



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113456233 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 03

(21) 申请号 202110837738.3

(22) 申请日 2017.01.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113456233 A

(43) 申请公布日 2021.10.01

(30) 优先权数据  
62/280,334 2016.01.19 US

(62) 分案原申请数据  
201780005500.6 2017.01.19

(73) 专利权人 提坦医疗公司  
地址 加拿大安大略省

(72) 发明人 J·C·麦克劳德 D·巴彻

(74) 专利代理机构 北京市君合律师事务所  
11517

专利代理师 吴龙瑛 闵森森

(51) Int.Cl.  
A61B 34/30 (2016.01)  
A61B 34/20 (2016.01)  
A61B 34/00 (2016.01)  
A61B 90/00 (2016.01)

(56) 对比文件  
JP 2002253574 A, 2002.09.10  
US 2007043338 A1, 2007.02.22

审查员 鲜星宇

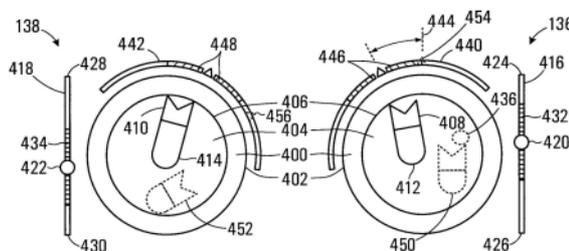
权利要求书4页 说明书21页 附图11页

(54) 发明名称

用于机器人外科手术系统的图形用户界面

(57) 摘要

本申请提供一种示意性表示机器人手术系统中使用器械的空间位置的方法、装置及计算机可读介质。器械包括联接至定位设备的末端执行器,定位设备用于响应于输入信号在外科手术工作空间中对末端执行器进行空间定位,输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的。该方法涉及:使处理器电路针对从输入设备接收到的输入信号来计算器械在外科手术工作空间内的三维空间位置。使处理器电路生成显示信号,用于在显示器上显示外科手术工作空间的包括平面表示的图形描绘,平面表示包括:具有边界的器械移动区域,边界指示器械在外科手术工作空间内的移动界限;以及定位设备与末端执行器到平面表示上的当前空间位置的二维投影。



1. 一种用于示意性地表示机器人手术系统中使用的器械的空间位置的方法,所述器械包括连接到定位设备的末端执行器,所述定位设备被配置为响应于在输入设备工作空间中输入设备的手动控制器的运动所产生的输入信号,在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位,其特征在于,所述方法包括:

使处理器电路针对从所述输入设备收到的当前输入信号计算出所述器械在所述外科手术工作空间中的当前三维空间位置;以及

使所述处理器电路产生显示信号,所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科手术工作空间的图形描绘,所述图形描绘包括一个平面表示,所述平面表示包括:

器械移动区域,所述器械移动区域指示所述器械在所述外科手术工作空间的移动范围,所述器械移动区域展示所述输入设备工作空间的虚拟描述;以及

定位设备和末端执行器的当前空间位置在平面表示上的二维投影;

其中,所述图形描绘进一步包括:

器械深度范围,所述器械深度范围指示所述器械进入所述外科手术工作空间中的轴向移动的界限;

指示符,所述指示符表示所述末端执行器在所述器械深度范围内的当前深度;以及

输入设备深度范围,所述输入设备深度范围表示基于所述输入设备工作空间和所述外科手术工作空间之间的当前映射的可由所述器械访问的器械深度范围的部分,其中所述输入设备工作空间限定了所述器械可访问的所述器械深度范围的有限范围。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述器械移动区域包括非解剖的边界,所述非解剖的边界表示所述器械在所述外科手术工作空间的移动范围的限制。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在二维投影中,所述末端执行器由指示符表示,所述定位设备由与所述定位设备的至少一部分的二维投影范围相对应的区域来表示。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法进一步包括通过以下操作生成所述边界:

在所述外科手术工作空间内限定三维边界;以及

生成所述三维边界到所述平面表示上的二维投影。

5. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述器械移动区域的所述边界进一步包括至少一个禁入区,所述禁入区识别对于所述器械在所述外科手术工作空间的移动的另一界限。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,至少一个所述禁入区是基于从输入设备处接收到的操作员的输入和在所述处理器电路接收到的患者成像数据中至少一者来限定的。

7. 根据权利要求2所述的方法,进一步包括,响应于确定所述器械接近所述器械移动区域的所述边界,使所述处理器电路在所述边界处显示激活约束指示。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述机器人手术系统包括在所述外科手术工作空间内的多个器械,显示所述图形描绘包括显示所述多个器械中的每一个的图形描绘。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,显示所述图形描绘包括在显示器的外周区

域处显示所述图形描绘。

10. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括,响应于确定所述末端执行器接近所述输入设备深度范围的末端,使所述处理器电路显示激活约束指示。

11. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述输入设备深度范围被描绘为叠加在所述器械深度范围的描绘上的阴影区域。

12. 根据权利要求1所述的方法,其他在于,所述方法进一步包括,在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态则禁止器械的移动,以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内重新定位,并且所述方法进一步包括:

响应于所述启动信号从激活状态转变至非激活状态,使所述处理器电路产生显示信号,所述显示信号用于偏离所述末端执行器的当前空间位置的所述二维投影时,在所述图形描绘上显示当前手动控制器位置指示符;以及

响应于所述启动信号从非激活状态转变至所述激活状态,中断对所述当前手动控制器位置指示符的显示。

13. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,由所述输入设备产生的输入信号包括限定了所述手动控制器的当前旋转的旋转信号,所述旋转信号可操作来引起所述末端执行器在所述外科手术工作空间中的旋转,并且其中,所述图形描绘进一步包括:

器械的旋转范围,指示所述器械旋转运动的界限;

指示符,表示所述末端执行器的当前旋转;以及

输入设备旋转范围,表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间的当前映射而言可触及的所述器械旋转范围的部分。

14. 根据权利要求13所述的方法,进一步包括在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位,并且所述方法进一步包括:

响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态,使所述处理器电路生成显示信号,所述显示信号用于在偏离表示所述末端执行器的当前旋转的所述指示符时,在所述图形描绘上显示当前手动控制器旋转指示符;以及

响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态,中断对当前手动控制器旋转指示符的显示。

15. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述边界被描绘成一个半球形。

16. 一种用于示意性地表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置的装置,所述器械包括联接至定位设备的末端执行器,所述定位设备用于响应于输入信号而在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位,所述输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的,所述装置包括处理器电路,其特征在于,所述处理器电路可操作地配置成:

针对从所述输入设备接收到的当前输入信号来计算所述器械在所述外科手术工作空间内的当前三维空间位置;以及

生成显示信号,所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科

手术工作空间的图形描绘,所述图形描绘包括平面表示,所述平面表示包括:

器械移动区域,所述器械移动区域指示所述器械在所述外科手术工作空间的移动范围,所述器械移动区域展示所述输入设备工作空间的虚拟描绘;以及

所述定位设备与所述末端执行器的当前空间位置在所述平面表示上的二维投影;

其中,所述图形描绘进一步包括:

器械深度范围,所述器械深度范围指示所述器械进入所述外科手术工作空间中的轴向移动的界限;

指示符,所述指示符表示所述末端执行器在所述器械深度范围内的当前深度;以及

输入设备深度范围,所述输入设备深度范围表示基于所述输入设备工作空间和所述外科手术工作空间之间的当前映射的可由所述器械访问的器械深度范围的部分,其中所述输入设备工作空间限定了所述器械可访问的所述器械深度范围的有限范围。

17. 根据权利要求16所述的装置,其特征在于,所述器械移动区域包括非解剖的边界,所述非解剖的边界表示所述器械在所述外科手术工作空间的移动范围的限制。

18. 根据权利要求17所述的装置,其特征在于,所述处理器电路被配置为响应于确定器械接近所述器械移动区域的所述边界,在所述边界处显示激活的约束指示。

19. 根据权利要求16所述的装置,其特征在于,所述处理器电路被配置为响应于确定所述末端执行器接近所述输入设备深度范围的末端,显示激活约束指示。

20. 根据权利要求16所述的装置,其中,所述处理器电路可配置成:在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位,并且其中所述处理器电路配置成:

响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态,生成显示信号,所述显示信号用于在偏离所述末端执行器的当前空间位置的所述二维投影时,在所述图形描绘上显示当前手动控制器位置指示符;并且

响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态,中断对所述当前手动控制器位置指示符的显示。

21. 根据权利要求16所述的装置,其中,由所述输入设备产生的所述输入信号包括限定了所述手动控制器的当前旋转的旋转信号,所述旋转信号可操作来引起所述末端执行器在所述外科手术工作空间中的旋转,并且其中,所述图形描绘进一步包括:

器械旋转范围,所述器械旋转范围指示所述器械的旋转移动的界限;

指示符,所述指示符表示所述末端执行器的当前旋转;以及

输入设备旋转范围,所述输入设备旋转范围表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的所述器械旋转范围的部分。

22. 根据权利要求21所述的装置,其中,所述处理器电路可配置成:在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位,并且其中,所述处理器电路可配置成:

响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态,生成显示信号,所述显示信号用于在偏离表示所述末端执行器的当前旋转的所述指示符时,在所述图形描绘上显

示当前手动控制器旋转指示符;并且

响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态,中断对当前手动控制器旋转指示符的显示。

23. 一种存储指令的非暂时性计算机可读介质,当由机器人手术系统的处理器电路执行时,所述指令用于引导机器人手术系统的处理器电路来表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置,所述器械包括联接至定位设备的末端执行器,所述定位设备用于响应于输入信号而在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位,所述输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的,所述指令进一步引导所述处理器电路进行以下操作:

针对从所述输入设备接收到的当前输入信号来计算所述器械在所述外科手术工作空间内的当前三维空间位置;以及

生成显示信号,所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科手术工作空间的图形描绘,所述图形描绘包括平面表示,所述平面表示包括:

器械移动区域,所述器械移动区域指示器械在所述外科手术工作空间的移动范围,所述器械移动区域展示所述输入设备工作空间的虚拟描绘;以及

所述定位设备与所述末端执行器到所述平面表示上的当前空间位置的二维投影;

其中,所述图形描绘进一步包括:

器械深度范围,所述器械深度范围指示所述器械进入所述外科手术工作空间中的轴向移动的界限;

指示符,所述指示符表示所述末端执行器在所述器械深度范围内的当前深度;以及

输入设备深度范围,所述输入设备深度范围表示基于所述输入设备工作空间和所述外科手术工作空间之间的当前映射的可由所述器械访问的器械深度范围的部分,其中所述输入设备工作空间限定了所述器械可访问的所述器械深度范围的有限范围。

24. 根据权利要求23所述的非暂时性计算机可读介质,其特征在于,所述器械移动区域包括非解剖的边界,所述非解剖的边界表示所述器械在所述外科手术工作空间的移动范围的限制。

## 用于机器人外科手术系统的图形用户界面

[0001] 本申请是申请号为201780005500.6、申请日为2017年1月19日、发明名称为“用于机器人外科手术系统的图形用户界面”的中国专利申请的分案申请,该中国发明专利为国际申请号为PCT/CA2017/000011的PCT国际专利申请的中国国家阶段申请,该国际申请要求申请日为2016年1月19日的美国临时申请号62/280,334的优先权。

### 技术领域

[0002] 本披露涉及外科手术机器人系统、并且更具体地涉及示意性地表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置。

### 背景技术

[0003] 在机器人手术系统中,图形用户界面通常被用于提供向外科医生提供充足的信息的警报和通知以执行手术任务。常见的是提供患者体腔内的手术部位的图像,所述图像示出了正在执行手术任务的区域以及通常是被部署以执行所述任务的手术器械的部分二者。

### 发明内容

[0004] 根据一个所披露方面,提供了一种用于示意性地表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置的方法,所述器械包括连接至定位设备的末端执行器,所述定位设备用于响应于输入信号而在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位,所述输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的。所述方法涉及:使处理器电路针对从所述输入设备接收到的当前输入信号来计算所述器械在所述外科手术工作空间内的当前三维空间位置。所述方法还涉及:使所述处理器电路生成显示信号,所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科手术工作空间的图形描绘,所述图形描绘包括平面表示,所述平面表示包括:具有边界的器械移动区域,所述边界指示所述器械在所述外科手术工作空间内的横向移动的界限;以及所述定位设备与所述末端执行器到所述平面表示上的所述当前空间位置的二维投影。

[0005] 所述末端执行器可以由指示符表示,并且所述定位设备可以由与所述定位设备的至少一部分的二维投影范围相对应的区域来表示。

[0006] 所述方法可以涉及通过在外科手术工作空间内限定三维边界来生成边界,并且涉及生成所述三维边界到平面表示上的二维投影。

[0007] 所述器械移动区域的边界可以进一步包括至少一个禁入区,所述禁入区识别对于所述器械在所述外科手术工作空间内的移动的进一步的界限。

[0008] 所述禁入区可以是基于从输入设备处的操作员接收到的输入和在所述处理器电路处接收到的患者成像数据中的至少一者来限定的。

[0009] 所述方法可以进一步涉及:响应于确定所述器械接近所述器械移动区域的边界,使所述处理器电路在所述边界处显示激活约束指示。

[0010] 所述机器人手术系统可以包括所述外科手术工作空间内的多个器械,并且显示所

述图形描绘可以涉及显示所述多个器械中的每一个的图形描绘。

[0011] 显示所述图形描绘可以包括在所述显示器的外周区域处显示所述图形描绘。

[0012] 所述图形描绘可以进一步包括：器械深度范围，指示所述器械进入所述外科手术工作空间中的轴向移动的界限；指示符，表示所述末端执行器在所述器械深度范围内的当前深度；以及输入设备深度范围，表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的所述器械深度范围的部分。

[0013] 所述方法可以进一步包括：响应于确定所述末端执行器接近所述输入设备深度范围的末端，使所述处理器电路显示激活约束指示。

[0014] 所述方法可以涉及在所述处理器电路处接收启动信号，所述启动信号具有激活状态和非激活状态，所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动，而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位，并且所述方法可以进一步涉及：响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态，使所述处理器电路生成显示信号，所述显示信号用于在偏离所述末端执行器的所述当前空间位置的所述二维投影时，在所述图形描绘上显示当前手动控制器的位置指示符；以及响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态，中断对所述当前手动控制器位置指示符的显示。

[0015] 由所述输入设备产生的输入信号可以包括：限定了所述手动控制器的当前旋转的旋转信号，所述旋转信号可操作来引起所述末端执行器在所述外科手术工作空间中的旋转，并且所述图形描绘可以包括：器械旋转范围，指示所述器械的旋转移动的界限；指示符，表示所述末端执行器的当前旋转；以及输入设备旋转范围，表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的所述器械旋转范围的部分。

[0016] 所述方法可以涉及在所述处理器电路处接收启动信号，所述启动信号具有激活状态和非激活状态，所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动，而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位，并且所述方法可以进一步涉及：响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态，使所述处理器电路生成显示信号，所述显示信号用于在偏离表示所述末端执行器的当前旋转的所述指示符时，在所述图形描绘上显示当前手动控制器的旋转指示符；以及响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态，中断对所述当前手动控制器旋转指示符的显示。

[0017] 根据另一个所披露方面，提供了一种用于示意性地表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置的装置，所述器械包括联接至定位设备的末端执行器，所述定位设备用于响应于输入信号而在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位，所述输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的。所述装置包括处理器电路，所述处理器电路可操作地配置成：针对从所述输入设备接收到的当前输入信号来计算所述器械在所述外科手术工作空间内的当前三维空间位置；以及生成显示信号，所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科手术工作空间的图形描绘。所述图形描绘包括平面表示，所述平面表示包括：具有边界的器械移动区域，所述边界指示所述器械在所述外科手术工作空间内的横向移动的界限；以及所述定位设备与所述末端执行器到所述平面表示上的所述当前空间位置的二维投影。

[0018] 所述处理器电路可以可操作地配置成:响应于确定所述器械接近所述器械移动区域的所述边界,在所述边界处显示激活约束指示。

[0019] 所述图形描绘可以进一步包括:器械深度范围,指示所述器械进入所述外科手术工作空间中的轴向移动的界限;指示符,表示所述末端执行器在所述器械深度范围内的当前深度;以及输入设备深度范围,表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的所述器械深度范围的部分。

[0020] 所述处理器电路可以可操作地配置成:响应于确定所述末端执行器接近所述输入设备深度范围的末端,显示激活约束指示。

[0021] 所述处理器电路可以可操作地配置成:在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位,所述处理器电路可操作地配置成:响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态,生成显示信号,所述显示信号用于在偏离所述末端执行器的所述当前空间位置的所述二维投影时,在所述图形描绘上显示当前手动控制器的位置指示符;以及响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态,中断对所述当前手动控制器位置指示符的显示。

[0022] 由所述输入设备产生的输入信号包括:限定了所述手动控制器的当前旋转的旋转信号,所述旋转信号可操作来引起所述末端执行器在所述外科手术工作空间中的旋转,并且所述图形描绘可以包括:器械旋转范围,指示所述器械的旋转移动的界限;指示符,表示所述末端执行器的当前旋转;以及输入设备旋转范围,表示针对所述输入设备工作空间与所述外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的所述器械旋转范围的部分。

[0023] 所述处理器电路可以可操作地配置成:在所述处理器电路处接收启动信号,所述启动信号具有激活状态和非激活状态,所述激活状态允许所述器械响应于所述输入信号的移动,而所述非激活状态禁止所述器械的移动以利于所述手动控制器在所述输入设备工作空间内的重新定位,并且所述处理器电路可以可操作地配置成:响应于所述启动信号从所述激活状态转变至所述非激活状态,生成显示信号,所述显示信号用于在偏离表示所述末端执行器的当前旋转的所述指示符时,在所述图形描绘上显示当前手动控制器的旋转指示符;以及响应于所述启动信号从所述非激活状态转变至所述激活状态,中断对所述当前手动控制器旋转指示符的显示。

[0024] 根据另一个所披露方面,提供了一种用代码进行编码的计算机可读介质,所述代码用于引导机器人手术系统的处理器电路来表示在机器人手术系统中使用的器械的空间位置,所述器械包括联接至定位设备的末端执行器,所述定位设备用于响应于输入信号而在外科手术工作空间中对所述末端执行器进行空间定位,所述输入信号是由输入设备的手动控制器在输入设备工作空间中的移动生成的。所述代码引导所述处理器电路针对从所述输入设备接收到的当前输入信号来计算所述外科手术工作空间内的所述器械的当前三维空间位置,并且生成显示信号,所述显示信号用于在与所述处理器电路通信的显示器上显示所述外科手术工作空间的图形描绘,所述图形描绘包括平面表示,所述平面表示包括:具有边界的器械移动区域,所述边界指示所述器械在所述外科手术工作空间内的横向移动的界限;以及所述定位设备与所述末端执行器到所述平面表示上的所述当前空间位置的二维

投影。

[0025] 本领域的普通技术人员在结合附图阅读以下特定披露的实施例的描述后将清楚其他方面和特征。

### 附图说明

[0026] 在展示了所披露的实施例的附图中：

[0027] 图1是机器人手术系统的透视图；

[0028] 图2是图1中示出的机器人手术系统的器械安装座的透视图；

[0029] 图3是图1中示出的机器人手术系统的处理器电路元件的框图；

[0030] 图4是流程图,描绘了用于引导图3中示出的工作站处理器电路来显示器械的空间位置表示的代码框；

[0031] 图5是由图3中示出的工作站处理器电路生成的图形描绘的示意图；

[0032] 图6是图1中示出的机器人手术系统的右侧器械的外科手术工作空间及输入设备工作空间的示意性表示；

[0033] 图7是图1中示出的机器人手术系统的右输入设备的透视图；

[0034] 图8是图1中示出的机器人手术系统的右侧器械的透视图；

[0035] 图9是流程图,描绘了用于引导图3中示出的工作站处理器电路来执行基础设置过程的代码框；

[0036] 图10是流程图,描绘了用于引导图3中示出的工作站处理器电路来执行用于计算机器械的3D空间位置的过程的代码框；

[0037] 图11是图1中示出的机器人手术系统的右侧器械在弯折情况下的另一个透视图；

[0038] 图12是图1中示出的机器人手术系统的左侧器械和右侧器械的透视图；

[0039] 图13是流程图,描绘了用于引导图3中示出的工作站处理器电路来执行用于生成显示信号的过程的代码框,所述显示信号用于显示图5中示出的图形描绘;并且

[0040] 图14是左侧器械和右侧器械的位置的图形描绘的一系列示例。

### 具体实施方式

[0041] 参考图1,总体上以100示出机器人手术系统。系统100包括工作站102和器械推车104。器械推车104包括安装在可移动器械安装座108上的至少一个器械106,所述安装座容纳有用于操控所述器械的器械驱动器。工作站102包括用于由外科医生使用以经由器械驱动器来控制器械106以便对患者执行外科手术操作的输入设备110。输入设备110可以使用例如可从瑞士的Force Dimension公司获得的触觉接口来实施。

[0042] 图2中更详细地示出了器械106和器械安装座108。参考图2,器械106包括插入管202,所述插入管被插入穿过患者腹部或其他体腔的壁中的切口以在所述体腔内提供进入外科手术工作空间的通路。一旦被插入到外科手术工作空间中,器械106被部署为如图2中的插入件206所示的。在这个实施例中,器械106包括:右侧器械208,包括定位设备209和末端执行器210;以及左侧器械212,包括定位设备213和末端执行器214。

[0043] 在示出的实施例中,末端执行器210是具有相对的可移动夹持器夹爪216的钳子,所述夹持器夹爪由器械驱动器控制以抓住组织,而末端执行器214是解剖弯钳。器械106还

包括部署在铰接臂220上的相机218,所述铰接臂能够平移和倾斜所述相机。相机218包括一对间隔开的图像传感器222和224,这对图像传感器用于产生外科手术工作空间的立体视图。器械208和212以及相机218被初始地定位成与插入穿过切口之前的插入管202共线,并且然后被部署为如206处所示。

[0044] 返回参考图1,输入设备110包括右输入设备116和左输入设备118。右输入设备116包括右手动控制器112,并且左输入设备118包括左手动控制器114,所述手动控制器被机械地联接至相应的输入设备。工作站102还包括工作站处理器电路120,所述工作站处理器电路与输入设备116和118以及手动控制器112和114通信以从外科医生处接收输入。器械推车104还包括用于控制器械106的器械处理器电路130。在这个实施例中,器械处理器电路130经由接口缆线132与工作站处理器电路120进行通信,以在工作站处理器电路120与器械处理器电路130之间传输信号。在其他实施例中,工作站处理器电路120与处理器电路130之间的通信可以是无线的或是经由计算机网络的,而工作站102并且甚至可以定位成远离器械推车104。

[0045] 工作站102还包括与工作站处理器电路120通信的显示器122,所述显示器用于显示外科手术工作空间的实时图像和/或其他图形描绘。在这个实施例中,其中相机218包括这对间隔开的图像传感器222和224,显示器122被配置成提供外科手术工作空间的单独2D立体视图,当通过由外科医生佩戴的合适的立体眼镜来观察时,所述立体视图提供3D深度效果。

[0046] 工作站102还包括脚踏开关134,所述脚踏开关由外科医生致动以提供启动信号至工作站处理器电路120。启动信号具有激活状态和非激活状态,并且在这个实施例中,按压脚踏开关134使启动信号从激活状态改变为非激活状态。启动信号的激活状态允许器械106响应于由输入设备110产生的输入信号而进行移动,而非激活状态禁止所述器械的移动。

[0047] 所述输入信号是由右输入设备116和左输入设备118响应于由输入设备工作空间内的外科医生引起的手动控制器112和114的移动生成的。与器械208和212相关联的定位设备209和213响应于所述输入信号在外科手术工作空间中对相应的末端执行器210和214进行空间定位。

[0048] 图3中示出了系统100的处理器电路元件的框图。参考图3,工作站处理器电路120包括微处理器250。工作站处理器电路120还包括工作站存储器252、USB接口254、输入/输出256以及运动控制接口258,上述所有都与微处理器250通信。输入/输出256包括用于从脚踏开关134接收启动信号的输入以及用于产生显示信号以驱动显示器122的输出。

[0049] 在这个实施例中,输入设备110使用USB协议进行通信,并且USB接口254响应于手动控制器112和114的移动而接收由输入设备产生的输入信号。微处理器250基于输入设备工作空间与外科手术工作空间之间的当前映射来处理输入信号,并且使运动控制接口258传输控制信号,所述控制信号经由接口缆线132输送至器械处理器电路130。所述映射可以包括按比例缩放输入设备工作空间中的移动以产生外科手术工作空间中的经缩放移动的比例因子。例如,输入设备工作空间中的100mm平移可以由0.5的比例因子按比例缩放以产生外科手术工作空间中的50mm的移动,从而得到精细的移动。

[0050] 由脚踏开关134产生的启动信号是在输入/输出256处接收到的。工作站存储器252包括当前缓存器320和先前缓存器340,所述缓存器包括用于存储与控制信号相关联的值的

多个存储器,如本文稍后所述。

[0051] 器械处理器电路130包括微处理器280、存储器282、通信接口284、以及驱动控制接口286,上述所有都与微处理器通信。微处理器280在通信接口284处接收输入信号。微处理器280处理控制信号并且使驱动控制接口286产生用于移动器械208和212的驱动信号。

[0052] 工作站处理器电路120因此充当用于接收用户输入的主控子系统,而器械处理器电路130及器械208和212充当响应于所述用户输入的从属子系统。

[0053] 参考图4,总体上以300示出了描绘用于引导工作站处理器电路120来显示器械106的空间定位表示的代码框的流程图。所述框总体上表示引导微处理器250执行各种功能的代码。用于实施每个框的实际代码可以以任何合适编程语言来编写,诸如例如,C、C++、C#、Java、OpenGL和/或汇编代码。

[0054] 过程300从框302开始,所述框引导微处理器250确定启动信号是否激活。如果脚踏开关134当前没有被按压,则器械208和212处于输入设备110的控制下,并且框302引导微处理器250进行框306的操作。如果脚踏开关134当前正在被按压,则器械106的移动被禁止,并且框302引导微处理器250进行框304的操作以执行基础设置过程,这将在本文稍后进行描述。遵循框304的基础设置过程,微处理器250被引导进行框306的操作。

[0055] 框306引导微处理器250针对从输入设备110接收到的当前输入信号来计算器械208和212在外科手术工作空间内的当前三维(3D)空间位置。返回参照图2,根据在器械处理器电路130处接收到的控制信号,器械208和212的右侧定位设备209和左侧定位设备213被示出为致动到各自呈现出一种姿态。类似地,根据在器械处理器电路130处接收到的控制信号,末端执行器210和214以一种姿态放置。本文中器械208和212的3D空间位置是指包括定位设备209和213以及末端执行器210和214的器械的每个部分的3D部分。本文稍后将对外科手术工作空间中的这些3D位置的计算细节进行描述。

[0056] 然后,框306引导微处理器250生成用于在显示器122上显示外科手术工作空间的图形描绘的显示信号。返回参考图1,针对右侧器械208在显示器122上显示了右图形描绘136。类似地,针对左侧器械212显示了左图形描绘138。图形描绘136和138被显示在显示器122的外周区域处以免模糊也显示在所述显示器上的外科手术工作空间的实时取景140。

[0057] 然后,框308引导微处理器250返回到框302,并且重复过程300。在一个实施例中,过程300被以大约1kHz的频率重复。

[0058] 参考图5,图形描绘136和138被以更大的比例示出在图5中。图形描绘136和138被表示为包括定位设备移动区域400的平面表示,所述区域具有指示定位设备209在外科手术工作空间内的横向移动(平移和取向)的界限的边界402。图形描绘136和138还包括末端执行器移动区域404,所述区域具有表示末端执行器210能够在其中移动的另一个区域的边界406。即使当定位设备209位于边界402处,末端执行器210可以仍然能够向外转向进入超过定位设备移动区域400的末端执行器移动区域404。

[0059] 图形描绘136和138还包括相应的定位设备209和213以及末端执行器210和214的当前空间位置的二维(2D)投影。在示出的实施例中,末端执行器210和214由指示相应末端执行器的夹爪的至少大致取向的指示符408和410表示。定位设备209和213由与所述定位设备在平面表示上的部分的2D投影范围相对应的区域412和414表示。

[0060] 图形描绘136和138还各自包括器械深度范围416和418,所述范围指示器械在外科

手术工作空间中的轴向移动的界限。器械轴向移动的界限由器械深度范围416的端424和426以及器械深度范围418的端428和430表示。器械深度范围416和418还各自包括当前深度指示符420和422(在这种情况下为圆圈),所述指示符表示末端执行器在相应的器械深度范围内的当前深度。当前深度指示符420比当前深度指示符422更靠近范围416的端424,因为右侧器械208比左侧器械212定位更靠近外科手术工作空间(如图2所示)。器械深度范围416还包括输入设备深度范围432(示出为阴影区域),所述输入设备深度范围表示针对输入设备工作空间与外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的器械深度范围416的部分。类似地,器械深度范围418包括输入设备深度范围434(示出为阴影区域),所述输入设备深度范围表示针对输入设备工作空间与外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的器械深度范围418的部分。

[0061] 由输入设备110产生的输入信号还包括限定了手动控制器112和114中的每一个的当前旋转的旋转信号。旋转信号被工作站处理器电路120用于产生控制信号,以引起相应末端执行器210和214在外科手术工作空间中的旋转。图5中示出的图形描绘136和138还包括器械旋转范围440和442,指示末端执行器210和214的旋转移动的界限。在图形描绘136和138中,“ $\Delta$ ”指示符表示末端执行器210和214相对于参考的当前旋转,所述参考在图5中取为竖线444(仅针对图5中的右图形描绘136而示出)。图形描绘136和138进一步显示输入设备旋转范围446和448(示出为阴影区域),所述范围表示针对输入设备工作空间与外科手术工作空间之间的当前映射而言可触及的相应器械旋转范围440和442的部分。

[0062] 如以上披露的,过程300的框302至308被以大约1kHz的频率重复,因此更新图形描绘136和138来为外科医生提供对器械208和212的空间位置的几乎实时显示。在图1至图4中示出的实施例中,器械106包括一对器械208和212,然而在其他实施例中,系统100可以具有单个器械并且将因此仅显示单个图形描绘。可替代地,在使用超过两个器械的情况下,可以针对每个器械显示一个图形描绘。

[0063] 参考图6,以480示出了如从输入设备116上方观察的右侧器械208的外科手术工作空间和输入设备工作空间的示意性表示。输入设备116的手动控制器112是在半球形3D体积内可移动的,并且对应的输入设备工作空间在图6中示出为水平阴影半圆形区域482。在图6中,输入设备工作空间482被示出为叠加在外科手术工作空间484上,所述外科手术工作空间由可由右侧器械208进入的竖直阴影区域表示。外科手术工作空间484也是3D体积,并且具有限定了定位设备209的移动约束的边界表面485。点486表示插入管202穿过患者体腔的壁的插入点。

[0064] 图6中的边界表面485和图5中的边界402的平面表示基于外科手术工作空间484内输入设备工作空间482的范围表示了器械208和末端执行器210的移动的界限。由于患者的解剖结构,可以在器械208和末端执行器210的移动上设置附加的界限。例如,其他器官、血管和其他敏感组织的部分也可以限制器械208和末端执行器210在外科手术工作空间484内的移动。在另一个实施例中,一个或多个禁入区498可以被指定在外科手术工作空间484内,并且可以生成边界表面485以包括这些禁入区。禁入区498被用于进一步限制器械208和末端执行器210在输入设备工作空间482内的移动。可以根据来自外科医生的输入指定禁入区498,所述输入可以在输入设备110处接收到。可替代地,可以根据成像或被下载至工作站处理器电路120的其他患者数据来指定禁入区498。例如,如果患者已经具有成像(诸如,磁共

振成像(MRI)或CT扫描),则关于外科手术部位的患者特殊数据可以被用于限定一个或多个禁入区498。随后,当生成图形描绘136和138时,禁入区498将被包括在边界402的限定中作为所述边界内的附加区域436。

[0065] 输入设备116的手动控制器112的移动能够使器械208的定位设备209在外科手术工作空间484内移动,同时末端执行器210能够向外延伸以到达当前映射的区域488中。区域488表示可以由末端执行器210进入并且具有3D边界表面489的外科手术工作空间的附加部分。

[0066] 图5中示出的右图形描绘136总体上与沿着线5-5取得的横截面相对应,其中,线5-5的相交部限定了如图5所示的定位设备移动区域400的边界402以及末端执行器移动区域404的边界406。图6中的表示是针对控制右侧器械208的右输入设备116和右手动控制器112而示出的。为清晰起见,左输入设备118、左手动控制器114和左侧器械212已经被省略但可以被类似地表示。

[0067] 当脚踏开关134被按压以便允许手动控制器112和114重新定位以进入外科手术工作空间484的不同部分时,或者当响应于比例因子的变化以便允许进入外科手术工作空间的更大或更小比例时,可以发生在运动控制接口258处由输入设备110产生的输入信号与由工作站处理器电路120产生的控制信号之间的映射的变化。

#### [0068] 输入设备

[0069] 图7中更详细地示出了右输入设备116。为简单起见,将仅进一步描述右输入设备116,应理解的是,左输入设备118以相同的方式操作。参考图7,输入设备116支撑在底座500上,并且包括臂502、504和506。右手动控制器112被安装到臂502至506,以允许关于卡迪尔参考系的正交轴线 $x_1$ 、 $y_1$ 和 $z_1$ 来定位和旋转。卡迪尔参考系具有位于沿着手动控制器112的主体的中点处的原点,并且所述原点的位置限定了手动控制器位置508(即,在原点处)。在这个实施例中,手动控制器112被安装在万向安装座510上。臂502至506限制手动控制器112的移动并且因此将手动控制器位置508限定到半球形输入设备工作空间内,如图6所示。在一个实施例中,输入设备116还可以被配置成生成用于通过臂502至506提供触觉反馈至手动控制器112的触觉力。

[0070] 输入设备116具有多个传感器(未示出),所述传感器感测臂502至506中每一个的位置和手动控制器112关于 $x_1$ 、 $y_1$ 和 $z_1$ 轴线中每一条的旋转,并且产生表示手动控制器在工作空间中的位置以及所述手动控制器相对于输入设备卡迪尔参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 的旋转取向的信号。在这个实施例中,定位和取向信号被作为输入信号经由USB连接518传输至工作站处理器电路120的USB接口254。

[0071] 在这个实施例中,万向安装座510具有从所述安装座向下延伸的销512,并且底座500包括用于接纳所述销的校准开口514。当销512被接纳在开口514中时,输入设备116位于相对于输入设备卡迪尔参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 限定的校准位置中。所述输入设备参考系具有平行于底座500的 $x_r$ - $z_r$ 平面以及垂直于所述底座的 $y_r$ 轴线。 $z_r$ 轴线平行于底座500并且与居中地穿过输入设备116的轴线516重合。

[0072] 输入设备116产生表示手动控制器112的当前定位和取向的当前手动控制器信号和当前手动控制器取向信号。所述信号可以由当前手动控制器位置矢量和当前手动控制器旋转矩阵表示。所述当前手动控制器位置矢量由下式给出:

$$[0073] \quad \vec{P}_{MCURR} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{Bmatrix},$$

[0074] 其中,  $x_1$ 、 $y_1$ 和 $z_1$ 表示手动控制器位置508(即,坐标系 $x_1$ 、 $y_1$ 、 $z_1$ 的原点)相对于输入设备参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 的坐标。所述当前手动控制器旋转矩阵由下式给出:

$$[0075] \quad R_{MCURR} = \begin{bmatrix} x_{1x} & y_{1x} & z_{1x} \\ x_{1y} & y_{1y} & z_{1y} \\ x_{1z} & y_{1z} & z_{1z} \end{bmatrix},$$

[0076] 其中,所述矩阵的列表示手动控制器参考系 $x_1$ 、 $y_1$ 、 $z_1$ 相对于输入设备参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 的轴线。因此,矩阵 $R_{MCURR}$ 限定了手动控制器112相对于 $x_r$ 、 $y_r$ 和 $z_r$ 固定主参考系的当前旋转取向。当前手动控制器位置矢量 $\vec{P}_{MCURR}$ 和当前手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 被作为当前手动控制器位置和当前手动控制器取向信号经由USB连接518传输至工作站处理器电路120的USB接口254。工作站处理器电路120将表示当前手柄位置矢量 $\vec{P}_{MCURR}$ 的三个值存储在存储器322中,并且将表示当前手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 的九个值存储在工作站存储器252的当前缓存器320的存储器324中。

#### [0077] 器械

[0078] 图8中更详细地示出了右侧器械208。参考图8,定位设备209被配置成通过响应于由器械处理器电路130的驱动控制接口286响应于在通信接口284处从工作站处理器电路120接收的控制信号而产生的驱动信号从而激活器械安装座108中的各个驱动器,来在外科手术工作空间内对末端执行器210进行定位。所述驱动信号是基于当前手动控制器位置矢量 $\vec{P}_{MCURR}$ 而产生的,并且当前手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 被存储在工作站存储器252中的当前缓存器320的存储器322和324中。

[0079] 器械208包括如PCT/CA 2013/001076中描述的多个完全相同的“椎骨”550,所述文献通过引用结合在此。当穿过椎骨550的控制缆线伸出或缩回以引起定位设备209的移动时,所述椎骨可操作来相对于彼此移动。末端执行器210的定位和取向是相对于具有轴线 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 的固定从属参考系限定的,所述轴线在被称为固定从属参考位置552的点处相交。固定从属参考位置552位于器械208的纵向轴线554上,并且被包含在垂直于所述纵向轴线并且含有插入管202的远侧边缘的平面中。

[0080] 在示出的实施例中,末端执行器210包括夹持器夹爪216,所述夹持器夹爪可以定位和定向在末端执行器工作空间内。夹持器夹爪216的尖端可以被指定为末端执行器位置560,所述位置被限定为末端执行器卡迪尔参考系 $x_2$ 、 $y_2$ 、 $z_2$ 的原点。末端执行器位置560是相对于从属参考位置552限定的,并且可以相对于固定从属参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 、 $z_v$ 来定位和定向所述末端执行器以引起定位设备209和/或末端执行器210的移动。

[0081] 当前手动控制器定位信号 $\vec{P}_{MCURR}$ 和当前手动控制器取向信号 $R_{MCURR}$ 使器械208的末端执行器210移动至新的末端执行器位置和所希望的新末端执行器取向,并且由新的末端

执行器位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 表示:

$$[0082] \quad P_{EENEW} = \begin{Bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{Bmatrix},$$

[0083] 其中 $x_2$ 、 $y_2$ 和 $z_2$ 表示相对于 $x_v$ 、 $y_v$ 、 $z_v$ 固定从属参考系在末端执行器工作空间内的末端执行器位置560坐标,并且3x3末端执行器旋转矩阵 $R_{EENEW}$ :

$$[0084] \quad R_{EENEW} = \begin{bmatrix} x_{2x} & y_{2x} & z_{2x} \\ x_{2y} & y_{2y} & z_{2y} \\ x_{2z} & y_{2z} & z_{2z} \end{bmatrix},$$

[0085] 其中, $R_{EENEW}$ 矩阵中的列表示在固定从属参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 中写出的末端执行器参考系 $x_2$ 、 $y_2$ 和 $z_2$ 的轴线。因此 $R_{EENEW}$ 限定了相对于 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 固定从属参考系在末端执行器工作空间中末端执行器210的新取向。矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 和旋转矩阵 $R_{EENEW}$ 的值将如本文稍后所描述的来计算、并且分别被存储在工作站存储器252的当前缓存器320的存储器330和332中。

[0086] 基础设置过程

[0087] 当系统100初始地启动时,工作站处理器电路120将主基础位置矢量 $\bar{P}_{MBASE}$ 设置为等于当前手动控制器矢量 $\bar{P}_{MCURR}$ ,并且使可限定的主基础旋转矩阵 $R_{MBASE}$ 限定与由当前手动控制器旋转相关联的手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 限定的当前取向相同的取向。在启动时,因此执行以下操作:

[0088]  $\bar{P}_{MBASE} = \bar{P}_{MCURR}$ , 并且

[0089]  $R_{MBASE} = R_{MCURR}$ 。

[0090] 示出在图7中的由轴线 $x_1$ 、 $y_1$ 和 $z_1$ 表示的手动控制器112参考系以及由轴线 $x_{mb}$ 、 $y_{mb}$ 和 $z_{mb}$ 表示的可限定的主基础参考系(同样示出在图7中)因此在系统100启动时重合。返回参考图3,工作站处理器电路120将表示可限定的主基础位置矢量 $\bar{P}_{MBASE}$ 和可限定的主基础旋转矩阵 $R_{MBASE}$ 的值存储在工作站存储器252的当前缓存器320的存储器326和328中。

[0091] 在系统100启动时,将不存在先前存储的新末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 和新末端执行器旋转矩阵 $R_{EENEW}$ 的值,并且在一个实施例中,所述值被设为原始构型值。原始构型可以被限定为产生如图8中示出的器械208的总体上笔直的定位设备209,并且所述原始构型的 $\bar{P}_{EENEW}$ 和 $R_{EENEW}$ 的值可以在初始化时被预配置。在系统100启动时,工作站处理器电路120还使可限定的末端执行器基础位置矢量 $\bar{P}_{EEBASE}$ 和可限定的末端执行器基础旋转矩阵 $R_{EEBASE}$ 被设为 $\bar{P}_{EENEW}$ 和 $R_{EENEW}$ 的原始构型值。在其他实施例中,原始构型可以将多个构型变量限定成产生针对所述原始构型的不同的弯折的、或笔直和弯折的器械定位设备姿态。在启动时,因此执行以下操作:

[0092]  $\bar{P}_{EEBASE} = \bar{P}_{EENEW}$ , 并且

[0093]  $R_{EEBASE} = R_{EENEW}$ 。

[0094] 示出在图8中的由轴线 $x_2$ 、 $y_2$ 和 $z_2$ 表示的末端执行器参考系以及由轴线 $x_{sb}$ 、 $y_{sb}$ 和 $z_{sb}$ 表示的可限定的从属基础参考系因此在系统100启动时重合。返回参考图3, 工作站处理器电路120将表示可限定的从属基础位置矢量 $\bar{P}_{EEBASE}$ 的值 $x_{sb}$ 、 $y_{sb}$ 和 $z_{sb}$ 存储在存储器334中, 并且将表示可限定的从属基础旋转矩阵 $R_{MBASE}$ 的值存储在在工作站存储器252的当前缓存器320的存储器336中。

[0095] 在框302处, 当由脚踏开关134产生的启动信号从激活状态转换至非激活状态时, 非同步地执行基础设置过程(图4中示出的过程300的框304)。基础设置过程304的进一步细节被作为过程流程图示出在图9中。基础设置过程304从框600开始, 所述框通过经由运动控制接口258传输控制信号而引导工作站处理器电路120的微处理器250禁止器械208的进一步移动, 所述运动控制接口使器械处理器电路130在驱动控制接口286处产生不使器械208进行进一步移动的驱动信号。在一个实施例中, 微处理器250维持相同的控制信号, 并且由于由驱动控制接口286产生的驱动信号是响应于所述控制信号而产生的, 所以驱动信号也将被维持在于按压脚踏开关134时激活的值。器械208将因此保持在当前位置和取向不动。

[0096] 然后, 框602引导微处理器250确定启动信号是否已经再次从非激活状态转换至激活状态。如果启动信号保持在非激活状态, 则框602引导微处理器250重复框602的操作, 并且过程304因此被有效地暂停同时启用信号处于非激活状态。当启动信号从非激活状态转换至激活状态时, 框602引导微处理器250进行框604的操作。

[0097] 框604引导微处理器250为手动控制器112和末端执行器210分别设置新的基础位置和取向。当按压脚踏开关134时, 外科医生可以将手动控制器112移动到新的位置以相对于外科手术工作空间重新定位输入设备工作空间。当启动信号转换至激活状态时, 框604引导微处理器250使当前手动控制器位置矢量 $\bar{P}_{MCURR}$ 和手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 的当前值存储在当前缓存器320工作站存储器252的位置326和328中, 作为主基础位置矢量 $\bar{P}_{MBASE}$ 和主基础旋转矩阵 $R_{MBASE}$ 的新值。框604还引导微处理器250使末端执行器位置信号 $\bar{P}_{EENEW}$ 和末端执行器取向信号 $R_{EENEW}$ 存储在当前缓存器320的存储器334和336中, 作为可限定的末端执行器基础位置矢量 $\bar{P}_{EEBASE}$ 和可限定的从属基础旋转矩阵 $R_{MBASE}$ 。

[0098] 然后, 基础设置过程304继续进行框606, 所述框引导微处理器250允许器械208的进一步移动同时由134产生的启动信号保持激活。

[0099] 基础设置过程304因此通过按压脚踏开关134允许器械208被固定, 同时输入设备116的手动控制器112被移动至新的位置。当释放脚踏开关134时, 对器械208的控制恢复到手动控制器112的新位置处。手动控制器112可以因此根据需要被重新定位, 同时器械保持不动, 防止可能会对患者造成伤害的意外移动。

[0100] 在一个实施例中, 当脚踏开关134使启动信号转换至非激活状态时, 图5中表示相应的左器械208和右器械212的位置和取向的指示符408、412、410和414在它们当前相应的位置处被固定在图形描绘136和138上, 并且显示了表示当前输入设备110输入的附加指示

符450和452。固定的指示符408、412、410和414表示固定器械208和212的位置和取向,而附加指示符450和452表示输入设备116和118以及手动控制器112和114的当前位置。随后,当启动信号再次转换至激活状态时,附加指示符450和452被删除或逐渐淡出,并且指示符408、412、410和414再一次呈现激活。在释放脚踏开关134之前使所显示的指示符408和450与指示符410和452对准最小化了手动控制器112和114与相应的器械208和212之间的偏移。类似地,可以用与表示末端执行器210和214的当前旋转的指示符的偏移来显示当前手动控制器旋转指示符454和456。因此,当按压脚踏开关134时,用户可以偏置滚动、取向和平移(XYZ)。当释放脚踏开关134时,器械208和212被再次接合并且滚动和平移偏移被固定。

[0101] 器械位置和取向

[0102] 图3中示出的用于计算器械的3D空间位置的过程300的框306的进一步细节被示出在图10中。参考图10,过程306包括代码框,所述代码由工作站处理器电路120执行以响应于当前手动控制器位置 $\vec{P}_{MCURR}$ 和手动控制器取向 $R_{MCURR}$ 来计算新的末端执行器位置和取向信号 $\vec{P}_{EENEW}$ 和 $R_{EENEW}$ 。这些控制信号当由器械处理器电路130在通信接口284处接收到时,被微处理器280用于在驱动控制接口286处产生驱动信号以定位和定向末端执行器210。在一个实施例中,过程306被以大约1kHz的速率周期性地执行。

[0103] 过程306从框630开始,所述框引导微处理器250从工作站存储器252的当前缓存器320读取 $\vec{P}_{MCURR}$ 和 $R_{MCURR}$ 的当前值,这两个值表示当前手动控制器位置矢量 $\vec{P}_{MCURR}$ 和当前手动控制器矩阵 $R_{MCURR}$ 。然后框632引导微处理器250计算相对于固定从属参考位置552和从属基础取向的、表示所希望的末端执行器位置560和所希望的末端执行器取向的新的末端执行器位置信号 $\vec{P}_{EENEW}$ 和新的末端执行器取向信号 $R_{EENEW}$ 。框632还引导微处理器250将表示新的末端执行器位置矢量 $\vec{P}_{EENEW}$ 的值存储在存储器330中,并且将表示所希望的末端执行器取向矩阵 $R_{EENEW}$ 的值存储在工作站存储器252的当前缓存器320的存储器332中。

[0104] 新的末端执行器位置信号 $\vec{P}_{EENEW}$ 和新的末端执行器取向信号 $R_{EENEW}$ 是根据以下关系式计算的:

$$[0105] \quad \vec{P}_{EENEW} = A(\vec{P}_{MCURR} - \vec{P}_{MBASE}) + \vec{P}_{EEBASE} \quad \text{Eqn 1a}$$

$$[0106] \quad R_{EENEW} = R_{EEBASE} R_{MBASE}^{-1} R_{MCURR} \quad \text{Eqn 1b}$$

[0107] 其中:

[0108]  $\vec{P}_{EENEW}$ 是表示末端执行器210在末端执行器工作空间中的新希望的位置的新末端执行器位置矢量、并且是相对于从属基础参考位置限定的;

[0109] A是表示主控装置与从属装置之间的平移运动比例因子的标量值;

[0110]  $\vec{P}_{MCURR}$ 是存储在当前缓存器320的存储器322中的手动控制器位置矢量的当前表示,并且手动控制器位置矢量是相对于固定主参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 和 $z_r$ 限定的;

[0111]  $\vec{P}_{MBASE}$ 是手动控制器112的最后保存的位置矢量 $\vec{P}_{MCURR}$ ,所述位置矢量是在启动信号从非激活状态转换至激活状态的最后一次转换时、或在系统初始化时、或通过操作员

对控制接口的操作所移动去到的位置矢量；

[0112]  $\bar{P}_{EEBASE}$  是末端执行器210的最后保存的位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ ，所述位置矢量是在启动信号从非激活状态转换至激活状态的最后一次转换时、或在系统初始化时所移动去到的位置矢量；

[0113]  $R_{EENEW}$  是表示末端执行器210的当前取向的新末端执行器取向矩阵、并且是相对于固定从属参考位置552限定的；

[0114]  $R_{EEBASE}$  是末端执行器210的最后保存的旋转矩阵 $R_{EENEW}$ ，所述旋转矩阵是在启动信号从非激活状态转换成激活状态的最后一次转换时所移动去到的旋转矩阵；

[0115]  $R_{MBAASE}^{-1}$  是旋转矩阵 $R_{MBAASE}$ 的倒数，所述旋转矩阵是在启动信号从非激活状态转换成激活状态的最后一次转换时保存的手动控制器112的最后保存的旋转矩阵 $R_{MCURR}$ ；并且

[0116]  $R_{MCURR}$  是表示手动控制器112相对于固定主参考系 $x_r$ 、 $y_r$ 和 $z_r$ 的取向的当前获取的旋转矩阵。

[0117] 框634接着引导微处理器250确定启动信号是否处于激活状态。如果启动信号处于激活状态，则框636引导微处理器250使运动控制接口258基于新计算出的 $\bar{P}_{EENEW}$ 和 $R_{EENEW}$ 的值来传输控制信号。当在器械处理器电路130的通信接口284处接收到控制信号时，微处理器280使产生驱动信号以使末端执行器210呈现出由手动控制器112的当前位置和当前取向确定的位置和取向。

[0118] 然后，框638引导微处理器250将存储在当前缓存器320的存储器322和324中的当前位置矢量 $\bar{P}_{MCURR}$ 和当前旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 复制到工作站存储器252的先前缓存器340的存储器342( $\bar{P}_{MPREV}$ )和344( $R_{MPREV}$ )中。框638还引导微处理器250将新计算出的末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 和新计算出的末端执行器旋转矩阵 $R_{EENEW}$ 复制到先前缓存器340的存储器346和348中。通过将新计算出的末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 和新计算出的末端执行器旋转矩阵 $R_{EENEW}$ 存储为先前计算出的末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{EEPREV}$ 和先前计算出的末端执行器旋转矩阵 $R_{EEPREV}$ ，就可以根据由输入设备116提供的下一个接收到的手动控制器位置矢量 $\bar{P}_{MCURR}$ 和下一个接收到的手动控制器旋转矩阵 $R_{MCURR}$ 来计算后续获取的新的末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{EENEW}$ 和后续获取的新的末端执行器旋转矩阵 $R_{EENEW}$ 。

[0119] 如果在框634处，启动信号处于非激活状态，则微处理器250被引导进行框642。框642引导微处理器250使运动控制接口258基于在工作站存储器252的先前缓存器340的相应的存储器346和348中的 $\bar{P}_{EEPREV}$ 和 $R_{EEPREV}$ 的先前计算出的值来传输控制信号。因此从 $\bar{P}_{EENEW}$ 和 $R_{EENEW}$ 的最后保存的值获得由运动控制接口258传输的控制信号，使得由于如先前确定的相同控制信号被传输至器械处理器电路130的通信接口284因此末端执行器210保持稳定。然后，微处理器250被引导进行框640。

[0120] 当启动信号保持激活时(即，当按压脚踏开关134时)，由运动控制接口258传输的控制信号仅基于实际上是在启动信号被转换至非激活之前的先前计算出的末端执行器位

置 $\bar{P}_{E E P R E V}$ 和先前计算出的取向信号 $R_{E E P R E V}$ 。

[0121] 在另一个实施例中,当在框634处启动信号被确定为处于激活状态时,可以在执行框636之前执行某些特殊功能。这种特殊功能的一个示例是对准控制功能,如在本申请人的共同未决的美国专利申请US 62/101,734和US 62/101,804中描述的,这些申请通过援引以其全部内容并入本文。例如,在一个实施例中,对准控制功能可以具有两种结果之一。第一种结果可以引导微处理器250执行框636,所述框引导微处理器使运动控制接口258基于新计算出的末端执行器位置 $\bar{P}_{E E N E W}$ 和新计算出的末端执行器取向 $R_{E E N E W}$ 而传输控制信号至器械处理器电路130。第二种结果引导微处理器250执行框638,所述框引导微处理器使运动控制接口258基于先前计算出的末端执行器位置 $\bar{P}_{E E P R E V}$ 和先前计算出的末端执行器取向 $R_{E E P R E V}$ 而传输控制信号。这使末端执行器210呈现出由手动控制器112的先前位置和先前取向确定的位置和取向。

[0122] 因此,当启动信号处于非激活状态时,可以移动和旋转手动控制器112,并且 $\bar{P}_{E E N E W}$ 和 $R_{E E N E W}$ 的计算会仍通过框632来执行,但是将不存在末端执行器210的移动,因为向器械处理器电路130发送的是先前的控制信号。这允许“抓住”或重新定位手动控制器112而不使用末端执行器210进行对应移动。在将输入设备工作空间内的手动控制器重新定位到舒适的位置和/或为末端执行器210在外科手术工作空间内提供增加的移动范围时,这种移动可以是有用的。

[0123] 在框636或框638处产生的末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{E E N E W}$ 或 $\bar{P}_{E E P R E V}$ 以及末端执行器取向矩阵 $R_{E E N E W}$ 或 $R_{E E P R E V}$ 提供了相对于固定从属参考位置552的所希望的位置末端执行器尖端560。然而,在图3中示出的实施例中,微处理器250使运动控制接口258传输运动控制信号,所述信号限定了由定位设备209以希望的末端执行器位置和取向来定位和定向末端执行器210所需要的姿态。因此运动控制信号是基于定位设备209和末端执行器210的运动学构型而生成的,以将末端执行器位置560定位成希望的位置和取向。

#### [0124] 运动控制信号

[0125] 图11和图12中以弯折的姿态示出了右侧器械208。左侧器械212也以与原始构型相对应的笔直姿态示出在图12中。参考图11和图12,器械208的定位设备209具有第一铰接区段(被称为s形区段700)和第二铰接区段(被称为远侧区段702)。所述区段各自包括多个椎骨550。s形区段700从离插入管202一定距离(被称为插入距离 $q_{i n s}$ )处开始,所述距离是被限定为从属固定基础参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 的原点的固定从属参考位置552与在第一位置参考系 $x_3$ 、 $y_3$ 和 $z_3$ 的原点处的第一位置704之间的距离。插入距离 $q_{i n s}$ 表示定位设备209从插入管202的末端延伸出的不可弯折部分。在示出的实施例中,插入距离 $q_{i n s}$ 可以为大约10-20mm,而在其他实施例中,所述插入距离可以更长或更短,例如在从0-100mm内变化。

[0126] s形区段700从第一位置704延伸至被限定为具有轴线 $x_5$ 、 $y_5$ 和 $z_5$ 的第三参考系的原点的第三位置706,并且当s形区段700内的控制缆线(未示出)被推动和拉动时能够呈现出平滑的s形形状。s形区段700具有的中点位于第二位置708处,所述第二位置被限定为具有轴线 $x_4$ 、 $y_4$ 和 $z_4$ 的第二位置参考系的原点。s形区段700具有长度 $L_1$ ,如图12中针对左侧器械定位设备213最佳示出的。在示出的实施例中,长度 $L_1$ 可以为约65mm。

[0127] 远侧区段702从第三位置706延伸至第四位置710,所述第四位置被限定为具有轴线 $x_6$ 、 $y_6$ 和 $z_6$ 的第四参考系的原点。远侧区段702具有长度 $L_2$ ,如图12中针对左侧器械定位设备213最佳示出的。在示出的实施例中,长度 $L_2$ 可以为约23mm。

[0128] 每个末端执行器210和214还具有末端执行器长度,在所示的实施例中所述末端执行长度是从第四位置710延伸至被限定为轴线 $x_2$ 、 $y_2$ 和 $z_2$ 的原点的末端执行器位置560的夹持器长度 $L_3$ 。夹持器长度 $L_3$ 被针对左侧器械定位设备213再次最佳示出在图12中、并且在—个实施例中可以为大约25mm。从属参考位置552、第一位置704、第二位置708、第三位置706、第四位置710、以及末端执行器位置560可以统称为器械参考位置。

[0129] 如在PCT/CA 2013/001076(在此通过援引其全部内容并入本文)中所描述的,通过推动和拉动定位设备209和213内的某些控制缆线,定位设备209和213的s形区段700可以从如图8中示出的笔直情况弯折到图11和图12中示出的右侧器械208的部分s形形状、直到完全s形形状的不同程度的s形形状。s形区段700是分段式的,在于它具有位于第二位置708的相反两侧上的第一区段712和第二区段714。参考图5,第一区段712和第二区段714位于含有第一位置704、第二位置708和第三位置706的第一弯折平面中。所述第一弯折平面与所述固定从属参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 的 $x_v$ - $z_v$ 平面成角度 $\delta_{\text{prox}}$ 。第一区段712和第二区段714在所述第一弯折平面内弯折过相反但相等的角度 $\theta_{\text{prox}}$ ,使得无论角度 $\theta_{\text{prox}}$ 或所述弯折平面角度 $\delta_{\text{prox}}$ 怎样,第三位置706的 $z_5$ 轴线始终平行于固定从属参考位置552的 $z_v$ 轴线并且对准与之相同的方向。因此,通过推动和拉动定位设备209内的控制缆线,第三位置706可以被放置在第一位置704周围的圆柱形体积内空间中的多个离散位置中的任何位置处。这个圆柱形体积可以被称为s形区段工作空间。

[0130] 此外,远侧区段702位于含有第三位置706和第四位置710的第二弯折平面中。所述第二弯折平面与固定从属参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 的 $x_v$ - $z_v$ 平面成角度 $\delta_{\text{dist}}$ 。远侧区段702在第二弯折平面中以角度 $\theta_{\text{dist}}$ 弯折。因此,通过推动和拉动定位设备209内的控制缆线,第四位置710可以被放置在第四位置710周围的另一空间体积内。这个体积可以被称为远侧工作空间。s形区段工作空间和远侧工作空间的组合可以被称为定位设备工作空间,因为这表示器械208受到定位设备209影响时可能的总移动。左侧器械212可以被定位设备213类似地定位。

[0131] 在示出的实施例中,第四位置710与末端执行器位置560之间的距离是远侧区段702的可移动部分与夹持器末端执行器210的尖端之间的距离,即图12中示出的夹持器长度 $L_3$ 的长度。一般而言,夹持器在第四位置710与末端执行器位置560之间的这部分是不可弯折的。

[0132] 在示出的实施例中,末端执行器210包括围绕末端执行器参考系的 $z_2$ 轴线在 $x_2$ - $y_2$ 平面中可旋转的可移动夹持器夹爪216,旋转角度由相对于正的 $x_2$ 轴线的角度 $\gamma$ 表示。最后,夹持器夹爪216可以处于从完全闭合到完全打开(如由夹爪的铰接接头限制的)的任何不同打开程度。所述不同打开程度可以被限定为“夹持器”。因此,总之,运动控制信号是基于如由以下构型变量限定的定位设备209和末端执行器210的运动学构型而生成的:

[0133]  $q_{\text{ins}}$ 表示从由轴线 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 限定的从属参考位置552到由轴线 $x_3$ 、 $y_3$ 和 $z_3$ 限定的第一位置704的距离,其中定位设备209的s形区段700从所述第一位置开始;

[0134]  $\delta_{\text{prox}}$ 表示第一弯折平面,在所述平面中s形区段700相对于固定从属参考系的 $x_v$ - $y_v$ 平面弯折;

[0135]  $\theta_{\text{prox}}$  表示s形区段700中的第一区段712和第二区段714在所述第一弯折平面中弯折的角度;

[0136]  $\delta_{\text{dist}}$  表示第二弯折平面,在所述平面中远侧区段702在相对于固定从属参考系的  $x_v$ - $y_v$  平面弯折;

[0137]  $\theta_{\text{dist}}$  表示远侧区段702在所述第二弯折平面中弯折的角度;

[0138]  $\gamma$  表示末端执行器210围绕轴线 $z_2$ 的旋转度;并且

[0139] 夹持器:表示末端执行器210的夹持器夹爪216的打开程度(这是与手动控制器112上的致动器(未示出)产生的、指明操作者通过挤压致动器以致动夹爪216关闭而施加的压力的量的信号成正比计算的值)。

[0140] 为了计算所述构型变量,将首先回想到,末端执行器旋转矩阵 $R_{\text{EENEW}}$ 是3x3矩阵:

$$[0141] \quad R_{\text{EENEW}} = \begin{bmatrix} x_{2x} & y_{2x} & z_{2x} \\ x_{2y} & y_{2y} & z_{2y} \\ x_{2z} & y_{2z} & z_{2z} \end{bmatrix},$$

[0142] 其中, $R_{\text{EENEW}}$ 的最后一列是相对于固定从属参考系 $x_v$ 、 $y_v$ 和 $z_v$ 写出的末端执行器参考系的 $z$ 轴。可以根据以下关系式计算与远侧区段702相关联的 $\theta_{\text{dist}}$ 、 $\delta_{\text{dist}}$ 和 $\gamma$ 的值:

$$[0143] \quad \theta_{\text{dist}} = \frac{\pi}{2} - \text{atan2}\left(\sqrt{z_{2x}^2 + z_{2y}^2}, z_{2z}\right) \quad \text{Eqn 2}$$

$$[0144] \quad \delta_{\text{dist}} = -\text{atan2}(z_{2y}, z_{2x})。 \quad \text{Eqn 3}$$

$$[0145] \quad \text{如果 } |\delta_{\text{dist}}| > \frac{\pi}{2} :$$

$$[0146] \quad \gamma = \text{atan2}(-y_{2z}, x_{2z}) - \delta_{\text{dist}} + \pi \quad \text{Eqn 4a}$$

[0147] 否则

$$[0148] \quad \gamma = \text{atan2}(y_{2z}, -x_{2z}) - \delta_{\text{dist}} \quad \text{Eqn 4b}$$

[0149] 第三位置706然后可以根据从固定从属参考位置552到所述第三位置的矢量 $\bar{p}_{3/v}$ 来书写。类似地,矢量 $\bar{p}_{4/3}$ 可以被限定为从第三位置706到第四位置710,而矢量 $\bar{p}_{5/4}$ 可被限定为从第四位置710到末端执行器位置560。然后,这些值可以被用于通过从末端执行器位置矢量 $\bar{P}_{\text{EENEW}}$ 减去矢量 $\bar{p}_{4/3}$ 和 $\bar{p}_{5/4}$ 来计算第三位置706相对于固定从属参考位置552的位置:

$$[0150] \quad \bar{p}_{3/v} = \bar{P}_{\text{EENEW}} - \bar{p}_{4/3} - \bar{p}_{5/4}, \quad \text{Eqn 5}$$

[0151] 其中:

$$[0152] \quad \bar{p}_{4/3} \cdot \bar{j} = \frac{-L_2 \cos \delta_{\text{dist}} (\sin \theta_{\text{dist}} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{\text{dist}}} \quad \text{Eqn 6a}$$

$$[0153] \quad \bar{p}_{4/3} \cdot \bar{j} = \frac{L_2 \sin \delta_{dist} (\sin \theta_{dist} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{dist}} \quad \text{Eqn 6b}$$

$$[0154] \quad \bar{p}_{4/3} \cdot \bar{k} = \frac{L_2 \cos(\theta_{dist})}{\frac{\pi}{2} - \theta_{dist}} \quad \text{Eqn 6c}$$

$$[0155] \quad \bar{p}_{5/4} \cdot \bar{i} = L_3 \cos(\delta_{dist}) \cos(\theta_{dist}) \quad \text{Eqn 7a}$$

$$[0156] \quad \bar{p}_{5/4} \cdot \bar{j} = -L_3 \sin(\delta_{dist}) \cos(\theta_{dist}) \quad \text{Eqn 7b}$$

$$[0157] \quad \bar{p}_{5/4} \cdot \bar{k} = L_3 \sin(\theta_{dist}), \quad \text{Eqn 7c}$$

[0158] 其中,  $\bar{i}$  是x方向上的单位矢量,  $\bar{j}$  是y方向上的单位矢量, 并且  $\bar{k}$  是z方向上的单位矢量。

[0159] 然后可以使用从固定从属参考位置552到第三位置706的矢量  $\bar{p}_{3/v}$  来得到s形区段700的构型变量  $\delta_{prox}$  以及  $\theta_{prox}$ 。通过求解关于  $\delta_{prox}$  的以下两个等式来计算角度  $\delta_{prox}$  :

$$[0160] \quad \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i} = \frac{-L_1 \cos \delta_{prox} (\sin \theta_{prox} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \quad \text{Eqn 8a}$$

$$[0161] \quad \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{j} = \frac{L_1 \sin \delta_{prox} (\sin \theta_{prox} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \quad \text{Eqn 8b}$$

[0162] 取Eqn 8b与Eqn 8a之比, 得到:

$$[0163] \quad \delta_{prox} = a \tan 2(-\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{j}, \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i}), \quad \text{Eqn 9}$$

[0164] 其中  $\bar{i}$  和  $\bar{j}$  分别是x方向和y方向上的单位矢量。不能得到  $\theta_{prox}$  的封闭式解, 并且因此必须使用等式Eqn 8a或Eqn 8b中的任一者的数学方程解得到  $\theta_{prox}$ 。例如, 可以采用牛顿-拉夫逊方法, 所述方法相继迭代近似计算出实值函数的更好的根。牛顿-拉夫逊方法可以使用以下等式来实施:

$$[0165] \quad f(\theta_{prox}) = \frac{L_1}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \cos \delta_{prox} (1 - \sin \theta_{prox}) - \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i} = 0, \quad \text{Eqn 10}$$

[0166] 其中,  $\bar{i}$  是x方向上的单位矢量。等式Eqn 10是改写成  $f(\theta_{prox}) = 0$  形式的等式Eqn8a。牛顿-拉夫逊方法倾向于非常快地收敛, 因为在  $0 < \theta_{prox} < \pi$  的范围内, 所述函数具有大的曲率半径, 并且没有局部平稳点。遵循牛顿-拉夫逊方法, 可以使用以下关系式来迭代地对  $\theta_{prox}$  进行相继改进估计以满足等式Eqn 10:

$$[0167] \quad \theta_{n+1} = \theta_n - \frac{f(\theta_n)}{f'(\theta_n)} \quad \text{Eqn 11}$$

[0168] 最后,在确定了 $\theta_{prox}$ 时,可以使用以下等式来得到 $q_{ins}$ :

$$[0169] \quad q_{ins} = -\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{k} - \frac{L_1 \cos \theta_{prox}}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}}, \quad \text{Eqn 12}$$

[0170] 其中, $\bar{k}$ 是z方向上的单位矢量,并且 $\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{k}$ 是矢量 $\bar{p}_{3/v}$ 和单位矢量 $\bar{k}$ 的点积。

[0171] 以上构型变量是针对过程306的框636处的末端执行器位置信号 $\bar{P}_{EENEW}$ 和取向信号 $R_{EENEW}$ 或框642处的末端执行器位置信号 $\bar{P}_{EEPREV}$ 和取向信号 $R_{EEPREV}$ 来计算的。所述构型变量总体上限定了将末端执行器210定位在末端执行器工作空间内所希望的位置和取向上所要求的定位设备209姿态。构型变量是针对相应的右侧器械208和左侧器械212的每个末端执行器210和214产生的。因此产生了分别被称为左侧构型变量和右侧构型变量的两组构型变量、并且所述构型变量被运动控制接口258传输至器械处理器电路130、以及被微处理器280用于生成驱动控制信号,所述驱动控制信号用于在外科手术工作空间中对器械208的定位设备209和末端执行器210进行空间定位。

#### [0172] 3D空间定位

[0173] 图3中示出的过程300的框308的进一步细节被示出在图13中。参考图13,过程308包括代码框,所述代码由工作站处理器电路120执行以生成用于显示图5中示出的图形描绘136和138的显示信号。过程308使用框306处确定的构型变量的值,以针对来自输入设备110和脚踏开关134的当前输入来确定沿着定位设备209的点在外科手术工作空间中的位置。所述位置是在外科手术空间内相对于固定从属参考位置552而确定的。过程308总体上涉及确定参考点中的每一个的理论位置,即外科手术工作空间中的第一位置704、第二位置708、第三位置706、第四位置710以及末端执行器位置560。一旦确定了每个参考点的理论位置,就可以确定沿着定位设备209的多个不同中间点在外科手术工作空间内的理论位置。定位设备209的s区段700和远侧区段702的区段712和714中的每一个包括多个椎骨550,并且所述椎骨的中心间隔相同的距离。由于s形区段700和远侧区段702在弯折时形成连续平滑的恒定半径的曲线,因此可以数学地计算每个椎骨的中心理论位置。所述理论位置可以被用于确定由器械处理器电路130用来针对器械208在外科手术工作空间中的实际定位而生成驱动信号的运动控制信号。所述理论位置还被工作站处理器电路120用于生成图5中示出的图形描绘136和138。

[0174] 过程308从框740开始,所述框引导微处理器250选择第一参考位置(示出在图11中704处)以进行处理。然后,框742引导微处理器250确定第一位置704的位置,所述位置与固定从属参考位置552相隔定位设备209的具有长度 $q_{ins}$ 的不可弯折部分。因此第一位置704的位置是通过简单地将 $q_{ins}$ 构型变量在 $z_v$ 轴上添加到固定从属参考位置552上来确定的。所述位置可以根据外科手术工作空间内从固定从属参考位置552到第一位置704的矢量 $\bar{p}_{1/v}$ 来表达。

[0175] 然后,框744引导微处理器250确定沿着定位设备209的第一区段712的中间点的位置(即,在第一位置704与第二位置708之间)。在框740处确定的第一位置704的位置被用于确定s区段700的第一区段712中所有椎骨550的位置。例如,在图11中示出的实施例中,假设第一位置704与第二位置708之间的第一区段712中存在15个椎骨550,则第n个椎骨的中心应处于的理论位置处于沿着第一区段220的中间点处,并且所述中心点被计算为:

$$[0176] \quad \frac{n\theta_{prox}}{15}$$

[0177] 相对于第一位置704。可以因此确定从第一位置704到第n个椎骨位置的矢量,并且所述矢量被添加到从固定从属参考位置552到第一位置704的矢量 $\bar{p}_{1/v}$ ,以确定第一区段712的n个椎骨中的每一个在外科手术工作空间中相对于固定从属参考位置552的位置。

[0178] 然后,框746引导微处理器250确定是否已经对所有参考位置进行处理,并且如果否,则所述微处理器被引导进行框748的操作,在所述框处选择下一个参考位置进行处理。然后,框748引导微处理器250返回到框742,并且针对每个参考位置重复框742和744的操作。

[0179] 第二位置708相对于固定从属参考位置552的位置可以根据构型变量 $q_{ins}$ 、 $\theta_{prox}$ 和 $\delta_{prox}$ 来确定。确定从固定从属参考位置552到第二位置708的矢量 $\bar{p}_{2/v}$ 提供了第二位置在外科手术工作空间内的理论位置的绝对值。对于图11中示出的实施例,假设在第二区段714中存在15个椎骨,第二区段的第n个椎骨的中心应位于沿着第二区段的中间点。第二区段222在所述第一弯折平面中弯折的角度 $\delta_{prox}$ 等于针对考虑第一区段712的椎骨的计算所使用的角度 $\theta_{prox}$ 并且与之相反。因此,第n个椎骨的中间点可以计算为:

$$[0180] \quad \frac{n(-\theta_{prox})}{15}$$

[0181] 相对于第二位置708。可以因此确定从第二位置708到第n个椎骨位置的矢量,并且所述矢量被添加到从从属参考位置552到第二位置708的矢量 $\bar{p}_{2/v}$ ,以提供第二区段714的第n个椎骨在定位设备工作空间内的理论位置的绝对值。可以针对s形区段700的第二区段714中的15个椎骨中的每一个椎骨来重复此过程,以得到每个椎骨中间点相对于固定从属参考位置552在外科手术工作空间内的绝对位置。

[0182] 第三位置706在s区段700的末端处的位置可以根据具有如以上Eqn 8a、8b和8c中陈述的矢量分量的矢量 $\bar{p}_{3/v}$ 来表达。第三位置706的位置可以被用作参考点,以使用上文提供的方法来确定远侧区段702中的所有椎骨550的理论位置。假设在远侧区段702中存在15个椎骨,第n个椎骨的中心应位于沿着远侧区段的中间点处。远侧区段702在第二弯折平面 $\delta_{dist}$ 中弯折的角度是 $\theta_{dist}$ 。因此,第n个椎骨的中间点可以计算为:

$$[0183] \quad \frac{n\theta_{dist}}{15}$$

[0184] 相对于第三位置706。可以因此确定从第三位置706到第n个椎骨位置的矢量,并且所述矢量被添加到矢量 $\bar{p}_{3/v}$ ,以得出第二区段702的第n个椎骨在定位设备工作空间内的理论位置的绝对值。针对远侧区段702中的15个椎骨中的每一个来重复此过程,以算出每个椎

骨中间点相对于固定从属参考位置552在定位设备工作空间内的理论位置的绝对值。

[0185] 可以根据相对于具有如以上Eqn 6a、6b和6c中陈述的矢量分量的第三位置706的矢量 $\bar{p}_{4/3}$ 来确定第四位置710的位置。将矢量 $\bar{p}_{4/3}$ 添加到从固定从属参考位置552到第三位置234的矢量 $\bar{p}_{3/v}$ 将得出第四位置相对于固定从属参考位置在外科手术工作空间内的理论位置的绝对值。

[0186] 最后,可以根据具有以上Eqn 7a、7b和7c中陈述的矢量分量关系式来将末端执行器位置560的理论位置确定为相对于第四位置710的矢量 $\bar{p}_{5/4}$ 。将从第四位置710到末端执行器位置550的矢量添加到矢量 $\bar{p}_{4/3}$ 以及到来自固定从属参考位置552的矢量 $\bar{p}_{3/v}$ 将得出末端执行器位置560相对于固定从属参考位置的理论位置的绝对值。

[0187] 如果在框746处,已经对沿着定位设备209的参考位置中的每一个进行处理,将已经确定沿着209和末端执行器210的多个点的位置,因此限定了器械208在外科手术工作空间中的3D空间定位。

[0188] 然后过程308继续进行框748,所述框引导微处理器250生成定位设备208的当前3D空间位置的二维投影,以生成表示图5的图形描绘136中示出的定位设备的区域412。框748还引导微处理器250生成末端执行器210的当前3D空间位置的二维投影,以生成表示图5中示出的末端执行器的指示符408。在一个实施例中,平面表示136是针对与 $x_v$ - $y_v$ 平面对准(即,平行于 $z_v$ 轴线)的平面而生成的,并且投影是根据沿着定位设备209和末端执行器210的每个中间点的位置的 $x_v$ 和 $y_v$ 分量生成的(即, $z_v$ 分量被设为零)。

[0189] 然后过程308继续进行框750,所述框引导微处理器250确定定位设备209的任何投影部分是否接近图5中的边界406,所述边界表明所述定位设备的进一步移动的约束被激活。框750还引导微处理器250确定末端执行器210的任何投影部分是否接近边界402。如果检测到这些情况中的任一者,则框750引导微处理器250进行框752。

[0190] 框752引导微处理器250生成激活约束警报。在一个实施例中,可以通过改变边界402或406的颜色或显示亮度或者通过在显示器122上显示警报符号来生成视觉警报。所述警报可以在覆盖指示符412和414的位置的图形描绘136和138中交替显示。在其他实施例中,可以生成声音警报。可替代地或另外地,微处理器250可以使输入设备110经由手动控制器112生成触觉反馈。然后,框752引导微处理器250返回到图4中的框302。

[0191] 如果在框750处,定位设备209和末端执行器210不接近任何边界,则微处理器250被引导返回到图4中的框302。

[0192] 深度

[0193] 如下生成图5中示出的器械深度范围416描绘。所述深度范围是沿着图6中示出的轴线492选取的,其中所述范围的末端424与末端执行器210在区域488内的最大深度494相对应。器械深度范围416的末端426与末端执行器210在区域488内的最小深度496相对应。输入设备深度范围432类似地与阴影区域482沿着轴线492的部分相对应。当前深度指示符420在器械深度范围416上定位在与末端执行器位置560的 $z$ 值相对应的位置处。在一个实施例中,当末端执行器210接近输入设备深度范围的任意端424或426时,微处理器250可以生成激活约束指示。所述警报可以采取声音警报、显示在显示器122上的视觉警报、或通过右输入设备116和手动控制器112的触觉反馈的形式。器械深度范围418是类似地针对左侧器械

212而生成的。

[0194] 旋转

[0195] 图5中示出的器械旋转范围440是根据构型变量 $\gamma$  (即,末端执行器210围绕轴线 $z_2$ 的旋转度,如图11中所示)生成的。“ $\Delta$ ”指示符表示末端执行器210的当前旋转角度 $\gamma$ ,其中,竖直线444取与固持在总体上不旋转的位置中的右手动控制器112相对应的参考。器械旋转范围440的程度与由手动控制器112提供的旋转范围的程度相对应。器械旋转范围440还可以根据输入设备工作空间与外科手术工作空间之间的映射偏移。例如,在已经按压脚踏开关134之后,手动控制器112可以在释放脚踏开关134之前旋转,因此偏移工作旋转范围,如图5中所示。

[0196] 定位设备激活约束

[0197] 如所描述地计算的右侧器械208的定位设备209的中间位置限定了器械208的定位设备209在外科手术工作空间内的3D位置(示出在图5中484处)。针对椎骨550的每个中间位置,微处理器250确定所述位置是否接近外科手术工作空间484的3D边界表面485的部分。图14中示出了针对器械208和212的定位设备209的部分的图形描绘的示例。参考图14,第一示例800示出了插入之后起始位置中的器械208和212的图形描绘136和138,其中,定位设备209和213处于如描绘左侧的器械的侧视图中示出的基本上笔直的位置。图形描绘136和138将定位设备209和213描绘成位于中心处的相应圆点。

[0198] 在下一个示例802中,定位设备209已经上移,并且定位设备213已经下移,并且在804处中间位置被微处理器250确定为接近边界表面485的上部部分和下部部分。描绘器械208和212的圆点被示出在接近边界的位置处。可以通过以明显的颜色对边界的部分上色来生成警报,以向外科医生指示这种情况。

[0199] 806处示出了针对定位设备209和213的左/右界限的示例。在808处示出的示例中,定位设备209和213被总体上如示例806中所定位,但是其中末端执行器210和214向外转。末端执行器210和214被定位为接近图5中示出的区域488的边界表面489,并且分别由指示符408和410描绘。定位设备209和210分别由区域412和414表示。可以在边界表面489处生成警报、并且将警报描绘为明显有色区域以向外科医生指示这种情况。

[0200] 示例810示出了略微转向的器械208和212,使得末端执行器指示符408和410以及区域412和414可见。在示例812中,末端执行器210和214保持向内转,同时定位设备209和213已经到达如814处示出的上限和下限。在示例816中,末端执行器210和214已经向外转,并且靠着3D边界表面489的相应上部部分和下部部分。在最后的示例818中,示例812中示出的类似情况是针对定位设备移动的左/右界限所示出的。

[0201] 虽然已经描述并展示了具体实施例,但这类实施例应当被视为仅仅是对本发明进行说明,而不应当被视为限制如根据所附权利要求书所解释的本发明。

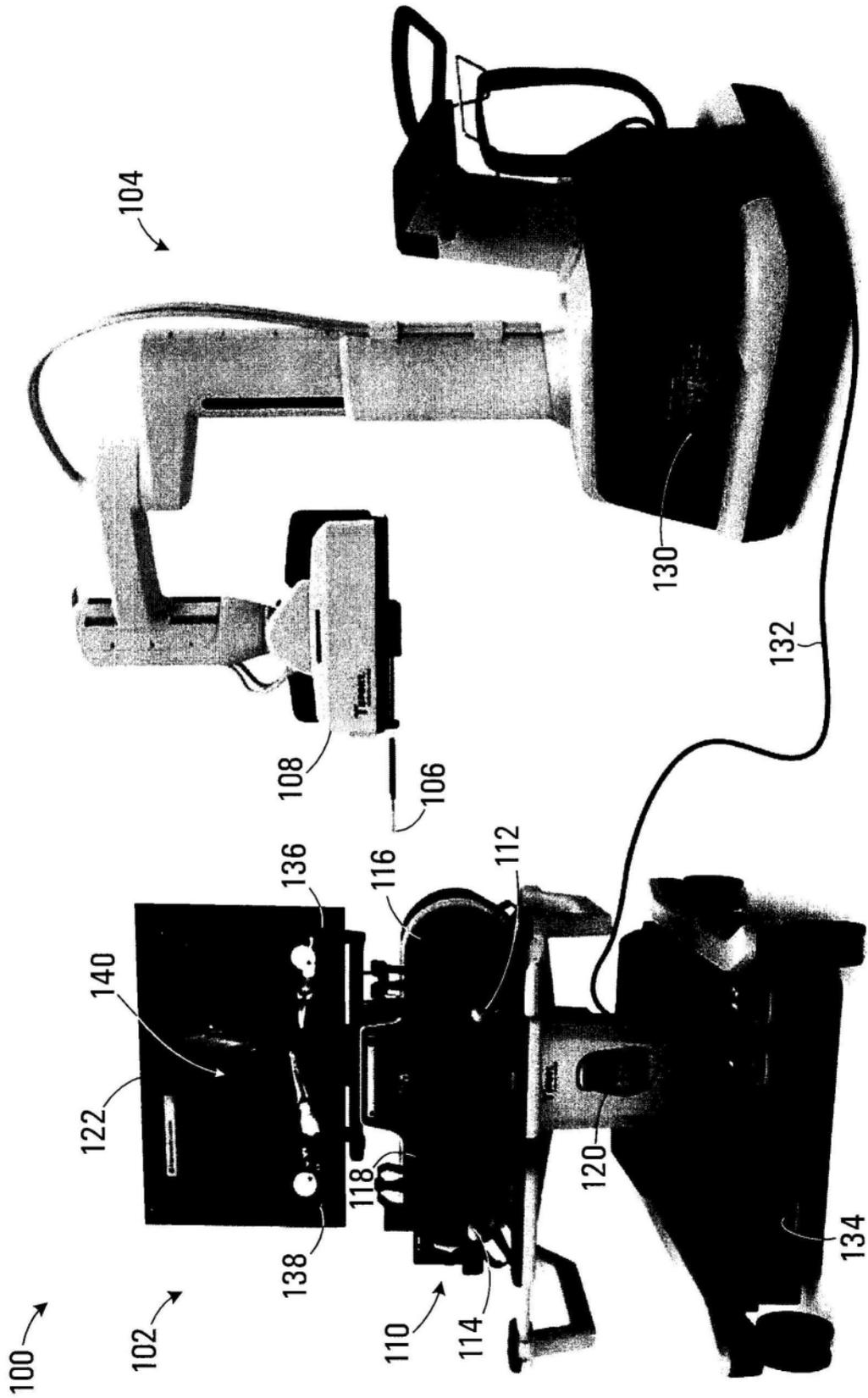


图1

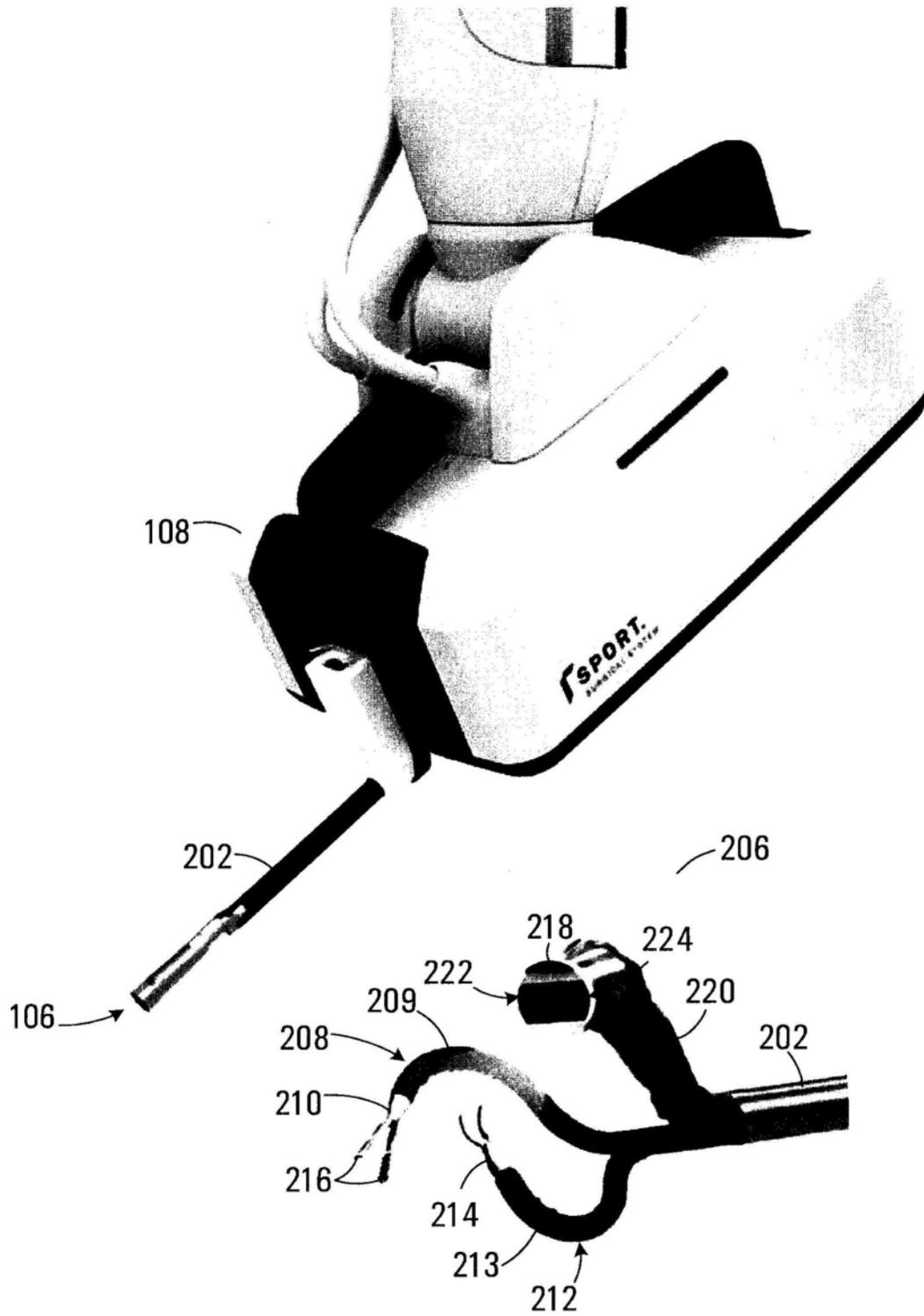


图2

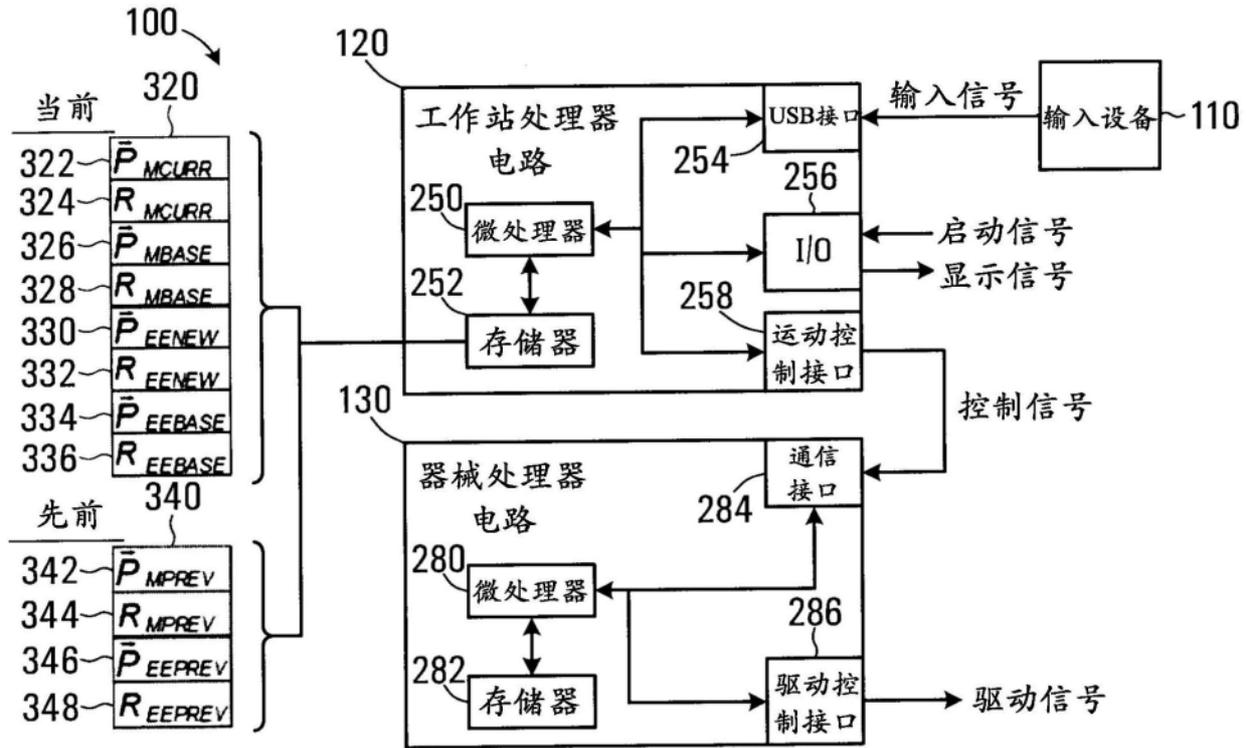


图3

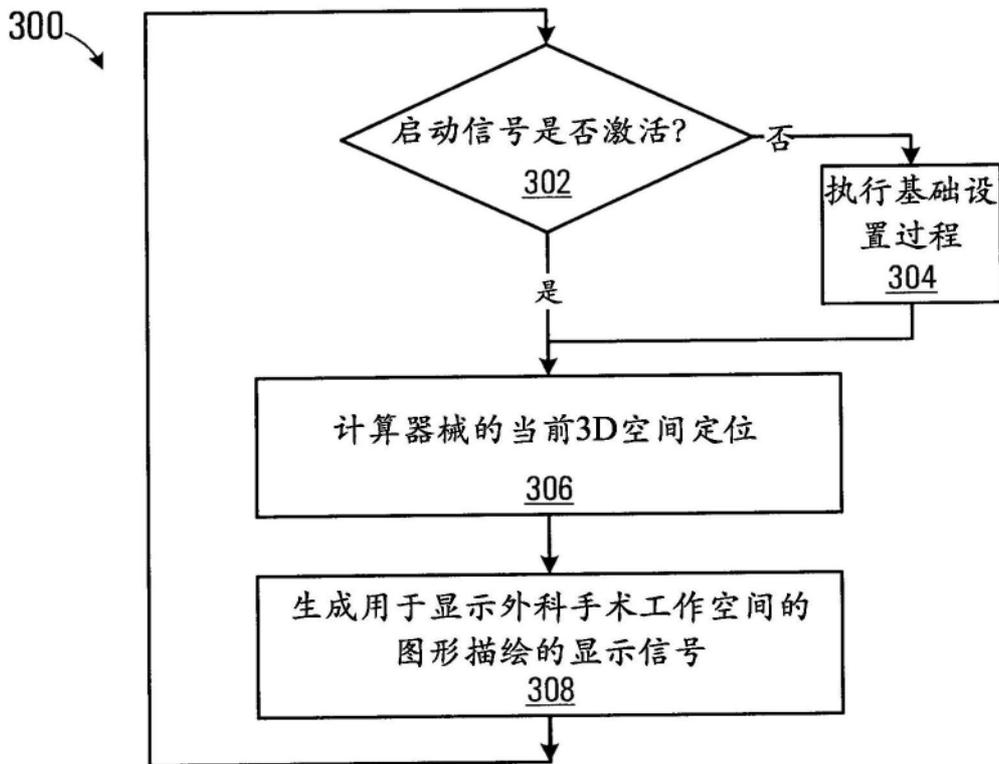


图4

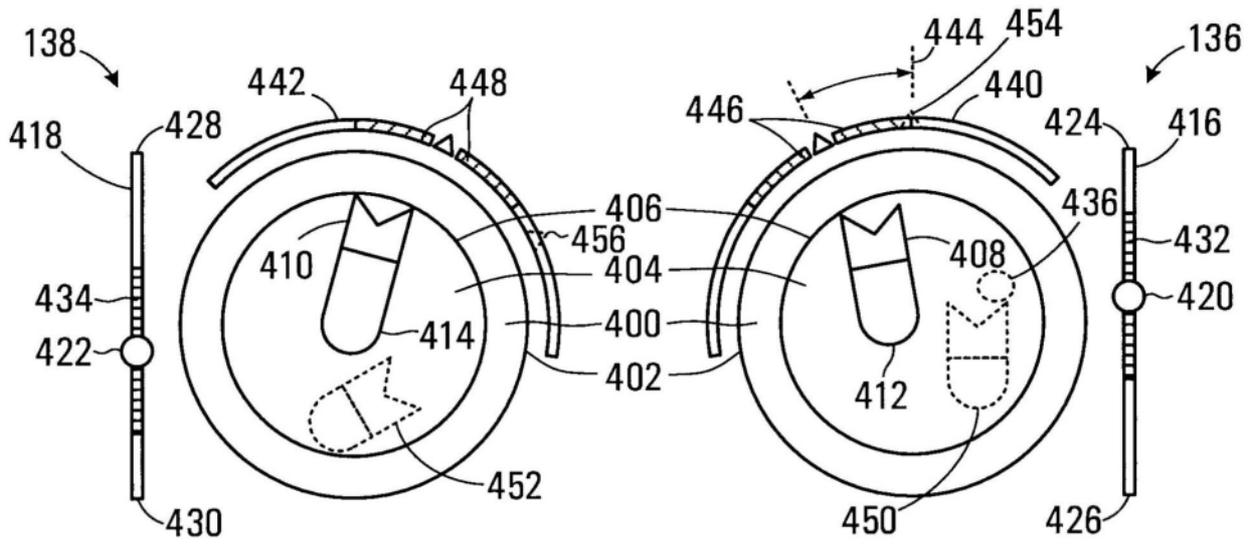


图5

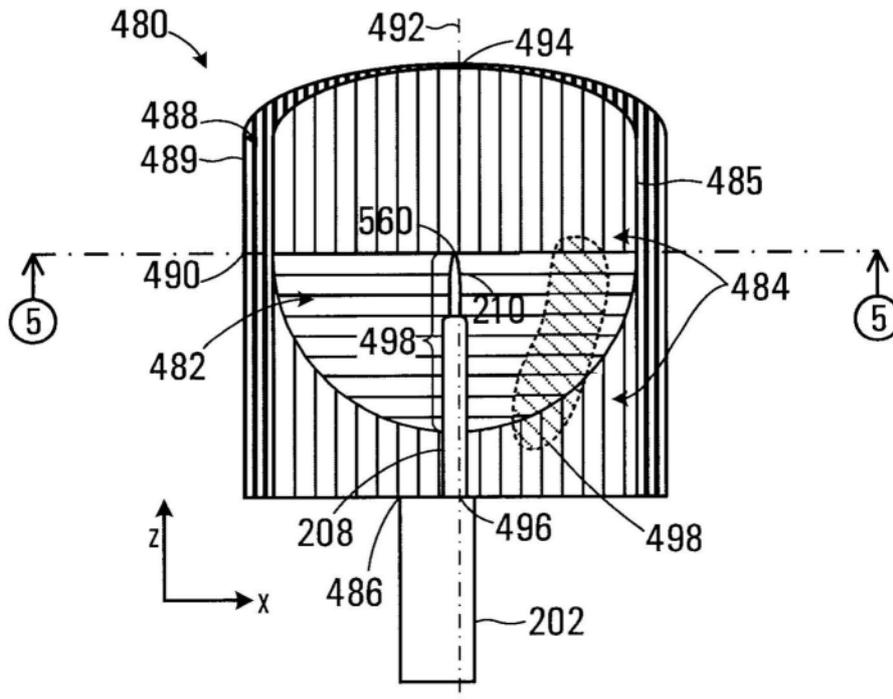


图6

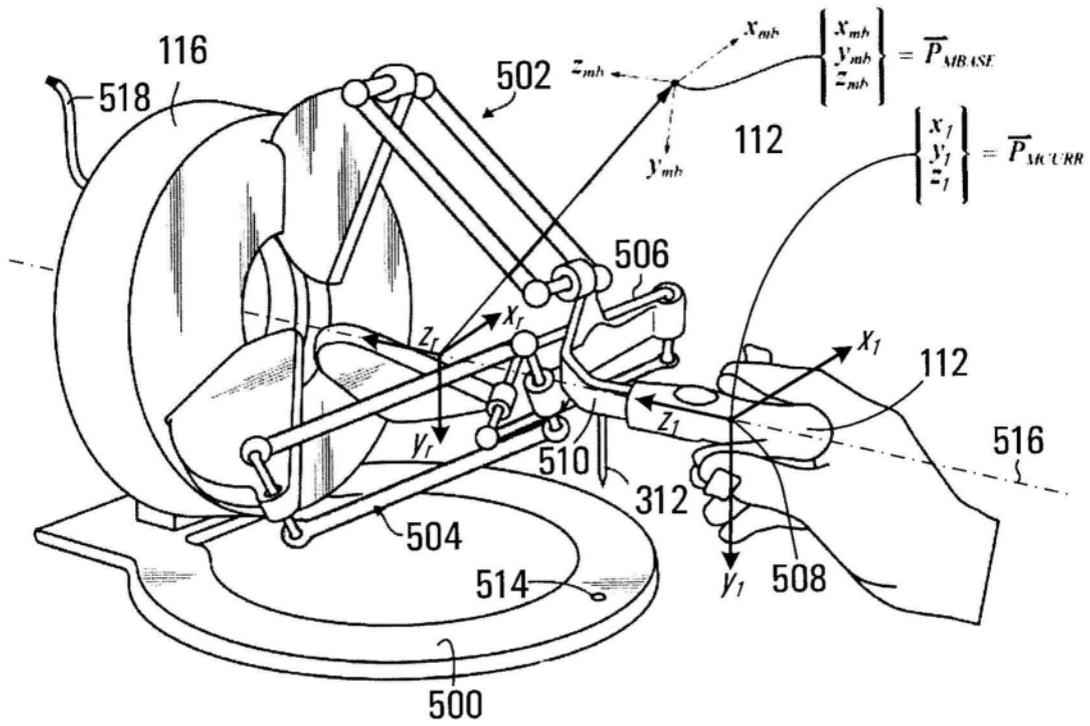


图7

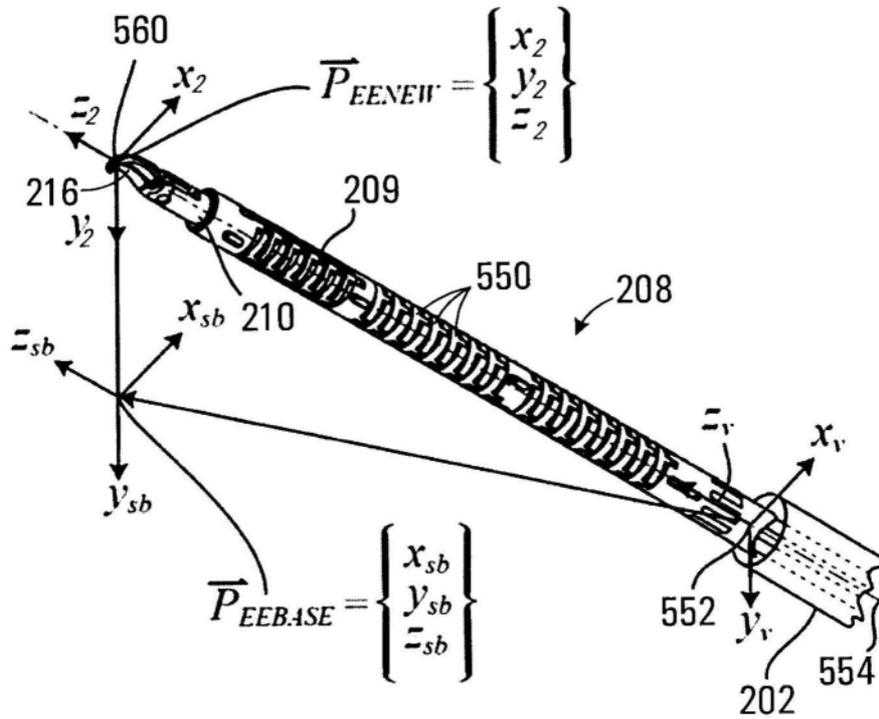


图8

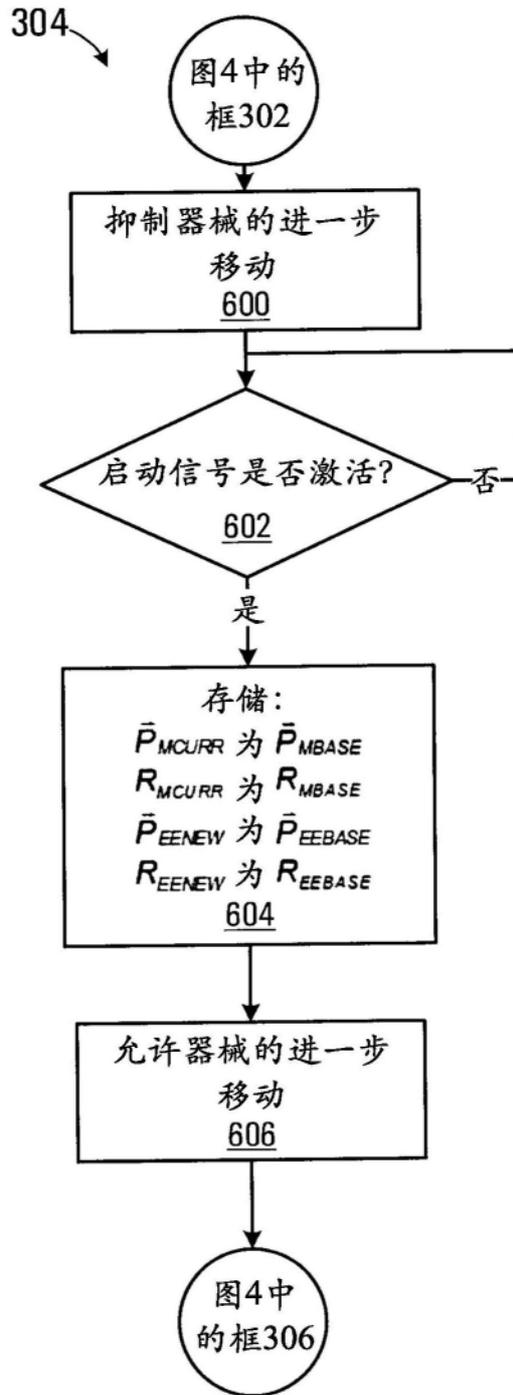


图9

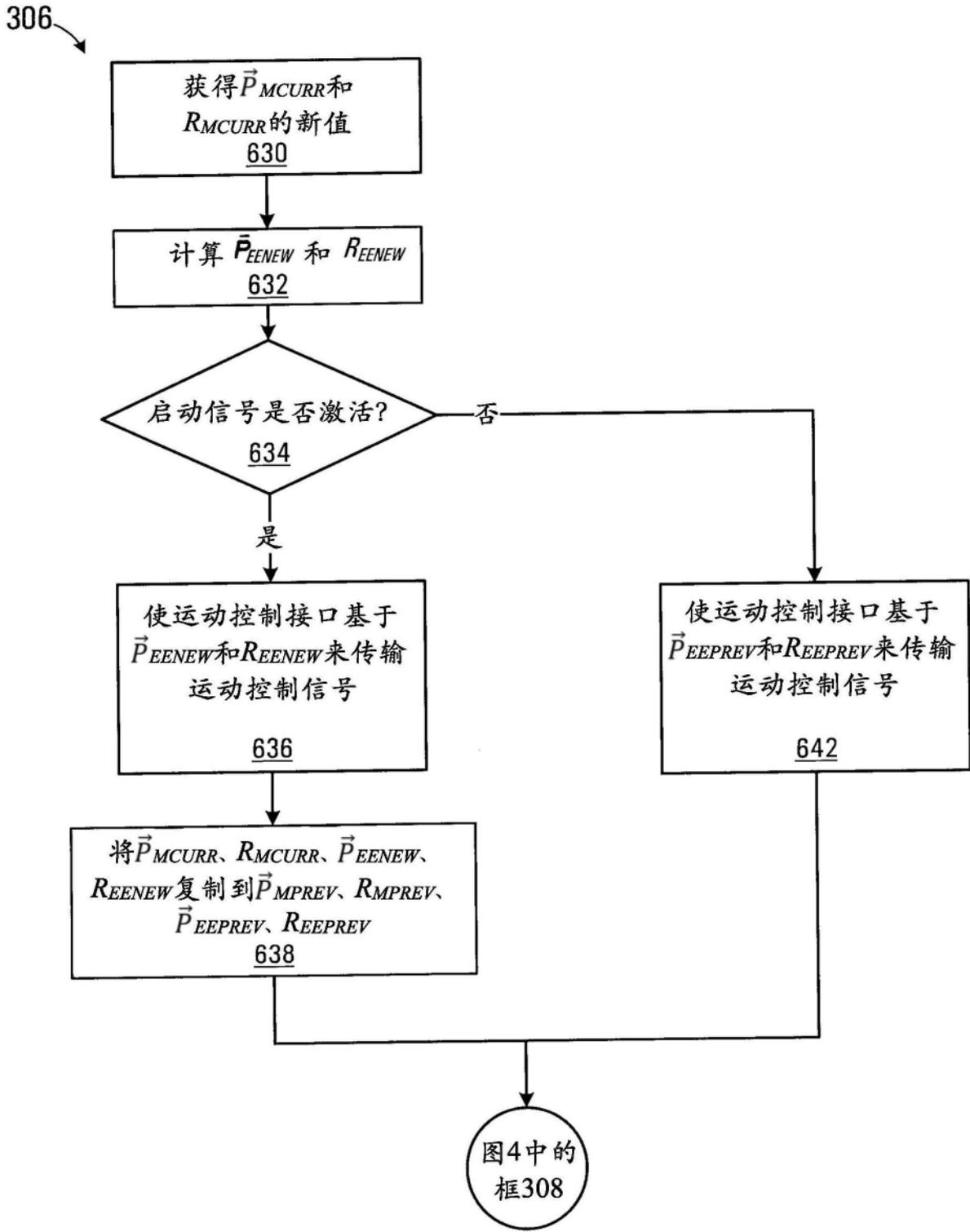


图10

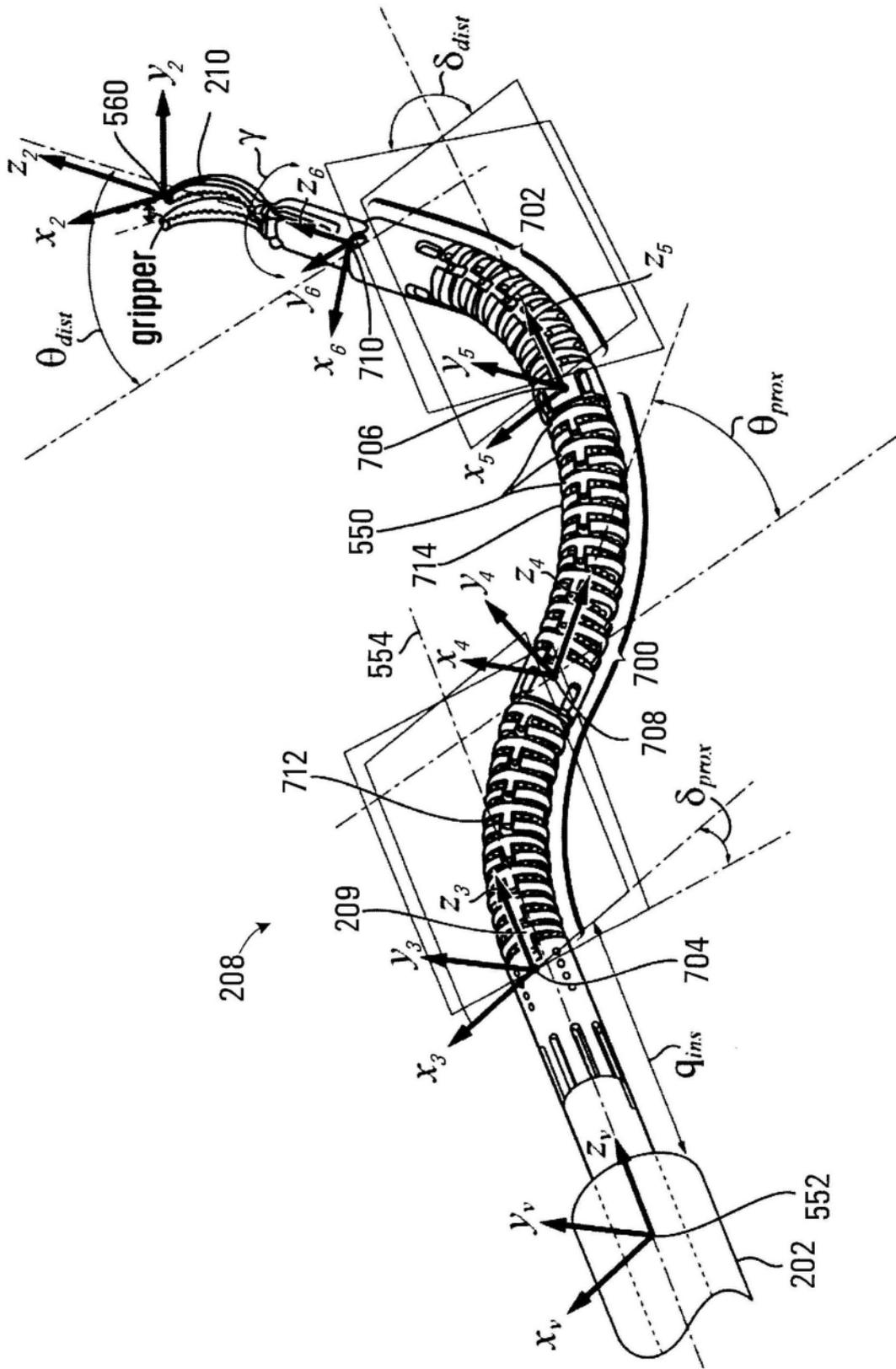


图11

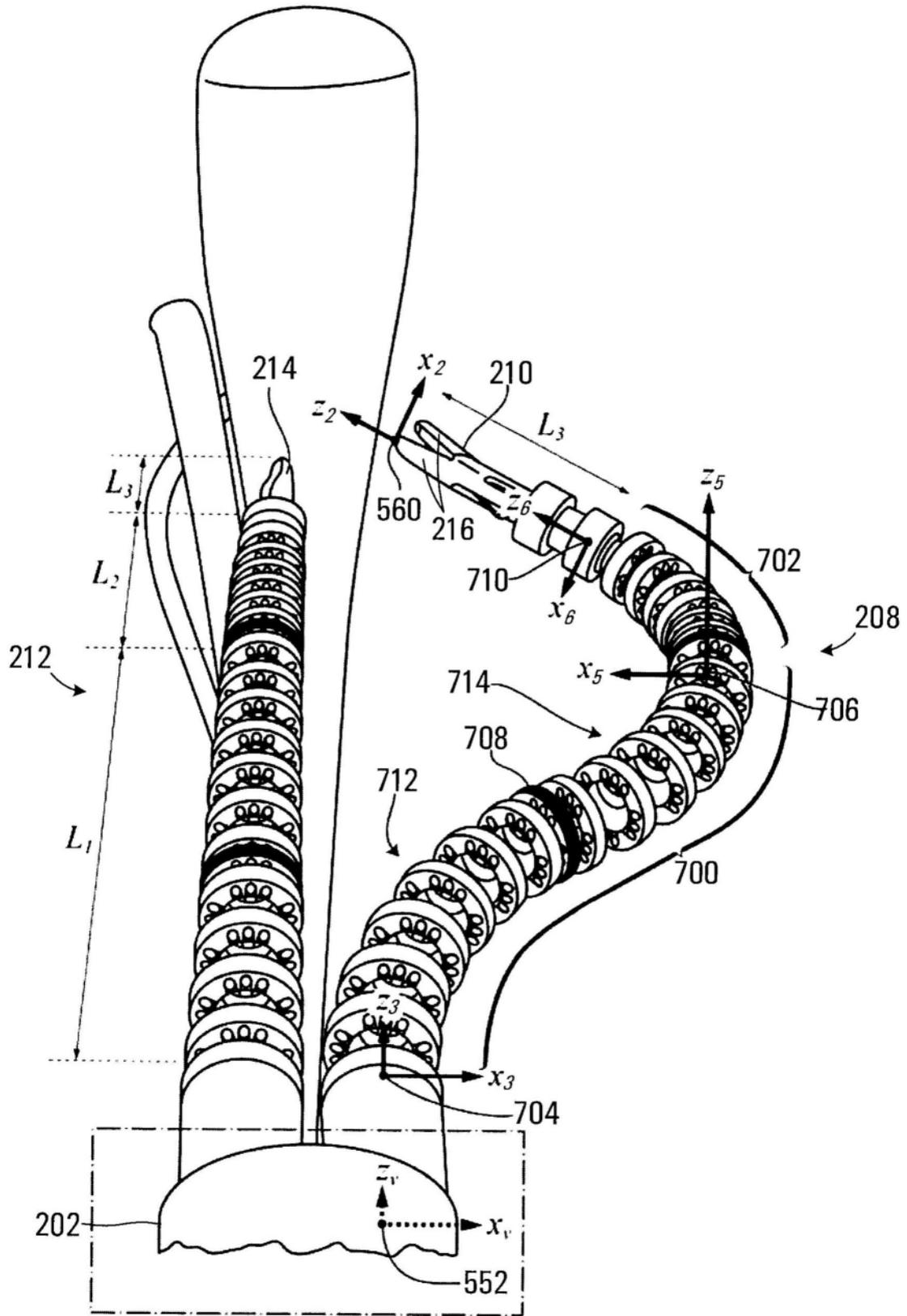


图12

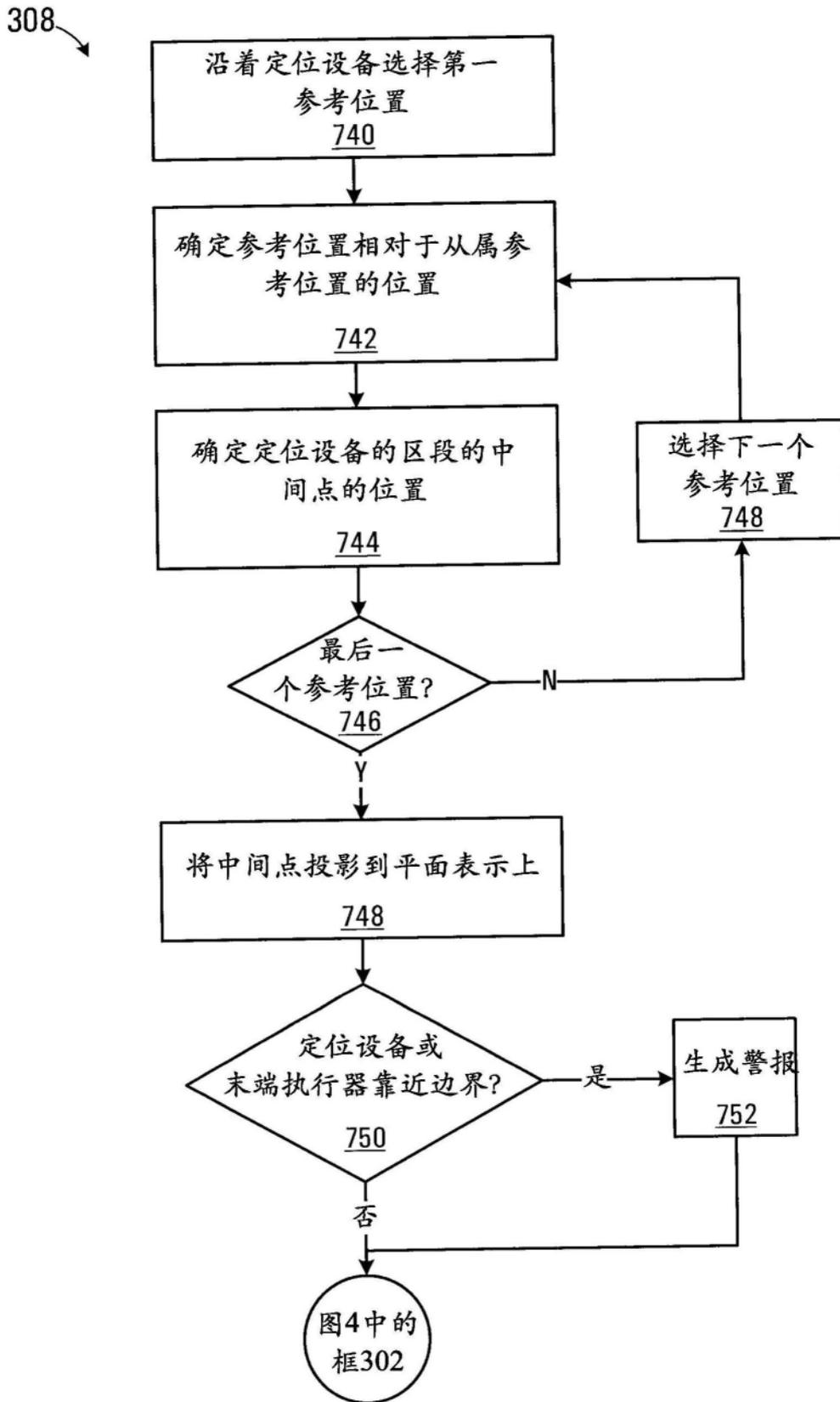


图13

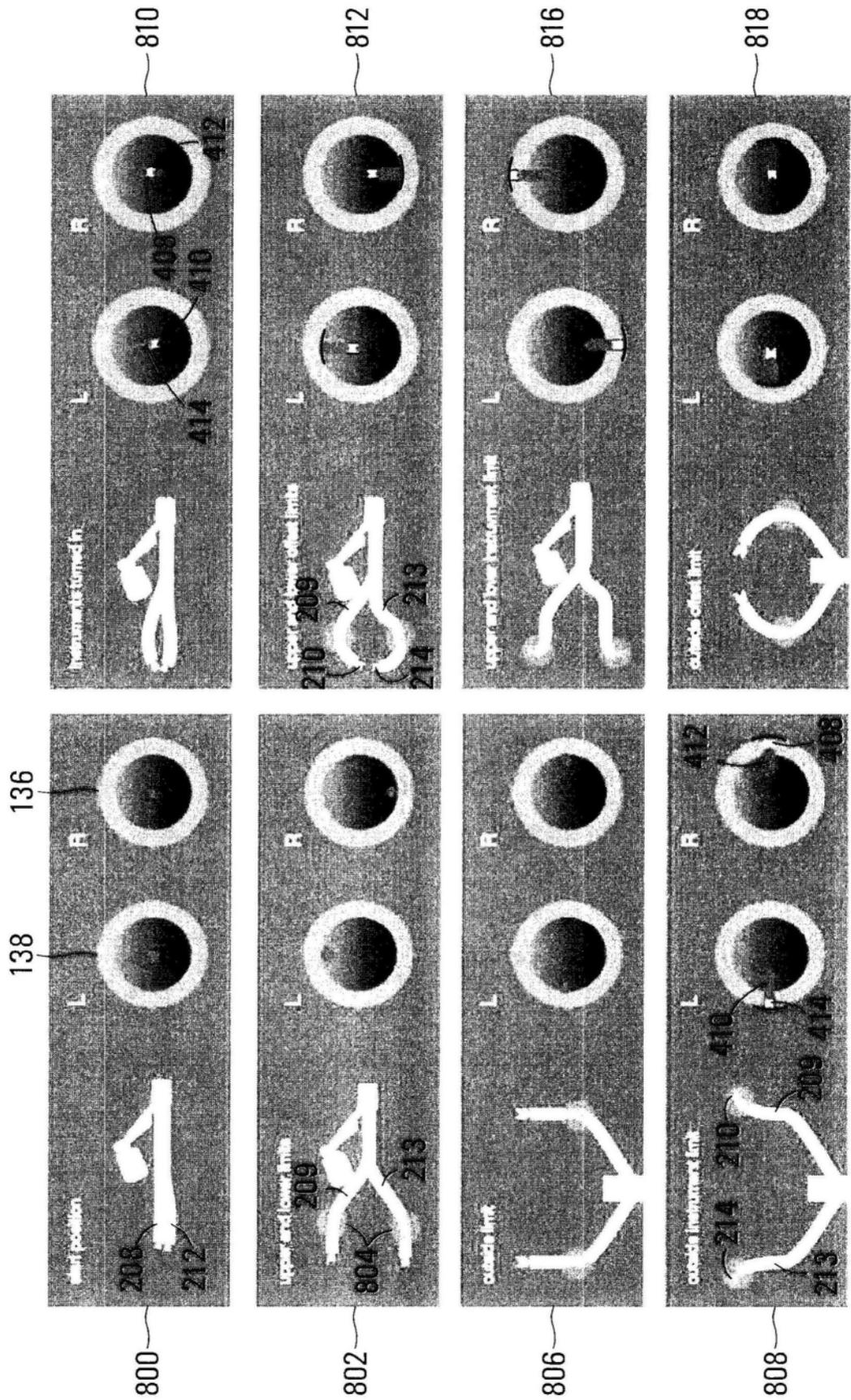


图14