系的完整取向;

确定被限定以用于工具的末端执行器的末端执行器参考系的完整取向;

确定显示器的显示器参考系的完整取向;

确定主设备的主设备参考系的完整取向;

通过建立第一对准关系而在所述主设备和所述末端执行器之间建立遥控操作式主/从控制关系,所述第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或主设备与显示器的对准关系,其中所述末端执行器与视场的对准关系在所述末端执行器参考系和所述视场参考系之间并且基于将所述末端执行器参考系和所述视场参考系相关的小于完整位置信息,并且其中所述主设备与显示器的对准关系在所述主设备参考系与所述显示器参考系之间,其中所述主设备参考系与所述显示器参考系之间的所述第一对准关系基于将所述主设备参考

系与所述显示器参考系相关的小于完整位置信息;

其中所述小于完整位置信息包括无位置信息或包括仅沿着全部三个笛卡尔坐标轴中的一个或两个轴的部分位置信息;以及

通过相应于所述主设备的姿势的改变而改变所述末端执行器的姿势来执行所述主设备和所述末端执行器之间的所述主/从控制关系。

39.根据权利要求38所述的非暂时性机器可读介质,

其中所述末端执行器的所述姿势是相对于所述视场参考系的;

其中所述主设备的所述姿势是相对于所述显示器参考系的;并且

其中所述末端执行器的所述姿势的改变包括:

所述末端执行器相对于所述视场参考系的取向的改变,所述取向的改变相应于所述主设备相对于所述显示器参考系的取向的改变。

40.根据权利要求38所述的非暂时性机器可读介质,其中所述方法还包括:

确定至少一个参考系的部分位置信息,所述参考系选自由以下组成的组:所述视场参考系、所述末端执行器参考系、所述显示器参考系和所述主设备参考系。

用于遥控操作的主/从配准和控制

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2017年11月16日提交的美国临时申请62/587,175的权益,该美国临时申请通过引用以其整体并入本文。

[0003] 版权声明

[0004] 本专利文件的一部分公开内容包含受版权保护的材料。版权拥有者不反对任何人传真复制该专利文件或专利公开的内容,正如它出现在专利和商标局专利文件或记录中,但在其他方面无论如何都保留全部版权。

技术领域

[0005] 本公开一般涉及遥控操作式系统,并且更具体地涉及遥控操作式系统中的空间配准和控制。

背景技术

[0006] 遥控操作式系统的示例包括工业和娱乐系统。遥控操作式系统的示例还包括在用于诊断、非外科手术治疗、外科手术治疗等的过程中使用的医疗遥控操作式系统。可用于遥控外科手术或其他遥控医疗过程的遥控操作式机器人医疗系统可以包括一个或多个可远程控制的机器人操纵器。在一些实施方式中,可远程控制的机器人操纵器也可以被配置成手动地铰接或移动。

[0007] 微创机器人遥控外科手术系统是遥控操作式系统的特定示例,其通过使用器械移动的某种形式的远程控制而使得外科医生能够对患者执行外科手术过程,而无需用手直接保持和移动器械。在至少部分计算机控制下结合机器人技术以执行微创外科手术的外科手术系统扩展了微创外科手术的优势。例如,通过使用此类外科手术系统,使得利用可手动操作的微创外科手术工具难以或无法进行的某些外科手术过程成为可能。此类外科手术系统的示例是由美国加利福尼亚州桑尼维尔市的直观外科手术操作公司(Intuitive Surgical,Inc.)商业化的da Vinci ®外科手术系统。

[0008] 为了在用于常规遥控操作式系统的主输入设备(也称为“主控制设备”或“主设备”)与对应工具之间建立所需的控制关系,在三维(3D)空间中确定主控制设备和工具的运动姿势。在由直观外科手术操作公司(Intuitive Surgical)商业化的da Vinci Xi®外科手术系统中,患者侧单元提供允许确定工具姿势的已知和限定的运动学结构。同样,外科医生的控制台提供可在其上确定主输入设备姿势的已知和限定的运动学结构。新遥控操作式系统架构可能缺少可用于确定工具之间的运动学关系的工具共有的单个机械基部。同样,新遥控操作式系统架构可能缺少可用于确定主输入设备之间或主输入设备与其他装置(诸如显示器)之间的运动关系的主输入设备共有的机械基部。因此,在遥控操作式系统中需要改善的空间配准和控制。

发明内容

[0009] 以下发明内容介绍了本发明主题的某些方面以便提供基本理解。该发明内容不是本发明主题的广泛概述，并且其不旨在标识关键或重要元素或描绘本发明主题的范围。尽管此发明内容包含与发明主题的各个方面和实施例相关的信息，但其目的是以一般形式呈现一些方面和实施例作为下面更详细描述的序言。

[0010] 在一个方面，一种遥控操作式系统包括成像设备、末端执行器、显示器、主输入设备和计算机控制系统。成像设备具有视场。为视场、末端执行器、显示器和主输入设备限定参考系。控制系统确定参考系的完整取向信息，但少于参考系的全部位置信息。完整取向信息也称为全部取向信息，并且全部位置信息也称为完整位置信息。在一个方面，控制系统不确定关于参考系的任何位置信息。在另一个方面，控制系统确定关于参考系的部分位置信息。控制系统通过使用参考系的完整取向信息，但少于参考系的完整位置信息(局部位置信息或无位置信息)来建立主设备与末端执行器之间的主/从控制关系。

[0011] 在各个方面，遥控操作式系统包括用于确定参考系的完整取向信息并且还在适用情况下确定参考系的小于完整位置信息的各种方式。这些方式包括使用以下中的一个或多个：一对遥控操作式系统单元之间的临时局部机械关系、固定传感器定位器系统、固定特征定位器系统、同时定位和标测系统、使用来自成像设备的图像的机器视觉系统、光纤形状传感器、加速计、磁力计、陀螺仪、振动检测器和振动注入器。

[0012] 在一个方面，遥控操作式系统包括显示器、主输入设备和控制系统。控制系统包括一个或多个处理器和存储器。存储器包括适于使一个或多个处理器执行操作的编程指令。所述操作包括：确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向，确定输入设备参考系相对于显示器参考系的取向，建立对准关系，以及(基于对准关系)响应于主输入设备的姿势改变而命令末端执行器的姿势改变。末端执行器参考系是为工具的末端执行器限定的，并且视场参考系可相对于视场参考系移动并且为成像设备的视场限定。输入设备参考系是为主输入设备限定的，并且显示器参考系是为图像限定的。对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或输入设备与显示器的对准关系，其中末端执行器与视场的对准关系在末端执行器参考系和视场参考系之间，并且独立于末端执行器参考系与视场参考系之间的位置关系，并且其中输入设备与显示器的对准关系在输入设备参考系和显示器参考系之间，并且独立于输入设备参考系与显示器参考系之间的位置关系。

[0013] 在一个方面，一种用于操作医疗系统的方法包括：确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向，确定输入设备参考系相对于显示器参考系的取向，建立对准关系，以及(基于对准关系)响应于主输入设备的姿势改变而命令末端执行器的姿势改变。末端执行器参考系可相对于视场参考系移动并且是为工具的末端执行器限定的，并且视场参考系是为成像设备的视场限定的。输入设备参考系是为医疗系统的主输入设备限定的，并且显示器参考系是为医疗系统的显示器限定的。对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或输入设备与显示器的对准关系，其中末端执行器与视场的对准关系在末端执行器参考系和视场参考系之间，并且独立于末端执行器参考系与视场参考系之间的位置关系，并且其中输入设备与显示器的对准关系独立于主输入设备参考系和显示器参考系之间的位置关系。

[0014] 在一个方面，遥控操作式系统包括显示器、主设备和控制系统。为显示器限定显示器参考系，并且为主设备限定主设备参考系。控制系统包括存储指令的存储器，指令在由控

制系统执行时使控制系统执行操作。所述操作包括:确定视场参考系的完整取向,确定末端执行器参考系的完整取向,确定显示器参考系的完整取向,确定主设备参考系的完整取向,在主设备和末端执行器之间建立遥控操作式主/从控制关系,以及执行主设备和末端执行器之间的主/从控制关系。视场参考系是为成像设备的视场限定的,并且末端执行器参考系是为工具的末端执行器限定的。建立遥控操作式主/从控制关系包括建立对准关系。对准关系包括末端执行器与视场的对准关系或主设备与显示器的对准关系,其中末端执行器与视场的对准关系在末端执行器参考系和视场参考系之间,并且基于将末端执行器参考系和视场参考系相关的小于完整位置信息,并且其中主设备与显示器的对准关系在主设备参考系与显示器参考系之间,并且基于将主设备参考系和显示器参考系相关的小于完整位置信息。执行主/从控制关系包括改变末端执行器的姿势以对应于主设备的姿势改变。

[0015] 在一个方面,对准关系是在主设备参考系和显示器参考系之间并且基于:主设备参考系的完整取向、显示器参考系的完整取向、以及将主设备参考系和显示器参考系相关的小于完整位置信息。

[0016] 在一个方面,一种遥控外科手术系统包括:用于确定视场参考系的完整取向的装置;用于确定末端执行器参考系的完整取向的装置;用于确定显示器的显示器参考系的完整取向的装置,当外科手术末端执行器在内窥镜相机的视场内时,在所述显示器上显示末端执行器的图像;用于确定主设备的主设备参考系的完整取向的装置;用于在主设备和外科手术末端执行器之间建立遥控操作式主/从控制关系的装置;以及用于执行主设备和末端执行器之间的主/从控制关系的装置。视场参考系是为成像设备的视场限定的,并且末端执行器参考系是为外科手术末端执行器限定的。用于建立遥控操作式主/从控制关系的装置通过在主设备参考系和显示器参考系之间建立对准关系来建立这种关系。主设备参考系和显示器参考系之间的对准关系基于主设备参考系的完整取向和显示器参考系的完整取向,并且独立于主设备参考系和显示器参考系之间的位置关系。用于执行主/从控制关系的装置通过改变末端执行器的姿势以对应于主设备的姿势改变来执行这种关系。

[0017] 在一个方面,一种非暂时性机器可读介质包括多个机器可读指令,多个机器可读指令在由与医疗设备相关联的一个或多个处理器执行时适于使一个或多个处理器执行本文所述的任何操作或方法。

[0018] 本文描述的方面还可以包括以下中的零个、任何一个或任何组合。

[0019] 在一些方面,对准关系包括末端执行器与视场的对准关系。在一些方面,对准关系包括主设备与显示器的对准关系。

[0020] 在一些方面,对准关系是第一对准关系,并且操作还包括建立第二对准关系,其中第二对准关系包括输入设备与显示器的对准关系,其中第一对准关系包括末端执行器与视场的对准关系,并且其中第二对准关系包括末端执行器与视场的对准关系,其中第一对准关系包括输入设备与显示器的对准关系。

[0021] 在一些方面,操作(或方法)还包括基于对准关系来建立遥控操作式主从控制关系。

[0022] 在一些方面,确定末端执行器参考系相对于视场参考系的取向包括:确定视场参考系的完整取向,以及确定末端执行器参考系的完整取向。在一些方面,确定主输入设备参考系相对于显示器参考系的取向包括:确定显示器参考系的完整取向,以及确定主输入设

备参考系的完整取向。

[0023] 在一些方面,操作(或方法)不包括确定至少一个参考系的完整位置,至少一个参考系选自由以下组成的组:视场参考系、末端执行器参考系、显示器参考系和主输入设备参考系。在一些方面,操作(或方法)不包括确定末端执行器参考系相对于视场参考系的完整位置。在一些方面,操作(或方法)不包括确定主输入设备参考系相对于显示器参考系的完整位置。在一些方面,操作(或方法)还包括确定末端执行器参考系相对于视场参考系的小于完整位置。在一些方面,操作(或方法)还包括确定主输入设备参考系相对于显示器参考系的小于完整位置。

[0024] 在一些方面,系统是遥控操作式医疗系统,并且工具是医疗工具。在各个方面,医疗工具是诊断工具或治疗工具。在一些方面,系统是遥控外科手术系统,并且工具是外科手术工具。

[0025] 在一些方面,系统还包括被配置成可移除地支撑工具的操纵器臂,所述操纵器臂包括多个接头和多个连杆。在一些方面,命令末端执行器的姿势改变包括使用或命令操纵器臂改变末端执行器的姿势。

[0026] 在一些方面,建立对准关系包括:响应于开始遥控操作的指示而建立对准关系。在一些方面,开始遥控操作的指示包括接收用户命令以开始遥控操作。在一些方面,开始遥控操作的指示包括从离合器模式退出。在一些方面,在离合器模式下,主从控制关系被暂时中止。在一些方面,在离合器模式下,控制系统不响应于主输入设备的姿势改变而命令末端执行器的姿势改变。

[0027] 在一些方面,操作(或方法)还包括:更新对准关系。在一些方面,更新对准关系包括:在执行主/从控制关系时更新对准关系。在一些方面,更新对准关系包括:以预定时间间隔更新对准关系。

[0028] 在一些方面,系统是包括成像设备和具有末端执行器的工具的遥控外科手术系统。成像设备包括内窥镜相机,并且工具包括外科手术工具。

[0029] 在一些方面,小于完整位置信息是没有将主设备参考系和显示器参考系相关的位置信息。在一个方面,小于完整位置信息是将主设备参考系和显示器参考系相关的部分位置信息。

[0030] 在一些方面,操作(或方法)还包括确定至少一个参考系的部分位置信息。参考系选自由以下组成的组:视场参考系、末端执行器参考系、显示器参考系和主设备参考系。

[0031] 在一些方面,改变末端执行器的姿势以对应于主设备的姿势改变包括:改变末端执行器的移动方向以对应于主设备的移动方向改变。

[0032] 在一些方面,系统还包括用于确定系统的两个或更多个单元之间的空间位置的装置,或者还包括空间确定系统,其合并以下中的一个或多个:一对遥控操作式系统单元之间的临时局部机械关系、固定传感器定位器系统、固定特征定位器系统、同时定位和标测系统、使用来自成像设备的图像的机器视觉系统、光纤形状传感器、加速计、磁力计、陀螺仪、振动检测器和振动注入器。

[0033] 实施方式和各方面通常依据遥控外科手术系统描述,但是它们并不限于遥控外科手术系统。设想了各种其他遥控操作式系统中的实施方式,包括但不限于有关军事、研究、材料搬运应用、安全、紧急情况和制造应用的遥控操作式系统。因此,所公开的技术适用于

医疗和非医疗过程,以及医疗和非医疗工具(例如,操纵工具或相机)。例如,本文描述的任何实施例的相机或其他工具、系统和方法可以用于非医疗目的,包括工业用途、一般机器人用途、以及感测或操纵非组织工件。其他示例性应用涉及美容改进、人体或动物解剖结构的成像、从人体或动物解剖结构收集数据、设置或拆卸系统、以及训练医疗或非医疗人员。附加的示例性应用包括使用对从人或动物解剖结构上移除的组织的过程(不返回人或动物解剖结构),以及对人或动物尸体执行过程。另外,这些技术还可用于包括或不包括外科手术方面的医疗治疗或诊断过程。

附图说明

[0034] 图1是遥控外科手术系统的示意性平面图。

[0035] 图2是遥控外科手术系统患者侧单元的主视图。

[0036] 图3是遥控操作式外科手术工具的透视图。

[0037] 图4是用户控制单元的前正视图。

[0038] 图5A-5J是各种遥控操作式系统架构、空间对准和相关联的控制方面的示意图。

[0039] 图6A是示出遥控操作式系统中的各种空间确定方法的示意图。

[0040] 图6B-6C是示出确定磁性轴承的示意图。

具体实施方式

[0041] 示出发明方面、实施例、实施方式或应用的本说明书和附图不应被视为限制—权利要求限定受保护的发明。在不脱离本说明书和权利要求书的精神和范围的情况下,可以进行各种机械、组成、结构、电气和操作的改变。在一些情况下,未详细示出或描述众所周知的电路、结构或技术以避免模糊本发明。在两个或更多个图中的相似数字表示相同或相似的元素。

[0042] 此外,选择用来描述一个或多个实施例以及可选元件或特征的特定词语不旨在限制本发明。例如,可以使用空间相对术语(例如“下方”、“下面”、“下部”、“上方”、“上部”、“近侧”、“远侧”等)来描述一个元件或特征与图中所示的另一个元件或特征的关系。这些空间上相对术语旨在涵盖除图中所示的位置和取向之外的在使用或操作中的设备的不同位置(即,平移放置)和取向(即,旋转放置)。例如,如果图中设备被翻转,则被描述为在其他元件或特征“下面”或“下方”的元件将在其他元件或特征“上面”或“上方”。因此,示例性术语“下面”可以包括上面和下面的位置和取向。可能以其他方式来取向设备(例如,旋转90度或处于其他取向),并且可以相应地解释本文所使用的空间相对描述符。同样,沿着(平移)和围绕(旋转)各种轴线的移动的描述包括各种特殊的设备位置和取向。身体的位置和取向的组合限定身体的“姿势”。

[0043] 类似地,除非上下文另外指出,否则诸如“平行”、“垂直”、“圆形”或“正方形”的几何术语并不旨在要求绝对数学精度。相反,此类几何术语允许由于制造或等效功能而引起的变化。例如,如果元件被描述为“圆形”或“大体上圆形”,则该描述仍涵盖非精确圆形的部件(例如,稍微椭圆形或多边的多边形的部件)。词语“包括”或“具有”意味着包括但不限于。

[0044] 应当理解,尽管本说明书足够清楚、简洁和准确,但严格和详尽的语言精确度并非总是可能或希望的。例如,考虑视频信号,有技术的读者将理解被描述为显示信号的示波器

不会显示信号本身而是显示信号的表示,并且被描述为显示信号的视频监测器不会显示信号本身而是显示信号所携带的视频信息。

[0045] 此外,除非上下文另外明确说明,否则单数形式“一”和“所述”也意图包括复数形式。并且,术语“包括”、“包含”、“具有”等指定所陈述的特征、步骤、操作、元件和/或部件的存在,但不排除一个或多个其他特征、步骤、操作、元件、部件和/或组的存在或添加。并且,除非另外说明,否则一个或多个单独列出的项目或其中的每一项应被视为可选项目,使得在不详尽列出每个可能组合的情况下描述了项目的各种组合。辅助动词“可能”同样意味着特征、步骤、操作、元件或部件是可选的。

[0046] 只要可行,可以任选地包括参考一个实施例、实施方式或应用详细描述的元件,但在其他实施例、实施方式或应用中没有具体示出或描述所述元件。例如,如果参照一个实施例详细描述元件并且没有参照第二实施例描述该元件,则元件仍可以被要求包括在第二实施例中。因此,为了避免在以下描述中的不必要的重复,与一个实施例、实施方式或应用相关联地示出和描述的一个或多个元件可以被合并到其他实施例、实施方式或方面中,除非另有特别说明、除非一个或多个元件会使实施例或实施方式失效、或两个或更多个元件提供相互冲突的功能。

[0047] 除非另外说明,否则被描述为耦接(例如,机械、电气、通信等)的元件可以直接耦接,或者它们可以经由一个或多个中间部件间接耦接。

[0048] 本发明的方面部分地根据使用由加利福尼亚州桑尼维尔的直观外科手术操作公司商业化的da Vinci®外科手术系统的实施方式来描述。此类外科手术系统的示例是da Vinci X®外科手术系统(型号IS4200)、da Vinci Xi®外科手术系统(型号IS4000)和da Vinci Si®外科手术系统(型号IS3000)。然而,技术人员将理解,可能以各种方式来体现和实现本文公开的本发明的方面,包括手动和计算机辅助的实施例和实施方式的计算机辅助和混合组合。da Vinci®外科手术系统上的实施方式仅是示例性的,并且不应视为对本发明的方面的范围的限制。例如,所公开的技术适用于医疗和非医疗过程,以及医疗和非医疗工具(例如,操纵工具或相机)。例如,本文描述的任何实施例的工具(例如,操纵工具或相机)、系统和方法可以用于非医疗目的,包括工业用途、一般机器人用途、以及感测或操纵非组织工件。其他示例性应用涉及美容改进、人体或动物解剖结构的成像、从人体或动物解剖结构收集数据、设置或拆卸系统、以及训练医疗或非医疗人员。附加的示例性应用包括使用对从人或动物解剖结构上移除的组织的过程(不返回到人或动物解剖结构),以及对人或动物尸体执行过程。另外,这些技术还可用于包括或不包括外科手术方面的医疗治疗或诊断过程。

[0049] 本领域技术人员将理解,计算机是遵循编程指令以对输入信息执行数学或逻辑功能以产生经处理的输出信息的机器。计算机包括执行数学或逻辑功能的逻辑计算单元,以及存储编程指令、输入信息和输出信息的存储器系统。术语“计算机”和类似术语,诸如“处理器”或“控制器”或“控制系统”,应当被视为同义词。本领域技术人员将理解,计算机的功能可以集中或分布在两个或更多个位置之间,并且可以用硬件、固件和软件的各种组合来实现。

[0050] 已经开发了远程操作式医疗系统,其提高了操作员的灵活性或能力以改善人体工程学等。例如,已经开发了至少部分地在计算机辅助下操作的微创遥控操作式外科手术系

统(“遥控外科手术系统”)并且其使用主/从模型来进行操作,在该模型中,用户操作的主输入设备控制电机驱动的从外科手术工具。用户通过远程控制来抓握并移动主输入设备以操作从外科手术工具,而不是用手直接保持并移动工具。从外科手术工具跟随主输入设备的运动。

[0051] 在微创遥控外科手术中,成像设备(诸如手术部位处的内窥镜相机)捕获组织和从外科手术工具的工作端的移动图像。为了方便起见,“相机”在本文中通常用来指代用于捕获一个或多个图像的成像设备。图像设备的示例包括基于光学、超声技术、磁共振成像(MRI)、CT(计算机断层扫描)、X射线等的图像设备。内窥镜相机的示例包括单视场、立体和3D相机,以及在可见光谱内、红外线、紫外线、光谱的某个其他部分或前述的组合中成像的相机。“工具”在本文中用于包括成像和非成像器械。如本文所使用,术语“末端执行器”是指工具的任何远端部件或部分,诸如操纵、抽吸、冲洗或烧灼工具的尖端,或诸如内窥镜相机的成像设备的尖端(例如,末端执行器的示例包括抓紧器、剪刀、烧灼钩、抽吸/冲洗喷嘴、钝头、导管或其他柔性设备的远侧尖端、光学成像设备的透镜、超声波成像设备的探针尖端等)。用户在操作主设备时查看图像,并看到与主设备移动相对应的从末端执行器移动。计算机控制系统在主设备和从外科手术工具之间提供控制接口。

[0052] 用户通常从远离病人的位置(例如,跨手术室,在不同的房间中,或在与患者完全不同的建筑物中)操作主设备。在许多遥控外科手术情况下,用户不在无菌区域内并因此不会直接与患者交互。然而,在一些遥控外科手术情况下,操作主设备的用户离患者足够近以便可选地在无菌区域内直接与患者交互。主设备通常在所有六个笛卡尔自由度(DOF)中自由移动,使得主设备位置的变化(沿笛卡尔坐标轴的平移)和主设备取向的变化(围绕笛卡尔坐标轴的旋转)会导致对应的从工具平移和旋转。本说明书是在笛卡尔参考系的背景下,并且本领域技术人员将理解,可以使用其他合适的三维参考系(例如,圆柱参考系、球参考系)。

[0053] 主设备可以是各种形式。例如,主设备可以是具有冗余机械DOF的运动学链中的最远侧连杆、操纵杆、外骨骼手套等。在一些情况下,主设备跟踪手势,使得如果以足够的准确度跟踪手的平移和旋转以进行外科手术,则用户的手单独或用户的手的部分可以充当虚拟主设备。主设备可以可选地具有一个或多个机械DOF以控制对应的末端执行器机械DOF,诸如用于末端执行器钳夹的钳子机构,或用于钳口之间的末端执行器刀移动的开关(例如,按钮或滑块)。并且,主设备可以可选地具有一个或多个输入(诸如开关)以控制附加的末端执行器或外科手术系统特征,诸如电外科手术能量施加、缝合器控制、接合和分离主设备和从工具之间的主/从控制关系(“离合”),改变系统操作模式,将主设备控制从一个从外科手术工具改变到第二从外科手术工具,显示菜单选择等。

[0054] 外科手术工具具有多种形式,并且其包括用于治疗和诊断功能的工具。示例性外科手术工具包括组织抓紧器、针驱动器、剪刀、牵开器、电外科手术烧灼工具、缝合器、外科手术施夹钳、超声切割器、抽吸/冲洗工具、导管、超声探头等。在一些情况下,相机(诸如内窥镜相机)或其他图像捕获技术可以被认为是外科手术工具。相机和相关联的图像处理技术可用于专门的功能,例如近红外图像捕获、荧光能量捕获、高光谱成像等。这些特殊的成像功能增加了干预的有效性。

[0055] 许多遥控外科手术系统合并机器人技术(即使它们可能不采取自主行动,也经常

被称为“外科手术机器人”)。示例性遥控外科手术系统在以下专利中示出:美国专利号US 6,331,181 B1(1999年10月15日提交)(描述了一种多端口系统,其中相机和其他外科手术工具仅经由单独端口进入身体),US 8,784,435 B2(2010年8月12日提交)(描述了一种单端口系统,其中相机和其他外科手术工具经由单个公共端口进入身体),以及US 8,801,661 B2(2013年11月7日提交)(描述了一种使用柔性外科手术工具的系统)。美国专利号6,331,181、8,784,435和8,801,661的全部公开内容通过引用以其整体并入本文。

[0056] 遥控外科手术系统通常包括一个或多个电机驱动的遥控操作式操纵器。外科手术工具可移除地安装在操纵器上,并且操纵器通常移动整个工具以及工具的组成部分,包括工具的末端执行器。操纵器的移动与用户的主设备移动相对应,使得末端执行器的移动精确地跟随主设备移动。已知各种遥控外科手术操纵器架构,诸如串行运动学链、球形联动装置、正交棱柱形接头(线性和圆形曲线)等。外科手术工具本身可以是单个刚性主体或运动学链,并且因此工具的运动学姿势确定其末端执行器在空间中的姿势。同样,操纵器的运动学姿势确定外科手术工具在空间中的姿势。

[0057] 操纵器通常通过非遥控操作式设置结构(诸如运动臂)保持在固定位置和取向。设置结构通常包括由可移动和可锁定的接头耦接的连杆的至少一个运动学对,使得操纵器可以重新放置在空间中并然后保持在新姿势。可锁定的(一个或多个)接头可以是动力的(机动化的)或无动力的。并且可锁定的(一个或多个)接头可能以各种方式被锁定,诸如通过使用手动或电控制动器,或者通过控制动力接头以保持运动学对中的连杆之间的固定关系。设置结构的运动学姿势通过使操纵器的最近侧(“基部”)连杆保持固定来确定操纵器在空间中的姿势。

[0058] 继而,设置结构可以具有最近侧连杆(“基部”),其可选地固定到机械地面(例如,地板、墙壁、天花板、或固定到地板、墙壁或天花板的结构)或可选地可参考机械地面移动(例如,在地板上滚动,沿着墙壁、天花板或手术台上的一个或多个导轨移动的推车等)。可移动设置结构基部还起到使操纵器在空间中摆姿势的作用。操纵器、可选的设置结构(固定或可移动)和可选的基部(固定或可移动)共同用作参考机械地面安装在操纵器上的外科手术工具的支撑结构。保持操纵器、成像设备(诸如相机)或相对于机械地面固定在空间中的另一个工具的任何结构都可以用作支撑结构。例如,当相机捕获外科手术部位的图像时,将内窥镜相机保持在空间中稳定的机动或非机动夹具可以用作相机支撑结构。作为另一个示例,内窥镜相机可以通过包括运动学链的支撑结构保持在适当位置;运动学链可以是被动运动学链,或包括一个或多个从动接头。以下描述了机械支撑结构的附加示例。

[0059] 图1是示出示例性遥控操作式系统,特别是用于执行微创外科手术的多端口遥控外科手术系统100的部件的示意性平面图。系统100类似于美国专利号US 6,246,200 B1(1999年8月3日提交)(公开“Manipulator Positioning Linkage for Robotic Surgery”)中更详细描述的系统,该专利申请的公开内容通过引用并入本文。在美国专利号US 8,529,582 B2(2011年5月20日提交)(公开“Instrument Interface of a Robotic Surgical System”)以及US 8,823,308 B2(2011年7月1日提交)(公开“Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses”)中描述了另外相关细节,这些专利申请的公开内容同样通过引用并入本文。系统用户102(当系统100用于手术时,通常是外科手术医生或其他有技术的临床医生)对躺在手术台106上的患者104执行微

创外科手术过程。系统用户102看到由显示器108呈现的移动图像(单视场(2D)或立体(3D))并在用户的控制单元112处操纵一个或多个主设备110。响应于用户的主设备移动,计算机113充当专用控制系统并引导从遥控操作工具114(在此外科手术示例中,工具114是外科手术工具)的移动。如以下更详细描述的,主设备110与工具114在计算上对准。基于这种对准,计算机113生成使主设备的移动与工具114的末端执行器的移动相关的命令,使得末端执行器的运动以对用户直观的方式跟随系统用户102手中的主设备的移动。

[0060] 如上所述,计算机113通常包括数据处理硬件和体现软件编程指令以实现本文描述的方法的机器可读代码(例如,包括相关控制系统)。并且尽管在图1的简化图中将计算机113示为单个框,但计算机可以包括两个或更多个集中式或分布式数据处理单元,其中处理的至少一部分任选地在输入设备附近执行,一部分在操纵器附近执行等。可以采用各种各样的集中式或分布式数据处理架构中的任何一种。类似地,可以将编程代码实现为多个单独的程序或子例程,或者可以将其集成到各种其他遥控外科手术系统部件中。

[0061] 如图1所示,系统100还包括操纵器组件116,该操纵器组件包括用于工具114的两个遥控操作式操纵器120和用于包括成像设备的工具的遥控操作式操纵器124。为了便于解释,以下将成像设备示出并描述为相机126,并且相机126可以是任何适当的成像设备。例如,相机126可以被配置成光学地、超声地或使用任何其他适当技术来成像。在该外科手术示例中,相机126是被配置成在可见光谱中成像的内窥镜相机。其他数量和组合的操纵器是可选的(例如,用于工具的一个、三个或更多个操纵器,用于相机的两个或更多个操纵器)。操纵器组件116还包括在过程期间支撑操纵器120的操纵器设置结构118。并且,操纵器组件116包括被示为相机设置结构122的成像设备设置结构;相机设置结构支撑操纵器124。工具设置结构和相机设置结构均具有基部连杆,并且这些基部连杆耦接到单个可移动推车。对于每个工具114和相机126,相关联的操纵器、设置结构和推车示出了用于工具或相机的支撑结构。

[0062] 如图所示,内部手术部位的图像通过用户控制单元112中的显示器108显示给用户102。内部手术部位可选地通过辅助显示器130(2D或3D)同时显示给助手128。然而,如上所述以及下面将更详细描述的,在一些遥控操作式系统中,用户102在外科手术期间可能靠近(例如,处于与助手128的所示位置类似的位置的)患者104。在这些遥控外科手术系统架构中,用户可以在2D或3D显示器上查看外科手术部位的图像,该显示器安装在地板、墙壁、天花板或其他装置上,如显示器130的位置所示。

[0063] 无菌助手128(例如,护士、辅助外科医生、或另一位有技术的临床医生)在外科手术之前、期间和之后执行各种可选任务。例如,助手128可以调整操纵器120、124的姿势,调整设置结构118、122,在操纵器上将工具114与其他工具132交换,在患者体内操作非遥控操作式医疗工具和装置,保持内窥镜相机,以及执行与遥控操作式外科手术和一般外科手术有关的其他任务。

[0064] 图2是示出操纵器组件116的主视图。具体地,图2示出了遥控外科手术系统患者侧单元,其示出多端口遥控外科手术操纵器组件的实施例,该组件由美国加利福尼亚州桑尼维尔市的直观外科手术操作公司商业化为da Vinci®外科手术系统。在多端口遥控外科手术系统中,工具通过两个或更多个单独切口或自然孔口进入身体。在该示例中,操纵器组件116包括由可移动患者侧单元支撑的四个遥控操作式外科手术工具和相机操纵器。

[0065] 在多端口遥控外科手术系统的其他实施例中,操纵器120、124和相关联的设置结构118、122中的一个或多个被单独地或组合地安装在一个或多个单独可移动单元上或者固定到机械地面,如本文所述。可以看出,可以使用操纵器及其相关支撑结构的各种组合。

[0066] 在单端口遥控外科手术系统中,所有工具通过单个切口或自然孔口进入身体。在美国专利号US 8,784,435 B2(2010年8月12日提交)(公开“Surgical System Entry Guide”)中示出并描述了用于单端口遥控外科手术系统的操纵器组件的示例,并且在美国专利号US 8,801,661 B2(2013年11月7日提交)(公开“Robotic Catheter System and Methods”)中示出并描述了遥控外科手术系统和柔性外科手术工具的示例。

[0067] 根据本发明的一方面,本文所述的一个或多个主设备可用于控制两个或更多个不同的遥控外科手术系统配置,无论它们是两个或更多个不同的多端口系统、两个或更多个多端口、单端口系统、两个或更多个柔性工具系统、或此类多端口、单端口和柔性工具系统的任意组合。

[0068] 图3是可与遥控操作式系统一起使用的遥控操作式工具114的透视图。具体地,示出了遥控操作式外科手术工具;该外科手术工具包括远侧末端执行器140、可选的腕部141、近侧端部底盘142、底盘142上方的壳体143(底盘142和壳体143可以可选地组合)、以及耦接在末端执行器140和底盘142之间的细长轴144。末端执行器140直接或经由可选腕部141耦接到轴144。各种腕部141架构允许末端执行器140的取向以俯仰、偏航和滚动的各种组合相对于轴144发生变化。可选地,末端执行器滚动功能由滚动轴144执行。各种机构(皮带轮、电缆、杠杆、齿轮、万向节、电机等的组合)安装在底盘142上,并且用于从工具114的相关联操纵器接收机械或电气输入。这些输入用于取向和操作末端执行器140。底盘142通常将包括适于耦接到操纵器120、124的机械或电接口146。如美国专利号US 6,331,181 B1中更详细地描述的,工具114通常将包括存储器148,其中存储器通常电耦接到数据接口(数据接口通常形成接口146的一部分)。当工具安装在操纵器上时,该数据接口允许在存储器148和计算机113(参见图1)之间进行数据通信。

[0069] 末端执行器140还示出了一种内窥镜相机型工具,该工具在适当位置处具有图像捕获部件(诸如相机型工具的近侧端部或远侧端部),并且具有或没有腕部141。因此,工具114通过其结构还示出了用于运动学目的的相机126,并且对工具114及其类似物的运动学特性以及与其相关的控制方面的随后引用也适用于相机126及其类似物。

[0070] 可以使用不同类型的各种替代性遥控操作式外科手术工具和不同的末端执行器140。与至少一些操纵器相关联的工具被配置成在外科手术过程期间从其相关联操纵器上移除并被替换为替代工具。在美国专利号US 8,823,308 B2中提供了附加细节。

[0071] 在一些操作环境中,工具114和末端执行器140可以可选地组合成具有多种功能的组合。与这些组合有关的附加细节在美国专利号US 7,725,214 B2(2007年6月13日提交)(公开“Minimally Invasive Surgical System”)中提供,该专利的公开内容通过引用以其整体并入本文。在以下专利中提供了与工具114和操纵器120之间的接口有关的细节:美国专利号US 7,955,322 B2(2006年12月20日提交)(公开“Wireless Communication in a Robotic Surgical System”)以及US 8,666,544 B2(2013年7月10日提交)(公开“Cooperative Minimally Invasive Telesurgical System”),这些专利申请的公开内容通过引用以其整体并入本文,以及还在美国专利号US 8,529,582 B2中提供。

[0072] 图4是用户控制单元的前正视图,其示出了图1的用户控制单元112的示例。用户控制单元112包括显示器108,其中向用户102(例如,外科手术示例中的外科医生或其他有技术的临床医生)显示工作部位(例如,外科手术示例中的外科手术部位)的图像。提供了支撑件111,用户102可以在握住两个主设备110的同时将前臂搁置在其上,每只手有一个主设备。主设备110被定位在支撑件111后面并且通常在显示器108下面和后方的空间中。当使用控制单元112时,用户102通常坐在控制单元112的前面,将眼睛定位在显示器108的前面,并且握住主设备110(每只手有一个主设备),同时将前臂搁置在支撑件111上。将主设备定位成使得相关联的末端执行器的图像位于主设备和眼睛之间,使得当用户看到代替手的末端执行器时,主设备的运动会直观地移动主设备。用户控制单元112可以可选地包括计算机113或计算机113的一部分,其用于在主设备110和相关联的工具114及其末端执行器140之间建立和维持遥控操作式控制关系。

[0073] 主设备及其从工具(例如,外科手术示例中的从外科手术工具)和末端执行器之间的有效遥控操作式控制关系需要在主设备与末端执行器之间的空间对准。对准必须在用户感知到的主设备运动(例如,本体感觉)和用户感知到的所引起的末端执行器运动(例如,视觉感觉)之间提供合理准确的关系。例如,如果用户将抓握主设备的手向左移动,则用户期望感知到相关联的从操纵器向左移动。如果感知到的空间运动匹配,则用户可以通过移动主设备轻易地控制从设备的移动。然而,如果感知到的空间运动不匹配(例如,向左的主设备移动导致向上和向右的从移动),则从控制是困难的。使用遥控操作式系统(例如,外科手术示例中的遥控外科手术系统)中的已知运动学关系和参考系变换来完成所需的对准。这些关系在下面以笛卡尔术语描述,但其他3维坐标系也可以用于在3维空间中起作用的系统。

[0074] 1.架构和参考系

[0075] 图5A是遥控操作式系统部件(例如,外科手术示例中的遥控外科手术系统部件)和相关联的笛卡尔参考系的示意图。如图5A所示,相机126(例如,内窥镜手术示例中的内窥镜相机)具有视场(FOV)127。工具114的远侧部分(例如,在外科手术示例中的外科手术工具)具有腕部141和末端执行器140,其中其腕部141和其末端执行器140在FOV 127内。末端执行器参考系150与末端执行器140相关联,并且工具参考系151与工具114的近侧部分(主体)相关联,诸如患者外部的部分(底盘、壳体、近侧轴等)。如果工具没有腕部141,则可以将参考系150和151组合成足以定位和取向工具114的近侧部分和末端执行器140的单个参考系,或者参考系150、151可以保持分离,每个参考系在不同位置处具有原点。类似地,视场参考系152与FOV 127相关联,并且成像设备参考系153与相机126的主体部分(诸如患者外部的近侧部分)相关联。如果相机126不具有腕部141,则参考系152和153可以被组合成单个参考系,或者它们可以保持分离,每个参考系具有在不同位置处的原点。

[0076] 对于包括相机126和机械连杆的所有工具114(例如,外科手术示例中的外科手术工具)的物理尺寸已知并且这些机械连杆之间的所有接头角度都可以被确定(使用直接旋转传感器、电机位置传感器、光纤形状传感器等)的系统,参考系150或151与工具114中的任何其他连杆的参考系之间的运动学关系可以通过使用众所周知的运动学计算来确定。同样,可以确定参考系152或153与相机126中任何其他连杆之间的运动学关系。因此,对于末端执行器140在FOV 127内操作的此类系统,参考系150和152之间的对准将允许用户轻松控

制FOV 127中的末端执行器140。

[0077] 图5A还示出了用户102查看显示器108并抓握主设备110。显示器108显示FOV 127内的图像。如图所示,末端执行器140的图像140a显示在显示器108上。显示器参考系154与显示器108相关联,并且主设备参考系156与主设备110相关联。当主设备110在3D空间中平移和旋转时,其相关联的参考系156相应地平移和旋转。可以使用已知方法来感测这些参考系156的平移和旋转(姿势变化),并将其数学变换为末端执行器140的参考系150,以便通过使用众所周知的运动学计算来提供主设备110和末端执行器140之间的控制关系。随着主设备110的参考系156的位置和取向发生变化,末端执行器140的参考系150的位置和取向相应地发生变化,使得末端执行器140的移动将从属于主设备110的移动并跟随主设备110的移动。用户102在显示器108上查看末端执行器140的位置和取向变化。为了在主设备移动和末端执行器图像移动之间建立期望的简单且直观的控制关系,在参考系150和152之间以及参考系154和156之间建立关系。一旦建立了这些参考系关系,就可以控制参考系150相对于参考系152的运动以精确或可接受地匹配参考系156相对于参考系154的移动。

[0078] 图5B是遥控操作式系统部件和相关联的笛卡尔参考系的另一个示意图。图5B示出了由机械支撑结构参照机械地面支撑的图5A所示的各种部件。图5B还示出了与这些支撑结构相关联的参考系。为了在该附图和以下附图中简化,将每个支撑结构描绘为运动学对-通过可移动接头耦接的两个连杆。然而,应当理解,支撑结构可以是各种可选的配置,诸如具有零DOF的单连杆、具有1个或更多个DOF的单个运动学对、或具有2个或更多个DOF的运动学对的组合。并且,具有2个或更多个DOF的支撑结构可以可选地具有给予支撑结构冗余DOF的接头。可以使用各种运动学接头中的任何一种(如所示的旋转、棱柱形、球形等)。

[0079] 如图5B所示,主设备110由主设备支撑结构160支撑,该主设备支撑结构从机械接地部分160a(也称为“基部160a”)开始并且向远侧延伸直到与主设备110耦接。参考系161与主设备支撑结构160的一个连杆相关联。类似地,显示器108由显示设备支撑结构162支撑,该显示设备支撑结构从机械接地基部162a开始并向远侧延伸直到与显示器108耦接。参考系163与显示设备支撑结构162的一个连杆相关联。类似地,相机126由成像设备支撑结构(显示为相机支撑结构164)支撑,该成像设备支撑结构从机械接地基部164a开始并向远侧延伸直到与相机126耦接。相机支撑结构参考系165与相机支撑结构164的一个连杆相关联。并且类似地,工具114由工具支撑结构166支撑,该工具支撑结构从机械接地基部166a开始并向远侧延伸直到与工具114耦接。参考系167与工具支撑结构166的一个连杆相关联。

[0080] 图5B还示出了当主设备110a和主设备支撑结构的接地部分160a之间的运动学链中存在断裂时,主设备支撑结构160可以可选地被配置为支撑结构。当主设备110未机械接地时(即,主设备110a是“未接地”主设备),存在该配置。为了与主设备110a进行通信,可以使用包括通信线路的系绳或无线连接。将回想起,主设备可以是用户102的一只或多只未增强手,并且因此手部姿势的空间感测是未接地主设备的无线实施方式。来自主设备110的控制命令160b—参考主设备参考系156的位置和取向变化以及来自主设备本身的任何附加控制输入(按钮、操纵杆、手指移动、手部姿势等)—经由主设备控制输入接收器160c,经由系绳,经由来自主设备的无线信号,或通过自由空间姿势感测来接收。控制命令然后路由到计算机113以用于处理和相应的从属控制动作。在以下专利中给出未接地主设备的示例:美国专利号US 8,521,331 B2(2009年11月13日提交)(公开了“Patient-side Surgeon

Interface for a Minimally Invasive,Teleoperated Surgical Instrument")、US 8,935,003 B2(2010年9月21日提交)(公开了"Method and System for Hand Presence Detection in a Minimally Invasive Surgical System")、以及US 8,996,173 B2(2010年9月21日提交)(公开了"Method and Apparatus for Hand Gesture Control in a Minimally Invasive Surgical System"),所述专利通过引用并入本文。

[0081] 当确定接头位置时,使用众所周知的正向或逆向运动学计算以在主设备参考系156和主设备支撑结构参考系161之间进行变换;在显示器参考系154和显示器支撑结构参考系163之间进行变换;在成像设备视场参考系(称为相机FOV参考系152)、成像设备参考系(相机参考系153)和成像设备支撑结构参考系(相机支撑结构参考系165)之间进行变换;以及在末端执行器参考系150、工具参考系151和工具支撑结构参考系167之间进行变换。例如,参见美国专利号5,631,973(1994年5月5日提交)(公开了"Method for Telemanipulation with Telepresence")、5,808,665(1996年9月9日提交)(公开了"Endoscopic Surgical Instrument and Method for Use")、以及US 6,424,885 B1(1999年8月13日提交)(公开了"Camera Referenced Control in a Minimally Invasive Surgical Apparatus"),这些专利申请的公开内容通过引用以其整体并入本文。

[0082] 图5B还示出了相对于所描绘的机械地面静止的世界参考系168。参考系168可以直接与机械地面相关联,或者其可以与相对于机械地面保持静止的某个其他结构相关联。并且,参照与参考系168的z轴任意对准的世界参考系168示出了重力矢量(g)169,但应当理解,世界参考系可以可选地相对于重力矢量处于任何取向。磁北极是参考轴的另一个示例,其可以与静止世界参考系相关联。

[0083] 图5C是遥控操作式系统部件和相关联的笛卡尔参考系的另一个示意图。图5C示出了用于系统部件的支撑结构可以可选地以各种方式组合,并且参考系可以与组合的支撑结构相关联。例如,主设备支撑结构160和显示设备支撑结构162可以被组合成如图所示的公共控制支撑结构170。控制支撑结构170从机械地面处的近侧基部170a延伸,并且然后向远侧分支以支撑显示器108和主设备110。主设备和显示器共有的这种控制支撑结构的示例是图4所示的用户控制单元112。

[0084] 控制支撑结构170还可以被配置成支撑不接地的主设备110a的配置,如上所述和如图5C所示。

[0085] 控制支撑结构参考系171与控制支撑结构170相关联。众所周知的正向或逆向运动学计算用于在显示器参考系154、主设备参考系156和控制支撑参考系171之间进行变换。并且,如图所示,控制支撑参考系171可以在不接地的主配置中使用。

[0086] 作为另一个示例,其示出了如何可以可选地组合支撑结构,图5C示出了相机支撑结构164和工具支撑结构166,其被组合成单个设备支撑结构172(例如,外科手术示例中的外科手术设备支撑结构)。设备支撑结构172从机械地面处的近侧基部172a延伸,并且然后向远侧分支以支撑工具114和相机126。这种设备支撑结构的示例是图2所示的操纵器组件116。

[0087] 设备支撑参考系173与设备支撑结构172相关联。在必要时,众所周知的正向或逆向运动学计算可用于在末端执行器参考系150、工具参考系151、FOV参考系152、相机参考系153和设备支撑参考系173之间进行变换。将回想起,在一些情况下,人可保持相机126并因

此充当相机支撑结构。

[0088] 图5C还示出了相对于控制支撑结构170和设备支撑结构172以及相对于其相关联的参考系的世界参考系168和重力矢量(g)169。示出了世界参考系168和重力矢量169以说明它们可以根据需要相对于参考系171或173以及图5B所示的各种参考系来使用。以下包括附加描绘。

[0089] 本领域技术人员将理解,各种支撑结构可以支撑如图所示的单个对象,或者可选地,它们可以支撑两个或更多个相似或不相似的对象。例如,主设备支撑结构160可以支撑两个主设备110(例如,针对每个左手和右手的一个主设备110以控制相应的单独工具114,如用户控制单元112所示)。或者,主设备支撑结构160可以支撑三个或更多个主设备(例如,两个主设备110以控制相应的单独工具114,以及第三主设备以控制第三工具114或相机126)。可以支撑一个或多个运动接地的主设备与一个或多个不接地的主设备的组合。并且,如果支撑两个或更多个主设备110,则可以或可以不支撑显示器108。类似地,工具支撑结构166和设备支撑结构172可支撑两个或更多个工具114,支撑或不支撑相机126(例如,操纵器组件116)。

[0090] 此外,遥控操作式系统可以可选地包括两个或更多个主设备支撑结构160、显示设备支撑结构162、相机支撑结构164、工具支撑结构166、控制支撑结构170和设备支撑结构172的组合。例如,da Vinci® Xi外科手术系统具有支撑单个显示器108和两个主设备110的一个控制支撑结构170,并且它具有支撑一个内窥镜相机126和多达三个工具114的一个设备支撑结构。da Vinci® Xi外科手术系统可选地包括支撑第二单个显示器108和第二组的两个主设备110的第二控制支撑结构170,并且该第二支撑结构可以例如在训练情况下使用。

[0091] 本领域技术人员将理解,所示的各种参考系在运动学上可能可以可选地以各种方式组合成单个参考系。例如,主设备支撑参考系161或控制支撑参考系171可以用作主设备参考系156。同样,显示器参考系154可用作主设备参考系156。类似地,相机主体参考系153(成像设备主体参考系)可以用作FOV参考系。为了避免不必要的描述,没有列出所有的各种组合,但是所有此类组合在本发明的方面内。通常,与一个运动学链中的任何连杆(包括最远侧连杆)相关联的参考系可以用作与第二运动学链中的任何连杆(包括最远侧连杆)相关联的参考系。根据本发明的方面,根据需要建立两个参考系之间的运动学关系。

[0092] 如上所述,当显示器108和一个或多个主设备110被支撑在公共控制支撑结构170中时,并且当确定关于显示器和主设备的运动学姿势信息时,众所周知的运动学计算可以用于在与显示器和一个或多个主设备相关联的参考系之间建立所需的控制对准。这是因为显示器108、一个或多个主设备110和控制支撑结构170之间的位置和取向关系是已知的。类似地,当相机126和一个或多个工具114被支撑在公共设备支撑结构172中时,众所周知的运动学计算可用于在与相机及其FOV、与一个或多个单独工具114相应的一个或多个单独末端执行器140、以及设备控制结构相关联的参考系之间建立所需的控制对准,因为这些对象之间的位置和取向关系是已知的。为了建立遥控操作(例如,在外科手术示例中的遥控外科手术)所需的控制对准,控制支撑参考系171变换为设备支撑参考系173,并因此建立了主设备/显示器和相机末端执行器/FOV参考系对准。

[0093] 例如,新遥控操作式系统架构可能缺少可用于确定工具之间的运动学关系的工具共有的单个机械基部。同样,新遥控操作式系统架构可能缺少可用于确定主输入设备之间

或(一个或多个)主输入设备与其他装置(诸如显示器)之间的运动学关系的主输入设备共有的机械基部。因此,在遥控操作式系统中需要改善的空间配准和控制。

[0094] 例如,遥控操作式系统可以包括携带工具的两个或更多个单元,其中单元可以相对于彼此移动,使得单元之间的运动学关系不容易通过安装到相同机械基部来限定。另外,工具(诸如操纵工具或相机)可以由未配备任何传感器的被动支撑结构支撑,或者工具可以由人保持,并且因此计算机控制系统无法从工具的支撑结构中确定该工具的运动学信息。因此,不存在可用于确定由不同单元保持的工具之间运动学关系的这些单元共有的单个机械基部(例如,在医疗实施例中,在内窥镜相机和一个或多个其他医疗工具之间)。此外,可以在过程期间(例如,在外科手术示例中的外科手术过程期间)根据需要添加或移除一个或多个单元。

[0095] 关于用于控制这些新系统中的工具运动的主控制设备可能存在类似情况。主控制设备可能未共享公共机械基部,并且显示器(例如,示出由成像设备捕获的工作部位的图像的显示器)与一个或多个主控制设备(例如,用于控制一个或多个工具的姿势的主输入设备,诸如一个或多个操纵或成像工具)之间的运动学关系可能无法仅通过运动学数据来确定。此外,在过程期间可以根据需要添加或移除一个或多个主输入设备。

[0096] 因此,在使用一个或多个单独的主设备、显示器、成像设备和工具支撑结构的情况下,然而,更难以建立主设备与显示器之间以及成像设备与其他工具之间的位置和取向关系。如果要使用位置和取向来建立所需的控制对准,则必须确定每个单独支撑结构的位置和取向。并且另外,如果单独支撑结构的位置或取向在使用期间(例如,在外科手术示例中的外科手术内)改变,则必须确定改变的支撑结构的新位置和取向以再次建立所需的控制对准。但是,通常难以用足够准确度来确定单独支撑结构的位置和取向。

[0097] 图5D是医疗示例的示意性平面图,示出了患者和两个患者侧单元,该医疗示例示出了其中在医疗过程期间使用分开的相机和工具支撑结构的示例性情况。患者200被示出为在手术台202上。示意性相机支撑结构204被示出为可在手术室地板上移动的移动单元。如上所述,相机支撑结构204支撑内窥镜相机206,该内窥镜相机具有朝向患者体内的工作部位208(在该示例中的医疗部位,诸如外科手术部位)放置的FOV。包括示意性工具支撑结构210,其也被示出为可在手术室地板上移动的移动单元。工具支撑结构210支撑工具212,该工具被放置成将其末端执行器214定位在患者和FOV内的外科手术部位处。相机支撑结构204表示支撑单个相机的单个相机支撑结构、支撑两个或更多个相机的单个相机支撑结构、以及各自支撑一个或多个相机的两个或更多个单独相机支撑结构。同样地,工具支撑结构210表示支撑单个工具的单个工具支撑结构、支撑两个或更多个工具的单个工具支撑结构、以及各自支撑一个或多个工具的两个或更多个单独工具支撑结构。另外,相机支撑结构204和工具支撑结构210可选地表示如上所述的组合的设备支撑结构。因此,为了避免不必要地冗长地描述所有可能的变化,本领域技术人员将理解,以下关于相机支撑结构204和工具支撑结构210的描述也适用于各自可表示的各种其他支撑结构。

[0098] 如图所示,相机支撑结构204相对于机械地面(在该示例中为地板216)处于某个姿势204a。相机支撑结构参考系218与相机支撑结构的运动学链的单个连杆(例如,机械地面处的基部连杆、设置结构的连杆、操纵器的连杆、相机本身的连杆;相机最远侧连杆的姿势(可能是相机主体本身)还用于限定相机FOV的参考系)相关联。相机支撑结构参考系218的

取向随着相关联的单独连杆的取向发生变化而变化,并且然后使用运动学计算来确定相机支撑结构中的任何其他连杆的取向。

[0099] 在图5D中进一步示出了工具支撑结构210的该变化的取向方面,该工具支撑结构被示为相对于机械地面(地板216)处于第一姿势210a。工具支撑结构参考系220与相机支撑结构的运动学链的单个连杆(例如,机械地面处的基部连杆、设置结构的连杆、操纵器的连杆、工具本身的连杆,包括末端执行器)相关联。图5D还示出了相对于机械地面处于第二可选姿势210b的工具支撑结构210,其示出了工具支撑结构可以在遥控操作内以及期间(例如,在外科手术示例中的遥控外科手术期间)以各种位置和取向放置。参考系220随着其在工具支撑结构上的相关联连杆发生变化而变化,如箭头222所示。本领域技术人员将理解,如图所示,工具支撑结构210的各种姿势还表示一个或多个附加的单独或组合工具结构的各种姿势,以及相机支撑结构204和可选的一个或多个附加的单独或组合相机支撑结构的可选姿势,以及组合成一个或多个分开的单独设备支撑结构的一个或多个相机和工具支撑结构。然而,对于所有这些可选组合,支撑相机的支撑结构与保持需要相机的FOV参考系中进行配准的工具的支撑结构是分开的。

[0100] 图5E是患者和两个患者侧单元的另一个示意性平面图,该平面图示出了分开的相机和工具支撑结构的变化取向的第二示例。在图5E中,相机和工具支撑结构安装在台202上(例如,医疗示例中的医疗台,诸如外科手术示例中的手术台)。例如,相机和工具支撑结构可以沿着台的侧轨安装在各个位置,该侧轨用作机械地面。用于相机206的相机支撑结构224在基部位置224a处安装到台202。类似地,用于工具114的工具支撑结构226在第一基部位置226a处安装到台202。工具支撑结构226可选地在第二基部位置226b处安装到台202,其再次示出了工具支撑结构可以在遥控操作内以及期间(例如,在外科手术示例中的遥控外科手术期间)以各种位置和取向放置。在图5D中,工具支撑结构基部的位置和取向都被示为改变,并且在图5E中,仅工具支撑结构的基部的位置被示出为改变,因为基部取向在其沿着台导轨处于不同位置时没有改变。但是,工具支撑结构基部的位置和取向可在其他配置中改变,诸如当工具支撑结构从台的一侧移动到台的相对侧时。此外,台姿势可以改变,这相应地改变基部取向和位置。再次,如上所述,相机和工具支撑结构的各种组合均是可能的。并且再次,对于所有这些可选组合,支撑相机的支撑结构与保持需要在相机的FOV参考系中进行配准的工具的支撑结构在物理上完全分开,或经由共享支撑结构进行机械耦接,该共享支撑结构也保持工具但没有共享运动学信息并因此在运动学上有效地分开。

[0101] 2.控制的对准

[0102] 为了有效地相对于相机FOV参考系移动工具的远端,在相机FOV和工具的末端执行器之间(即,在与相机FOV相关联的参考系和与末端执行器相关联的参考系之间)确定对准关系。此外,在主设备和显示器之间(在与主控制器相关联的参考系以及与显示器相关联的参考系之间)确定对准关系,该显示器输出来自相机的示出末端执行器的图像。在美国专利号6,424,885 B1和美国专利号6,459,926(1999年9月17日提交)中发现建立这种对准关系并迫使主设备达到与所显示的末端执行器姿势相应的姿势的示例,所述专利申请的公开内容通过引用以其整体并入。在这些示例中,主设备安装在机器人主操纵器臂的端部处。为了建立必要的主/从控制关系,主操纵器臂将主设备移动到显示器参考系中的一姿势,该姿势相应于相机FOV参考系中的从末端执行器的姿势。该移动将主设备姿势与所显示的末端执

行器姿势对准,并因此在主设备和末端执行器之间建立了视觉上和本体上直观的控制关系。因此,在各种实施例中,确定末端执行器参考系与FOV参考系之间以及显示器参考系与主设备参考系之间的关系。

[0103] 在实施方式中,用户对直观的主/从控制的感知取决于主从之间的至少两个主要感知相关性。首先,它取决于用户对空间中的主(主设备)取向与空间中的从(末端执行器)取向之间的相关性的感知—即感知到的取向相关性。其次,它取决于用户对主(主设备)的移动方向与从(末端执行器)的移动方向的相关性的感知—感知到的移动方向相关性。

[0104] 因此,用户对主设备取向的本体感觉应在用户对显示器中的相应末端执行器图像取向的视觉感觉的可接受容限内。对于许多工具和/或主设备,主设备的长轴应被视为沿显示器中的末端执行器的长轴方向取向。然而,对于其他工具和/或主设备,用于控制的主设备和/或末端执行器取向轴可以不是长轴。举例来说,手枪握把型主设备可能没有被感知为与末端执行器的长轴对准的长轴,但用户仍然可以感知到手枪握把型主设备和末端执行器之间的取向相关性。另外,如果末端执行器的抓握功能直观地相应于主设备的抓握运动,则主设备的抓握运动的平面的取向应被感知为相应于显示器中的末端执行器的抓握运动的平面的取向。(这是主设备围绕其实际或感知的长轴的滚动角与末端执行器围绕末端执行器的长轴的滚动角之间的匹配。)

[0105] 同样,用户对主设备移动方向的本体感觉应在用户对显示器中的相应末端执行器图像移动方向的视觉感觉的可接受容限内。

[0106] 单独用户对于感知的取向和移动方向相关性将具有不同的个人容忍度。例如,一些用户可能会容忍20-40度的感知取向相关性不匹配。并且,一些用户受到低至5度的感知运动方向相关性不匹配的影响。我们发现,当遥控外科手术系统首先在主设备和末端执行器之间建立控制关系以开始主/从操作时,并且随着系统在主/从操作期间继续更新和维护主设备与末端执行器之间的控制关系,针对足够的性能,感知到的主/从取向和移动方向相关性比感知到的位置相关性更重要。

[0107] 参照图5F,取向对准轴Z_{EL}与左末端执行器的显示图像相关联,并且取向对准轴Z_{ER}与右末端执行器的显示图像相关联。同样,取向对准轴Z_{ML}与左主设备相关联,并且取向对准轴Z_{MR}与右主设备相关联。取向轴在Z_{ML1}和Z_{MR1}处的主设备的位置的间隔方式通常相应于末端执行器取向轴Z_{EL}和Z_{ER}的间隔方式。然而,主设备取向轴Z_{ML2}和Z_{MR2}的间隔距离要比末端执行器取向轴Z_{EL}和Z_{ER}的间隔距离更远。然而,主设备取向轴Z_{ML2}和Z_{MR2}的位置提供了有效的直观控制。以类似方式,主设备取向轴Z_{ML2}和Z_{MR2}的垂直位置差异(例如,左侧比右侧高)或深度位置差异(例如,左侧比右侧远)也提供了有效的直观控制。例如,可以通过Z_{ML1}处的右主设备取向轴和Z_{MR2}处的左主设备取向轴的位置来建立并保持有效的控制。

[0108] 仍然参考图5F,在第一主设备位置处将3D空间移动V_{MR1}与右主设备相关联,并且在第二主设备位置处将并行3D空间移动V_{MR2}与右主设备相关联。尽管右主设备处于3D空间中间隔的位置,但这些移动V_{MR1}和V_{MR2}都被感知为与右末端执行器的3D空间移动V_{ER}相关以用于有效的直观控制。

[0109] 3.取向对准和仅取向对准

[0110] 为了在主设备和末端执行器之间提供所需的取向和移动方向的感知相关性以用于用户的有效直观控制,控制系统确定并对准相关联的参考系之间的关系,以开始进行主/

从控制以进行遥控操作(例如,在外科手术示例中用于遥控外科手术)以及在遥控操作期间维持和更新主/从控制(例如,在外科手术示例中用于遥控外科手术)。

[0111] 根据本发明的方面,仅参考这些对象的取向而不是参考它们的位置来建立相机FOV和末端执行器之间以及主设备和显示器之间的所需对准关系,也就是说,参考与这些对象相关联的参考系的取向而不是参考与这些对象相关联的参考系的位置。为了控制,在末端执行器对准取向轴和相机FOV对准取向轴之间确定绝对取向,并且在主设备对准取向轴和显示器对准取向轴之间建立绝对取向。当确定取向关系以进行控制时,末端执行器可以位于相机FOV的内部或外部。

[0112] 根据本发明的方面,参考这些对象的全部取向但参考小于其全部位置来建立相机FOV和末端执行器之间以及主设备和显示器之间的所需对准关系。全部取向也称为"完整取向",并且全部位置也称为"完整位置"。小于全部位置信息的示例包括无位置信息,以及包括部分位置信息(诸如仅沿着一个或两个轴的位置信息)。因此,在利用笛卡尔坐标的示例中,参考与这些对象相关联的参考系围绕所有三个笛卡尔坐标轴的取向(例如,围绕X轴、Y轴和Z轴旋转),并且参考与这些对象关联的参考系沿零个、一个或两个笛卡尔坐标轴的位置(例如,不沿X轴、Y轴或Z轴,或仅沿X轴、Y轴和Z轴中的一个或两个)来建立所需的对准。然后通过使用全部取向信息以及小于全部位置信息来建立控制。

[0113] 以下描述集中于使用取向信息,并且应当理解,此外,少于全部位置信息(即,沿着零个、一个或两个笛卡尔坐标轴)可以可选地与全部取向信息组合以建立和维持所述的控制。

[0114] 可以使用全部均匀的变换,但该变换对于针对直观控制而建立和维持参考系之间的有效对准是不必需的。一旦已知运动学链中的用于这些对象的任何单独连杆(其可能是对象本身)的取向,就可以通过小于该单独连杆的全部位置信息来建立有效的控制关系。少于连杆的全部位置信息可能意味着没有该连杆的位置信息,并且一些实施例仅使用取向信息来建立控制关系。为了对准而仅使用取向简化了对准任务,因为它不需要确定这些对象或其支撑结构的绝对或相对位置,也不需要构建为这些对象或支撑结构建立公共参考系的组合支撑结构。少于全部位置信息也可能意味着部分位置信息,并且一些实施例在建立控制关系时使用取向信息和部分位置信息。使用部分而非全部位置信息还通过减少确定的位置信息的量来简化对准任务。因此,如图5B-5E所示,各种分开的单独对象及其支撑结构可以被适当对准以进行控制。建立有效控制所需的对准关系是通过从一个参考系到另一参考系的众所周知的运动学变换来实现的。

[0115] 一旦在各种参考系之间建立了有效遥控操作控制所需的初始取向对准关系(例如,仅取向对准关系、或完全取向与部分位置对准关系),则使用相对于这些参考系的位置和取向的变化来进行遥控操作(例如,外科手术示例中的遥控外科手术)。例如,主设备的位置改变是作为工具的末端执行器的相应1:1或缩放的位置改变来进行的,主设备的取向改变是作为工具的末端执行器的相应取向改变来进行的,并且主设备的姿势改变是作为工具的末端执行器的相应姿势改变来进行的。但是,尽管这些控制关系在遥控操作期间起作用,但可以通过仅使用参考系的取向并且不参考其位置,或者通过参考少于其全部位置信息使用所述取向来保持参考系之间的对准。

[0116] 在一个方面,根据腕部功能,相对于工具的轴取向来确定末端执行器取向。在一些

情况下,相对于轴的所有三个末端执行器取向DOF都独立于末端执行器所耦接的轴。在其他情况下,相对于轴的少于三个末端执行器取向DOF均独立于轴。例如,末端执行器俯仰和偏航DOF可以独立于轴,并且围绕z轴的末端执行器滚动取向由轴滚动DOF确定。作为另一示例,末端执行器偏航DOF可以独立于轴,但末端执行器的俯仰和滚动由相应的轴俯仰和滚动DOF确定。因此,在其中发生从工具参考系到末端执行器参考系的变换以建立控制所需的对准的一些情况下,取决于工具的远端配置,可能需要旋转三圈、两圈或一圈。

[0117] 在一个方面,相对于除工具参考系以外的参考系来确定末端执行器参考系的取向。例如,如下面更详细地描述的,末端执行器参考系的取向是参照视场(FOV)的参考系的取向来确定的。例如,在内窥镜外科手术示例中,相对于(用于其FOV部分或全部覆盖手术部位的内视镜相机,也称为相机FOV)视场参考系的取向来确定(用于手术部位的工具的)末端执行器参考系的取向。在该示例中,末端执行器可以位于与视场参考系相关联的视场的内部或外部。

[0118] 在一个方面,相对于显示器所显示的图像的参考系来确定输入设备系的取向,并且该取向可由与输入设备交互的用户观看。

[0119] 根据本发明的另一个方面,当遥控操作式系统中发生事件(诸如遥控操作式系统的计算机收到指示用户希望开始遥控操作控制的信号)时,建立控制所需的初始取向对准关系(例如,仅取向对准关系、或全部取向与部分位置对准关系)。这种事件可以是按钮按下或其他主动控制的事件,使得不会误起动遥控操作。

[0120] 此类系统事件的示例可以是在一个或多个工具的遥控操作与一个或多个内窥镜相机的遥控操作之间转变,将第一工具替换为遥控操作式操纵器上的第二工具,以及预期在整个过程(例如,通过外科手术示例中的外科手术过程)中发生的其他动作。作为特定示例,可以可选地用来触发建立控制关系的请求的一个事件是退出“离合器”模式,其中主控制设备和末端执行器之间的主/从关系被暂时延缓。离合器模式类似于接合和脱离对象之间的耦接的机械离合器的使用。如图5G所示,在第一时间t1,主设备取向轴ZM处于如图所示的第一位置,并且被感知为在取向和移动方向上与相应从末端执行器的图像的取向轴ZE相关。即,如图所示,用户遥控操作末端执行器并感测到在时间t1,主设备的z轴ZM与末端执行器的图像的z轴ZE对准。然后,用户进入离合器模式,将主设备移动到箭头所示的第二位置,并在时间t2退出离合器模式。在t2,用户再次感知到主设备的取向轴ZM在取向和移动方向上与所示的末端执行器的图像的取向轴ZE相关,但取向轴ZM在t2的位置不同于在t1的位置。

[0121] 根据另一个发明方面,建立控制所需的初始取向对准关系(例如,仅取向对准关系、或全部取向与部分位置对准关系)在遥控操作期间被更新,以进一步完善关系,以纠正各种传感器和其他系统部件中可能出现的漂移等。这些更新可选地仅使用取向信息而不是位置信息来执行。更新可以可选地在各种时间发生,例如以预定的时间间隔或在一个或多个系统事件下发生。作为以预定时间间隔进行更新的示例,末端执行器姿势大约每1ms(毫秒)进行更新以对应于主姿势,并因此对准关系每100个周期(约每100ms)进行更新。另外,可以在系统事件和预定时间间隔的组合下进行更新,诸如当在主设备离合器运动之后重新建立遥控操作时,并且在此之后以预定数量的时钟周期进行更新。

[0122] 可替代地,可以通过棘轮过程来细化参考系之间的对准关系,例如,如通过引用并

入本文的美国专利号8,423,186 B2(2009年6月30日提交)中所述,以在诸如离合的事件之后汇聚在主设备和末端执行器的感知到的取向对准。例如,其中输入设备参考系相对于显示器参考系的取向是第一相对取向,并且末端执行器参考系相对于视场参考系的取向是第二相对取向,并且第一相对取向与第二相对取向存在一定差异的情况下,系统可以多次更新第二对准关系以逐渐减小差异。

[0123] 作为另一个示例,系统可以对取向差进行积分,并向命令的运动施加经积分的差的一部分。在该替代方案中,末端执行器参考系随着命令的运动而变化,并且命令的运动动态地减小取向差。在实施方式中,系统确定:末端执行器的命令的取向变化、残余取向差、差的最大减小(诸如,仍保持取向直观性的命令的取向变化的百分比,在一些情况下被限于命令的运动的最大+/-20%)。然后,系统通过基于残余取向差(诸如按比例因子缩放的残余取向差)添加某量来修改命令的运动。这种比例因子可以受到最大比例因子的限制。

[0124] 根据在对准关系中仅使用取向的另一个发明方面,运动学链中的各种对象和连杆的取向可以各种方式确定,如下所示。而且,即使也可以确定这些对象和连杆的位置信息,但在这些方面,仅取向信息用于最初建立控制所需的对准关系并然后维护和更新对准关系。

[0125] 图5H是遥控操作式(例如,外科手术示例中的遥控外科手术)系统部件和与这些部件相关联的参考系的示意图。在适用的情况下,部件类似于图5A-5F中所示的部件。如图所示,相机工具502(也称为"相机502")具有相关联的相机工具参考系503。相机工具502具有FOV 504(2D或3D),其具有相关联的FOV参考系505。如果相机工具502的远侧物镜端506相对于相机工具的主体不可转向,则可以将相机工具参考系503和FOV参考系505组合。

[0126] 相机支撑结构508在远端处支撑相机工具502。在一些实施方式中,相机支撑结构具有单个连杆,并且在其他实施方式中,其具有两个或更多个连杆,并且每对连杆通过接头耦接。如图所示,相机支撑结构508的一个连杆被标识为相机支撑目标连杆510,并且专用空间指示器目标512可选地固定到目标连杆510。相机工具支撑结构参考系513适当地与目标连杆510或目标512相关联。相机支撑结构508还包括在机械地面516处的近侧基部连杆514(例如,耦接至地板516a,耦接至壁516b,耦接至天花板516c,或耦接至机械地面处的结构本身,诸如台(固定或可移动的)或可移动的推车)。如方向箭头所指示的,基部连杆514可选地可相对于地面移动,但另外在初始对准和操作期间与地面呈固定关系。在一些可选实施方式中,省略了相机支撑结构508,并且相机502在过程期间由人支撑。在这种可选实施方式中,目标512可选地固定到相机工具502,并且相机工具参考系503和相机工具支撑结构参考系513被组合。

[0127] 工具520具有相关联的工具参考系521。工具520具有远侧末端执行器522,该远侧末端执行器在应用时具有相关联的末端执行器参考系523,因为它可相对于工具520的主体移动。

[0128] 工具支撑结构524在远端处支撑工具520。在一些实施方式中,工具支撑结构具有单个连杆,并且在其他实施方式中,其具有两个或更多个连杆,并且每对连杆通过可移动接头耦接。如图所示,工具支撑结构524的一个连杆被标识为工具支撑目标连杆526,并且专用目标528可选地固定到目标连杆526。工具支撑结构参考系529适当地与目标连杆526或目标528相关联。工具支撑结构524还包括在机械地面516处的近侧基部连杆530(例如,耦接至地

板516a,耦接至壁516b,耦接至天花板516c,或耦接至机械地面处的结构本身,诸如台(固定或可移动的)或推车)。基部连杆530可选地可相对于地面移动,但另外在对准和操作期间与地面呈固定关系。

[0129] 如系统配置所需的,空间取向确定单元531确定相机支撑目标连杆510、相机支撑空间指示器目标512、工具支撑空间指示器目标连杆526、相机支撑空间指示器目标528和相机502、或这些的子集,这取决于确定取向的方式。取向确定单元531可选地使用各种已知方式中的任何一种来确定取向,诸如运动学、电磁定位和其他基于RF的方法、超声或声学定位、基于专用目标或自然特征的光学跟踪、以及光纤形状传感器。以下描述了细节。取向确定单元531可选地集中在单个位置或分布在两个或更多个位置,可以可选地集成到一个或多个遥控操作式系统单元和支撑结构中,并且可以由用户可选地佩戴。

[0130] 在仅取向信息用于对准关系的一些实施方式中,系统被配置成仅感测用于这种对准关系的取向信息。例如,运动学支撑结构被仪器化为仅感测接头取向。省略传感器简化了设计并节省了成本。因此,在一些可选的实施方式中,两个机械连接的支撑结构被仪器化为仅感测取向而不感测位置。例如,在用于工具操纵器或主设备的运动学链支撑结构中,旋转传感器用于感测旋转接头角度,但是省略了用于感测棱柱形接头位置的位置传感器。同样,对于不接地的设备,可选地仅感测取向而不感测位置,因为仅取向可以用于建立和维持主从设备之间的直观控制关系。在仅将取向信息用于对准关系的一些其他实施方式中,部分或完全感测位置信息。

[0131] 还示出了可选的世界参考系532和重力矢量(g),其可以用于限定或确定一个或多个参考系或感测一个或多个参考系的取向变化。世界参考系532可选地用于各种系统部件参考系之间的运动学变换。

[0132] 图5H还示出了显示器534,在该显示器上显示了来自相机工具502的图像。显示器参考系535与显示器534相关联。参照地面516来支撑显示器534。当工具520的远端在FOV 504中时,相应图像被显示在显示器534上并且由用户540(例如,医疗示例中的外科医生或有技术的临床医生或其他人员)查看。

[0133] 用户540保持主设备536,该主设备具有相关联的主设备参考系537。主设备536可选地机械接地或不接地,如由到地面516的虚线所表示的。无论是接地还是不接地,主设备536的取向(主设备参考系537的取向)由主取向确定单元538感测和确定,该主取向确定单元选择性地使用各种已知方式中的任意一种来确定取向,诸如运动学、光学跟踪或其他无线跟踪(例如,由美国加利福尼亚州旧金山的Leap Motion,Inc.供应的技术)。为了控制目的,可以参考运动学支撑结构上的参考系(如果适用)或参考固定参考系(诸如主取向单元参考系539或世界参考系532)确定主设备参考系537的取向。

[0134] 图5H还示出了取向(站立、就座)到地面516的用户540。可选用户参考系542与用户540相关联。用户参考系542是参考用户身体上的点(例如,眼睛、身体上的另一个位置、用户穿戴的衣服或装置等)限定的以身体为中心的参考系。

[0135] 集中式或分布式计算机控制系统550接收有关各种遥控操作式系统部件的取向的信息,并且执行建立有效遥控操作控制所需的初始对准关系以及根据需要维持对准关系所必须的旋转变换。当建立对准关系并满足进入主/从控制模式所需的任何其他条件时,计算机控制系统550输出命令以便以主/从控制模式操作遥控操作式系统。进入主/从控制模式

的可选的要求条件的示例是确定末端执行器在相机FOV中,确定用户正在观看显示器(例如,参见通过引用并入的美国临时专利申请号62/467,506(2017年3月6日提交),以及其他与安全相关的条件。

[0136] 通常,计算机控制系统550建立所需的初始取向对准关系以进入主设备536与外科手术工具520之间的主/从跟随模式。在末端执行器参考系和FOV参考系之间以及在主设备参考系和显示器参考系之间建立了相对取向变换关系。不需要主设备参考系和末端执行器参考系之间的直接变换关系。如上所述,用于初始对准的变换关系不考虑末端执行器或主设备的位置信息。变换链基于可用于系统架构中的部件的系统架构和各种参考系而变化。在一些实施例中,要求的初始取向对准关系是仅取向对准关系,并且相关联的变换关系是仅变换取向的仅取向变换关系。在一些实施例中,所要求的初始取向对准关系是完全取向与部分位置对准关系,并且相关联的变换关系是完全取向与部分位置变换关系,该完全取向与部分位置变换关系仅部分地变换位置,诸如仅沿三维空间中的一个或两个轴变换位置。

[0137] 例如,参考图5H,从主设备参考系537到末端执行器参考系523的变换关系可以包括从主设备参考系537到主取向单元参考系539、到工具支撑结构参考系529、到工具参考系521、到末端执行器参考系523的变换。可选地,通常在与控制单元和患者侧单元相关联的参考系之间包括往返世界参考系532的变换。

[0138] 此外,计算机控制系统550在主设备参考系537和显示器参考系535之间建立初始取向变换关系。在一些实施例中,初始取向变换关系是仅取向变换关系。在一些实施例中,初始取向变换关系是完全取向与部分位置变换关系。

[0139] 当在主设备和末端执行器之间建立初始主/从关系时,针对用户保持主设备的空间中的任何主设备位置和取向,为主设备建立主设备和末端执行器之间的参考系变换链。用户可以选择在视觉上对准主设备和所显示的末端执行器图像的位置和取向,但是不要求用户为了建立控制对准而这样做。也就是说,用户可以选择保持主设备而不在视觉上对准主设备和所显示的末端执行器图像的位置和取向。例如,用户可以将主设备保持在用户视场之外的胸部或腹部水平处,可选地将前臂放在扶手上,以用于稳定性和疲劳度减小。作为另一个示例,当建立初始控制对准时,用户可以在保持主设备的同时被取向成远离显示器成倾斜角。例如,用户的肩部可以从显示器转动45度,使得用户能够以一只手操作主设备,并且以另一只手操作手动工具(例如,外科手术示例中的腹腔镜工具)。

[0140] 在建立主控设备与末端执行器之间的主/从关系的一个方面,在主设备处于特定取向容限内的条件下,可选地允许主/从遥控操作。容限可以基于在主取向单元参考系内的主设备的取向(图5H,元素539)。或者,容差可以基于显示器参考系内的主设备的取向(图5H,元素535),该取向实际上基于容差或基于末端执行器的显示图像的取向。或者,容限可以基于某个其他参考系中的主设备的取向。取向容限可以应用于笛卡尔空间中的一个旋转(例如,滚动)、两个旋转(例如,俯仰和偏航)或所有三个旋转。并且,这些旋转中的每一个的取向容限可以不同。例如,如果主设备在平面内包含抓握DOF,则相对于末端执行器的相应抓握DOF平面的滚动容限与相对于末端执行器的俯仰和偏航的俯仰或偏航容限(例如,±15°)相比可更小(例如,±10°)或更大(例如,±20°)。

[0141] 图5I是图解视图,其图示了要求主设备取向在所显示的末端执行器取向的特定容

限内以便建立用于控制的对准。如所描绘的,在显示器534上示出了末端执行器522的图像522a。根据FOV参考系505和末端执行器参考系523之间建立的运动学关系,确定末端执行器图像522a在显示器参考系535中的取向560。(为清楚起见,附图标记560在图中显示两次——一次相对于显示器,并且一次相对于显示器参考系。)然后,相对于取向560确定对准容限562。在图5I中,该容限由具有取向560作为其中心轴线的圆锥体示出。可以可选地使用其他对准容限形状,诸如椭圆锥、棱锥、以及可参考取向轴定义的类似形状。

[0142] 确定显示器参考系与主设备参考系之间的运动学关系。然后,作为第一示例,如图5I所示,确定主设备536a具有取向564a。确定取向564a在对准容限562内,并且因此允许在主设备536a和末端执行器522之间的主/从控制。作为第二示例,确定主设备536b具有取向564b。取向564b不在对准容限562之内,并且因此在确定取向564b处于对准容限562之内之前,不允许在主设备536b和末端执行器522之间的主/从控制。在一些情况下,只要主设备取向在对准容限范围内,就会自动建立控制对准,并且可选地,将视觉、音频、触觉或类似指示作为主/从控制关系有效的信号输出给用户。可以使用如上所述的棘轮功能。为了在其他情况下建立要求的控制关系,除了主取向在对准容限之内外,系统必须接收另一个事件,诸如按钮按压、口头命令或请求建立控制关系的类似输入。用于建立主设备取向容限以便开始主/从控制的这种方法适用于容限基于其他参考系的情况。

[0143] 在主控制处于机械臂远端的一些情况下,控制系统550可选地命令机械臂参考主取向单元参考系(图5H,元素539)或显示器参考系(图5H,元素535)或某个其他参考系对主设备的取向对准轴进行取向。例如,控制系统550可以命令手臂将主设备放置在相对于所显示的末端执行器图像的对准的取向,并且它命令手臂将主设备放置在相对于显示器的限定的默认位置,或相对于显示器的当前位置,而不是与末端执行器的显示图像相应的位置。

[0144] 如果使用两个主设备来控制单个对象,则主设备和对象之间的移动相关性的感知取向和方向可以是一起动作的主设备和对象之间的移动相关性的感知取向和方向。一个示例可以是作为把手的两个主设备,其间具有直线连接轴。当主设备一起移动以改变连接轴的位置时,对象的位置相应地移动(例如,相机FOV上下移动、左右移动、内外移动)。当主设备一起移动以改变连接轴的取向时,对象的取向相应地改变(例如,相机FOV上下倾斜、左右平移、顺时针-逆时针滚动)。在此再次仅需要使用取向信息,并且不需要位置信息。例如,主设备可以在连接轴上彼此靠近或相距很远,并且随着对象被控制,连接轴上的间距可能变化(例如,相距更远提供了更精细的取向控制;相距更近提供了增加的运动范围)。

[0145] 如图5J所示,例如,在左右主设备之间限定连接轴X_{ML-MR}。还可以限定法线轴Z_{ML-MR}以进行控制。当轴X_{ML-MR}向左移动时,相机将平移或旋转以相应地移动,任选地使用户感觉到将场景向右移动(FOV如图所示向右移动)或者将相机向左移动(FOV向左移动)。相机可能如图所示平移或旋转。插入和退出通过沿轴Z_{ML-MR}的移动来控制。也可以完成沿另一个相互正交的轴Y_{ML-MR}的高度变化。类似地,可以通过围绕连接轴及其笛卡尔正交线滚动来控制FOV位置或取向(例如,FOV通过绕X_{ML-MR}滚动而倾斜,FOV通过绕Y_{ML-MR}滚动而平移,并且FOV通过绕Z_{ML-MR}滚动而滚动)。如本文所述,与用于建立初始对准关系的方法类似的方法可以用于在遥控操作期间维持对准关系。

[0146] 确定空间关系

[0147] 如上所述,遥控操作式系统的操作环境可以包括用于各种工具和相机组合的两个

或更多个操纵器。例如,遥控外科手术系统的患者侧环境可以包括用于各种外科手术工具和内窥镜相机组合的两个或更多个操纵器。并且,这些操纵器中的一个或多个相对于其他操纵器可不具有预定的固定空间关系。类似地,一个或多个主设备和显示屏之间可能不存在预定的固定空间关系。在这种情况下,不可能仅基于感测各种运动学对之间的角度关系(例如,通过使用接头角(joint angle)或类似的传感器)和每个单独单元的运动学变换来建立和维持遥控操作所必需的控制关系。确定单元之间的空间关系以便建立和维持有效的直观控制。

[0148] 图6A是并入确定空间关系的发明方面的遥控操作式系统(具体地示出了遥控外科手术系统)的示意图。为了简单起见,示出了结合到图6A中的几个方面,并且下面进一步描述了各种可选遥控外科手术系统配置。在单个实施例中并不需要所有描绘和描述的方面。在适用时,图6A中描绘的对象类似于图5A-5J中描绘的对象(例如,工具、内窥镜相机、支撑结构、控制系统、空间传感器、可移动单元等)。

[0149] 如图所示,具有两个遥控操作式外科手术工具602a、602b,每个遥控操作式外科手术工具具有相应的末端执行器603a、603b。每个工具602a、602b均由相应的操纵器604a、604b致动,每个操纵器安装在相应的基部606a、606b上以构成相应的患者侧单元608a、608b。同样,显示了内窥镜相机610,并且它具有FOV 612。内窥镜相机610由安装在基部616上的相应操纵器614致动,并且它们一起构成患者侧单元618。如图所示,患者侧单元608a、608b和618相对于彼此可移动—它们中的任何一个都没有共同的机械支撑结构来完全约束其相对空间关系。因此,患者侧单元608a、608b和618通常如上所述。

[0150] 每个外科手术工具602a、602b经由相应的可选套管620a、620b进入身体。同样,内窥镜相机610通过可选套管622进入身体。工具末端执行器603a、603b位于FOV 612内。示出了三个可选的振动感测/注入单元624a、624b和624c,每个单元附接到套管620a、620b和622中的相应套管。可替代地,振动感测/注入单元624a、624b和624c可以耦接到患者侧单元或其他遥控外科手术系统单元上的任何位置。

[0151] 所捕获的图像数据625从内窥镜相机610行进到可选的机器视觉处理器626。图像数据625还行进至显示器图像处理单元628,其依次处理所捕获的图像数据并输出显示器图像数据630以供显示。机器视觉处理器626输出机器视觉空间数据632以供如下所述使用。

[0152] 图6A还示出了由用户操作的主设备634a、634b。每个主设备634a、634b由相应的机械支撑结构636a、636b支撑。如图所示,支撑结构636a、636b以固定的空间关系机械耦接并且各自安装到可移动公共基部638。可选地,每个支撑结构636a、636b均被安装到单独的可移动基部。还示出了可选的接地或不接地的主控制设备配置640,其中主设备641的姿势由主设备空间感测单元642(另见图5H,取向确定单元538;图5B和图5C,控制输入接收器160c)感测。空间感测单元642可以固定在空间中,或者其可以可选地安装到可移动基部644。显示器646可选地安装在固定位置处,安装在可移动支撑结构648上,或由用户佩戴。支撑结构648可以具有在空间中固定的基部,或者该基部可以安装到相应的可移动机械基部650,或者该基部可以安装到与相应于主控制设备的基部共同的基部上,诸如基部638或基部644。因此,与主控制设备634a、634b和显示器646相关联的部件通常如上所述。

[0153] 图6A还示出了用于遥控外科手术系统的控制系统652(还参见图5H,控制系统550;图4,计算机113)。控制系统652执行编程指令以实施对准和本文所述的其他系统控制功能。

控制系统652与患者侧单元608a、608b和618进行信号通信。它还与主设备634a、634b进行信号通信。通过该信号通信,控制系统652接收与末端执行器603a、603b相关联的空间信息654a、654b,与FOV 612相关联的空间信息654c,以及与主设备634a、634b相关联的空间信息654d、654e。可选地,如果控制系统652没有机械地耦接到主设备,则控制系统接收与显示器646相关联的空间信息654f。

[0154] 可选的空间指示器656a-656f安装到基部606a、606b、616、638、644和650。如图所示,空间检测单元658(集中式或分布式感测)与空间指示器656a-656c相关联,并且空间检测单元660(集中式或分布式感测)与空间指示器656d-656f相关联。然而,可选地,单个空间检测器单元可以与遥控外科手术系统中的所有空间指示器相关联。参照图5H,目标512、528和取向确定单元531是空间指示器和检测器的示例。

[0155] 因此,发明方面确定了不是永久的固定机械关系的遥控外科手术系统单元之间的空间关系。确定关系是为了基于来自用户主控制设备的输入来建立、实现和维持直观运动,但关于手术室环境具有可接受的干扰或无干扰。例如,当末端执行器和内窥镜相机的操纵器之间,或直接在末端执行器和内窥镜相机本身之间不具有固定机械关系时,确定它们之间的空间关系。然后将所确定的关系用于建立遥控操作式控制关系所必需的变换。至少,仅确定取向。然而,在一些实施方式中,可以针对一个或两个轴确定某个位置信息,或者可以确定全部姿势信息。

[0156] 在一些方面中,空间确定方法使用外部硬件,诸如空间指示器656a-656f和空间检测单元658、660。但是,该外部硬件的大小和位置被设置为使得其不干扰手术室环境。在其他方面中,空间确定方法不需要附加的硬件并且包含在遥控外科手术系统的现有硬件中。例如,可以在现有单元内部添加诸如视频数据处理器或机器视觉处理器的附加数据处理单元。

[0157] 通过根据需要将单元定位到共同单个参考系,可以使用各种方式来确定相对于彼此可移动的遥控外科手术系统单元之间的空间关系。单个参考系可以是与遥控外科手术系统分开限定的世界参考系(例如,参见图5H,参考系532)。或者,单个参考系可以与遥控外科手术系统中的设备相关联,诸如遥控操作式操纵器单元的基部。

[0158] 在下面的公开中,参考单元的“参考基部”,在一些实施方式中,该“参考基部”是搁置在地板上或固定在世界参考系中的另一个支撑结构上的单元的实际物理基部。然而,本领域技术人员将理解,可以在遥控外科手术期间在世界参考系中保持静止的患者侧单元上的任何点处任意定义“参考基部”。由于每个“参考基部”都是可移动的,因此一旦参考基部处于在遥控外科手术期间将保持静止的姿势,就确定一个或多个参考基部的关系。参照图6A,基部606a、606b、616、638、644和650是此类可移动参考基部的示例,并且将用作参考基部的说明。根据患者侧单元608a、608b和618示出了操作原理,并且这些原理适用于用户控制单元以及可用于特定的系统配置。与空间指示器656d-656f和空间检测单元660相关联的特征和功能类似于空间指示器656a-656c和空间检测单元658的特征和功能。

[0159] 一种空间关系确定方法是通过在单元之间附连临时的运动学仪器化的直接机械耦接(例如,具有接头角传感器的接合的联动装置)来确定空间关系,从而在一对单元(例如,两个患者侧操纵器单元)之间建立临时的局部机械关系。一旦将单元放置用于遥控外科手术并在遥控外科手术期间重新放置,仪器化耦接就允许确定运动学关系。但在一些情况

下,此类机械定位方法不适用于手术室。例如,用于这些方法的设备可能会干扰无菌帘和其他手术室装置。或者,无菌帘和其他手术室设备可能会干扰用于这些方法的装置。另外,用于这些方法的装置可能在患者侧环境中消耗过多的空间,可能会很昂贵,并且由于需要频繁的校准和其他维护而可能难以操作。

[0160] 另一种空间关系确定方法是将室内定位器系统方法适配成用于与手术室环境中的遥控外科手术系统一起使用。(在这种背景下,术语“定位器系统”可以被配置成提供一些或全部的参数取向、一些或全部的位置参数、或一些或全部的取向和位置的参数。)这些定位系统方法可能发现并跟踪主动传输的对象,或者它们可能发现并跟踪对象的周围环境。

[0161] 定位器系统方法的一方面是在每个单元上放置一个或多个传感器,以检测一个或多个其他单元上的一个或多个合成或自然特征。合成特征可以主动地传输能量(“信标”;例如,红外光或可见光、RFID、超声)或可以是被动的(例如,专用的空间指示器目标)。一个或多个传感器用于确定一对或多对单元之间的空间关系,然后将其用于所述的遥控操作式控制。然而,在一些情况下,视线方法不适用于手术室,因为视线可能会被手术室装置、无菌帘等阻挡。并且,如果涉及三个或更多个单元,则多条视线必须在多对单元之间是清晰的。但在一些情况下,视线几乎总是清晰的,诸如在单元和手术台之间(例如,参见美国专利申请号15/522,180)(2017年4月26日提交;国际申请的国家阶段号PCT/US2015/057664)(公开“System and Method for Registering to a Surgical Table”,在此通过引用将其并入)。

[0162] 定位器系统方法的另一个方面是将一个或多个传感器放置在手术室环境中的相应固定位置,该位置允许到单元(例如,在墙上较高处,或天花板上)的视线并跟踪各种可移动单元上的合成或自然特征。如上所述,合成特征可以是信标或被动的。空间指示器656a-656c还示出了可以感测的自然物理特征。使用两个或多个传感器的优点是,多个可能的视线确保了始终检测到一个单元,并且两个或更多个传感器和单个单元之间的多个视线可提供冗余度,并可优化单元姿势的确定。

[0163] 作为此固定传感器方法的示例性实施方式,将单个光学传感器以固定姿势放置在手术室环境中,并且单个光学传感器检测一个或多个患者侧单元上的被动专用合成光学目标或自然特征。图6A中的空间指示器656a-656c示出了此类目标或自然特征(也参见图5H,目标512和528)。校准建立每个目标的坐标系与其对应单元基部参考系之间的空间关系。例如,空间检测单元658用作光学跟踪器,并且确定空间指示器656a和656b之间的空间关系。然后,使用正向运动学变换来确定每个末端执行器603a、603b相对于其相应目标的姿势。由于所有目标参考系都可以在单个光学跟踪器参考系中被表示为公共基部参考系或其他指定的公共参考系,因此末端执行器参考系之间的相对变换可以通过使用测量的光学跟踪器数据和患者侧单元608a、608b的正向运动学的组合来计算。

[0164] 作为固定传感器方法的另一个示例性实施方式,将两个或更多个光学传感器以固定姿势放置在手术室环境中,并且光学传感器检测一个或多个患者侧单元上的被动专用合成光学目标或自然特征。然后如上所述建立控制。

[0165] 作为固定传感器方法的另一个示例性实施方式,一个或多个RFID或超声信标被放置在每个单元上,并且一个或多个传感器被固定在手术室环境中以检测信标。从所感测的信标确定一个或多个单元的一个或多个姿势,并且然后如上所述建立控制。

[0166] 作为固定传感器方法的另一个示例性实施方式,感测到合成特征和/或自然特征的组合。这种组合的传感器型方法与单个传感器型方法相比提供鲁棒性和可靠性。例如,感测一个患者侧单元上的明确目标图案和第二患者侧单元的自然特征,或感测每个患者侧单元的明确目标图案和自然特征的组合。

[0167] 定位器系统方法的第二方面是在每个可移动单元上放置一个或多个传感器,以及在容易被单元感测的位置处跟踪固定在手术室环境中的一个或多个合成或自然特征(例如,墙上的高处,或天花板上)。与固定传感器方面一样,在此固定特征方面中,合成特征可以主动传输能量(“信标”;例如,光、RF、超声)或可以是被动的(例如,专用空间指示器目标)。在该固定特征方面,图6A中的空间指示器656a-656c示出了此类传感器(也参见图5H,元素512和528),并且空间检测单元658示出了手术室环境中的一个或多个固定特征。控制系统从一个或多个单元接收空间信息,并且然后如上所述建立控制。

[0168] 以类似于固定传感器和固定特征定位器系统方法的方式,另一种替代方案是使用为了与手术室环境中的遥控外科手术系统一起使用而定制的同时定位和标测(SLAM)技术。存在各种SLAM方法。例如,参见美国专利号US 9,329,598 B2(2015年4月13日提交)(公开“Simultaneous Localization and Mapping for a Mobile Robot”)和US 7,689,321 B2(2010年2月10日提交)(公开了“Robust Sensor Fusion for Mapping and Localization in a Simultaneous Localization and Mapping(SLAM)system”),这些专利通过引用并入本文。移动对象的检测和跟踪(DATMO)技术可以与SLAM结合使用。例如,参见美国专利号US 9,727,786 B2(2014年11月14日提交)(公开了“Visual Object Tracking System with Model Validation and Management”),该专利通过引用并入本文。考虑到其他手术室装置(手术台、麻醉站等)以及需要相对于这种装置移动患者侧单元,多个传感器确保足够的覆盖范围和重叠手术室构造。SLAM和/或DATMO传感器可以固定在手术室环境中,安装在可移动单元上,或者两者。确定控制所需的基部参考系取向,并且然后如上所述建立控制。

[0169] 作为修改的室内定位器系统方法的替代方案,可以使用机器视觉方法来在由内窥镜相机捕获的立体图像中直接跟踪工具。跟踪信息用于直接在与相机视场相关联的参考系中确定(一个或多个)末端执行器的姿势。参照图6A,机器视觉处理器626将关于末端执行器的空间数据632传输到控制系统652。被跟踪的关系用于确定在遥控外科手术期间静止的操纵器基部的相对姿势。

[0170] 在一种实施方式中,机器视觉被连续使用以跟踪末端执行器的姿势。在替代实施方式中,一旦根据机器视觉和运动学信息确定操纵器基部之间的关系,末端执行器之间的对准就可仅基于运动学信息确定,并且无需进一步机器视觉跟踪。参照图6A,控制系统652从患者侧单元608a、608b和618接收诸如空间信息654a-654c的运动学数据。运动学数据的这种使用大大降低了连续机器视觉跟踪的计算负载。在又一种替代实施方式中,每隔一段时间(例如,每100ms、每1s等)使用机器视觉跟踪来更新姿势信息,并且这种定期更新实施方式仍比连续机器视觉跟踪的计算负载小得多。

[0171] 作为另一个替代方案,空间确定系统基于与和每个单元相关联的电缆集成的光纤形状传感器。单元之间、或两个单元与公共节点(诸如控制系统单元)之间的电缆互连包括光纤形状传感器(例如,合并光纤布拉格光栅技术的传感器)。形状传感器技术用于确定互连单元之间的空间关系。可以将传输控制或视频数据的电缆修改为包括光纤形状传感器。

[0172] 以上各方面可用于确定全部姿势信息(全部取向和位置信息),或者它们可用于确定少于全部姿势信息(例如,在三维笛卡尔空间中,仅围绕一个或两个笛卡尔轴的部分取向信息和/或仅沿着一个或两个笛卡尔轴的部分位置信息)。如上所讨论的,在包括用于患者侧的许多操纵器组件的实施方式的各种实施例中,仅需要相机与一个或多个工具之间的相对取向以用于将工具与相机相关联的有效控制对准。并且因此,仅需要这些对象或支撑这些对象的运动学链中的单独连杆之间的相对取向。同样,在一些实施例中,对于用户控制,仅需要末端执行器的显示的图像和主设备之间的相对取向。因此,这些方面可以被简化或更加鲁棒性,因为它们仅需要估计一半数量的变量(即取向,而不是位置)。如果消除了确定和跟踪全部姿势信息的需要,并且仅确定了取向信息,则可以使用附加的空间确定方法。

[0173] 在一种替代取向确定方法中,空间指示器656a-656f示出3轴加速度计和3轴磁力计的组合。将回想起,空间指示器可以位于可移动单元中的任何连杆处,或者位于对象本身(诸如内窥镜相机)上。

[0174] 如图6B所示,例如,空间指示器656a、656b分别是安装到相应基部606a、606b的3轴加速度计和3轴磁力计的组合。两个空间指示器656a、656b的组合各自确定重力矢量g和相对于地磁北极N的方位,并因此它们对于两个单元而言是恒定的。如图所示,对于局部磁场670,b是局部磁场矢量,g是重力矢量,并且方位$\hat{\boldsymbol{b}}$是投射到垂直于g的平面672上以指示磁北极的磁场。

[0175] $n=g\times b$

[0176] $$\hat{\boldsymbol{b}}=\boldsymbol{n}\times\boldsymbol{g}$$

[0177] 根据磁北极方位、重力矢量方位和运动学信息,确定相应基部606a、606b的空间取向,并且因此针对初始对准关系确定相应末端执行器603a、603的相对空间取向。同样对于FOV 612和用户控制单元。然后,一旦建立初始控制对准,就可以使用运动学信息来提供用于主/从遥控操作的全部姿势信息。

[0178] 由于本地磁性材料、电动马达、电磁场发生器、附近含铁材料等,在手术室环境中可能会存在磁场干扰。通常,患者侧单元应被放置成使得加速度计/磁力计组合远离这些东西。然而,如果北极方位误差导致两个或更多个患者侧单元的北极方位出现大到足以导致两个单元之间的初始对准影响直观主/从控制的差异,则必须进行对准校正。例如,左右主输入设备的相同运动可能导致其相应末端执行器的不同运动(例如,当相关联的左主设备直接向左移动时,左末端执行器直接向左移动(如在显示器中观察的);但是,当相关右主设备沿相同方向直接向左移动时,右末端执行器向上和向左移动(如在显示器中观察的))。

[0179] 因此,提供了对准调整功能,并且用户可以调整和微调每个工具图像相对于相应主设备的感知取向的关系。由于取向未对准仅是由于不同的确定的北极方位引起的,因此该调整是针对每个工具的相对于FOV参考系的一次DOF调整。如图6C所示,例如,为第一患者侧单元基部参考系674a确定第一方位$\widehat{\boldsymbol{b_1}}$,并且为第二患者侧单元基部参考系674b确定第二方位$\widehat{\boldsymbol{b_2}}$。由于方位不同,因此用户可以调整其间所示的角度θ以便获得用于直观控制的对准。以此方式,主输入设备的相同运动(例如,如用户所感知的那样直接向左)将导致相应工具的相同运动(例如,如在显示器中所观察的那样直接向左)。与调整整个3D旋转以进行

校正相比,用户可以更容易地进行该一次DOF调整,并且其示出了该一次DOF调整方法可以应用于取向的任何空间确定方法,其中一种旋转对准产生非直觉控制关系。例如,如果支撑结构基部被移动或者保持内窥镜相机的人移动,则可能发生这种情况。

[0180] 进行旋转校正的另一种替代方法是使用如上所述的外部跟踪或机器视觉方法来确定未对准,并且将所确定的未对准用于进行校正。如上所述,这些校正方法可以每隔一段时间进行以减少计算负载。另外,加速度计/磁力计方法和第二空间确定方法的组合提供了更鲁棒性且在计算上要求不高的解决方案,因为第二方法由于其确定单个DOF中的取向而被简化。例如,加速度计/磁力计方法可以用于提供对内窥镜相机视场中的工具末端执行器取向的初始估计,并且然后通过使用该初始估计,可以加快机器视觉跟踪任务或使其在计算上要求不高。

[0181] 作为另一种替代空间确定方法,3轴陀螺仪在固定位置耦接到每个单元。将每个陀螺仪校准到已知取向,并且然后使用陀螺仪来确定单位移动时的后续取向。可能以各种方式来完成校准,诸如已知机械对准(例如,在墙壁或诸如手术台的台上的夹具),或者通过使用如上所述的加速度计/磁力计方法。尽管陀螺仪可能会倾向在较长时间内漂移,但陀螺仪方法可以与另一种空间确定方法结合使用以在使用期间(例如,在外科手术示例中的外科手术期间)提供对基部取向的冗余增量检查。例如,加速度计、磁力计和陀螺仪测量可以一起使用以确定基部连杆之间的相对取向和变换。作为另一个示例,陀螺仪测量结果可以与其他空间确定方法结合以添加鲁棒性和冗余度,并简化或加速估计。此外,陀螺仪可用于检测磁场中引起与陀螺仪数据不一致的方位测量的偏差的瞬态干扰。在这方面,陀螺仪数据可选地被更重地加权,直到磁力计信号稳定为止。或者,瞬态磁场干扰的检测可以用于向用户发出指示问题或故障的信号。如上所述,允许用户在减小的参数空间中微调所感知的对准的单个DOF调整可以被合并到包含陀螺仪信息的实施方式中。

[0182] 作为另一种替代的空间确定方法,仅使用加速度传感器,并且使用振动传感器(例如,参见图6,包括振动感测/注入单元的传感器624a-624c)来确定单元之间的相对空间关系。在一种实施方式中,在每个患者侧单元或套管处感测到周围共模(common mode)振动(例如,来自地板的振动)。假设每个单元都感测到相同的环境振动,则通过与每个单元相关联并对于每个单元固定在已知取向的加速度计来识别共模信号。每个单元处的振动的重力矢量和感测的水平方向用于确定单元之间的相对取向。在替代性实施方式中,注入共模振动。例如,套管振动,使得其在体壁处的远程运动中心沿已知方向振动。单元感测到注入的振动方向,并确定相对空间取向。

[0183] 在使用振动信息的又一个实施方式中,放置一个或多个信标(例如,在手术室地板上)以注入周期性和时间同步的共模振动,使得每个单元可以感测振动。单元上的加速度计或匹配的谐振器感测到振动。渡越时间测量用于建立到一个或多个振动信标的距离,并且三角测量用于确定单元的相对空间取向。例如,假设混凝土中的声音速度为3500m/s,则1cm的分辨率需要约3μs的时间分辨率。这种方法有利地消除了在信标和传感器之间的清晰视线的需要。在包含振动注入的所有方法中,可以在可听范围之外选择振动频率。

[0184] 在另一个实施方式中,取向自由度可选地通过使用两种或更多种不同的方法来测量。例如,加速度计可用于确定两个轴上的取向,并且机器视觉用于确定其余轴上的方位取向。确定被融合,并且融合的结果提供了完整的3轴方案。

[0185] 因此,空间确定系统用于确定多个遥控操作式系统单元之间的相对取向和要求的变换,以便建立和维持要求的用户对手动主控制设备和相应工具之间的控制对准的直观感知。有利地,仅使用取向信息来建立和维持主/从控制要求的对准,或者使用与少于完整位置信息组合的取向信息来建立和维持主/从控制要求的对准。

[0186] 进一步的实施方式

[0187] 已经根据遥控外科手术系统描述了许多实施方式,但应当理解,发明方面不限于遥控外科手术系统。设想了各种其他遥控操作式系统中的实施方式。例如,方面可以在有关以下的遥控操作式系统中实现:军事应用(例如,炸弹处理、侦察、在敌方火力下的操作)、研究应用(例如,海洋潜水器、地球轨道卫星和有人站)、材料处理应用(例如,核"热室"或其他危险材料)、紧急响应(例如,搜救、消防、核反应堆调查)、无人地面车辆(例如,农业、制造业、采矿业、建筑业)等。

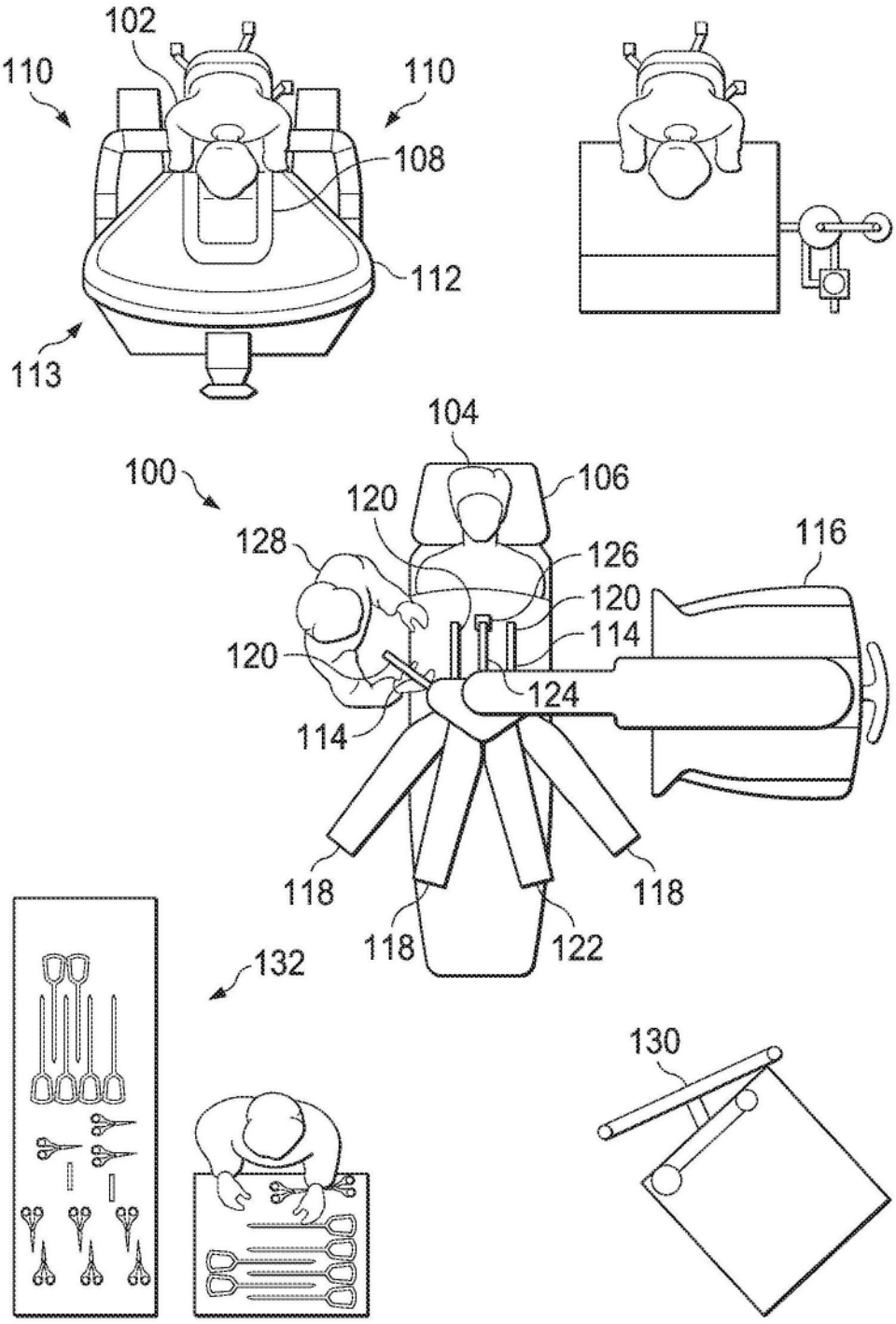

102
110
110
108
112
113
104
100
106
120
128
126
116
120
114
120
124
114
118
118
118
122
132
130

图1

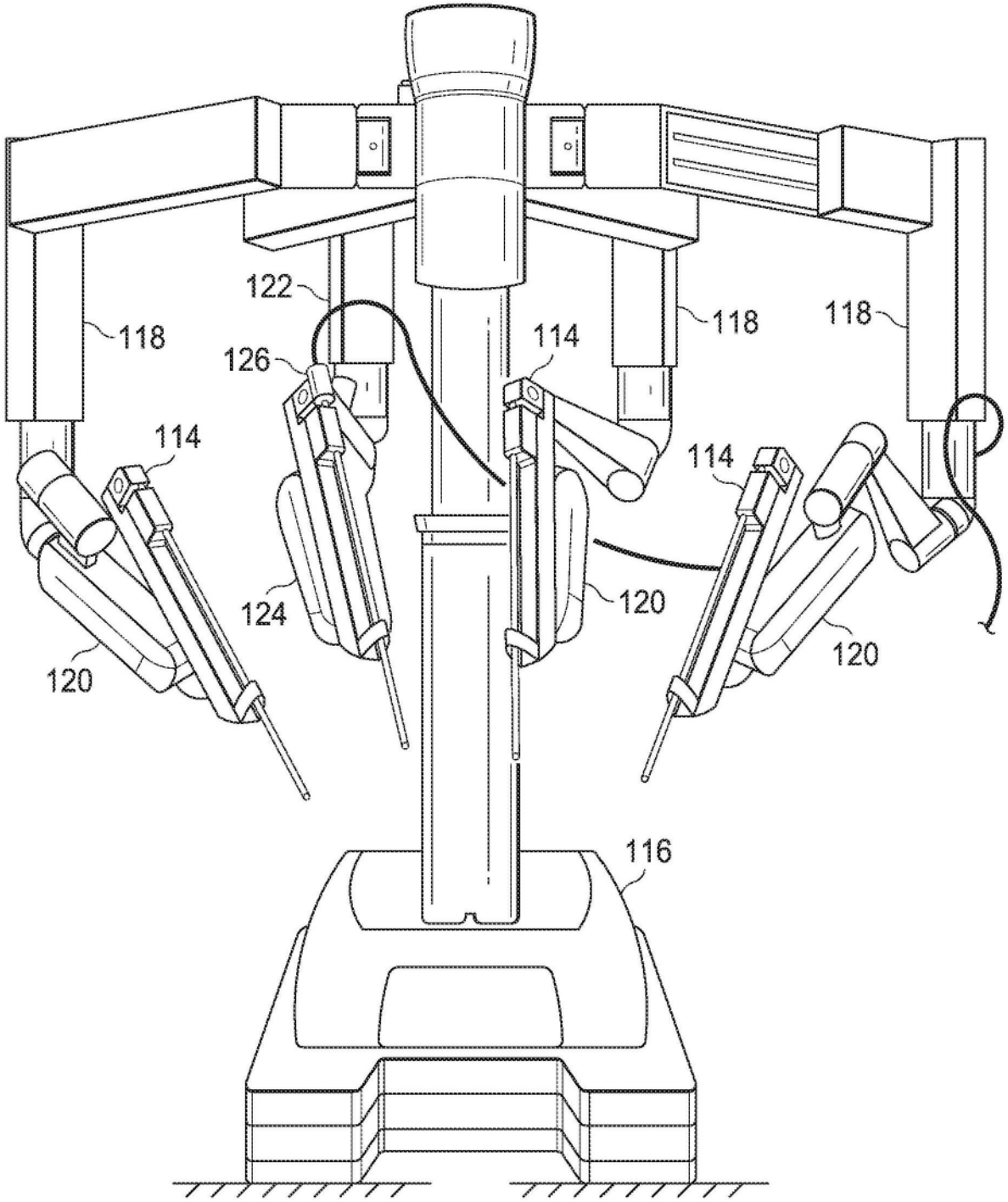


图2

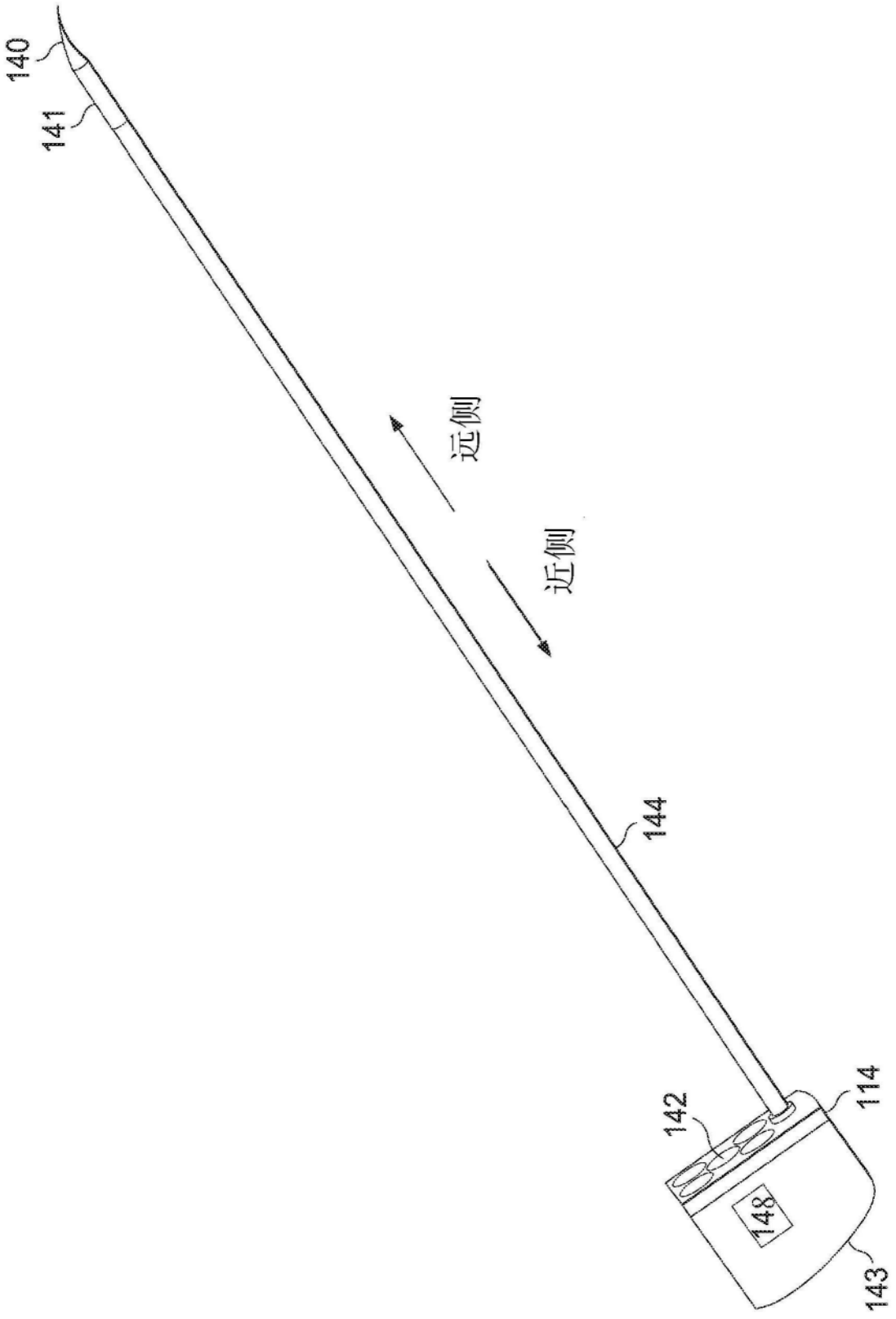


图3

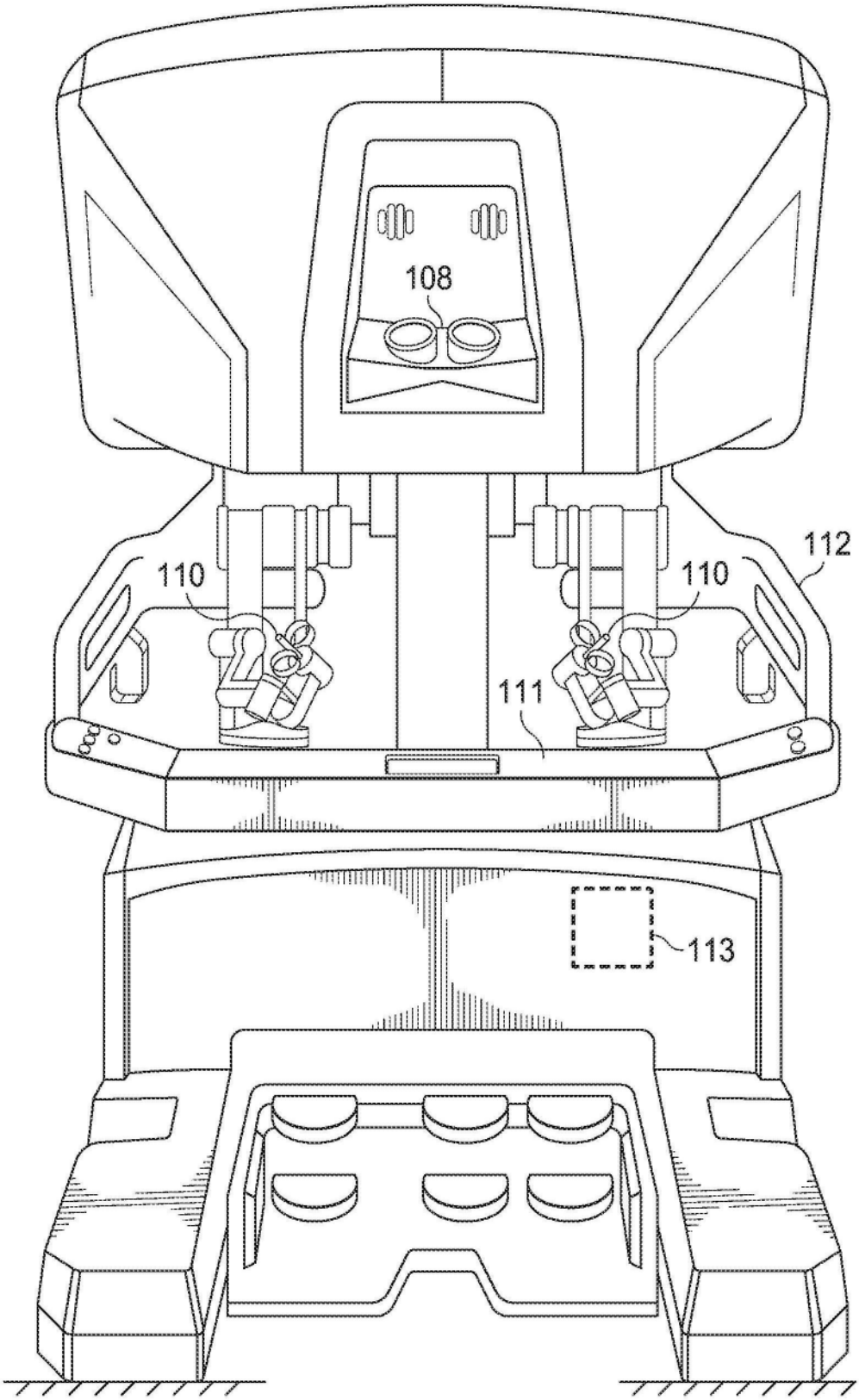


图4

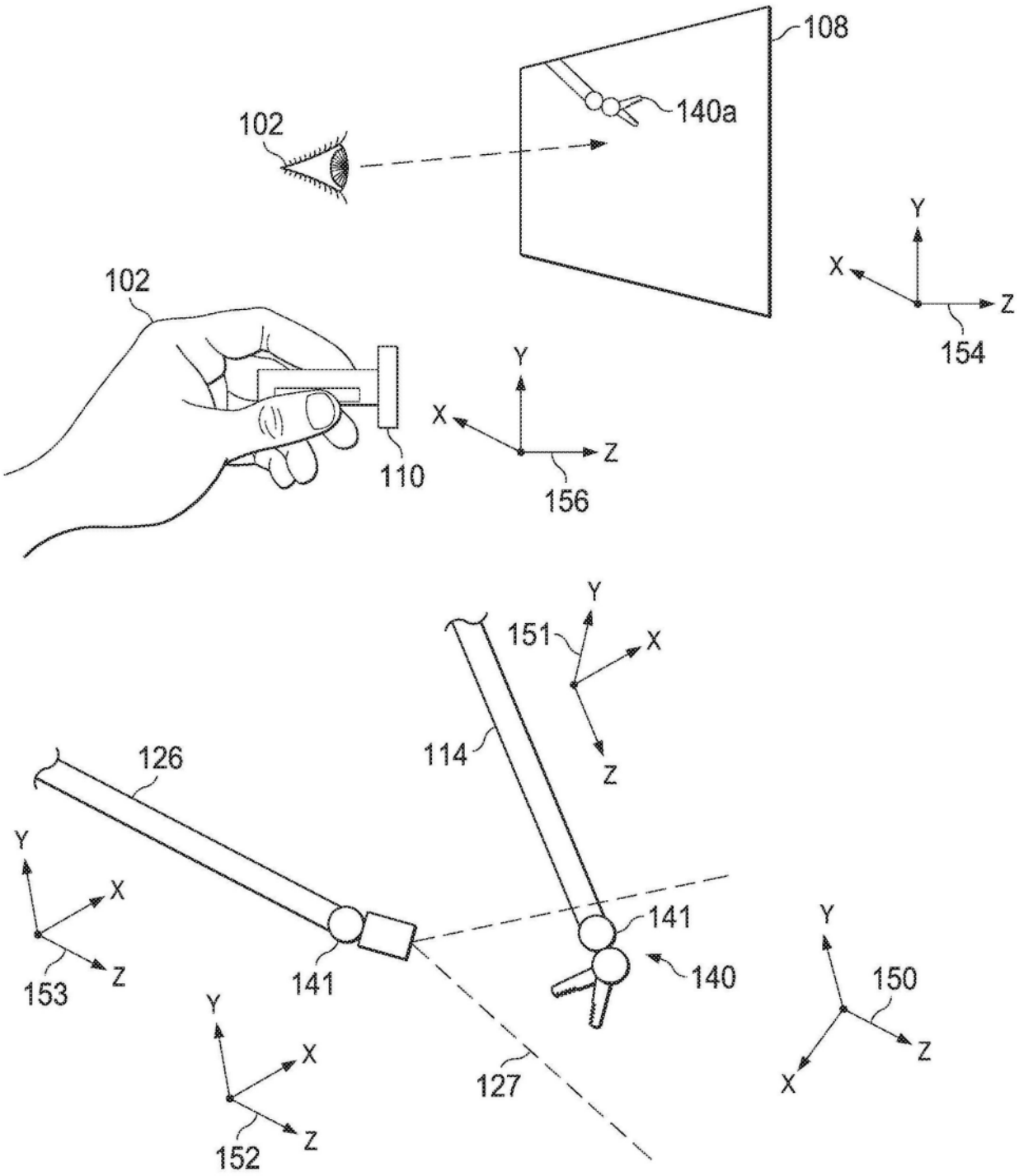

108
140a
102
Y
X
Z
154
102
110
Y
X
Z
156
Y
151
X
Z
114
126
Y
X
Z
153
141
141
140
Y
150
Z
X
Y
X
Z
152
127

图5A

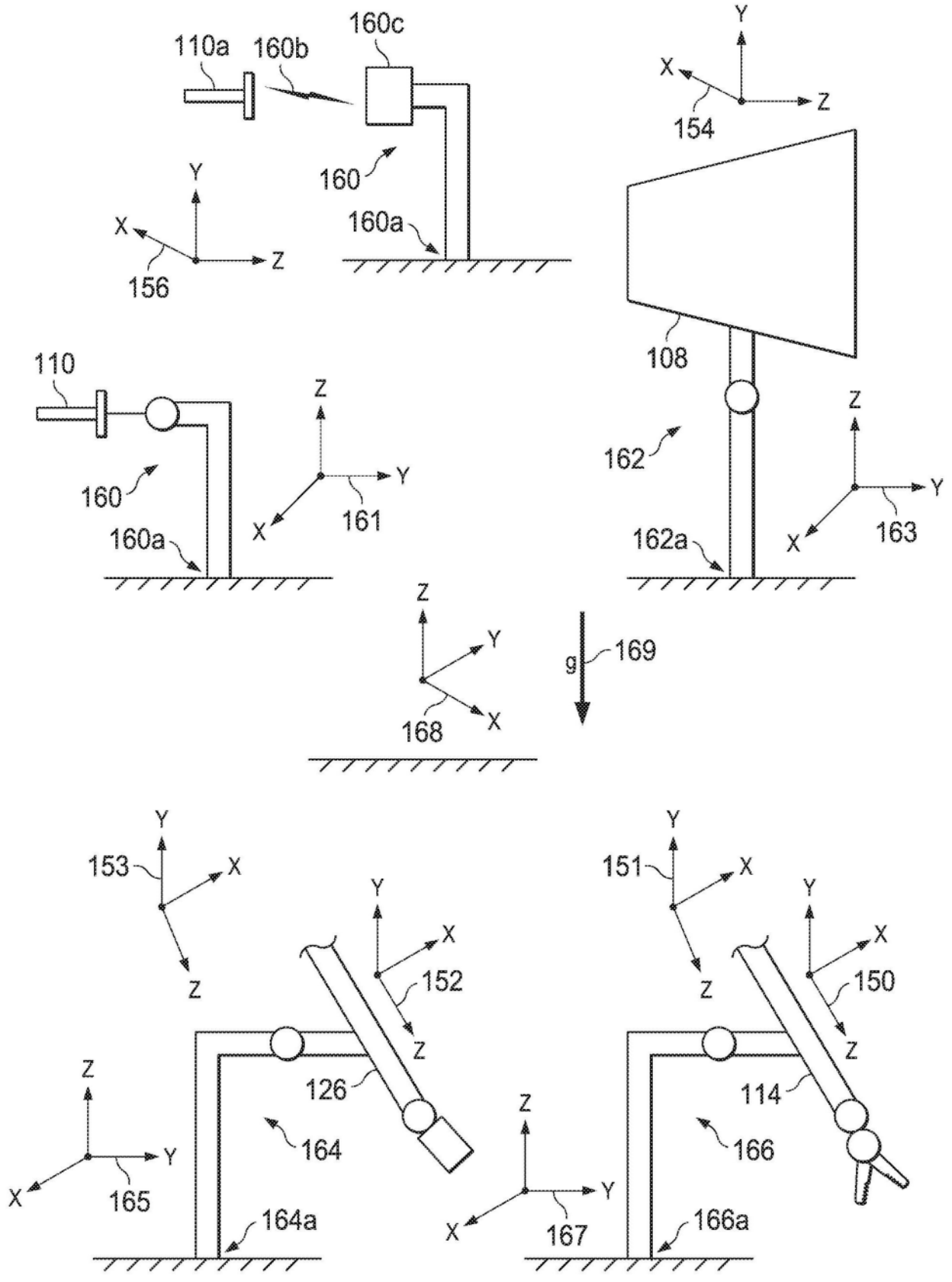

110a
160b
160c
160
160a
Y
X
Z
156
154
108
110
160
160a
161
162
162a
163
168
g
169
153
152
126
164
164a
165
151
150
114
166
166a
167

图5B

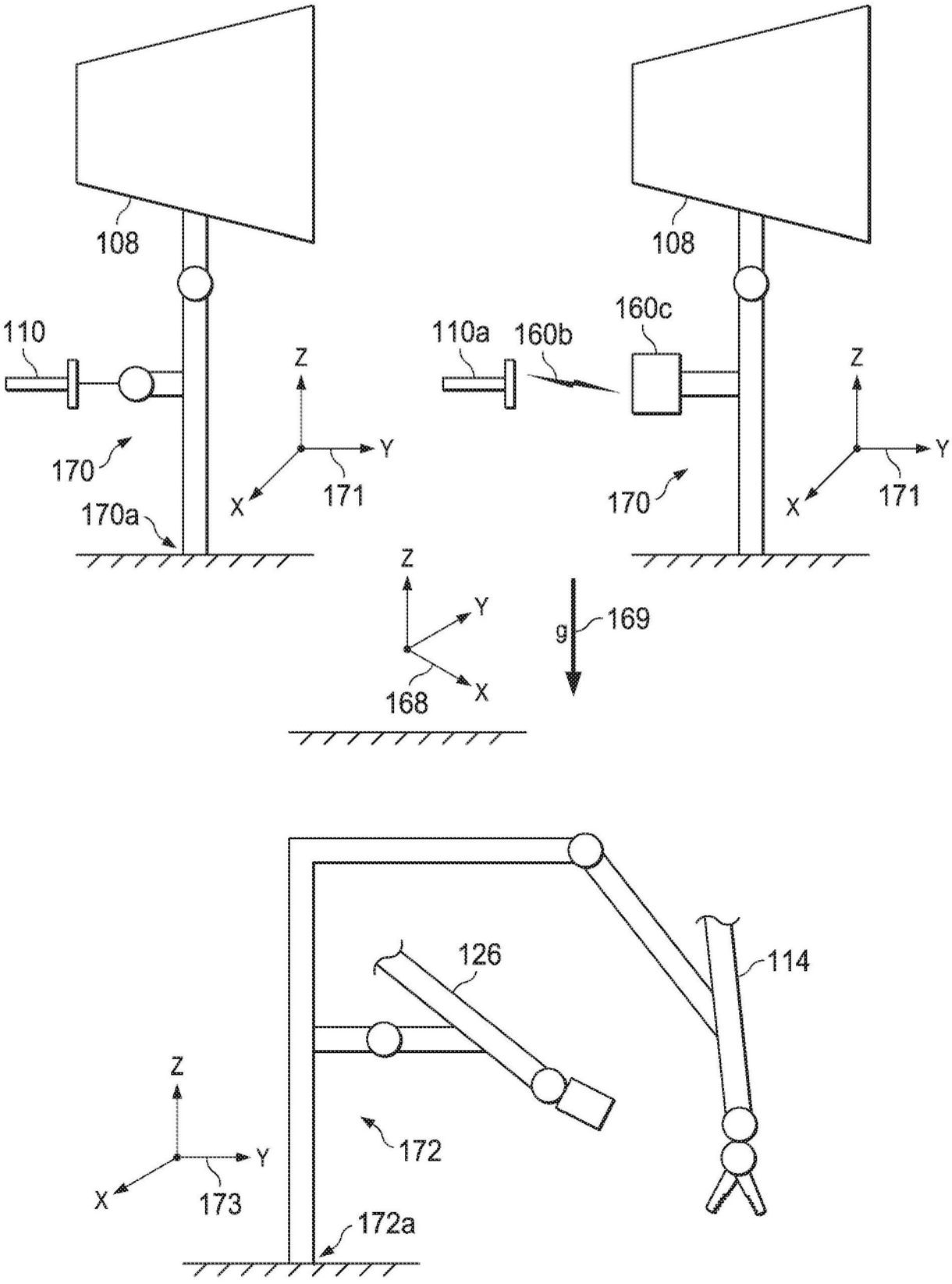

108
110
170
170a
Z
Y
X
171
108
110a
160b
160c
170
Z
Y
X
171
Z
Y
168
g
169
126
114
Z
Y
X
173
172
172a

图5C

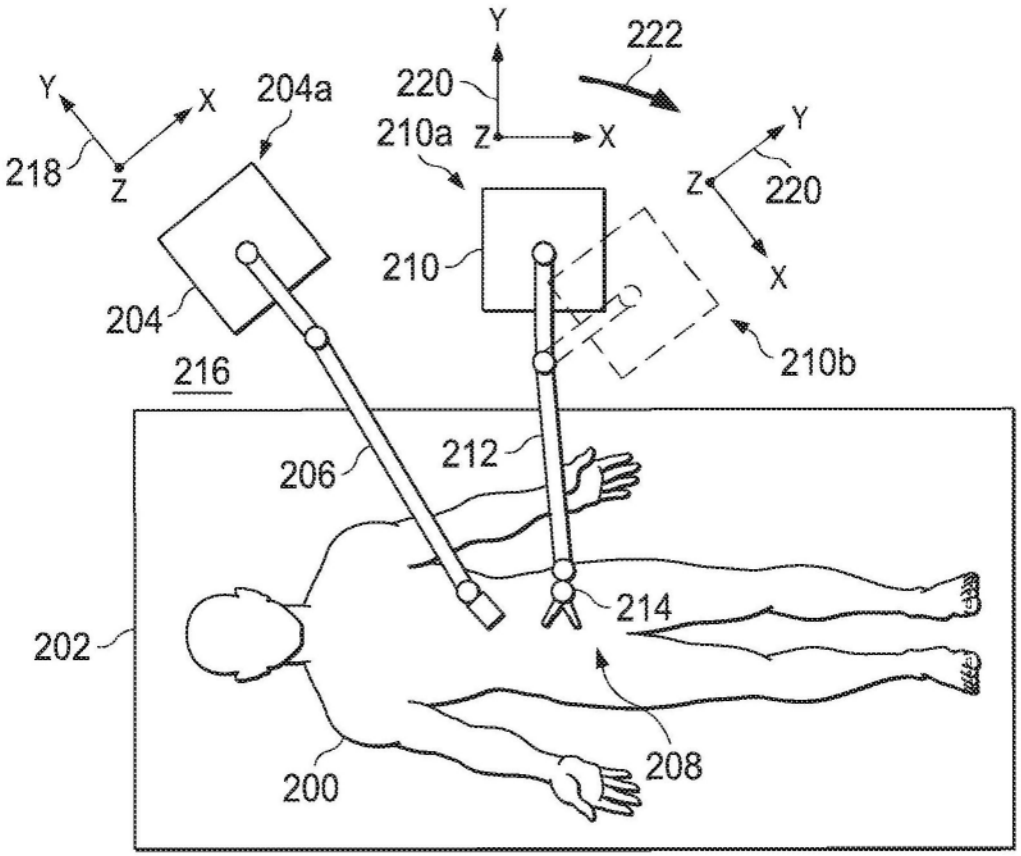

Y
X
Z
218
204a
220
222
210a
210
204
216
206
212
214
202
200
208
210b

图5D

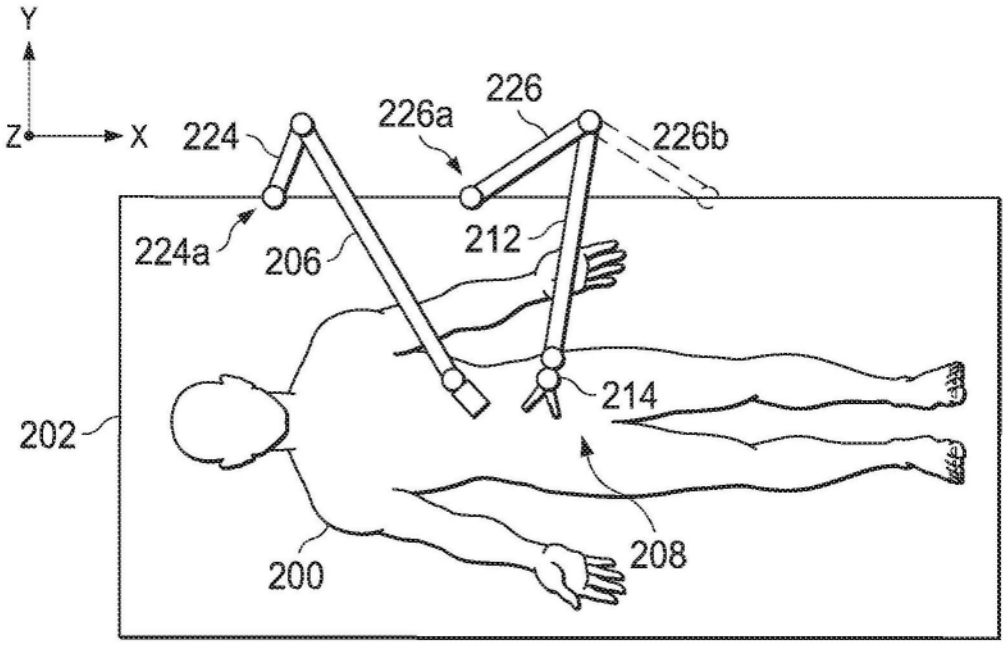

Y
Z
X
224
226
226a
226b
224a
206
212
214
202
200
208

图5E

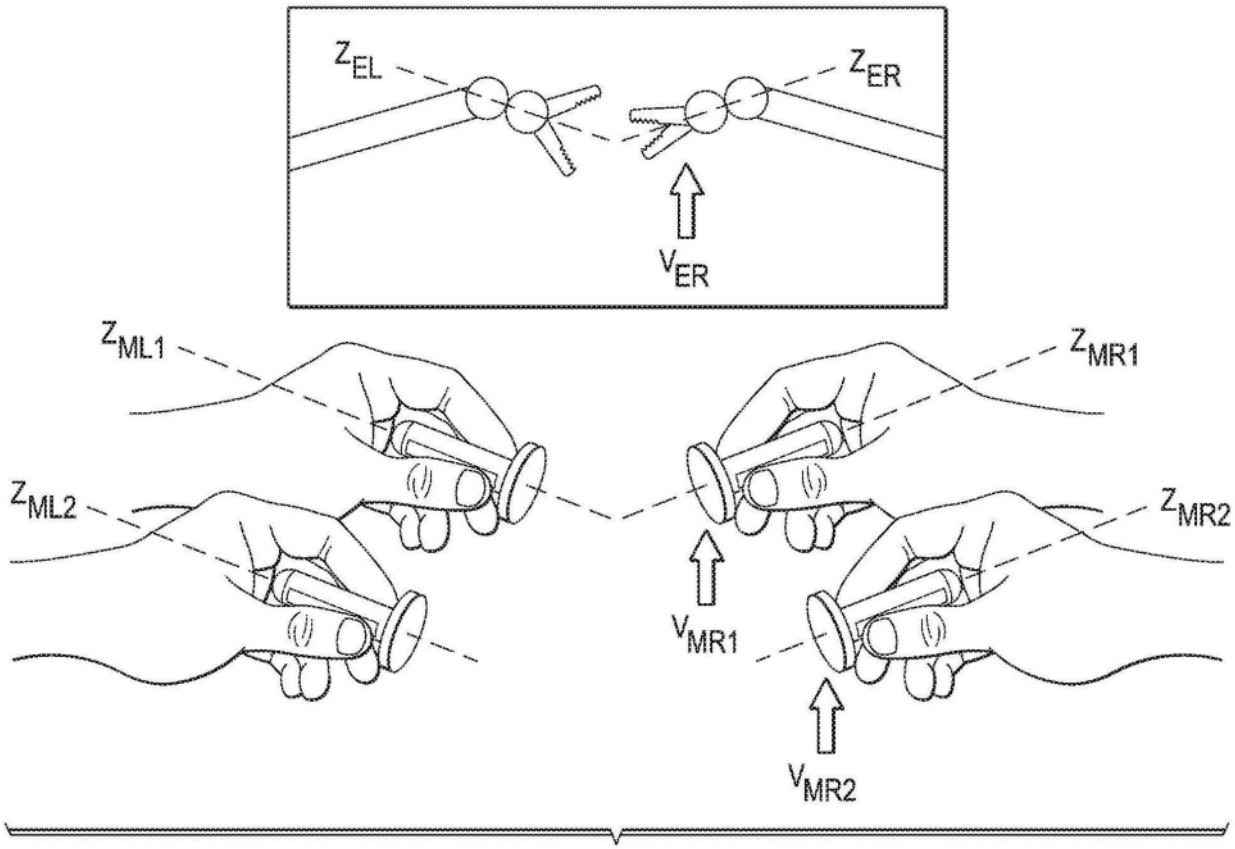


图5F

图5F

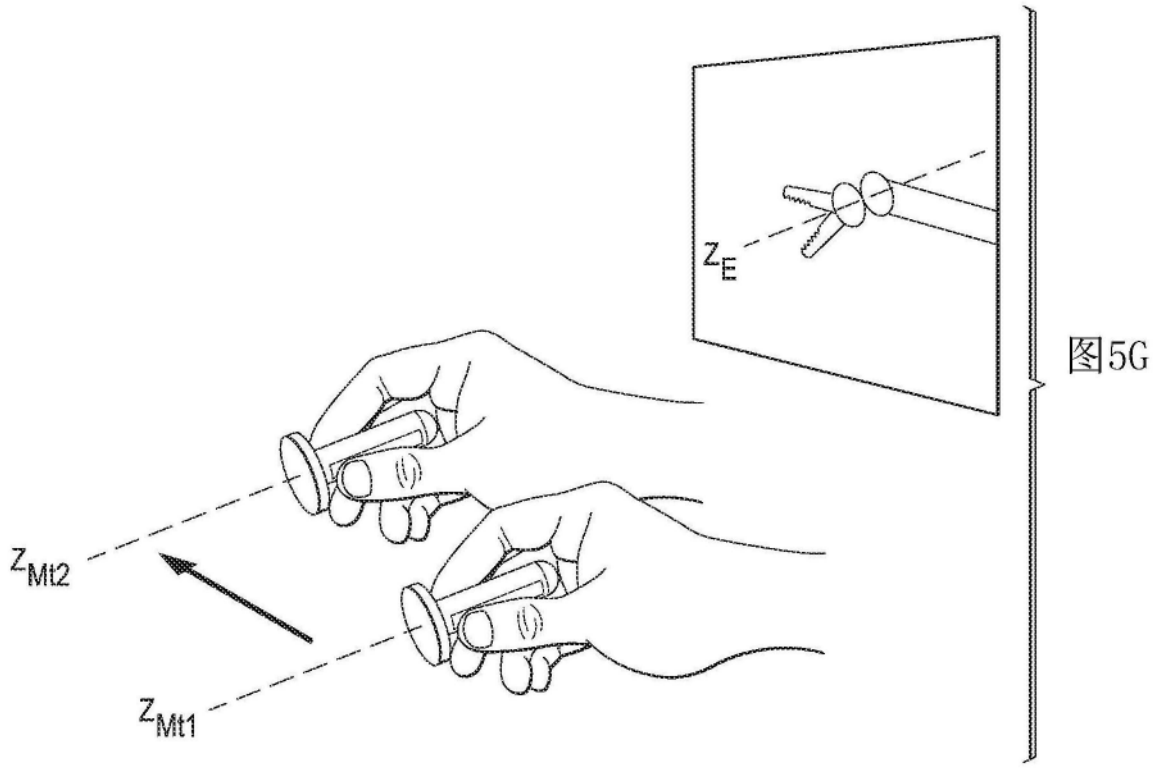


图5G

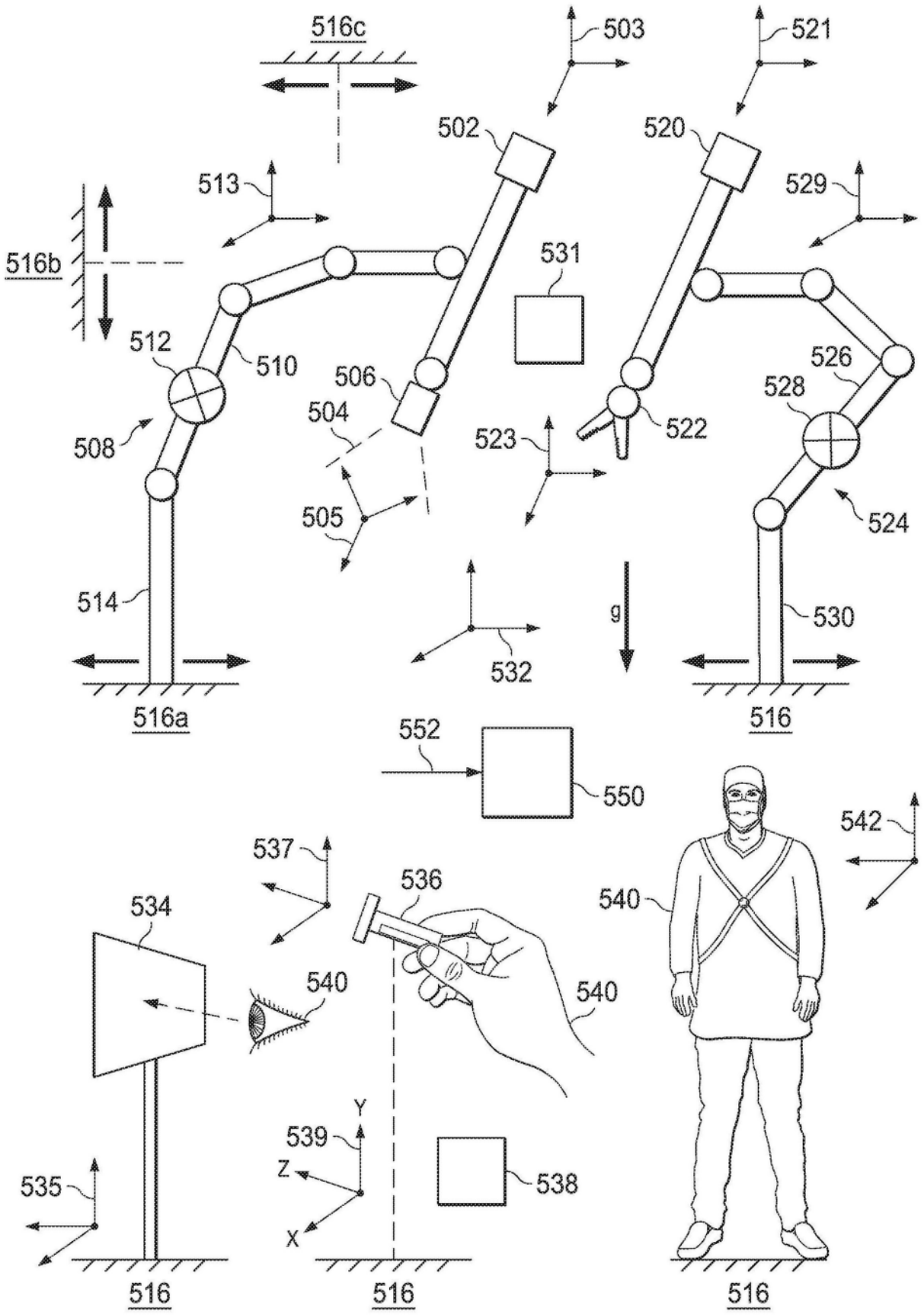

516c
503
521
502
520
513
529
516b
531
512
510
526
506
528
504
522
508
523
524
505
514
g
530
532
516a
516
552
550
542
537
536
534
540
540
540
Y
539
Z
538
535
X
516
516
516

图5H

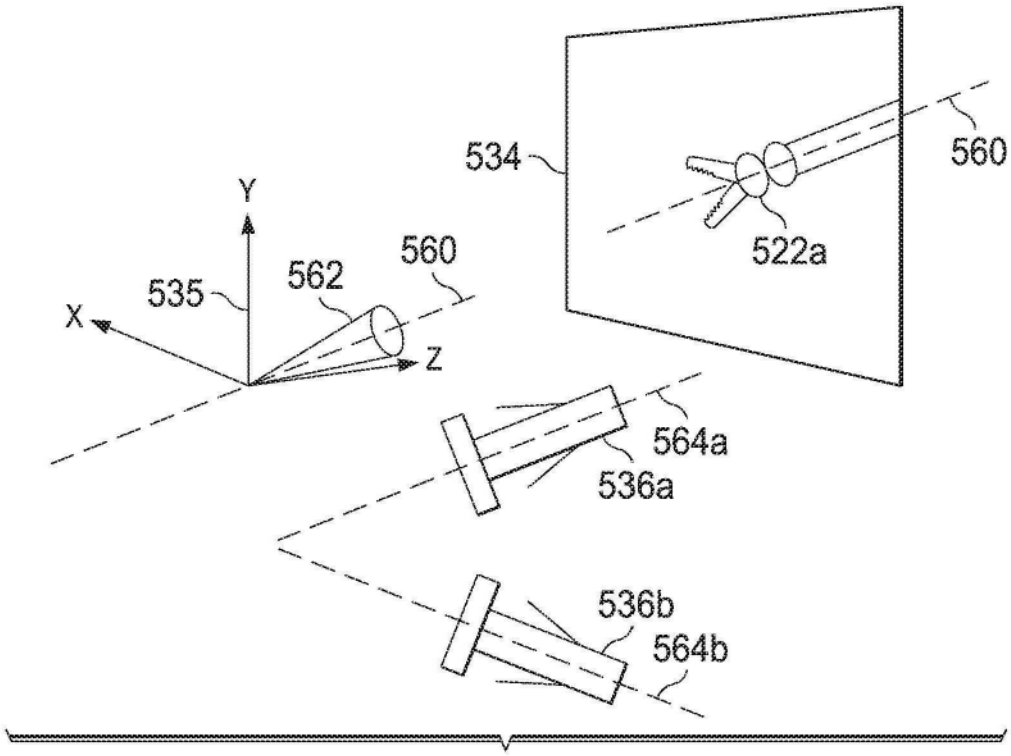


图5I

图5I

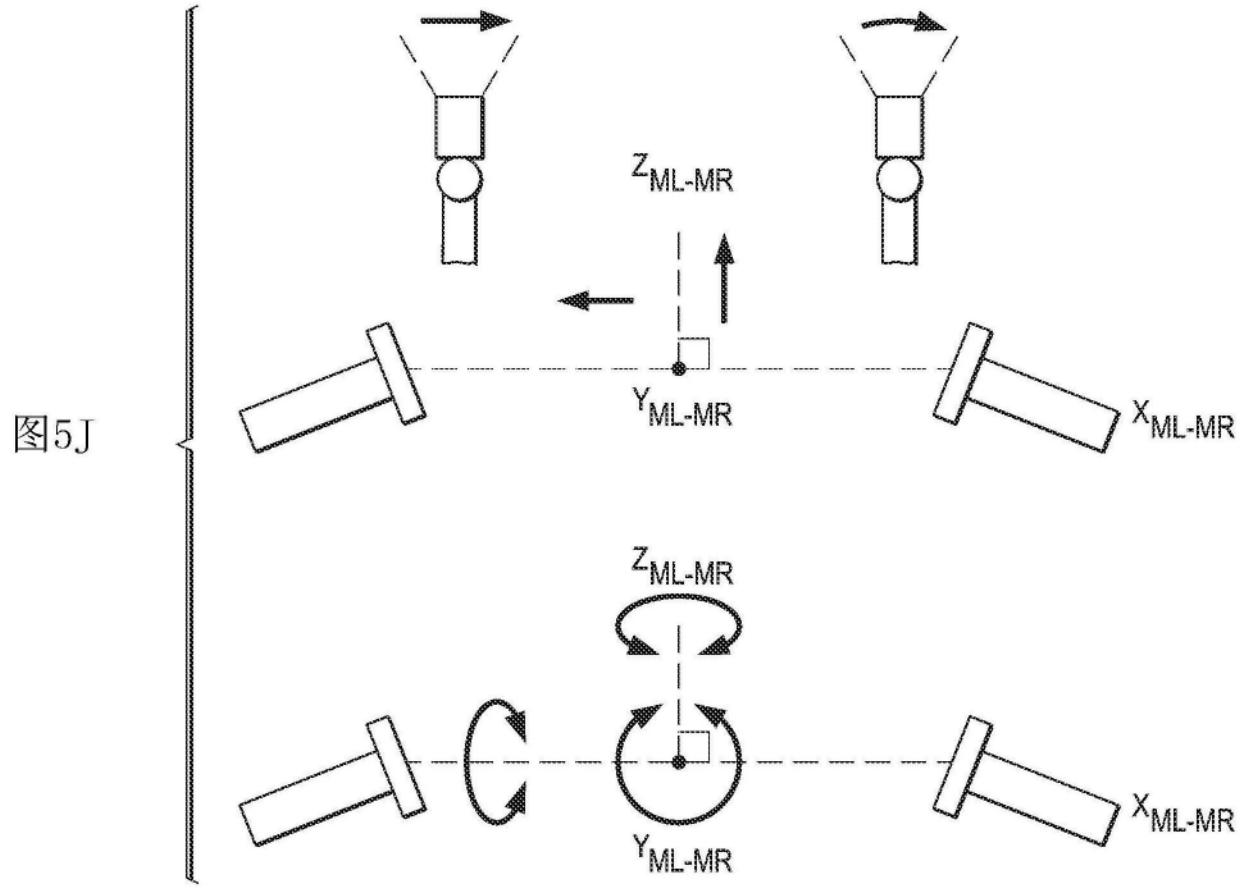


图5J

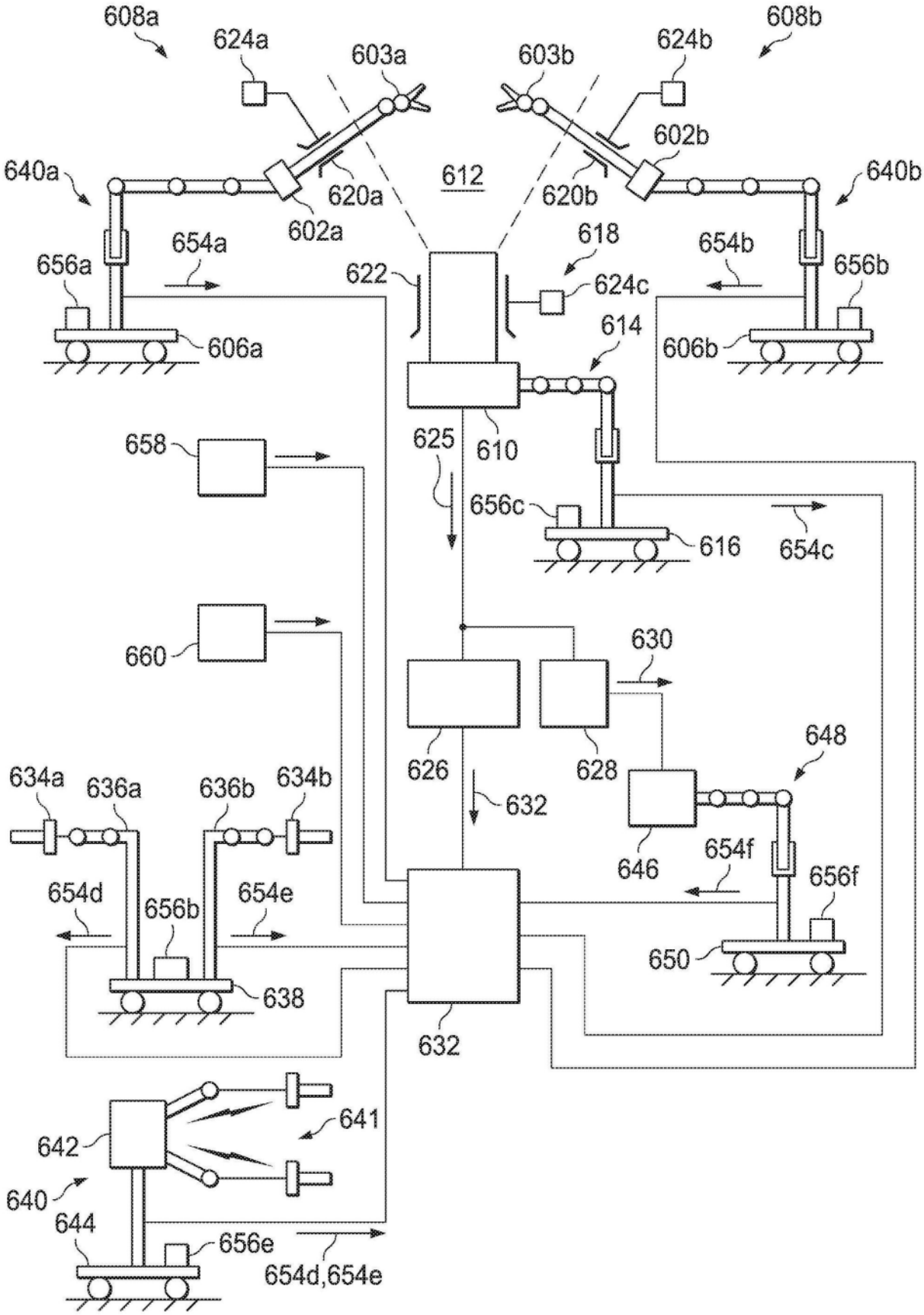

608a
624a
603a
603b
624b
608b
602b
640a
620a
612
620b
640b
602a
654a
618
654b
656a
622
656b
624c
614
606a
606b
658
625
610
656c
616
654c
660
630
626
628
648
634a
636a
636b
634b
632
654f
646
654d
656b
654e
656f
650
638
632
641
642
640
644
656e
654d,654e

图6A

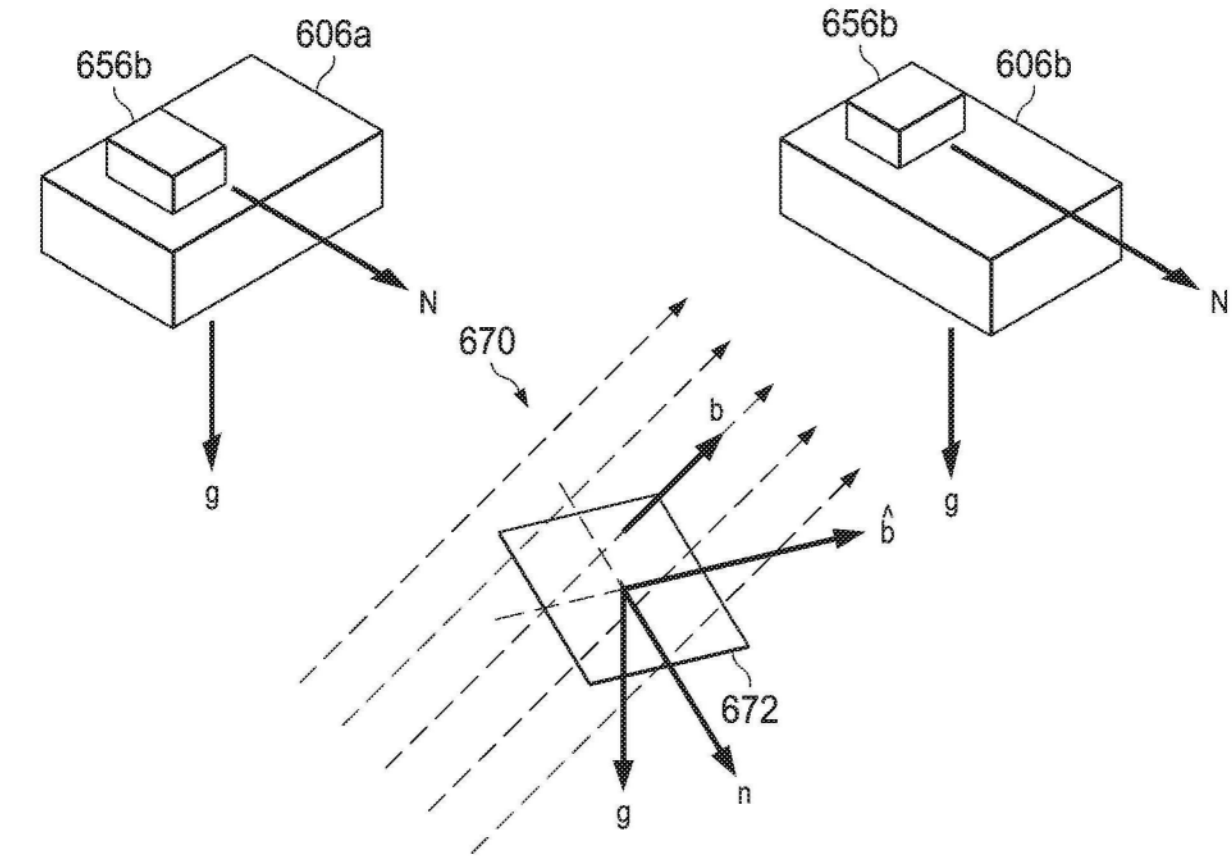


图6B

图6B

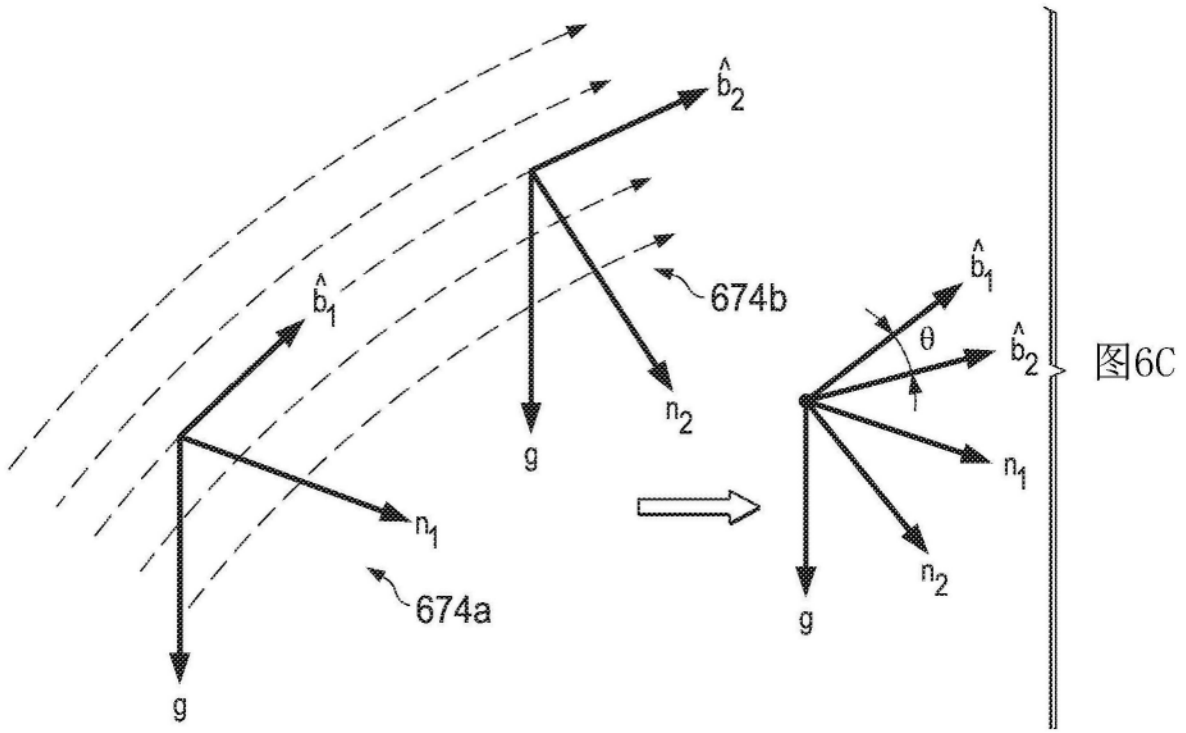


图6C