



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115916093 A

(43) 申请公布日 2023. 04. 04

(21) 申请号 202180045092.3

(22) 申请日 2021.09.08

(30) 优先权数据

63/075,615 2020.09.08 US

63/085,651 2020.09.30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.12.23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/049440 2021.09.08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/055980 EN 2022.03.17

(71) 申请人 马科外科手术公司

地址 美国佛罗里达

(72) 发明人 N·J·波斯特 M·D·多泽曼

R·T·德卢卡 T·J·博宗

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

专利代理师 王丽军

(51) Int.Cl.

A61B 34/30 (2006.01)

A61B 17/16 (2006.01)

A61B 17/14 (2006.01)

A61B 17/15 (2006.01)

A61B 34/10 (2006.01)

A61B 34/20 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

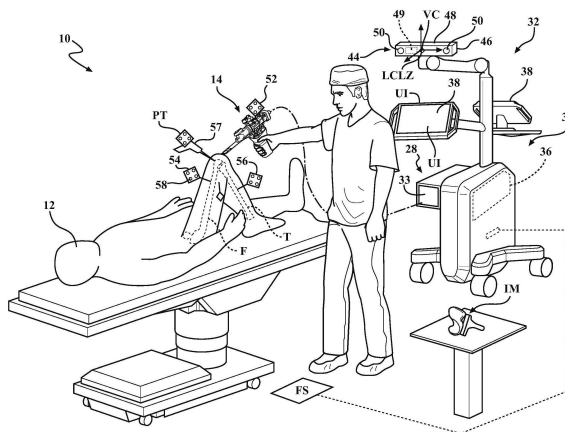
权利要求书15页 说明书77页 附图41页

(54) 发明名称

用于引导手持医疗机器人器械的移动的系统和方法

(57) 摘要

本教导提供了一种与锯片或其他外科工具一起使用的手持机器人系统。手持机器人系统还包括器械，器械具有手持部分、通过多个致动器联接到手持部分的刀片支撑，所述致动器被配置用于使刀片支撑或工具支撑相对于手持部分在多个自由度上移动。该系统包括定位器和耦合到定位器和多个致动器的控制系统。控制系统被配置用于控制所述多个致动器和/或工具驱动电机中的每一个。



1. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:
器械,其包括由用户握持的手持部分;
刀片支撑,其被联接到手持部分以支撑锯片,刀片支撑包括锯驱动电机;
致动器组件,其操作地互连刀片支撑与手持部分以使刀片支撑相对于手持部分在多个自由度上移动来对准锯片,所述致动器组件包括多个致动器;
定位器;
控制系统,其耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机,所述控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片的目标姿态和手持部分的姿态;
所述控制系统包括:
引导处理器,用于基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;
约束求解器,用于基于所述引导约束计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力;
虚拟模拟器,用于基于所述约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态;
所述控制系统还被配置用于:
基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;并且
基于命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述目标姿态包括目标坐标系,并且所述锯片包括引导坐标系,所述约束力适于使所述引导坐标系朝向所述目标坐标系移动。
3. 根据权利要求1-2中任一项所述的系统,其中,所述控制系统还被配置用于:基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度控制所述多个致动器中的每一个致动器。
4. 根据权利要求1-3中任一项所述的系统,其中,所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。
5. 根据权利要求1-4中任一项所述的系统,还包括患者跟踪器,所述患者跟踪器适于在所述已知坐标系中跟踪所述患者的一部分,所述已知坐标系是相对于所述患者跟踪器定义的。
6. 根据权利要求1-5中任一项所述的系统,其中,所述控制系统还被配置用于确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置,并确定锯片的姿态,其中,所述控制系统被配置用于基于锯片的姿态和所述多个致动器中的每一个致动器的位置来确定手持部分的姿态。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述多个致动器中的每一个致动器包括用于测量所述多个致动器中的每一个致动器的位置的编码器。
8. 根据权利要求6-7中任一项所述的系统,还包括耦合到刀片支撑的跟踪器,其中,所述控制系统被配置用于在所述已知坐标系中确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,并且基于锯片的姿态基于耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态来确定锯片的姿态。
9. 根据权利要求1-8中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于在所述已知坐标系中确定锯片的姿态,其中,所述引导约束具有调整参数的值,并且其中,所述控制系统被配置用于基于锯片的目标姿态和锯片的姿态之间的关系来改变调整参数的值。
10. 根据权利要求1-9中任一项所述的系统,其中,所述虚拟模拟器被进一步限定为被

配置用于基于所述引导约束和外力的值来计算所述约束力。

11. 根据权利要求1-10中任一项所述的系统, 其中, 所述控制系统被配置用于在所述已知坐标系中接收植入物的计划姿态, 并且其中所述锯片的目标姿态是基于所述植入物的计划姿态的。

12. 根据权利要求1-11中任一项所述的系统, 其中, 所述控制系统还被配置用于确定接头定心约束并基于所述接头定心约束来控制所述多个致动器。

13. 根据权利要求12所述的系统, 其中, 所述约束求解器被配置用于基于所述引导约束并且基于所述接头定心约束来计算所述约束力。

14. 根据权利要求13所述的系统, 其中, 所述引导约束具有调整参数的第一值, 并且所述接头定心约束具有调整参数的第二值, 所述第一值不同于所述第二值, 使得与接头定心约束的情况相比, 在引导约束的情况下生成的约束力适于更坚固地对准锯片。

15. 根据权利要求1-14中任一项所述的系统, 其中, 所述命令姿态是手持部分和锯片之间的关系。

16. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括:

器械, 所述器械包括:

由用户握持的手持部分;

刀片支撑, 其被联接到手持部分以支撑锯片, 刀片支撑包括锯驱动电机;

致动器组件, 其操作地互连刀片支撑与手持部分以使刀片支撑相对于手持部分在多个自由度上移动来将锯片置于期望平面中, 所述致动器组件包括多个致动器;

定位器;

控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机, 所述控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片的目标姿态和手持部分的姿态;

所述控制系统包括:

引导处理器, 用于基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;

约束求解器, 用于基于所述引导约束计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力;

虚拟模拟器, 用于基于所述约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态;

所述控制系统还被配置用于:

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度; 并且

基于命令接头位置和/或命令接头角度控制所述多个致动器中的每一个致动器。

17. 根据权利要求16所述的系统, 其中, 所述控制系统还被配置用于基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度, 并且基于所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

18. 根据权利要求16-17中任一项所述的系统, 其中, 所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。

19. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法, 所述机器人系统包括定位器和手持器械, 所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持

部分以支撑锯片的刀片支撑,致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分,所述致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,所述方法包括下述步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

在所述已知坐标系中确定手持部分的姿态;

基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;

基于引导约束计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力;

基于来自约束力的输入在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学,并基于所述虚拟模拟输出命令姿态;以及

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;以及

基于所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。

20. 根据权利要求19所述的方法,还包括在所述已知坐标系中用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,所述已知坐标系是相对于所述患者跟踪器定义的。

21. 根据权利要求19-20中任一项所述的方法,还包括确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置,以及确定锯片的姿态,并且确定手持部分的姿态的步骤是基于锯片的姿态和所述多个致动器中的每一个致动器的位置进行的。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置的步骤被进一步限定为:利用耦合到所述多个致动器中的每一个致动器的编码器来测量所述多个致动器中的每一个致动器的位置。

23. 根据权利要求21-22中任一项所述的方法,还包括在所述已知坐标系中确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,以及基于耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态来确定锯片的姿态。

24. 根据权利要求19-23中任一项所述的方法,还包括:在所述已知坐标系中确定耦合到手持部分的跟踪器的姿态;以及基于耦合到手持部分的跟踪器的姿态确定手持部分的姿态。

25. 根据权利要求19-24中任一项所述的方法,其中,确定锯片的目标姿态的步骤被进一步限定为在至少三个自由度上定义所述目标姿态。

26. 根据权利要求19-25中任一项所述的方法,其中,所述目标姿态包括目标坐标系,所述锯片包括引导坐标系,所述约束力被适于使所述引导坐标系朝向所述目标坐标系移动。

27. 根据权利要求19-26中任一项所述的方法,还包括在所述已知坐标系中确定锯片的姿态,并且其中所述引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于锯片的目标姿态和锯片的姿态之间的关系改变调整参数的值。

28. 根据权利要求19所述的方法,其中,模拟动力学的步骤被进一步限定为基于所述引导约束和外力的值来计算所述约束力。

29. 根据权利要求19所述的方法,还包括在所述已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中,所述锯片的目标姿态是基于所述植入物的计划姿态的。

30. 根据权利要求19-29中任一项所述的方法,还包括确定接头定心约束;以及基于接头定心约束控制所述多个致动器。

31. 根据权利要求30所述的方法,还包括:基于引导约束并且基于接头定心约束来计算适于将所述虚拟锯片朝向所述目标姿态移动的约束力;以及

基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态,其中,控制所述多个致动器以朝向锯片的目标姿态移动被进一步限定为基于所述命令姿态命令所述多个致动器来对准锯片。

32.根据权利要求31所述的方法,其中,所述引导约束具有调整参数的第一值,并且所述接头定心约束具有调整参数的第二值,所述第一值不同于所述第二值,使得与接头定心约束的情况相比,在引导约束的情况下生成的约束力适于更坚固地对准锯片。

33.根据权利要求19-32中任一项所述的方法,其中,所述命令姿态是手持部分和锯片之间的关系。

34.根据权利要求19-33中任一项所述的方法,还包括:基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每一个致动器的所述命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

35.一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:

器械,所述器械包括:

由用户握持的手持部分和联接到手持部分的刀片支撑,刀片支撑包括用于驱动锯片的运动的锯驱动电机;

致动器组件,其操作地互连刀片支撑与手持部分,以移动刀片支撑使锯片相对于手持部分在多个自由度上对准来对准锯片,致动器组件包括多个致动器,可选地,其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分;

定位器;和

控制系统,其耦合到所述多个致动器、锯驱动电机和定位器,所述控制系统被配置用于:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置;

基于所述多个致动器中的每一个致动器的位置确定手持部分的姿态;

基于手持部分的姿态和锯片的目标姿态确定锯片的命令姿态;

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;并且

基于命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。

36.根据权利要求35所述的系统,还包括患者跟踪器,所述患者跟踪器适于在所述已知坐标系中跟踪所述患者的一部分,所述已知坐标系是相对于所述患者跟踪器定义的。

37.根据权利要求35-36中任一项所述的系统,其中,所述控制系统还被配置用于确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置,并确定所述锯片的姿态,其中,所述控制系统被配置用于基于锯片的姿态和所述多个致动器中的每一个致动器的位置来确定手持部分的姿态。

38.根据权利要求37所述的系统,其中,所述多个致动器中的每一个致动器包括用于测量所述多个致动器中的每一个致动器的位置的编码器。

39.根据权利要求37-38中任一项所述的系统,还包括耦合到刀片支撑的跟踪器,并且其中,所述控制系统被配置用于在所述已知坐标系中确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,并且基于锯片的姿态基于耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态来确定锯片的姿态。

40.根据权利要求35-39中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于在所述

已知坐标系中接收植入物的计划姿态,并且其中所述锯片的目标姿态是基于所述植入物的计划姿态的。

41.根据权利要求35-40中任一项所述的系统,其中,所述命令姿态是手持部分和锯片之间的关系。

42.根据权利要求35-41中任一项所述的系统,其中,所述控制系统还被配置用于基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

43.一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,所述机器人系统包括定位器和手持器械,所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑,致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,所述方法包括下述步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置;

基于所述多个致动器中的每一个致动器的位置确定手持部分的姿态;

基于手持部分的姿态和锯片的目标姿态确定锯片的命令姿态;

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;以及

基于命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。

44.根据权利要求43所述的方法,还包括在所述已知坐标系中用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,所述已知坐标系是相对于所述患者跟踪器定义的。

45.根据权利要求43-44中任一项所述的方法,还包括确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置,以及确定所述锯片的姿态,并且确定手持部分的姿态的步骤是基于锯片的姿态和所述多个致动器中的每一个致动器的位置进行的。

46.根据权利要求45所述的方法,其中,确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置的步骤被进一步限定为利用耦合到所述多个致动器中的每一个致动器的编码器来测量所述多个致动器中的每一个致动器的位置。

47.根据权利要求45-46中任一项所述的方法,还包括在所述已知坐标系中确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,以及基于耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态来确定锯片的姿态。

48.根据权利要求43-47中任一项所述的方法,还包括在所述已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中所述锯片的目标姿态是基于所述植入物的计划姿态的。

49.根据权利要求43-48中任一项所述的方法,还包括基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,以及基于所述多个致动器中的每一个致动器的所述命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

50.根据权利要求43-49中任一项所述的方法,其中,确定锯片的目标姿态的步骤被进一步限定为在至少三个自由度上定义所述目标姿态。

51.一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:

器械,所述器械包括:

由用户握持的手持部分和联接到手持部分的工具支撑,所述工具支撑包括用于驱动工具的运动的工具驱动电机;

致动器组件,其操作地互连工具支撑与手持部分,以移动工具支撑使工具相对于手持

部分在多个自由度上移动来对准工具,致动器组件包括多个致动器,可选地,其中,所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分;

定位器;和

控制系统,其耦合到所述多个致动器和定位器,所述控制系统配置用于:

在已知坐标系中确定手持部分的姿态、工具的目标姿态和边界;

基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定命令姿态;

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度;

基于每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度来控制所述多个致动器中的每一个致动器;

基于至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置、至少一个致动器的命令接头角度、至少一个致动器的测量接头角度、至少一个致动器的先前命令接头角度、至少一个致动器的先前测量接头角度或它们的组合来控制工具驱动电机。

52. 根据权利要求51所述的系统,其中,所述控制系统还被配置用于基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每一个致动器的所述命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

53. 根据权利要求51-52中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于基于所述至少一个致动器的先前命令位置或其组合来控制所述工具驱动电机。

54. 根据权利要求51-53中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于将所述多个致动器中的第一致动器的命令接头位置与所述第一致动器的第一电机超控极限进行比较,并且基于所述比较来控制工具驱动电机。

55. 根据权利要求54所述的系统,其中,所述第一电机超控极限包括上阈值和下阈值。

56. 根据权利要求54-55中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于基于所述多个致动器中的第二致动器的命令接头位置和所述第二致动器的第二电机超控极限来控制所述工具驱动电机。

57. 根据权利要求54-56中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于通过将所述工具驱动电机的电机参数控制在第一值和第二值来控制所述驱动电机,其中所述第一值不同于所述第二值,所述控制器可操作以基于第一致动器的命令接头位置和第一电机超控极限而将操作从第一值改变到第二值。

58. 根据权利要求51-57中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于控制所述工具驱动电机被进一步限定为被配置用于使所述工具驱动电机停止。

59. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:

器械,所述器械包括:

由用户握持的手持部分;

刀片支撑,其联接到手持部分以支撑锯片,刀片支撑包括锯驱动电机;

致动器组件,其操作地互连刀片支撑与手持部分,以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片支撑来对准锯片,致动器组件包括多个致动器;

定位器;

控制系统,其耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机,所述控制系统被配置用于:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态和手持部分的姿态;

基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态控制所述多个致动器中的每一个致动器;以及

基于至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制锯驱动电机。

60.一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动以将锯片放置在期望平面上的方法,所述机器人系统包括定位器和手持器械,所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑,操作地互连刀片支撑与手持部分的致动器组件,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,所述方法包括以下步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

在所述已知坐标系中确定手持部分的姿态;

基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态确定命令姿态;

基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;

基于每一个致动器的命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器;以及

基于至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制锯驱动电机。

61.根据权利要求60所述的方法,控制锯驱动电机的步骤被限定为基于所述至少一个致动器的先前命令位置或其组合来控制所述锯驱动电机。

62.根据权利要求61所述的方法,其中,控制锯驱动电机的步骤被进一步限定为将所述多个致动器中的第一致动器的命令接头位置与所述第一致动器的第一电机超控极限进行比较。

63.根据权利要求62所述的方法,其中,所述第一电机超控极限包括上阈值和下阈值。

64.根据权利要求62-63中任一项所述的方法,其中,控制锯驱动电机的步骤被进一步限定为基于所述多个致动器中的第二致动器的命令接头位置和所述第二致动器的第二电机超控极限来控制锯驱动电机。

65.根据权利要求62-64中任一项所述的方法,其中,控制锯驱动电机的步骤包括将锯驱动电机的电机参数控制在第一值和第二值,其中第一值不同于第二值,控制器可操作以基于所述第一致动器的命令接头位置和第一电机超控极限而将操作从第一值改变到第二值。

66.根据权利要求62-65中任一项所述的方法,其中,基于命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制锯驱动电机被进一步限定为使锯驱动电机停止。

67.根据权利要求62-66中任一项所述的方法,还包括基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,以及基于所述多个致动器中的每一个致动器的所述命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

68.一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动以对准锯片的方法,所述机器人系统包括定位器和手持器械,所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地

联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑,致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,所述方法包括以下步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

在已知坐标系中确定手持部分的姿态;

基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态控制所述多个致动器中的每一个致动器;以及

基于至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制锯驱动电机。

69. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:

器械,所述器械包括:

锯片;

手持部分;

包括多个致动器的致动器系统;

用于支撑锯和移动锯的刀片支撑,所述多个致动器在刀片支撑和手持部分之间延伸,刀片支撑包括锯驱动电机;

定位器;

控制系统,其耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机,所述控制系统被配置用于在已知坐标系中确定锯片的目标姿态、锯片的状态、和手持部分的姿态,所述控制系统包括:

引导处理器,用于基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束,其中所述引导约束具有调整参数的值,所述引导处理器被配置用于基于锯片的状态改变调整参数的值;

约束求解器,用于基于引导约束计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力;和

虚拟模拟器,用于基于来自约束力的输入在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学,并输出命令姿态,其中,所述控制系统被配置用于基于所述命令姿态命令所述多个致动器来对准锯片。

70. 根据权利要求69所述的系统,其中,所述引导约束的调整参数影响所述引导约束的刚度或阻尼。

71. 根据权利要求69-70中任一项所述的系统,其中,所述锯片的目标姿态在所述已知坐标系中由第一自由度上的位置、第一角度和第二角度限定定义。

72. 根据权利要求69-71中任一项所述的系统,其中,所述锯片的状态在所述已知坐标系中包括位置、定向或姿态。

73. 根据权利要求72所述的系统,其中,所述目标姿态包括位置和定向,其中引导处理器还被配置用于在所述已知坐标系中确定锯片的定向和锯片的目标定向之间的角度,确定锯片的位置和锯片的目标位置之间的距离,或者确定角度和距离两者,并且被配置用于基于角度的值、距离的值、或者角度的值和距离的值两者来改变调整参数的值。

74. 根据权利要求69-73中任一项所述的系统,其中,所述锯片的状态在已知坐标系中被进一步限定为命令姿态、锯片的先前命令姿态、锯片的测量姿态、或锯片的先前测量姿态。

75. 根据权利要求69-74中任一项所述的系统,其中,所述锯片的状态在所述已知坐标

系中被进一步限定为所述锯片的先前命令姿态。

76. 根据权利要求69-75中任一项所述的系统, 其中, 所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。

77. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法, 所述机器人系统包括定位器和手持器械, 所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑, 致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分, 致动器组件包括多个致动器, 刀片支撑包括锯驱动电机, 所述方法包括以下步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

在已知坐标系中确定锯片的状态;

基于锯片的状态确定调整参数的值;

基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态并且基于调整参数的值, 生成引导约束;

基于引导约束计算适于移动虚拟锯片的约束力;

基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学, 并基于虚拟模拟输出命令姿态; 以及

基于命令姿态控制所述多个致动器中的每一个致动器。

78. 根据权利要求77所述的方法, 其中, 所述锯片的状态是先前命令姿态。

79. 根据权利要求77-78中任一项所述的方法, 其中, 所述引导约束的调整参数影响所述引导约束的刚度或阻尼。

80. 根据权利要求77-79中任一项所述的方法, 其中, 所述锯片的目标姿态在所述已知坐标系中由第一自由度上的位置、第一角度和第二角度定义。

81. 根据权利要求77-81中任一项所述的方法, 其中, 所述锯片的状态在所述已知坐标系中包括位置、定向或姿态。

82. 根据权利要求77-81中任一项所述的方法, 其中, 所述目标姿态包括位置和定向, 所述方法还包括在所述已知坐标系中确定锯片的定向和锯片的目标定向之间的角度, 确定锯片的位置和锯片的目标位置之间的距离, 或者确定角度和距离两者, 并且被配置用于基于角度的值、距离的值、或角度的值和距离的值两者来改变调整参数的值。

83. 根据权利要求77-82中任一项所述的方法, 其中, 所述锯片的状态在所述已知坐标系中被进一步限定为命令姿态、锯片的先前命令姿态、锯片的测量姿态、或锯片的先前测量姿态。

84. 根据权利要求83所述的系统, 其中, 所述锯片的状态在所述已知坐标系中被进一步限定为锯片的先前命令姿态。

85. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括:

器械, 所述器械包括:

由用户握持的手持部分;

联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑, 刀片支撑包括锯驱动电机;

致动器组件, 其操作地互连刀片支撑与手持部分以使刀片支撑相对于手持部分在多个自由度上移动以将锯片放置在期望平面上, 致动器组件包括多个致动器;

定位器;

控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机, 所述控制系统被配置用

于:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态、锯片的状态,以及

确定参考坐标系相对于所述已知坐标系的位置和/或定向;

基于锯片的状态与参考坐标系的关系确定第一约束的状态,基于锯片的状态与参考坐标系的关系确定第二约束的状态,所述第一约束不同于所述第二约束;

所述控制系统还包括:

约束求解器,用于基于所述第一约束的状态并且基于所述第二约束来计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力;

虚拟模拟器,用于基于约束力而在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态;和

所述控制系统还被配置用于基于命令姿态控制每一个致动器。

86. 根据权利要求85所述的系统,还包括用户输入设备,所述控制系统被配置用于基于从所述用户输入设备接收的用户输入信号来改变所述第一约束和/或所述第二约束的状态。

87. 根据权利要求85-86中任一项所述的系统,其中,所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。

88. 根据权利要求85-87中任一项所述的系统,其中,所述第一约束的状态被选自包括以下的组:

所述第一约束的起作用状态、所述第一约束的不起作用状态、所述第一约束具有调整参数的第一值、以及第一约束具有调整参数的第二值;并且其中,所述第二约束的状态被选自包括以下的组:所述第二约束的起作用状态、第二约束的不起作用状态、第二约束具有调整参数的第三值、以及第二约束具有调整参数的第四值。

89. 根据权利要求88所述的系统,其中,所述第一约束是引导约束,并且所述第二约束是接头定心约束。

90. 根据权利要求85-89中任一项所述的系统,其中,所述锯片的第一状态和所述锯片的第二状态在所述已知坐标系中包括位置、定向或姿态。

91. 根据权利要求85-90中任一项所述的系统,其中,所述锯片的状态被进一步限定为在第一时刻的所述锯片的第一状态和在第二时刻的所述锯片的第二状态,其中所述锯片的第一状态与所述锯片的第二状态不同,并且第一时刻与第二时刻不同,其中第一约束的状态在锯片的第一状态下是不起作用的并且在锯片的第二状态下是起作用的,并且其中所述第二约束的状态在锯片的第一状态下是起作用的并且在锯片的第二状态下是不起作用的。

92. 根据权利要求85-91中任一项所述的系统,其中,所述锯片的状态被进一步限定为在第一时刻的所述锯片的第一状态和在第二时刻的所述锯片的第二状态,其中锯片的第一状态不同于锯片的第二状态并且第一时刻不同于第二时刻,其中所述第一约束的状态在锯片的第一状态下具有调整参数的第一值并且在锯片的第二状态下具有调整参数的第二值,并且其中所述第二约束的状态在锯片的第一状态下具有调整参数的第三值并且在锯片的第二状态下具有调整参数的第四值。

93. 根据权利要求85-92中任一项所述的系统,其中,所述控制系统被配置用于基于所述锯片的第一状态和所述参考坐标系确定第一距离参数,并且基于所述锯片的第二状态和

所述参考坐标系确定第二距离参数,其中第一和第二距离参数选自包括方向和大小的组,并且其中,基于锯片的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第一约束的第一状态,并且其中,基于锯片的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第一约束的第二状态。

94. 根据权利要求93所述的系统,其中,基于锯片的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第二约束的第一状态,并且其中,基于锯片的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第二约束的第二状态。

95. 根据权利要求93-94中任一项所述的系统,其中,所述第一距离参数和所述第二距离参数分别从远离骨骼的方向和进入骨骼的方向中选择。

96. 根据权利要求85-95中任一项所述的系统,其中,所述调整参数的第一值和第二值由函数定义。

97. 根据权利要求96所述的系统,其中,所述函数基于在至少一个自由度上所述锯片相对于所述参考坐标系的距离和/或角度。

98. 根据权利要求85-97中任一项所述的系统,其中,所述第一约束的状态和/或所述第二约束的状态是由函数定义的。

99. 根据权利要求98所述的系统,其中,所述函数基于在至少一个自由度上所述锯片相对于所述参考坐标系的距离和/或角度。

100. 根据权利要求85所述的系统,其中,所述第一约束的状态和/或所述第二约束的状态是由查找表定义的。

101. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,所述机器人系统包括定位器和手持器械,所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑,致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,所述方法包括以下步骤:

在已知坐标系中确定锯片的目标姿态;

确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向;

在已知坐标系中确定锯片的状态;

基于锯片的状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态;

基于锯片的状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态,所述第一约束不同于所述第二约束;

基于第一约束的状态和/或第二约束的状态计算适于移动虚拟锯片的约束力;

基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学,并基于虚拟模拟输出命令姿态;以及

基于命令姿态控制所述多个致动器中的每一个致动器。

102. 根据权利要求101所述的方法,其中,所述第一约束的状态被选自包括下述的组:

所述第一约束的起作用状态、所述第一约束的不起作用状态、所述第一约束具有调整参数的第一值、以及所述第一约束具有调整参数的第二值;并且其中所述第二约束的状态被选自包括下述的组:所述第二约束的起作用状态、所述第二约束的不起作用状态、所述第

二约束具有调整参数的第三值、以及所述第二约束具有调整参数的第四值。

103. 根据权利要求102所述的方法, 其中, 所述第一约束是引导约束, 并且所述第二约束是接头定心约束。

104. 根据权利要求103所述的方法, 其中, 所述锯片的第一状态和所述锯片的第二状态在所述已知坐标系中包括位置、定向或姿态。

105. 根据权利要求104所述的方法, 其中, 所述锯片的状态被进一步限定为在第一时刻的所述锯片的第一状态和在第二时刻的所述锯片的第二状态, 其中所述锯片的第一状态与所述锯片的第二状态不同, 并且第一时刻与第二时刻不同, 其中第一约束的状态在锯片的第一状态下是不起作用的并且在锯片的第二状态下是起作用的, 并且其中所述第二约束的状态在锯片的第一状态下是起作用的并且在锯片的第二状态下是不起作用的。

106. 根据权利要求104-105中任一项所述的方法, 其中, 所述锯片的状态被进一步限定为在第一时刻的所述锯片的第一状态和在第二时刻的所述锯片的第二状态, 其中锯片的第一状态不同于锯片的第二状态并且第一时刻不同于第二时刻, 其中所述第一约束的状态在锯片的第一状态下具有调整参数的第一值并且在锯片的第二状态下具有调整参数的第二值, 并且其中所述第二约束的状态在锯片的第一状态下具有调整参数的第三值并且在锯片的第二状态下具有调整参数的第四值。

107. 根据权利要求105-106中任一项所述的方法, 还包括基于所述锯片的第一状态和所述参考坐标系确定第一距离参数, 基于所述锯片的第二状态和所述参考坐标系确定第二距离参数, 其中, 第一和第二距离参数选自包括方向和大小的组, 并且其中, 基于锯片的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第一约束的第一状态, 并且其中, 基于锯片的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第一约束的第二状态。

108. 根据权利要求107所述的方法, 其中, 基于锯片的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第二约束的第一状态, 并且其中, 基于锯片的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第二约束的第二状态。

109. 根据权利要求107-108中任一项所述的方法, 其中, 所述第一距离参数和所述第二距离参数分别从远离骨骼的方向和进入骨骼的方向中选择。

110. 根据权利要求101-110中任一项所述的方法, 其中, 所述参考坐标系是相对于患者跟踪器定义的。

111. 根据权利要求101-111中任一项所述的方法, 其中, 所述参考坐标系是基于所述锯片的目标姿态的。

112. 根据权利要求101-111中任一项所述的方法, 还包括接收用户输入信号, 以及基于所述用户输入信号改变所述第一约束和/或所述第二约束的状态。

113. 根据权利要求101-112中任一项所述的方法, 其中, 所述调整参数的第一值和第二值通过函数定义。

114. 根据权利要求113所述的方法, 其中, 所述函数是基于在至少一个自由度上所述锯片相对于所述参考坐标系的距离和/或角度的。

115. 根据权利要求101-114中任一项所述的方法, 其中, 所述第一约束的状态和/或所

述第二约束的状态通过函数定义。

116. 根据权利要求115所述的方法, 其中, 所述函数是基于在至少一个自由度上所述锯片相对于所述参考坐标系的距离和/或角度的。

117. 根据权利要求101-114中任一项所述的方法, 其中, 所述第一约束的状态和/或所述第二约束的状态由查找表定义。

118. 一种控制与外科工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法或系统, 所述机器人系统包括定位器和手持器械, 所述手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑外科工具的工具支撑, 致动器组件将工具支撑和手持部分操作地互连, 致动器组件包括多个致动器, 工具支撑包括工具驱动电机, 所述方法包括以下步骤或包括被配置用于执行以下步骤的产品:

在已知坐标系中在至少一个自由度上确定外科工具的目标姿态;

确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向;

在已知坐标系中确定外科工具的状态;

基于外科工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态;

基于外科工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态, 所述第一约束不同于所述第二约束; 和

基于第一约束的状态和第二约束的状态控制所述多个致动器中的每一个致动器。

119. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 其包括: 由用户握持的手持部分; 联接到手持部分以支撑工具的工具支撑, 工具支撑包括工具驱动电机; 致动器组件, 其操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑来对准工具, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机, 所述控制系统被配置用于在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态; 约束求解器, 用于基于外力计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力; 虚拟模拟器, 用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态; 所述控制系统还被配置用于: 基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度; 以及基于命令接头位置或命令接头角度来控制所述多个致动器中的每一个致动器。

120. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 其包括由用户握持的手持部分, 联接到手持部分以支撑工具的工具支撑, 工具支撑包括工具驱动电机; 致动器组件, 其操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑来对准工具, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机, 所述控制系统被配置用于在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态; 所述控制系统包括: 引导处理器, 用于基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束; 约束求解器, 用于基于引导约束计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力; 虚拟模拟器, 用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态; 所述控制系统还被配置用于: 基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置; 以及基于命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。

121. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分; 联接到手持部分以支撑工具的工具支撑, 工具支撑包括工具驱

动电机;致动器组件,其操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑从而将工具放置在期望轨迹上,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机,所述控制系统被配置用于在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态;所述控制系统包括:引导处理器,用于基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;约束求解器,用于基于引导约束计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;所述控制系统还被配置为用于:基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度;并且基于命令接头位置和/或命令接头角度控制所述多个致动器中的每一个致动器。

122.一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分和联接到手持部分的工具支撑,工具支撑包括用于驱动工具的运动工具驱动电机;致动器组件,其操作地互连工具支撑与手持部分以移动工具支撑,使工具相对于手持部分在多个自由度上对准来对准工具,致动器组件包括多个致动器,可选地,其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到工具支撑和手持部分;定位器;控制系统,其耦合到所述多个致动器、工具驱动电机和定位器,所述控制系统被配置为用于:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;确定所述多个致动器中的每一个致动器的位置;基于所述多个致动器中的每一个致动器的位置确定手持部分的姿态;基于手持部分的姿态和工具的目标姿态确定工具的命令姿态;并且基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置;以及基于命令接头位置控制所述多个致动器中的每一个致动器。

123.一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分和联接到手持部分的工具支撑,工具支撑包括用于驱动工具的运动工具驱动电机;致动器组件,其操作地互连工具支撑与手持部分以移动工具支撑,以相对于手持部分在多个自由度上移动工具来对准工具,致动器组件包括多个致动器,可选地,其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到工具支撑和手持部分;定位器;控制系统,其耦合到所述多个致动器和定位器,所述控制系统被配置为用于:在已知坐标系中确定手持部分的姿态、工具的目标姿态和边界;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定命令姿态;基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度;基于每个致动器的命令接头位置和/或命令接头角度控制所述多个致动器中的每一个致动器;基于至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置、至少一个致动器的命令接头角度、至少一个致动器的测量接头角度、至少一个致动器的先前命令接头角度、至少一个致动器的先前测量接头角度、或其组合来控制工具驱动电机。

124.一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;联接到手持部分以支撑工具的工具支撑,工具支撑包括工具驱动电机;致动器组件,其操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑来对准工具,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机,所述控制系统被配置为用于:在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态来控制所述多个致动器中的每一个致动器;以及基于至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先

前测量位置或其组合来控制工具驱动电机。

125. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 工具; 手持部分; 包括多个致动器的致动器系统; 用于支撑工具并移动工具的工具支撑, 所述多个致动器在工具支撑和手持部分之间延伸, 工具支撑包括工具驱动电机; 定位器; 控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机, 所述控制系统被配置用于在已知坐标系中确定工具的目标姿态、工具的状态和手持部分的姿态, 所述控制系统包括: 引导处理器, 用于基于工具的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束, 其中引导约束具有调整参数的值, 所述引导处理器被配置用于基于工具的状态改变调整参数的值; 约束求解器, 用于基于引导约束计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力; 以及虚拟模拟器, 用于基于来自约束力的输入而在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学, 并输出命令姿态, 其中控制系统被配置用于命令所述多个致动器以基于命令姿态来对准工具。

126. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分; 联接到手持部分以支撑工具的工具支撑, 工具支撑包括工具驱动电机; 致动器组件, 其操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑, 从而将工具放置在期望轨迹上或在一个或多个自由度上与虚拟对象对准, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 控制系统, 其耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机, 所述控制系统被配置用于: 在已知坐标系中确定工具的目标姿态、工具的状态, 并确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向; 基于工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态, 基于工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态, 其中第一约束不同于第二约束; 所述控制系统还包括:

约束求解器, 用于基于第一约束的状态并且基于第二约束计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力; 虚拟模拟器, 用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态; 并且所述控制系统还被配置用于基于命令姿态控制所述致动器中的每一个致动器。

用于引导手持医疗机器人器械的移动的系统和方法

背景技术

[0001] 当从患者身上切除组织时,使用物理切割引导装置来约束外科工具。在一些情况下,物理切割引导装置约束此类外科工具,以准备用于接受替换植入物的关节。将物理切割引导装置定位和固定到患者身上所需的时间可能占执行外科手术所需的总时间的很大一部分。

[0002] 导航系统(也称为跟踪系统)可以用于正确地对准和固定夹具,以及跟踪用于从患者身上切除组织的外科工具的位置和/或定向。跟踪系统通常采用与工具和被切除组织相关联的一个或多个跟踪器。然后用户可以查看显示器以相对于要去除的组织期望切割路径确定工具的当前位置。显示器的布置方式可能要求用户将视线从组织和手术部位移开,以可视化工具的进程。这会分散用户对手术部位的注意力。此外,用户可能难以以期望的方式放置工具。

[0003] 机器人辅助手术通常依赖于具有可以在六个自由度(DOF)上移动的机械臂的大型机器人。这些大型机器人在手术室中操作和调动可能很麻烦。

[0004] 需要解决这些挑战中的一个或多个的系统和方法。

发明内容

[0005] 本教导的一个方面提供了一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,该系统包括:器械。该器械包括:由用户握持的手持部分;工具支撑,其被联接到手持部分以支撑工具,工具支撑包括工具驱动电机;致动器组件,其具有多个致动器,所述致动器操作地互连所述工具支撑和所述手持部分以相对于所述手持部分在多个自由度上移动所述工具支撑,从而将所述工具放置在期望平面上。该系统还包括定位器和耦合到多个致动器、定位器和工具驱动电机的控制系统。控制系统被配置为用于:在已知坐标系中确定工具的目标姿态、工具的状态,以及确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向。控制系统还被配置为基于工具的状态和参考坐标系之间的关系来确定第一约束的状态,基于工具的状态和参考坐标系之间的关系来确定第二约束的状态,第一约束不同于第二约束。控制系统还包括:约束求解器,用于基于第一约束的状态并且基于第二约束计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;控制系统还被配置为基于命令姿态控制每个致动器。

[0006] 在一些实施方式中,手持医疗机器人系统的控制系统确定第一约束和第二约束是引导约束。在一些实施方式中,第一约束和第二约束是接头定心约束。在一些实施方式中,第一约束和第二约束是工作空间限制约束。在一些实施方式中,第一约束和第二约束是边界约束。在一些实施方式中,控制系统将第一约束确定为引导约束、接头定心约束、接头极限约束、工作空间约束、边界约束中的一个,并且将第二约束确定为引导约束、接头定心约束、接头极限约束、工作空间约束、边界约束中的不同约束。在一些实施方式中,第一约束和第二约束是具有不同值的相同类型的约束。在一些实施方式中,第一约束和第二约束是不同类型的约束。

[0007] 在一些实施方式中,手持医疗机器人系统的控制系统确定多个第一约束和多个第二约束。在一些实施方式中,所述多个第一约束对应于工具的第一姿态并且是引导约束、接头定心约束、接头极限约束、工作空间约束和边界约束中的两个或更多个。在一些实施方式中,所述多个第二约束对应于工具的第二姿态并且是引导约束、接头定心约束、接头极限约束、工作空间约束和边界约束中的两个或更多个。

[0008] 本教导的一个方面提供手持机器人系统通过确定器械的工具支撑的姿态来控制多个致动器。在一些实施方式中,手持机器人系统确定锯片的姿态。在一些实施方式中,手持机器人系统通过确定器械的手持部分、器械的工具支撑、和工具中的一个或多个的组合的姿态,或者将手持部分、工具和工具支撑互连的一个或多个部件的姿态来控制多个致动器。

[0009] 本教导的一个方面提供了用于控制手持机器人系统的方法包括确定器械的一部分的姿态的至少一个步骤。在一些实施方式中,确定器械的一部分的姿态的所述至少一个步骤包括确定工具支撑的姿态。在一些实施方式中,确定器械的一部分的姿态的所述至少一个步骤包括确定锯片的姿态。在一些实施方式中,确定器械的一部分的姿态的所述至少一个步骤包括确定手持部分、工具支撑、和工具中的一个或多个的姿态。

[0010] 本教导的一个方面提供了一种手持机器人系统,该手持机器人系统被配置为与除外科锯之外的外科工具一起使用。在一些实施方式中,手持机器人系统被配置为与钻头、驱动器、钻头、超声切割工具、丝锥或其他旋转切割工具一起使用。

[0011] 本教导的一个方面提供手持机器人系统的控制系统以控制多个致动器以相对于平面以外的虚拟对象(例如虚拟轴线)放置工具支撑和工具。虚拟轴线可以源自手术计划,例如计划轨迹或计划螺钉轨迹或计划孔轨迹。

[0012] 本教导的一个方面提供手持机器人系统的控制系统以确定目标平面或目标轨迹或目标虚拟对象,而无需识别外科植入物的计划姿态。

[0013] 本教导的一个方面提供了控制手持机器人系统的方法与替代致动器组件一起使用。在一些实施方式中,机器人手持系统的控制系统与相对于其他致动器串联布置的多个致动器一起使用。

[0014] 本教导可以包括记录在一个或多个计算机存储设备上的相应计算机系统、装置和计算机程序,每个计算机存储设备被配置为执行设备和方法的动作。

附图说明

[0015] 当结合附图考虑时,本公开的优点将容易理解,因为通过参考以下详细描述可以更好地理解本公开的优点。

[0016] 图1是机器人系统的透视图。

[0017] 图2是正在用于切割股骨和胫骨上的一个或多个平面以接收全膝关节植入物的机器人器械的透视图。

[0018] 图3A-3C是机器人器械的各种俯仰定向的图示。

[0019] 图4A-4C是机器人器械的各种侧倾定向的图示。

[0020] 图5A-5C是机器人器械的各种z轴平移位置的图示。

[0021] 图6是机器人器械的前透视图,示出了工具支撑相对于手持部分的一种特殊姿态。

- [0022] 图7是控制系统的框图,还说明了各种软件模块。
- [0023] 图8是机器人器械的后透视图。
- [0024] 图9是分解图,显示了工具支撑的本体和到多个致动器的相关联的接头连接。
- [0025] 图10显示了使用机器人器械的各个区域。
- [0026] 图11是可由控制系统操作的特殊模块的框图。
- [0027] 图12是引导约束和虚拟力的图示。
- [0028] 图13显示了用于股骨外科手术的边界生成器的输出。
- [0029] 图14显示了基于计划的外科植入物的虚拟边界。
- [0030] 图15是锯片和患者解剖结构的一部分相对于某些虚拟边界的俯视图。
- [0031] 图16显示了导航系统的一部分相对于患者解剖结构和外科机器人器械,以及潜在的变换计算。
- [0032] 图17A-17E是控制系统各个部分的框图。
- [0033] 图18和19显示了用于将工具吸引到目标平面的引导约束的另一应用。
- [0034] 图20显示了引导约束的刚度可能如何随距离变化。
- [0035] 图21显示了接头定心约束和相关联的虚拟力的图示。
- [0036] 图22A-22C显示了关于接头定心行为的致动器控制的一个示例。
- [0037] 图23是器械的透视图,显示了相对于笛卡尔空间进行控制时工具的运动范围。
- [0038] 图24是手持机器人器械的一个示例的透视图。
- [0039] 图25显示了样本约束方程。
- [0040] 图26和27显示了用于执行虚拟模拟的样本正向动力学算法。
- [0041] 图28显示了由控制系统执行的用以解决约束、执行正向动力学和确定命令姿态的一组示例步骤。
- [0042] 图29A-29D显示了工具响应于引导约束被应用以将工具吸引到目标位置和目标定向时的移动。
- [0043] 图30A和30B示出了机器人器械相对于引导行为执行切割的示意图。
- [0044] 图31是控制系统的框图。
- [0045] 图32是导航系统的一部分相对于患者解剖结构和外科机器人器械的另一示例,以及与目标轨迹相关的潜在变换计算。

具体实施方式

[0046] 概述

[0047] 参考图1,示出了机器人系统10。机器人系统10被示为对患者12执行全膝手术以切除患者12的股骨F和胫骨T的一些部分,使患者12可以接收全膝植入物IM。机器人系统10可用于执行其他类型的外科手术(包括涉及硬/软组织去除的手术)或其他形式的治疗。例如,治疗可以包括切割组织、钻孔、凝固组织、插入植入物、消融组织、吻合组织、缝合组织等。在一些示例中,外科手术包括膝部手术、髌部手术、肩部手术、脊柱手术和/或踝部手术,并且可以包括去除将被外科植入物替换的组织,外科植入物例如膝部植入物、髌部植入物、肩部植入物、脊柱植入物和/或踝部植入物。机器人系统10和本文公开的技术可用于执行其他手术,外科手术或非外科手术,并可用于工业应用或使用机器人系统的其他应用中。

[0048] 参考图1和2,机器人系统10包括器械14。在一些示例中,用户手动握持和支撑器械14(如图1所示)。在一些其他示例中,用户可以手动握持器械14,但器械至少部分地或完全地由辅助装置支撑,例如被动臂(例如,具有锁定接头的连杆臂、重量平衡臂)、主动臂和/或类似物。如图1和2中最佳所示,器械14包括用于由用户支撑的手持部分16。

[0049] 器械14可以在没有引导臂/辅助装置帮助的情况下由用户自由移动和支撑,例如,被配置为由人类用户握持,同时实现材料的物理去除或材料的切割,使得在手术过程中工具的重量仅由用户的一只或多只手支撑。换句话说,器械14可以被配置为被握持,使得用户的手抵抗着器械的重力支撑器械14。器械14可能重8磅或以下,6磅或以下,5磅或以下,或者甚至3磅或以下。器械14可以具有对应于ANSI/AAMI HE75:2009的重量。

[0050] 在器械的重量被配置为由用户支撑而无需借助引导臂或辅助装置的实施方式中,手持部分相对于地面无刚性参考并且在致动器组件的控制期间相对于地面移动。这可以与具有与桌子、推车、成像仪或其他在手术过程中保持静止的部件相连接的基部为特征的机械臂形成对比。因为本器械的手持部分可以相对于地球移动,所以手持部分的姿态是动态的,并且可能在手持机器人器械的控制期间需要加以考虑,以实现最佳性能,包括实现最佳运动范围、最佳平衡和相对于用户的手的重心,以及给用户的最佳感觉,以避免提供可能分散用户以理想方式定位手持部分以完成手术的感觉。这是因为器械的控制系统在计算系统的各种移动/顺从部件(包括、但不限于工具、工具平台、致动器组件和/或手持部分)之间的导航变换时不能假设基部(即手持部分)位于固定位置。

[0051] 对于被配置为在不使用引导臂或辅助装置的情况下由用户支撑其重量的手持医疗机器人器械来说,其引入的另一个复杂性是通过器械的运动链传递的反作用力最终完全传递到用户的手上,而不是至少部分地被传递到引导臂/辅助装置。由于用户必须承受手持机器人系统中的反作用力,因此手持机器人器械的控制系统需要仔细控制致动器组件,以确保这些反作用力不会损害系统的可用性。如果控制系统导致在不希望的时间和/或在不希望的方向上向用户的手施加非常大的反作用力,那么这些反作用力可能会影响用户的行为并致使他们移动他们的手,以及因此移动机器人器械到不希望的位置、定向和/或姿态。例如,如果骨骼、工具、工具支撑和/或手持部分在虚拟世界和现实世界之间存在差异的话,则该差异可能导致控制系统以将反作用力施加到用户手上的方式控制致动器组件。

[0052] 器械14还包括用于接收工具20的工具支撑18。在一些示例中,当工具20是锯片380时,工具支撑18可以被称作刀片支撑。用于操作器械14的方法可以包括用户在没有来自被动臂或机械臂的任何帮助的情况下悬挂器械14的重量。可替代地,器械14的重量可以通过使用平衡的被动臂、辅助装置或主动机械臂来支撑,使得用户不必支撑器械的全部重量。在这种情况下,用户仍可抓握手持部分16以便与器械14交互和/或引导器械14。Kang等人的美国专利No.9,060,794中的被动臂和内容被通过引用方式并入本文。此外,在一些示例中,机器人系统10可以没有具有串联布置的一个以上关节的机器人手臂。

[0053] 工具20联接到工具支撑18以下文进一步描述的机器人系统10的某些操作中与解剖结构相互作用。工具20也可以称为末端执行器。工具20可以从工具支撑18移除,使得可以在需要时附接新的/不同的工具20。工具20也可以永久地固定在工具支撑18。工具20可以包括设计成接触患者12的组织能量施加器。在一些示例中,工具20可以是锯片,如图1和2所示,或其他类型的切割附件。在这种情况下,工具支撑可以称为刀片支撑。应该意识到在

任何提到刀片支撑的情况下,它都可以代替术语“工具支撑”,反之亦然。然而,可以考虑其他工具,例如Bozung的美国专利No.9,707,043中的内容,该专利被通过引用方式并入本文。在一些示例中,工具20可以是麻花钻头、螺丝刀、丝锥、超声振动尖端、钻头、缝合器、旋转切割工具等。工具20可以包括刀片组件和用于引起刀片的振荡运动的驱动电机,如Walen等人的美国专利No.9,820,753或美国专利No.10,687,823中所示,它们被通过引入方式并入本文。这样的驱动部件可以包括传动装置TM,其被耦合到驱动电机M以将来自驱动电机M的旋转运动转换成工具20的振荡运动。

[0054] 在2020年7月15日提交的题为“Robotic Handheld Surgical Instrument Systems and Methods”的PCT/US2020/042128中描述的系统和方法也通过引用方式并入本文。

[0055] 包括一个或多个致动器21、22、23的致动器组件400相对于手持部分16在三个自由度上移动工具支撑18,用于在用户握持手持部分16的同时提供帮助将工具20放置在期望位置和/或定向(例如,在切除期间相对于股骨F和/或胫骨T处于期望姿态)的机器人运动。致动器组件400可包括并联、串联或其组合布置的致动器21、22、23。在一些示例中,致动器21、22、23使工具支撑18相对于手持部分16在三个或更多个自由度上移动。在一些示例中,致动器组件400被配置为使工具支撑18相对于手持部分16在至少两个自由度上移动,例如俯仰和z轴平移。在诸如本文所示的一些示例中,致动器21、22、23使工具支撑18及其相关联的工具支撑坐标系TCS相对于手持部分16及其相关联的基础坐标系BCS仅在三个自由度上移动。例如,工具支撑18及其工具支撑坐标系TCS可以:绕其y轴旋转以提供俯仰运动;绕其x轴旋转以提供侧倾运动;以及沿与基础坐标系BCS的z轴重合的轴Z平移以提供z轴平移运动。在图2中以及在图3A-3C、4A-4C和5A-5C的示意图中分别用箭头表示了俯仰、侧倾和z轴平移的允许运动。图6提供了在器械14的运动范围内的工具支撑18的姿态和手持部分16的姿态的一个示例。在图中未示出的一些示例中,致动器可以使工具支撑18相对于手持部分16在四个或更多个自由度上移动。

[0056] 致动器组件400可以布置为并联操纵器配置。如贯穿本申请所示的,并联操纵器配置使用致动器21、22、23来支撑单一一个平台(即工具支撑18),致动器21、22、23由控制系统28控制和操纵。致动器21、22、23是分开的、独立的联动装置,它们同时工作,直接连接工具支撑18与手持部分16。在一些示例中,例如贯穿本申请所示的,作为平行操纵器不需要几何平行度。其他致动器组件布置被设想,例如在题为“Surgical instrument including housing, a cutting accessory that extends from the housing and actuators that establish the position of the cutting accessory relative to the housing”的美国专利No.9,707,043中描述的,该专利被以引用方式并入本文。

[0057] 返回参考图2,具有被动联动装置26的约束组件24可用于约束工具支撑18相对于手持部分16在其余三个自由度上的移动。约束组件24可以包括任何合适的联动装置(例如,一个或多个具有任何合适的形状或配置的连杆)以约束如本文所述的运动。在图2所示的示例中,约束组件24通过以下方式操作以限制工具支撑坐标系TCS的运动:约束围绕基础坐标系BCS的z轴的旋转以约束侧滑运动;约束在基础坐标系BCS的x轴方向上的平移,以约束x轴平移;以及约束在基础坐标系BCS的y轴方向上的平移,以约束y轴平移。在下文进一步描述的某些情况下,致动器21、22、23和约束组件24被控制以有效地模仿物理切割引导装置、例

如物理锯切割引导装置的功能。

[0058] 参考图7,提供器械控制器28或其他类型的控制单元来控制器械14。器械控制器28可以包括一个或多个计算机,或指导器械14的操作和工具支撑18(和工具20)相对于手持部分16的运动的任何其他合适形式的控制器。器械控制器28可以具有中央处理单元(CPU)和/或其他处理器、存储器和存储装置(未示出)。器械控制器28装载有如下所述的软件。处理器可以包括一个或多个处理器以控制器械14的操作。处理器可以是任何类型的微处理器、多处理器和/或多核处理系统。器械控制器28可以附加地或替代地包括一个或多个微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路和/或能够执行此处描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。术语处理器并非旨在将任何实施例限制为单一一个处理器。器械14还可以包括具有一个或多个显示器和/或输入设备(例如,触发器、按钮、脚踏开关、键盘、鼠标、麦克风(语音激活)、手势控制设备、触摸屏等)的用户界面UI。

[0059] 控制系统60还包括一个或多个软件程序和软件模块。软件模块可以是在导航控制器36、器械控制器28或两者上运行的一个或多个程序的一部分,以处理数据来帮助控制机器人系统10。软件程序和/或模块包括存储在导航控制器36、器械控制器28或两者上的非暂态存储器64中的计算机可读指令,以由控制器28、36的一个或多个处理器70执行。存储器64可以是任何合适的存储器配置,例如RAM、非易失性存储器等,并且可以在本地或从远程数据库实现。此外,用于提示用户和/或与用户通信的软件模块可以形成一个或多个程序的一部分,并且可以包括存储在导航控制器36、器械控制器28或两者上的存储器64中的指令。用户可以与导航用户界面UI或其他用户界面UI的任何输入设备交互以与软件模块进行通信。用户界面软件可以在与导航控制器36和/或器械控制器28分开的设备上运行。

[0060] 器械控制器28控制工具20的操作,例如通过控制提供给工具20(例如,提供给控制切割运动的工具20驱动电机M的)的电力并且通过控制工具支撑18相对于手持部分16的移动(例如,通过控制致动器21、22、23)。器械控制器28控制工具支撑18和工具20相对于手持部分16的状态(例如,位置和/或定向)。器械控制器28可以控制由致动器21、22、23引起的、工具20相对于手持部分16和/或相对于解剖结构的运动的速度(线速度或角速度)、加速度或其他派生物。

[0061] 如图2所示,器械控制器28可以包括被安装到工具支撑18和/或手持部分16或其组合的控制壳体29,控制壳体29内设置有一个或多个控制板31(例如,一个或多个印刷电路板和相关联的电子部件)。控制板31可以包括微控制器、现场可编程门阵列(FPGA)、驱动器、存储器、传感器或用于控制致动器21、22、23和驱动电机M(例如,通过电机控制器)的其他电子部件。器械控制器28还可以包括与控制板31数据和电力通信的离板(off-board)控制台33。本文所述的传感器S、致动器21、22、23和/或驱动电机M可以将信号馈送到控制板31,将数据信号传输出来给控制台33以便进行处理,并且控制台33可以将控制命令(例如电流命令、扭矩命令、速度命令、角度命令、位置命令或它们的组合,以及各种控制和配置参数)馈送回到控制板31,以便为致动器21、22、23和/或驱动电机M提供电力和控制。可以设想,该处理也可以在控制壳体的控制板上进行。在一些示例中,控制算法的处理可以在控制台和控制壳体之间分布。在一个示例中,位置控制和速度控制计算可以在控制台中并且电流控制可以在设置于控制壳体中的现场可编程门阵列中。当然,预期不必须单独的控制壳体,和/或可以在任意数量的不同位置处执行上述处理。

[0062] 在一些形式中,控制台33可以包括用于为致动器21、22、23和驱动电机M提供电力和控制的单一一个控制台。在一些形式中,控制台33可以包括为致动器21、22、23提供电力和控制的一个控制台和为驱动电机M提供电力和控制的单独的控制台。一个为驱动电机M提供电力和控制的这种控制台可以是在2004年9月30日提交的题为“Control Console to which Powered Surgical Handpieces are Connected,the Console Configured to Simultaneously Energize more than one and less than all of the Handpieces”的美国专利No.7,422,582中描述的那样,该专利被通过引用方式并入本文。柔韧性的电路FC,也称为柔性电路,可以将致动器21、22、23和/或其他部件与器械控制器28互连。例如,柔性电路FC可以设置在致动器21、22、23和控制板31之间。其他形式的连接,有线的或无线的,可以附加地或替代地存在于各部件之间。

[0063] 简要回顾图1,机器人系统10还包括导航系统32。导航系统32的一个示例在2013年9月24日提交的题为“Navigation System Including Optical and Non-Optical Sensors”的美国专利No.9,008,757中描述了,该专利被通过引用方式并入本文。导航系统32跟踪各个对象的移动。所述对象包括,例如,器械14、工具20和解剖结构,例如,股骨F和胫骨T或其他骨结构,例如一个或多个椎骨、骨盆、肩胛骨或肱骨或其组合。导航系统32跟踪这些对象以收集每个对象关于(导航)定位器坐标系LCLZ的状态信息。如本文所用的,对象的状态包括、但不限于定义被跟踪对象(例如,其坐标系)的位置和/或定向或者位置和/或定向的等效物/派生物的数据。例如,状态可以是对象的姿态,和/或可以包括线速度数据、角速度数据等。

[0064] 导航系统32可以包括容纳导航控制器36和/或其他类型的控制单元的推车组件34。导航用户界面UI与导航控制器36操作的通信。导航用户界面UI包括一个或多个显示器38。导航系统32能够使用上述一个或多个显示器38向用户显示被跟踪对象的相对状态的图形表示。导航用户界面UI还包括一个或多个输入设备以将信息输入到导航控制器36内或以其他方式选择/控制导航控制器36的某些方面。这种输入设备包括交互式触摸屏显示器。然而,输入设备可以包括按钮、指针、脚踏开关、键盘、鼠标、麦克风(语音激活)、手势控制设备等中的任何一个或多个。在一些示例中,用户可以使用设置于指针上的按钮来浏览用户界面UI的图标和菜单以进行选择,从而配置机器人手术系统10和/或推进工作流程。

[0065] 导航系统32还包括耦合到导航控制器36的定位器44。在一个示例中,定位器44是光学定位器并且包括相机单元46。相机单元46具有容纳一个或多个光学传感器50的外箱体48。定位器44可以包括它自己的定位器控制器49并且还可以包括摄像机VC。在某些配置中,定位器可以耦合到手持机器人器械。

[0066] 导航系统32包括一个或多个跟踪器。在一些示例中,跟踪器包括指针跟踪器PT、工具跟踪器52、第一患者跟踪器54和第二患者跟踪器56。在图1的图示示例中,工具跟踪器52牢固地附接到器械14,第一患者跟踪器54牢固地附连到患者12的股骨F,并且第二患者跟踪器56牢固地附连到患者12的胫骨T。在该示例中,患者跟踪器54、56牢固地附连到骨部分。跟踪器52、54、56和指针跟踪器被手动地、自动地、或以组合方式配准到它们各自的对象(例如骨、工具)和导航系统32。在一些示例中,指针跟踪器PT牢固地附连到指针57并用于将解剖结构配准到一个或多个坐标系,包括定位器坐标系LCLZ,和/或用于其他校准和/或配准功能。在一个示例中,指针57可用于将患者跟踪器54、56分别配准到跟踪器54、56所附接的骨

骼,并且将工具跟踪器52(和可选地跟踪器53)配准到工具支撑18、工具20、手持部分16、或它们的组合。在一些示例中,指针跟踪器PT可用于将器械14的TCP相对于跟踪器坐标系配准到跟踪器52。这样,如果定位器44从一个位置移动到另一个位置,器械14的配准被相对于工具跟踪器52进行定位。然而,跟踪器52、54、56的配准的其他手段被设想并且可以与指针跟踪器PT一起实施或单独地实施。还设想了其他跟踪器位置。

[0067] 在整个说明书中,描述了各种变换,例如“骨骼到跟踪器”或“器械TCP到跟踪器”,即相对于“跟踪器坐标系”而不是相对于LCTZ坐标系。在配准和骨骼准备过程中,定位器坐标系可用作中间坐标系,因为所有被跟踪对象都是相对于LCTZ测量的。在配准过程中,最终以数学方式组合各个以定位器为参考的姿态,而且配准结果被“相对于跟踪器”进行存储,这样如果相机(即LCTZ)移动,配准仍然有效。

[0068] 工具跟踪器52可以附连到器械14的任何合适的部件,并且在一些形式中可以附接到手持部分16、附接到工具支撑18、直接附接到工具20、或它们的组合。跟踪器52、54、56、PT可以以任何合适的方式固定到它们各自的部件,例如通过紧固件、夹具等。例如,跟踪器52、54、56、PT可以被刚性固定、柔性连接(光纤)或根本不物理连接(超声波),只要有合适的(补充)方式来确定相应的跟踪器与相关联对象的关系(测量)即可。跟踪器52、54、56、PT中的任何一个或多个可以包括有源标记58。有源标记58可以包括发光二极管(LED)。可替代地,跟踪器52、54、56、PT可以具有无源标记,例如反射器,其反射从相机单元46发射的光。也可使用印刷标记或本文未具体描述的其他合适标记。

[0069] 可以采用各种坐标系来跟踪对象。例如,坐标系可以包括定位器坐标系LCLZ,工具支撑坐标系TCS,基础坐标系BCS,与跟踪器52、54、56、PT中的每一个相关联的坐标系,与解剖结构相关联的一个或多个坐标系,与术前和/或术中图像(例如,CT图像、MRI图像等)和/或解剖结构的模型(例如,2D或3D模型)相关联的一个或多个坐标系-例如植入物坐标系,以及TCP(工具中心点)坐标系。在一些示例中,机器人系统10不依赖于术前和/或术中成像来创建目标骨骼的2D或3D模型。相反,机器人系统可以用在无图像系统中,使用指针跟踪器PT配准目标解剖结构,捕捉各种解剖结构标志,然后由控制系统60对其进行处理以变形标称骨骼模型来匹配捕捉的数据。在其他示例中,术前和术中成像被用于对患者的目标区域进行成像,然后将2D和/或3D图像变换为目标骨骼的3D模型。还设想机器人手术系统10可以使用成像和无图像程序的组合来创建目标手术区域的3D模型。在美国专利No.8,617,174中描述了一种示例性系统,该专利被通过引用方式并入本文。在建立坐标系之间的关系时,可以使用变换来将各坐标系中的坐标变换到其他坐标系,例如通过配准、校准、几何关系、测量等。

[0070] 如图2所示,在一些示例中,TCP是在工具20的远端定义的TCP坐标系的预定参考点或原点。工具20的几何形状可以相对于TCP坐标系和/或相对于工具支撑坐标系TCS来定义。工具20可以包括一个或多个几何特征,例如周长、圆周、半径、直径、宽度、长度、高度、体积、面积、表面/平面、运动范围包络(沿着任何一个或多个轴)等,所述几何特征被相对于TCP坐标系和/或相对于工具支撑坐标系TCS进行定义并存储在器械14的控制壳体29中的控制板31、导航系统32、器械控制器28、或其组合的非易失性存储器中。在一个示例中,工具中心点(TCP)是在工具20处定义的预定参考点和对应的坐标系。TCP相对于其他坐标系具有已知的或能够计算出的(即不必须是静态的)姿态。TCP坐标系包括一个原点和一组定义TCP姿态的

轴(例如x轴、y轴、z轴)。通过跟踪TCP(或知道TCP的姿态),系统10可以基于TCP的姿态以及TCP与器械14的特征之间的已知位置关系来计算器械14的位置和定向。在一些示例中,工具20具有刀片平面(例如,对锯片来说),为了方便和易于说明,将对其进行描述,但不旨在将工具20限制为任何特殊形式。在其他示例中,工具20具有轴线。点、其他图元、网格、其他3D模型等可用于虚拟地表示工具20。TCP坐标系的原点可以设置在工具20的铰(bur)25的球心处、钻头的末端处、或锯片27的远端处,使得TCP坐标系被相对于工具200远侧末端上的原点进行跟踪。可替代地,TCP可以使用多个被跟踪指针来跟踪。TCP可以根据工具20的配置以各种方式定义。该器械可以采用接头/电机编码器或任何其他非编码器位置感测方法,因此控制系统60可以确定TCP相对于手持部分16和BCS的姿态和/或位置。工具支撑18可以使用接头测量来确定TCP姿态和/或可以使用直接测量TCP姿态的技术。工具20的控制不限于中心点。例如,可以使用任何合适的图元、网格等来表示工具20。应当理解,TCP可以可替代地定义为点,而不是坐标系。一旦你确定了锯片或其他工具的姿态,TCP坐标系即允许计算工具的任何期望参考点或几何特征方面。

[0071] TCP坐标系、工具支撑坐标系TCS和工具跟踪器52的坐标系可以根据工具20的配置以各种方式定义。例如,指针57可以与工具支撑18和/或工具20中的校准凹坑CD一起使用,用于:配准(校准)工具支撑坐标系TCS相对于工具跟踪器52的坐标系的姿态;确定TCP坐标系相对于工具跟踪器52的坐标系的姿态;和/或确定TCP坐标系相对于工具支撑坐标系TCS的姿态。其他技术可用于直接测量TCP坐标系的姿态,例如通过将一个或多个附加跟踪器/标记直接附接和固定到工具20。在一些形式中,跟踪器/标记也可以被附接和固定到手持部分16、工具支撑18或两者。在手持部分包括跟踪器的情况下,可以直接测量手持部分相对于定位器坐标系LCTZ的姿态。在另外其它的替代方案中,可以使用中间工具支撑坐标系TCS相对于工具跟踪器来定义TCP。

[0072] 由于工具支撑18可通过致动器21、22、23相对于手持部分16在多个自由度上移动,所以器械14可以采用编码器、霍尔效应传感器(具有模拟或数字输出)、和/或任何其他位置感测方法,以测量TCP坐标系和/或工具支撑坐标系TCS相对于基础坐标系BCS的姿态。在一种示例性配置中,器械14可以使用来自测量致动器21、22、23的致动的传感器的测量结果来确定TCP坐标系和/或工具支撑坐标系TCS相对于基础坐标系BCS的姿态,如下面进一步描述的。

[0073] 定位器44监控跟踪器52、54、56、PT(例如,其坐标系)以确定跟踪器52、54、56、PT中每一个的状态,分别对应于分别附接到其上的对象的状态。定位器44可以执行已知技术来确定跟踪器52、54、56、PT和相关联对象(例如工具、患者、工具支撑和手持部分)的状态。定位器44将跟踪器52、54、56、PT的状态提供给导航控制器36。在一些示例中,导航控制器36确定跟踪器52、54、56、PT的状态并将其传送给器械控制器28。

[0074] 导航控制器36可以包括一个或多个计算机,或任何其他合适形式的控制器。导航控制器36具有中央处理单元(CPU)和/或其他处理器、存储器和存储装置(未示出)。处理器可以是任何类型的处理器、微处理器或多处理器系统。导航控制器36装载有软件。例如,该软件将从定位器44接收的信号转换成代表被跟踪对象的位置和/或定向的数据。导航控制器36可以附加地或替代地包括一个或多个微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路和/或能够执行本文描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。术语处理器并非旨在将

任何实施例限制为单一一个处理器。

[0075] 尽管导航系统32的一个示例被示为确定对象状态,导航系统32可以具有用于跟踪器械14、工具20和/或患者12的任何其他合适的配置。在另一个示例中,导航系统32和/或定位器44是基于超声的。例如,导航系统32可以包括耦合到导航控制器36的超声成像设备。超声成像设备对任何上述对象(例如器械14、工具20和/或患者12)进行成像,并基于超声图像生成给导航控制器36的状态信号。超声图像可以是2D、3D或两者的组合。导航控制器36可以近乎实时地处理这些图像以确定对象的状态。超声成像装置可以具有任何合适的配置并且可以不同于图1中所示的相机单元46。

[0076] 在另一个示例中,导航系统32和/或定位器44是基于射频(RF)的。例如,导航系统32可以包括耦合到导航控制器36的RF收发器。器械14、工具20和/或患者12可以包括附接到其上的RF发射器或转发器。RF发射器或转发器可以是无源的或有源通电的。RF收发器发射RF跟踪信号并基于从RF发射器接收的RF信号生成给导航控制器36的状态信号。导航控制器36可以分析接收到的RF信号以将相关状态与其相关联。RF信号可以具有任何合适的频率。RF收发器可以定位在任何合适的位置以有效地使用RF信号跟踪对象。此外,RF发射器或转发器可以具有可能与图1中所示的跟踪器52、54、56、PT有很大不同的任何合适的结构配置。

[0077] 在又另一个示例中,导航系统32和/或定位器44是基于电磁的。例如,导航系统32可以包括耦合到导航控制器36的EM收发器。器械14、工具20和/或患者12可以包括附接到其上的EM部件,例如任何合适的磁跟踪器、电磁跟踪器、感应跟踪器等。跟踪器可以是无源的或有源通电的。EM收发器产生EM场并基于从跟踪器接收的EM信号生成给导航控制器36的状态信号。导航控制器36可以分析接收到的EM信号以将相关状态与其相关联。同样,这样的导航系统32示例可以具有不同于图1中所示的导航系统32配置的结构配置。

[0078] 导航系统32可以具有本文未具体列举的任何其他合适的部件或结构。此外,以上关于图示的导航系统32描述的任何技术、方法和/或部件可以被实施或提供用于本文描述的导航系统32的任何其他示例。例如,导航系统32可以仅利用惯性跟踪或跟踪技术的任何组合,并且可以附加地或可替代地包括基于光纤的跟踪、机器视觉跟踪等。

[0079] 参考图7,机器人系统10包括控制系统60,该控制系统60包括器械控制器28和导航控制器36等部件。控制系统60还包括一个或多个软件程序和软件模块。软件模块可以是在器械控制器28、导航控制器36或其组合上运行的程序的一部分,用于处理数据以帮助控制机器人系统10。软件程序和/或模块包括存储在器械控制器28、导航控制器36或其组合上的存储器64中的计算机可读指令,以由控制器28的一个或多个处理器70执行。存储器64可以是任何合适的存储器配置,例如非暂时性存储器、RAM、非易失性存储器等,并且可以在本地或从远程数据库实施。此外,用于提示用户和/或与用户通信的软件模块可以形成(应一个或多个)程序的一部分并且可以包括存储在器械控制器28、导航控制器36或其组合上的存储器64中的指令。用户可以与导航用户界面UI或其他用户界面UI的任何输入设备交互以与软件模块进行通信。用户界面软件可以在与器械控制器28和/或导航控制器36分开的设备上运行。器械14可以通过电力/数据连接与器械控制器28通信。电力/数据连接可以提供用于基于由导航系统32生成并发送给器械控制器28的位置和定向数据来控制器械14的输入和输出路径,如图7中所示的总线/命令连接37。

[0080] 控制系统60可以包括适于执行本文所述的功能和方法的输入、输出和处理设备的

任何合适配置。控制系统60可包括器械控制器28、导航控制器36或它们的组合,和/或可仅包括这些控制器中的一个或附加控制器。控制器可以通过有线总线或通信网络(在一个示例中被示出为图7中的总线/命令连接37)、通过无线通信或其他方式进行通信。控制系统60也可以称为控制器。控制系统60可以包括一个或多个微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路、传感器、显示器、用户界面、指示器和/或能够执行此处描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。

[0081] 器械

[0082] 在一种示例性配置中,器械14在图8和图9中最佳示出了。器械14包括用于由用户握持的手持部分16,可移动地联接到手持部分16以支撑工具20的工具支撑18,具有操作地互连工具支撑18与手持部分16以使工具支撑18相对于手持部分16在至少三个自由度上移动的多个致动器21、22、23的致动器组件400,以及具有操作地互连工具支撑18与手持部分16的被动联动装置26的约束组件24。

[0083] 手持部分16包括用于由用户抓握的把手72,使得用户能够操纵、引导和/或抓握器械14。手持部分16可以配置有符合人体工程学的特征,例如用于由用户的手握持的把手、用于在被弄湿和/或有血的情况下防止用户的手打滑的纹理或混合材料涂层。手持部分16可以包括锥形部以适应手尺寸不同的用户并且其轮廓设计成与用户的手和/或手指的轮廓相匹配。手持部分16还包括基部74,把手72通过一个或多个紧固件、粘合剂、焊接等附接到该基部74。在所示的形式中,基部74包括套筒76,套筒76具有大致中空的圆柱形形状。接头支撑77、78、79从套筒76延伸。致动器21、22、23可以通过下文进一步描述的关节在接头支撑77、78、79处可移动地联接到基部74。

[0084] 工具支撑18包括工具支撑本体80,工具跟踪器52可以通过一个或多个跟踪器安装座在一个或多个安装位置82处固定到或可拆卸地安装到工具支撑本体80。在一个示例中,工具跟踪器52与工具支撑18是一体的。在另一示例中,工具跟踪器52被可移除地安装在所述一个或多个安装位置82处。在所示形式中,工具20可拆卸地联接到工具支撑18。特别地,工具支撑18包括工具连接器,例如工具20安装到其上的头部84,如Walén等人的美国专利No.9,820,753中所描述的,该专利被通过引用方式并入本文。头部84可以配置成利用振荡式锯片以及矢状式锯片。驱动工具20操作的驱动电机M设置在工具支撑本体80中(例如,在一些形式中用于驱动锯片的振荡)。工具20可以以Walén等人的美国专利No.9,820,753中公开的方式附接到头部84和从头部84释放,该专利被通过引用方式并入本文。如图9中最佳所示的,工具支撑18还包括多个致动器安装座86、88、90,在这些致动器安装座处,致动器21、22、23被通过关节可移动地联接到工具支撑18,如下文进一步描述的。致动器安装座86、88、90可以包括适于安装致动器21、22、23的支架等,使得工具支撑18能够相对于手持部分16在至少三个自由度上移动。

[0085] 在所示形式中,致动器21、22、23包括在基部74和工具支撑本体80之间延伸的电动线性致动器。当被致动时,致动器21、22、23的有效长度改变以改变工具支撑本体80和基部74之间沿着致动器21、22、23的相应轴线的距离。因此,控制系统60命令各致动器21、22、23以协调的方式工作,响应于由控制系统60分别给予每个致动器21、22、23的单独的输入,以改变它们的有效长度并使工具支撑18相对于手持部分16在至少三个自由度上移动到目标姿态。在所示的形式中,提供了三个致动器21、22、23,可以称为第一、第二和第三致动器21、

22、23或前致动器21、22和后致动器23。第一、第二和第三致动器21、22、23的沿第一主动轴线AA1、第二主动轴线AA2和第三主动轴线AA3(见图9)的有效长度是可调节的。第一、第二和第三致动器21、22、23的有效长度可独立调节,以调节工具支撑18相对于手持部分16的俯仰定向、侧倾定向和z轴平移位置中的一个或多个,如前所述。在一些示例中可以提供更多致动器。在一些示例中,致动器可以包括旋转致动器。致动器21、22、23可以包括具有任何合适尺寸或形状的一个或多个连杆的联动装置。致动器21、22、23可以具有任何适于使工具支撑18能够相对于手持部分16在至少三个自由度上移动的配置。例如,在一些形式中,可能有一个前致动器和两个后致动器,或一些其他的致动器布置。

[0086] 在本形式中,致动器21、22、23通过多个活动接头联接到基部74和工具支撑本体80。活动接头包括一组第一活动接头92,其将致动器21、22、23在致动器安装座86、88、90处联接到工具支撑本体80。在一个形式中,如图9所示,第一活动接头92包括活动U形接头。U形接头包括第一枢轴销94和接头块96。第一枢轴销94通过接头块96中的通孔98将接头块96枢转地连接到致动器安装座86、88、90。定位螺钉100可以将第一枢轴销94固定到致动器安装座86、88、90。U形接头还可以包括第二枢轴销104。接头块96具有用于接收第二枢轴销104的横孔102。第二枢轴销104具有用于接收第一枢轴销94的通孔103,使得第一枢轴销94、接头块96和第二枢轴销104形成U形接头的十字形。每个U形接头的第一枢轴销94和第二枢轴销104限定相交的枢转轴线PA。第二枢轴销104将致动器21、22、23的枢轴枢106枢转地连接至接头块96。这样,致动器21、22、23能够相对于工具支撑本体80在两个自由度上移动。还设想其他类型的活动接头,例如活动球形接头,包括具有接收销的槽的球。

[0087] 参考图9,活动接头还包括将前两个致动器21、22联接到手持部分16的基部74的一组第二活动接头108。在所示的形式中,第二活动接头108被支撑在接头支撑77、78处。每个第二活动接头108包括回转枢110,回转枢110被布置成相对于手持部分16的基部74围绕回转轴线SA旋转。每个回转枢110具有回转头112以及柱114,柱114从回转头112延伸以在接头支撑77、78之一处枢转地接合基部74。螺母115螺纹连接到柱114的一端以将柱114捕捉在基部74中,同时允许相应的回转枢110在其相应的接头支撑77、78内自由旋转。

[0088] 第二活动接头108中的每一个都包括承载件116,承载件116枢转地联接到回转枢110中的一个。承载件116具有内螺纹通孔117以接收前两个致动器21、22的导螺杆150,如下文进一步描述的。每个承载件116还包括相对的耳轴118,其允许承载件116通过被安置在回转枢110中的凹穴中(见图9)而相对于回转枢110围绕枢转轴线PA枢转。在一些形式中,对于第二活动接头108中的每一个来说,回转轴线SA与枢转轴线PA相交以限定致动器21、22在两个自由度上移动所围绕的单一一个顶点。

[0089] 遮盖件被紧固到回转头112并限定凹穴中的一个,并且回转头112限定另一个凹穴。在组装过程中,首先在其中一个耳轴放置在回转头112的凹穴中的情况下定位承载件,然后将遮盖件紧固在另一个耳轴上,从而使承载件被捕获在遮盖件和回转头112之间并且能够经由耳轴和凹穴而相对于回转枢110枢转。由于回转枢110和相关联的承载件的配置,即承载件能够围绕回转轴线SA回转并且围绕枢转轴线PA枢转,所以第二活动接头108允许前两个致动器21、22相对于基部74的移动的两个自由度。前两个致动器21、22和基部74之间的其他接头布置也是可能的。

[0090] 活动接头还包括将后(第三)致动器23联接到手持部分16的基部74的第三活动接

头124。在所示的形式中,第三活动接头124被支撑在接头支撑79处。第三活动接头124包括被固定到基部74的接头支撑79的枢转壳体126。

[0091] 第三活动接头124包括通过耳轴枢转地联接到枢转壳体126的承载件。具有凹穴的紧固件通过通孔附接到枢转壳体126的任一侧以接合耳轴。紧固件被布置成使得通过将耳轴设置于凹穴中从而在组装后承载件能够枢转。承载件具有内螺纹通孔以接收后致动器23的导螺杆150,如下文进一步描述的。由于枢转壳体126和相关联的承载件的配置,即相关联的承载件仅围绕枢转轴PA枢转(例如,而不是回转),所以第三活动接头124仅允许后致动器23相对于基部74的移动的一个自由度。后致动器23和基部74之间的其他接头布置也是可能的。

[0092] 致动器21、22、23中的每一个包括壳体。壳体包括筒形部和螺纹连接到筒形部的盖。形成第一活动接头92的一部分的枢轴106被固定到壳体,使得壳体和枢轴106能够通过第一活动接头92相对于工具支撑18一起移动。盖帽捕捉枢轴106的环形肩部以将枢轴106固定到筒形部。

[0093] 在一些形式中,枢轴106和筒形部包括一个或多个对准特征,用于将每个枢轴106以预定的相对定向对准到其各自的筒形部。这种对准特征可以包括配合部分、键/键槽等。在组装期间,枢轴106可以首先被以其预定的相对定向固定到筒形部,然后将盖帽螺纹连接到筒形部(例如,通过相配合的外螺纹和内螺纹)以将枢轴106以预定的相对定向捕获到筒形部。这种预定义的关系可以有助于对柔性电路FC进行布线和/或对准,防止枢轴106相对于筒形部侧倾,和/或用于其他目的。

[0094] 致动器21、22、23中的每一个还包括设置在每个壳体中的电机。电机具有设置在壳体中的箱体和设置在箱体内的电机绕组组件。电机绕组组件也可以以预定的相对定向对准到筒形部,例如通过定位螺钉或其他对准特征,例如上述的那些。每个电机还具有固定到导螺杆150的转子。导螺杆150通过一个或多个衬套和/或轴承支撑在壳体中进行旋转。转子和相关联的导螺杆150被配置为在电机选择性通电时相对于壳体旋转。导螺杆150具有精细的螺距和导程角以防止反向驱动(即,它们是自锁的)。这样,施加在工具20上的载荷不容易反向驱动电机。在一些示例中,导螺杆150具有导致从0.02至0.03英寸/转的螺距(lead)的8-36级3线螺纹(8-36class 3thread)。也可以采用其他螺纹类型/尺寸。

[0095] 致动器21、22、23中的每一个可以由单独的电机控制器控制。电机控制器可以分别单独地线连接到致动器21、22、23,以单独地将每个致动器21、22、23指挥到给定的目标位置。在一些示例中,电机控制器是比例积分微分(PID)控制器。在一些示例中,电机控制器可以包括与位置、速度和扭矩(电流)相关的级联控制回路。另外和/或替代地,电机控制器可以仅包括扭矩(电流)控制回路。在另一个示例中,位置控制回路可以直接馈送转矩(电流)控制回路。这些控制级中的每一个都可以实现为PID控制器、状态空间控制器和/或利用替代的或附加的控制技术(例如,速度前馈、转矩前馈等)。在一些情况下,转矩(电流)控制回路是使用场定向控制和空间矢量调制来实现的。控制回路的各级可以分布在系统的各个部件之间。在一些示例中,位置回路和速度回路在器械控制器中实现,而扭矩控制回路直接在作为器械14上的控制壳体29的一部分的控制板31中实现,减轻了从器械14通过连接到控制台33的数据通信延迟的影响,因为电流控制回路不需要任何通过控制台33的数据反馈。位置控制回路和速度控制回路对通信延迟不那么敏感,可以在控制台33中实现。在一些示例

中,电机控制器可以与器械控制器28集成在一起或形成器械控制器28的一部分。为了便于说明,电机控制器在本文中将被描述为器械控制器28的一部分。

[0096] 电源通过控制台33向电机提供例如32VDC功率信号。32VDC信号通过器械控制器28施加到电机。器械控制器28选择性地向每个电机提供电力信号以选择性地激活电机。电机的此选择性激活来定位工具20。电机可以是任何合适类型的电机,包括无刷直流伺服电机、永磁同步电机、其他形式的直流电机等。电源还向器械控制器28供应电力以对器械控制器28内部的部件供电。在一些示例中,致动器电机可以是三相无刷电机。致动器电机可以是直流电机。致动器电机可以是永磁同步电机。每个致动器电机可以配置有正弦反电动势,被配置用于实现有限的机械嵌齿效应(mechanical cogging),允许平滑和特殊的运动,限制扭矩波动。然而,也可以考虑其他电机类型。应当理解,电源可以提供其他类型的电力信号,例如,12VDC、24VDC、40VDC等。该器械可以使用电子开关,例如MOSFET或GaN FET,用于高频地(例如,通常以至少16kHz、高达256kHz或更高的速率)PWM给三相电机开/关的电压信号。

[0097] 在一种可能的实施方式中,一个或多个传感器S(也参见图7)将信号发送回器械控制器28,使得器械控制器28可以确定相关联的致动器21、22、23的当前位置和/或角度(即,测量位置)。这些信号的水平可以与相关联的转子的旋转位置相关地变化。在一种实施方式中,传感器S可以以高分辨率解析转子在给定圈内的旋转位置。这些传感器S可以是霍尔效应传感器,其基于来自转子的或来自放置在导螺杆150上的其他磁体(例如,2极磁体)的感测磁场输出模拟和/或数字信号。用于激励霍尔效应传感器的低压信号(例如,5VDC)可以从与霍尔效应传感器相关联的电机相关联的电机控制器提供。在一些示例中,两个霍尔效应传感器设置在壳体中并且围绕着转子彼此间隔开90度以感测接头位置,使得器械控制器28能够确定该位置并计数转子的增量圈数。在一些形式中,霍尔效应传感器输出代表增量计数的数字信号。各种类型的电机和传感器布置都是可能的。在一些示例中,电机是无刷直流伺服电机,并且两个或更多个内部霍尔效应传感器可以围绕着转子彼此间隔开90度、120度或任何其他合适的间隔。传感器S还可包括绝对或增量编码器,其可用于检测转子的旋转位置并计数转子的圈数。其他类型的编码器也可以用作所述一个或多个传感器。传感器可以放置在致动器及其周围部件上的、适合于确定每个致动器在被调整时的位置的任何合适的位置,例如在壳体、螺母、螺钉等上。在又一种配置中,可以使用无传感器电机控制。在这样的实施方式中,每个转子的位置可以通过测量电机的反电动势和/或电感来确定。一个合适的例子可以在美国专利No.7,422,582中找到,该专利被通过引用方式整体并入本文。

[0098] 在一些示例中,传感器和/或编码器可以测量位置反馈,用于接头位置控制,和/或当与器械14的运动学模型结合使用时确定工具支撑18相对于手持部分16的位置。在一些示例中,传感器和/或编码器依赖于从一转到下一转累积的、用于确定致动器21、22、23沿其轴线的绝对位置的多圈测量结果,并与已知的节距(即每英寸导螺杆的转数)相结合使用。另外或可替代地,传感器和/或编码器可用于确定“转子的电子角度”以用于电机的电子换向。例如,传感器和/或编码器可用于确定转子位置并施加适当的激励信号以实现最佳(有效)扭矩生成。在该示例中,传感器和/或编码器可以利用在每个电子转上滚过的单圈或子圈(在一个电子转内)测量。电子转数等于机械转数除以电机的磁极数(例如磁极对数)。然而,预期实施无传感器的方法。

[0099] 在一些示例中,来自霍尔效应传感器的输出信号被发送到器械控制器28。器械控

制器28监控接收到的信号的电平变化。基于这些信号,器械控制器28确定接头位置。接头位置可以被认为转子从原始位置或原始位置旋转的角度。转子可以进行多次360°旋转。因此,接头位置可以超过360°。被称为计数的标量值代表距起始位置的接头位置。转子沿顺时针和逆时针方向旋转。每一次所述多个信号(模拟或数字)的信号电平经历定义的状态改变时,器械控制器28增加或减少计数以指示接头位置的改变。对于转子的每一次完整的360°旋转,器械控制器28将计数值增加或减少固定的计数值。在一些示例中,转子每旋转360度,计数在100到3,000之间增加或减少。在一些示例中,转子每旋转360度有1,024个位置(计数),比如当使用增量编码器监控接头位置时。器械控制器28的内部具有与每个致动器21、22、23相关联的计数器。计数器存储与所增加或减少的计数的累积值相等的值。该计数值可以是正的、零或负的。在一些形式中,该计数值定义转子的增量移动。因此,致动器21、22、23的转子可以首先被移动到已知位置,称为它们的原始位置(下文进一步描述),然后使用计数值来定义转子的当前位置。

[0100] 如前所述,承载件具有内螺纹通孔以螺纹地接纳导螺杆150,使得每个导螺杆150可以相对于承载件中的对应一个旋转,以调节多个致动器21、22、23中对应一个的有效长度并由此改变由器械控制器28测量的计数。壳体和相应的承载件中的每一个都被约束了在至少一个自由度上的相对移动,以允许导螺杆150相对于承载件旋转。更具体地,导螺杆150能够相对于承载件旋转,原因如下:枢轴106不能围绕相关联的活动轴线AA1、AA2、AA3旋转(即,借助于第一活动接头92的配置,枢轴106被限制了此旋转运动);并且承载件不能围绕相关联的活动轴线AA1、AA2、AA3旋转(即,借助于第二活动接头108和第三活动接头124的配置,承载件被限制了此旋转运动)。

[0101] 止挡152,例如形成在导螺杆150上的螺纹紧固件和肩部,被固定到导螺杆150。止挡152的尺寸被设计成在每个导螺杆150的行程末端抵接承载件116。

[0102] 如前所述,致动器21、22、23的有效长度是可主动调节的,以使工具支撑18能够相对于手持部分16移动。该有效长度的一个示例在第三致动器23上标记为“EL”。这里,有效长度EL是从枢轴轴线PA到相关联的第一活动接头92的中心测量的。当每个致动器21、22、23被调整时,有效长度EL改变,通过改变导螺杆150已经旋入或旋出其相关联的承载件的距离并且因而改变从相关联的承载件的中心到相关联的第一活动接头92的中心的距离。致动器21、22、23可在有效长度EL的最小值和最大值之间调节。每个致动器21、22、23的有效长度EL可以以任何合适的方式表示/测量,以表示工具支撑18和手持部分16之间沿着活动轴线AA1、AA2、AA3的距离,该距离改变以引起工具支撑18相对于手持部分16的各种移动。

[0103] 约束组件24与致动器21、22、23协同工作以约束致动器21、22、23提供的移动。致动器21、22、23提供三个自由度上的移动,同时约束组件24约束三个自由度上的移动。在所示的形式中,约束组件24包括被动联动装置26,以及将被动联动装置26联接到工具支撑18的被动联动装置接头156。

[0104] 在一个形式中,如图9所示,被动联动装置接头156包括被动联动装置U形接头。U形接头包括第一枢轴销158和接头块160。第一枢轴销158通过接头块160中的通孔164将接头块160枢转地连接到工具支撑本体80的被动联动装置安装座162。固定螺钉166可以将第一枢轴销158固定到被动联动装置安装座162。U形接头还包括第二枢轴销170。接头块160具有用于接收第二枢轴销170的横孔168。第二枢轴销170将被动联动装置26的被动联动装置枢

轴枢172枢转地连接至接头块160。第二枢轴销170具有用于接收第一枢轴销158的通孔171,使得第一枢轴销158、接头块160和第二枢轴销170形成U形接头的十字形。第一枢轴销158和第二枢轴销170限定相交的枢转轴线PA。这样,被动联动装置26能够相对于工具支撑本体80在两个自由度上移动。还设想了其他类型的被动联动装置接头,例如包括具有接收销的槽的球的被动联动装置球面接头。

[0105] 被动联动装置26包括被固定到被动联动装置枢轴枢172的轴174。被动联动装置26还包括基部74的套筒76,其被配置用于沿约束轴线CA接收轴174。被动联动装置26被配置为允许轴174沿约束轴线CA相对于套筒76轴向滑动,并在一个或多个致动器21、22、23的致动过程中约束轴174相对于约束轴线CA的径向移动。

[0106] 被动联动装置26还包括用于约束轴174相对于套筒76围绕约束轴线CA旋转的键。该键适配在轴174和套筒76上的相对的键槽中,以将轴174旋转地锁定到套筒76。还设想了用于防止轴174和套筒76相对旋转的其他布置,例如一体的键/槽布置等。被动联动装置26独立于致动器21、22、23操作地互连工具支撑18与手持部分16。在致动器21、22、23中的一个或多个的致动过程中,被动联动装置可被动地调节沿着约束轴线CA的有效长度EL。套筒76、轴174和键176代表被动联动装置26的连杆的一种组合。以任何合适的方式连接的其他尺寸、形状和数量的连杆可以用于被动联动装置26。

[0107] 在所示的形式中,被动联动装置接头156能够相对于工具支撑18围绕两个枢转轴线PA枢转。其他配置也是可能的,包括不包括被动联动装置的机器人手持器械。

[0108] 此外,在所示的形式中,第一活动接头92和被动联动装置接头156限定了布置在公共平面上的枢转轴线PA。非平行枢转轴线PA、设置在不同平面上的平行枢转轴线PA、它们的组合和/或其他配置也被设想出来。

[0109] 在一些形式中,工具支撑18的头部84布置成使得当工具20联接到工具支撑18时工具20位于平行于上述公共平面的工具平面TP(例如,刀片平面)上。在一些示例中,工具平面TP与公共平面CP间隔2.0英寸或更小、1.0英寸或更小、0.8英寸或更小、或0.5英寸或更小。

[0110] 在所示的形式中,致动器21、22、23被布置成使得在致动器21、22、23的所有位置(包括当在他们的原始位置时)活动轴线AA1、AA2、AA3相对于约束轴线CA处于倾斜配置。使活动轴线AA1、AA2、AA3倾斜通常使致动器布置逐渐变细,从而允许基部74和相关联的把手72更纤细和更紧凑。其他配置也被设想,包括其中活动轴线AA1、AA2、AA3相对于约束轴线CA不处于倾斜配置的那些配置。这样的配置可以包括致动器轴线AA1、AA2、AA3在它们的原始位置彼此平行的那些配置。

[0111] 致动器、活动接头和约束组件的其它配置是可能的。设想所描述的控制技术可应用于未提及的其他机械配置,特别是用于在一个或多个自由度上相对于手持部分控制工具或锯片的那些。在一些形式中,可以不存在约束组件并且器械14的工具支撑18可以能够相对于手持部分16在额外的自由度上移动。例如,该器械可能包括线性致动器、旋转致动器或它们的组合。该器械可以包括2、3、4、5、6或更多个不同的致动器,它们并联、串联或以组合的方式布置。

[0112] 视觉指导

[0113] 如图10所示,引导阵列200可以可选地连接到工具支撑18。附加地或替代地,引导阵列200可以可选地附接到手持部分16或器械14的其他部分。在所示的形式中,引导阵列

200至少包括第一视觉指示器201、第二视觉指示器202和第三视觉指示器203。视觉指示器201、202、203中的每一个包括耦合到器械控制器28的一个或多个照射源。在一些形式中,照射源包括一个或多个发光二极管(例如,RGB LED),其可以在不同的状态下操作,例如开、关、以不同的频率闪烁/闪亮、以不同的强度照射、不同的颜色、它们的组合等。在图10所示的形式中,视觉指示器201、202、203中的每一个包括上部 and 下部204、206(上部段204;下部段206)。进一步设想,视觉指示器201、202、203中的每一个可被划分为多于两个的部分204、206,例如三个或更多个、四个或更多个、甚至十个或更多个部分。例如,视觉指示器201、202、203中的每一个可以被分成三个部分,每个部分包括一个或多个LED。视觉指示器201、202、203可以具有大致球形形状,其中上部 and 下部204、206包括根据需要可以单独控制/发光的半球形、透明或半透明的圆顶部。设想视觉指示器201、202、203可以具有不同于球体的形状,例如圆柱形、环形、正方形、多边形或能够向用户传达视觉提示的任何其他形状。一个或多个发光二极管可以与每个圆顶部相关联。视觉指示器201、202、203可以通过一个或多个安装支架205固定到工具支撑18或手持部分16。

[0114] 在一些示例中,不使用引导阵列,视觉指示器201、202、203可以包括单独的显示屏部分,例如被安装到工具支撑18或手持部分16的LCD或LED显示器上的单独区域。显示屏还可以作为导航系统的一部分被包括在内,作为将显示屏安装到器械上的附加或替代。

[0115] 仍然可替代地,第二模式中的视觉引导可以利用被联接到手持部分、刀片支撑或两者的机械引导件提供。

[0116] 在一些配置中,显示屏可以有一个、两个、三个或四个部分,每个部分对应于不同的视觉指示器。显示屏的每个部分可以对应于不同的视觉图形。如下所述,各视觉指示器(或显示屏的各部分)中的每一个可以基于致动器信息。在一些情况下,单一个视觉指示器可以基于来自两个或更多个致动器的致动器信息。此外,如通篇所述的,视觉指示器可以指示用户应该将工具定位在哪里的第一模式和指示用户应该将手持部分定位在哪里的第二模式使用。

[0117] 例如,视觉指示器201、202、203可以被配置为基于第一致动器21、22、23的第一命令位置而输出第一指示(第一视觉图形)并且基于第一致动器21、22、23的第二命令位置而输出第二指示(第二视觉图形),其中第一指示不同于第二指示,并且第一命令位置不同于第二命令位置。如上所述,视觉指示器201、202、203可以基于任何合适类型的致动器信息进行控制。换言之,在显示屏上显示的视觉图形可以基于命令位置、先前命令位置、模拟命令位置、当前测量位置、先前测量位置、可用行程、致动器极限(例如硬或软止挡)、从当前位置到命令位置需要的距离、或它们的组合。

[0118] 在一些配置中,器械控制器28被配置为控制上部 and 下部204、206的发光,使得上部 and 下部204、206在不同的状态下操作以指示工具20的期望移动方向。进一步设想,器械控制器28可以被配置为以不同的状态或利用不同的指示控制多个部分的发光。例如,不同的状态可以向用户指示:(1)用户应该如何移动手持部分16以将工具20(例如,锯片)置于期望的姿态(例如,在期望的切割平面/期望的切割轨迹上);或(2)用户应该如何移动手持部分16以使致动器21、22、23在优选方向上移动,例如更靠近它们的原始位置,同时控制系统60同时工作以将工具20保持在期望的姿态,如将在下面进一步描述的。

[0119] 在第一种模式中,当器械离骨骼足够远以至于引导约束不起作用而接头定心约束

起作用时,可以使用引导阵列或显示屏(在器械上或导航系统的一部分中)。在这种配置中,用户希望使用视觉指示器,以实现:刀片/工具/手持部分在进入切除地带/区域并启用引导约束时被良好初始对准到接头行程的中心附近,从而当引导约束被首次启用时刀片支撑/工具支撑和致动器上具有有限的突然移动,并且以确保致动器在被启用时能够“到达”目标平面或目标轨迹或其他目标虚拟对象。

[0120] 在第二种模式中,因为每个致动器只有有限的运动/行程范围,所以对于用户来说定位手持部分使致动器能够到达目标平面、目标轨迹或其他目标对象通常是很重要的。如果其中一个致动器达到其接头极限,则控制系统不得让它在该方向上再移动,在这种情况下,系统将无法将刀片与切割平面对准(并且控制系统通常会停用锯驱动电机以防止不正确的切除)或系统将无法将工具对准到计划的轨迹。因此,给用户持续的反馈可能是很重要的,以便他们可以适当地定位手持部分,使致动器组件可以到达目标平面或目标轨迹。如果没有持续的反馈,用户将不会意识到他们正在操作得有多靠近运动范围的极限,直到因为其中的一个电机已经达到接头极限因而锯片最终升离该平面,并且锯片驱动电机被停用,这可能会惹恼用户,延长外科手术等。目标是给予直观、实时的手柄对准反馈,以最小化/减少任何致动器达到其接头极限的发生。引导阵列、显示屏或机械引导装置可能适用于此目的。

[0121] 在一些操作模式期间,器械控制器28被配置为自动控制/调整引导阵列200(例如,改变其状态)以向用户视觉地指示工具20在俯仰定向、侧倾定向和z轴平移方面的期望变化,以便在用户通过手持部分16移动工具20时实现工具20的期望姿态。在一些形式中,引导阵列200以直观地表示工具20的平面的方式联接到工具支撑18或手持部分16。例如,由于三个点定义一平面,所以三个视觉指示器201、202、203可以大致表示工具20的平面。在一些情况下,指示器201、202、203中的每一个对应于点P1、P2、P3中的一个,其具有相对于工具20的平面的已知位置(例如,位于工具平面中,并且被定义于TCP坐标系中、工具支撑坐标系TCS中,或被定义在任何其他合适的坐标系中)。与视觉指示器201、202、203相关联的点可被定义在工具20的平面中的其他合适位置或与工具20平面具有已知关系的位置。

[0122] 共同地,使用一个或多个视觉指示器201、202、203的引导阵列200可以被定位并且它们的状态被控制以便向用户视觉地指示:为了改变工具20的俯仰、侧倾和平移而进行的移动方面的期望变化(例如,行进量)、以及为了实现期望的姿态而进行的工具支撑坐标系TCS的倾斜、侧倾和平移方面的期望变化。更具体地,器械控制器28被配置用于以使用户能够区分期望的俯仰定向变化、期望的侧倾定向变化和期望的平移变化的方式点亮引导阵列200。器械控制器28可以被配置为点亮引导阵列200或控制显示屏,使用户能够指示将工具20移动到期望平面所需的行进量。上述期望平面可以是平面或平面段。例如,俯仰、侧倾和平移方面的变化是相对于目标平面TP的。

[0123] 在另一种配置中,使用一个或多个视觉指示器201、202、203的引导阵列200可以被定位并且它们的状态被控制以便向用户视觉地指示:为了改变手持部分16的俯仰、侧倾、和平移而进行的移动(例如,行进量)方面的期望变化、以及为了实现期望的姿态而进行的基础坐标系BCS的俯仰、侧倾和平移方面的期望变化。更具体地,器械控制器28被配置成以使用户能够区分期望的俯仰定向变化、期望的侧倾定向变化和期望的平移变化的方式点亮引导阵列200或显示屏。器械控制器28可以被配置为点亮引导阵列200,以使用户能够指示为

了移动手持部分16以使工具20处于期望平面或目标轨迹上所需的行进量。例如,俯仰、侧倾和平移的变化是相对于目标平面TP的。

[0124] 基于输入信号,例如输入设备的激活(例如,脚踏开关、触发器、导航UI 38上的鼠标点击或触摸屏按压等),器械控制器28可以将引导阵列200和/或视觉指示器201、202、203(或显示屏)的操作从引导阵列/视觉指示器指示工具20的移动方面的期望变化的模式切换到指示手持部分16的移动方面的期望变化。可替代地,器械控制器28可以被配置为基于在已知坐标系中的工具20的位置和骨骼的参考定位(例如跟踪器54、56)的位置而在这些模式之间切换。参考定位可以是坐标系中用于相对于目标状态(例如目标对象)定位器械14的点、表面或体。在一个特殊实施方式中,参考定位是骨骼的计划入口71a。例如,参考定位可以是骨骼的表面、骨骼内的点、已知坐标系内的假想或虚拟点、坐标系中的体积、或它们的组合。通过配准和适当的计划步骤,参考定位的位置和/或定向相对于患者跟踪器是已知的。器械控制器28可以基于计算出的在两个对象之间的距离参数(例如工具和参考定位之间的距离)来不同地切换模式/操作。距离参数可以是距离(例如,两个对象相距多远)、大小(相对于一个对象的距离的方向)、或两者都有。在一些示例中,器械控制器28可以在距离参数具有远离骨骼的方向并且大小大于第一阈值时切换模式。

[0125] 控制概述

[0126] 参考图7和11,行为控制器186和运动控制器188可以在器械控制器28和/或导航控制器36上运行。控制系统60计算指示用于多个致动器的适当指令的数据。在一种实施方式中,行为控制器186用于输出工具相对于手持部分的下一个命令位置和/或定向(例如,姿态)。在操作期间,工具20被使用多个致动器有效地朝向目标状态移动。这些效果可以在一个或多个自由度上产生以使工具20朝向目标状态移动。因此,目标状态可以被定义为使得工具20仅在一个自由度上移动,或者可以被定义为使得工具20在多于一个自由度上移动。因此,目标状态可以包括被定义为目标坐标系TF(也称为目标框系TF)的目标位置、目标定向或两者。目标坐标系TF可以相对于解剖结构跟踪器或目标骨骼的坐标系来定义,然而,也可以使用其他坐标系。如图12所示,目标位置可以包括相对于参考坐标系(例如解剖结构跟踪器或骨骼)关于目标坐标系TF的x、y和/或z轴的一个或多个位置分量,例如,目标x位置、目标y位置和/或目标z位置。在一些情况下,目标位置被表示为目标坐标系TF相对于参考坐标系(例如解剖结构跟踪器或骨骼)的原点。目标定向可以包括关于目标坐标系TF的x、y和/或z轴相对于参考坐标系(例如解剖结构跟踪器或骨骼)的一个或多个定向分量,例如,目标x定向、目标y定向和/或目标z定向。在一些情况下,目标定向表示为目标坐标系TF的x、y和z轴相对于参考坐标系(例如解剖结构跟踪器或骨骼)的定向。目标姿态是指一个或多个位置分量和一个或多个定向分量的组合。在一些情况下,目标姿态可以包括在目标坐标系TF的少于所有六个自由度上的目标位置和目标定向。例如,在一种特定配置中,目标姿态可以由单一一个位置分量和两个定向分量定义。在一些情况下,目标位置和/或目标定向也可以称为起始位置和/或起始定向。在另一种配置中,目标姿态可以被定义为相对于已知坐标系锚定的轴线。

[0127] 参考图11,目标状态是给行为控制器186的输入。目标状态可以是工具20被调整到目标平面或目标轨迹时的目标位置、目标定向或两者。在一些情况下,从行为控制器186仅输出TCP的位置,而在其他情况下,输出工具20的位置和定向。在一些示例中,行为控制器

186的命令姿态输出可以包括位置、定向或两者。在一些示例中,来自边界发生器182和一个或多个传感器(例如可选的力/扭矩传感器S)的输出可以作为输入馈送到行为控制器186,用于确定工具相对于手持部分的下一个命令位置和/或定向。行为控制器186可以处理这些输入,以及下面进一步描述的一个或多个虚拟约束,来确定命令姿态。

[0128] 运动控制器188执行多个致动器的运动控制。运动控制的一个方面是相对于手持部分16的工具支撑18的控制。运动控制器188从行为控制器186接收数据,例如定义下一个命令姿态的数据。基于这些数据,运动控制器188确定联接到工具支撑18的多个致动器中的每一个的命令接头位置(例如,通过逆向运动学),以便工具20被定位在由行为控制器输出的命令姿态。换言之,运动控制器188将可能在笛卡尔空间中定义的命令姿态处理成被联接到工具支撑18的多个致动器的命令接头位置,使得器械控制器28可以相应地命令致动器21、22、23,以将工具支撑18移动到与工具相对于手持部分的命令姿态相对应的命令接头位置。在一个形式中,运动控制器188调整多个致动器的接头位置并不断调整每个致动器21、22、23输出的扭矩,以尽可能接近地确保致动器21、22、23引导器械使其呈现命令姿态。替代地和/或附加地,运动控制器188可以将命令接头位置输出给处理接头级位置控制的单独的一组电机控制器(例如,用于每个致动器21、22、23的那一个)。在一些示例中,运动控制器188(或电机控制器)可以使用前馈控制来改进动态跟踪和瞬态响应。在这种情况下,除了命令接头位置之外,运动控制器188还可以计算前馈接头速度(或者更确切地说是命令接头速度)和潜在的前馈接头扭矩(和/或电机电流)。然后在电机控制器的控制回路中使用该数据以更优化地驱动致动器21、22、23。

[0129] 应当理解,虽然详细描述了位置控制,但类似的控制实施方式可以与接头角度控制一起使用。此外,运动控制器可以使用接头角度控制和接头位置控制。在一些示例中,接头角度可以与接头位置互换。根据器械上的接头类型、致动器类型或两者,可以使用接头角度、接头位置或两者。例如,运动控制器可以基于一个或多个致动器的命令姿态来确定命令接头角度。

[0130] 参考图7,由控制系统60采用并在器械控制器28和/或导航控制器36上运行的软件可以包括边界生成器182。边界生成器182是生成用于约束工具20的移动和/或操作的虚拟边界184的软件程序或模块。虚拟边界184可以是一维的、二维的、三维的,并且可以包括点、线、轴、轨迹、平面或其他形状,包括复杂的几何形状。虚拟边界还可以是被定义成垂直于计划轨迹的平面或线。在一些实施例,虚拟边界184是由三角形网格定义的表面。虚拟边界184也可以称为虚拟对象。虚拟边界184可以在植入物坐标系中关于诸如3-D骨骼模型的解剖结构模型AM来定义。借助于将解剖结构模型AM通过配准或其他过程映射到患者的解剖结构,解剖结构模型AM被与真实的患者解剖结构相关联。

[0131] 虚拟边界184可以由像素、点云、体素、三角网格、其他2D或3D模型、它们的组合等来表示。美国专利公开No.2018/0333207和美国专利No.8,898,043被以引用方式并入本文,并且它们的任何特征都可用于促进外科手术的计划或执行。用于生成虚拟边界184的系统和方法的一个示例在题为“Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple modes”的美国专利No.9,119,655中进行了描述,其公开内容被通过引用方式并入本文。在一些示例中,虚拟边界184可以离线生成,而非在器械控制器28或导航控制器36上生成。此后,虚拟边界184可以在运行时由器械控制器28使用。

[0132] 解剖结构模型AM和相关联的虚拟边界184被配准到一个或多个患者跟踪器54、56。因此,解剖结构模型AM(和相关联的真实的患者解剖结构)以及被固定到解剖结构模型AM的虚拟边界184可以由患者跟踪器54、56跟踪。虚拟边界184可以是植入物特定的,例如基于植入物的尺寸、形状、体积等来定义,和/或患者特定的,例如基于患者的解剖结构来定义。植入物特定的虚拟边界可具有特殊的尺寸边界,例如植入物特定的边界与所使用的特定植入物为1:1。在其他情况下,边界可能大于或小于植入物的实际尺寸(例如2:1、1:2等)。用于特殊植入物的植入物特定边界可以是任意成形的。在一些示例中,植入物特定边界可以偏离植入物尺寸一固定或经配置的量。虚拟边界184可以是在手术前、手术中或它们的组合中创建的边界。换言之,虚拟边界184可以在外科手术开始之前、在外科手术期间(包括在组织去除过程中)或其组合定义的。在任何情况下,控制系统60通过下述来获得虚拟边界184:在/从存储器中存储/提取虚拟边界184、从存储器获得虚拟边界184、在术前创建虚拟边界184、在术中创建虚拟边界184等。换言之,可以从植入物的计划姿态以及植入物的计划尺寸、形状、体积等获得一个或多个虚拟边界。贯穿本说明书,植入物坐标系和解剖结构模型坐标系可以被认为是可互换的。

[0133] 可以以各种方式使用虚拟边界184。例如,控制系统60可以:控制工具20的某些移动以保持在边界内;控制工具20的某些移动以保持在边界之外;控制工具20的某些移动以保持在边界上(例如,保持在点、轨迹和/或平面上);基于器械14与边界的关系(例如,空间、速度等)控制器械14的某些操作/功能;和/或控制对器械14的驱动电机M的通电。还设想了边界184的其他用途。参考图13,在一种可能的实施方式中,虚拟边界184可以包括被定位于切口远侧的大致平面的网格,远侧边界DB。该虚拟边界184可以与3-D骨骼模型相关联。该虚拟边界可用于控制锯驱动电机M。在其他示例中,边界生成器182提供用于控制多个致动器的目的的虚拟边界184。在该示例中,虚拟边界可被用于生成影响虚拟质量和虚拟锯片/工具在虚拟模拟中的移动的约束。在这样的实施方式中,虚拟边界可以建立虚拟切割引导(例如,虚拟锯切割引导)。还可以提供虚拟边界184来描绘如下所述的各种操作/控制区域,用于锯驱动电机的控制或用于多个致动器的控制。虚拟边界184可以是一维的(1D)、二维的(2D)、三维的(3D),并且可以包括点、线、轴、轨迹、平面(无限平面或由解剖结构或其他边界界定的平面段)、体积或其他形状,包括复杂的几何形状。

[0134] 参考图10和14,可以在植入物坐标系中相对于股骨F计划植入物(IM)的姿态。然后可以通过各种导航变换相对于患者跟踪器54、56之一来定义植入物的这个计划姿态,并且植入物的姿态可以是计划的虚拟对象的基础,例如目标平面(TP),或虚拟边界。目标平面可以表示为了实现计划的植入物姿态而需要相对于骨骼进行什么切割。换言之,目标平面(TP)可以与计划的植入物意于接触骨骼的平面对准。在一些示例中,可能需要调整目标平面(TP)的位置来考虑锯片的厚度。在一个示例中,在锯片的远侧末端,TCP坐标系可以放置在锯片中心处、位于锯片厚度的一半的一点处。切割平面的定位可以根据在特殊的切割过程中锯片的哪一侧抵靠在骨头上而在一方向上调整锯片的一半厚度。通过沿目标平面切割,所形成的将从股骨移除的骨骼将允许计划的植入物被正确地安置在骨骼上。目标平面TP可以采取如下所述的目标状态的形式。可替代地,目标平面TP可以被生成为可以用于控制多个致动器的虚拟边界的形式。

[0135] 在一些形式中,控制系统60最终将用于将工具20保持在期望的切割平面上。可以

用于控制多个致动器的虚拟边界184也可以是体积边界,例如体积边界的厚度等于和/或略大于刀片厚度,以约束锯片使其保持在边界内和保持在期望的切割平面上。因此,期望的切割平面可以由虚拟平面边界、虚拟体积边界或其他形式的虚拟边界来定义。在一些示例中,考虑到锯片的厚度,虚拟边界184中的切割槽需要被偏置,以便槽边界(对应于锯片接触骨骼以进行切割的那一侧)与最终期望的植入物-骨骼表面对准,并且另一个边界被偏置整个刀片厚度。在另一个示例中,对于槽边界使用了稍大的厚度,导致切割槽的竖直中心线被偏置了锯片一半的厚度。虚拟边界184也可以称为虚拟对象。虚拟边界184可以相对于植入物坐标系中的解剖结构模型AM定义,例如3D骨骼模型(参见图10,其示意出解剖结构模型AM由于它们的配准而虚拟地覆盖在实际股骨F上)。换言之,与虚拟边界184相关联的点、线、轴、轨迹、平面、体积等可以在相对于解剖结构模型AM的坐标系固定的一坐标系中定义,使得对解剖结构模型AM的跟踪(例如,通过跟踪它所配准到的相关联的解剖结构)也能够跟踪虚拟边界184。

[0136] 解剖结构模型AM被配准到第一患者跟踪器54,使得虚拟边界184与解剖结构模型AM及关联的坐标系相关联。虚拟边界184可以是植入物特定的,例如基于植入物的尺寸、形状、体积等,和/或患者特定的,例如基于患者的解剖结构来定义。植入物特定的边界可以大于或小于植入物的物理尺寸。虚拟边界184可以是在手术前、手术中或它们的组合中创建的边界。换言之,虚拟边界184可以在外科手术开始之前、在外科手术期间(包括在组织去除过程中)或其组合来定义。可以以多种方式提供虚拟边界184,例如通过控制系统60创建虚拟边界、从其他源/系统接收虚拟边界等。虚拟边界184可以存储在存储器中,以进行提取和/或更新。

[0137] 在某些情况下,例如当准备股骨F以接收全膝关节植入物IM(参见图1)时,虚拟边界184包括多个平面边界,这些平面边界可用于描绘用于全膝关节植入物IM的多个切割平面(例如,五个切割平面),并与股骨F远端的3D模型和/或基于胫骨3D模型的切割平面相关联。这些多个虚拟边界184和/或目标平面可以由控制系统60一次激活一个,以控制所述多个致动器一次切割一个平面。这些切割平面中的每一个都可以是控制系统的目标平面。为了说明的目的,在图13中示出了示例虚拟边界184。虽然图13显示目标平面与植入物边界对准,但应了解这是示意性图示,目标平面可能从计划的植入物边界略有偏移。其他形状和布置也是可能的。图13显示了一系列切割,每个切割都具有期望的目标平面。每一个股骨的远端都显示了提供进入该股骨的通道的入口部分。入口部分继续进入沿五个目标切割平面TP、73a-73e之一限定的切割槽。在其他情况下,虚拟边界可以是用于将旋转工具插入骨骼中的计划轨迹,例如用于将钻头或丝锥插入骨骼中,例如插入股骨或椎骨中。同样,所述多个虚拟轨迹可以一次激活一个,用于控制所述多个致动器一次钻出一个轨迹。

[0138] 在虚拟边界被用于控制锯驱动电机(或其他驱动电机)的实例中,并参考图13和15,当准备用于接收全膝关节植入物或其他外科手术的膝关节时,虚拟边界184可以表示能够用于描绘锯(DB, LB)或工具的平面内切割深度或宽度的边界。用于锯(DB, LV)的平面内切割深度或宽度可以是3D边界模型的特征,而不是不同的边界。那些远侧边界DB可以大致垂直于目标切割平面或目标轨迹,并且可选地可被设计轮廓至患者的解剖结构特征(股骨的远侧面、韧带、动脉、软组织等)。这可以避免意外切割到关键结构。用于控制驱动电机的虚拟边界184可以包括一个或多个侧向边界(LB)。这些侧向边界(LB)可用于防止在侧向方向

上切割超出目标深度。在一些示例中,由3D边界中的深度边界和侧向边界限定的切割槽可被用于辅助的误差减轻特征,例如如果锯片没有充分地保持在平面上(在器械和/或骨骼突然快速运动或作为对另一个系统故障的缓解)或工具没有保持在轨迹上则关掉驱动电机M。用于控制锯驱动电机的边界可以根据选定的目标平面选择性地激活。类似地,用于控制工具驱动电机的边界可以基于选定的目标轴来激活。

[0139] 在一些情况下,描绘切割深度的虚拟边界可以基于计划的虚拟对象的姿态,例如固定的边界偏移,例如5mm的平面偏移并且垂直于每个计划的切割平面(TP)或目标轨迹。再次参考图13,其中5个TP与计划的植入物旨在接触骨骼的每个平面对准,远侧边界DB被实现为垂直于每个切割的TP,并且从计划的植入物将接触骨骼的平面的远侧端偏移预定距离。在一些形式中,控制系统60评估锯片是否将违反深度边界DB超过阈值量,并且可以命令器械控制器28停止驱动电机M的操作。在一些示例中,器械控制器28可能不会停止驱动电机M的操作,而是依赖于驱动电机M的用户控制的启动、停止和/或速度控制。

[0140] 在一些情况下,器械控制器28将驱动电机M的电机参数控制到第一值和第二值,使得第一值不同于第二值并且器械控制器28可以基于工具20的位置和与骨骼相关联的参考定位的位置(例如虚拟边界)或者基于计算的距离参数将操作从第一值改变为第二值。

[0141] 随着工具20前进到骨骼的切口或孔中,器械控制器28使用相对于参考定位的工具20的导航数据或基于与骨骼相关联的工具的姿态可以允许驱动电机M的激活。此外,器械控制器28可以基于工具20是否已经达到与和骨骼相关联的参考点或边界相关的特定姿态、距离参数值或位置来关掉驱动电机M。在一些情况下,由于软组织、未去除的骨头和手术中使用的其他手术器械导致视线受限,用户可能会发现在执行手术过程时难以感知工具20在骨头内的深度。由于相邻的解剖结构将压力施加到锯片20或工具上,用户也可能难以感知工具20的深度。通过基于工具20的姿态或位置来控制驱动电机M,用户可以能够更准确地控制切割深度。

[0142] 在一些示例中,当器械控制器28通过改变驱动电机M的参数来改变操作模式时,器械14、输入设备、导航系统32、器械控制器28或其组合可以提供表明模式已改变的听觉指示、触觉指示,或两者。在一种情况下,输入设备可以是脚踏开关,当器械的模式改变时,控制驱动电机M的速度,脚踏开关可以振动。在另一示例中,当模式和/或控制行为被改变以加速或减慢驱动电机M时,用户可以感知到听觉指示,例如驱动电机M的电机速度改变音量、音调、振动或它们的组合,表明器械的模式和/或控制行为已经改变。

[0143] 如上所述,器械控制器28和/或导航控制器36跟踪工具20的状态,例如锯片相对于虚拟边界184的位置和/或定向。在一个示例中,可以将其描述为监控TCP的状态是相对于虚拟边界184测量的,以用于控制工具驱动电机M。换句话说,控制系统可以基于相对于虚拟边界184测量的TCP的状态来控制锯驱动电机M,例如当器械虚拟模型VM的任何方面违反虚拟边界184超过阈值量时减慢或停止锯驱动电机M。在一些示例中,工具(TCP坐标系)的姿态可被用于评估工具20的任何方面是否将违反虚拟边界184超过阈值量。器械控制器28可以具有刀片模型(例如,CAD模型或使用几何图元的简化模型),所述刀片模型可以被评估对虚拟边界184的违反。在一些示例中,工具20的延伸范围可以用围绕着工具20末端的扫掠蜗壳的外围放置的离散的球体阵列建模,其中球体的直径与工具20的厚度相匹配,定位被相对于TCP坐标系定义。此外,虚拟边界184可以是端部开口的表面或封闭的表面。当虚拟边界184

被配置为封闭的表面时,虚拟边界184可用作“保持在外面”的边界,其中器械14在虚拟边界的“外面”时可以被致动、但在跨越虚拟边界一阈值量后被关掉。类似地,闭合表面的虚拟边界可用作“保持在内部”的边界,其中器械14仅可以在虚拟边界184内操作,当器械“离开”虚拟边界184超过一阈值量时关掉器械14。

[0144] 在另一个示例中,TCP的状态被相对于虚拟边界184进行测量,以便通过虚拟模拟确定被施加到虚拟刚体模型的力,从而使工具20保持与虚拟边界184的期望位置关系(例如,没有移动超出虚拟边界)。当控制被联接到工具支撑18的多个致动器时对虚拟模拟的结果进行处理。边界生成器182可以在器械控制器28上实现。可替代地,边界生成器182可以在其他部件、例如导航控制器36上实现。

[0145] 边界生成器182、行为控制器186和运动控制器188可以是软件程序378的子集。可替代地,每个都可以是单独和/或以其任意组合独立运行的软件程序。术语“软件程序”在此用于描述被配置为执行所描述的技术方案的各种能力的计算机可执行指令。为简单起见,术语“软件程序”旨在至少包含边界生成器182、行为控制器186和/或运动控制器188中的任何一个或多个。软件程序378可以在器械控制器28、导航控制器36或两者上实现,或者可以由控制系统60以任何合适的方式实现。

[0146] 可以提供临床应用程序190来处理用户交互。临床应用程序190处理用户交互的许多方面并协调手术工作流程,包括术前计划、植入物放置、配准、骨骼准备可视化和植入物安装的术后评估等。临床应用程序190被配置为输出到显示器38。临床应用程序190可以在其自己的单独的处理器上运行或可以与导航控制器36一起运行。在一个示例中,临床应用程序190在用户设定了植入物放置之后与边界生成器182接口,然后将由边界生成器182返回的虚拟边界184和/或工具平面TP发送到器械控制器28以供执行。器械控制器28执行如本文所述的目标平面TP或目标轨迹。器械控制器28还可处理虚拟边界184以生成对应的虚拟约束,如下文进一步描述的。

[0147] 转向图16,将关于各种变换来描述示例性控制。TCP通过下述来定位:使用工具跟踪器52(TT)相对于定位器坐标系LCLZ跟踪工具20(LCLZ-TT变换)并使用配准数据或校准数据确定工具跟踪器52和工具20(例如锯片)的TCP之间的变换(TT-TCP变换)。类似地,使用患者跟踪器(示出为54)跟踪患者,导致从定位器坐标系LCLZ到患者跟踪器坐标系的变换(LCLZ-PT变换)。

[0148] 如关于图11所述,通过骨配准过程,建立从骨到患者跟踪器54、56的变换(骨到患者跟踪器)。通过植入物计划过程,确定了骨到植入物/解剖结构模型的变换(骨-IM的变换)。然后,计算患者跟踪器54到计划的植入物(患者跟踪器-IM)的变换。计划的植入物(IM)可以与目标平面相关(IM-TP变换),给定了所选择的植入物部件的平面部分的定位以及尺寸的话,或者可以与目标轨迹相关(参见图32,进一步如下描述的)。再次参考图16,然后,使用配准数据和计划信息的组合,计算患者跟踪器54、56和每个计划的虚拟对象之间的变换,比如患者跟踪器和每个目标平面之间的变换(PT-TP变换),或者比如患者跟踪器和每个目标轨迹之间的变换(PT-轨迹变换)。

[0149] 工具支撑18以及因此TCP的位置和/或定向可以与工具跟踪器52相关(工具支撑到工具跟踪器的变换,通过配准或校准过程计算)。如上所述,在一些实施方式中,手持部分16和TCP之间的变换(BCS-TCP)是基于每个致动器的位置来计算的。BCS和TCP之间的变换被用

于将各坐标系向回与手持部分16相关联,因为对于某些控制实施方式可以相对于BCS确定命令姿态。从概念上讲,命令姿态是对BCS-TCP变换的更新,在本示例中这导致TCP与计划的虚拟对象(目标平面TP)对准。作为替代,在某些情况下,可以通过使用直接联接到手持部分16的手持部分跟踪器53来直接确定手持部分16的姿态。这可以消除使用TCP坐标系并基于每个致动器的位置在BCS和TCP之间进行变换的需要。

[0150] 当致动器21、22、23处于它们的原始位置/中心点或其他预定位置时,可以基于工具支撑和手持部分16之间的已知的几何关系来确定TCP相对于基础坐标系BCS的初始姿态。另外,和/或替代地,可以通过使用编码器测量初始姿态并计算正向运动学以获得TCP相对于BCS的测量姿态,可以将初始姿态“植入”虚拟模拟内,使用该姿态来初始化虚拟模拟。当调节致动器21、22、23时,这种关系发生变化,并且相关联的变化可以基于机器人系统10的运动学(例如,建立这些坐标系之间的动态变换)来确定。因此,机器人系统10知道工具20的姿态,例如处于原始位置及其与手持部分16的姿态的关系。因此,当用户移动工具20并且使用工具跟踪器52跟踪其姿态时,机器人系统10还跟踪手持部分16及其基础坐标系BCS的姿态。在一些示例中,作为在前的校准过程的结果,假设工具20相对于工具支撑18的位置是已知的。在确定致动器21、22、23中的每一个的原始位置/中心点和最大行程之后,控制基于来自导航控制器36的位置和/或定向数据以及致动器的被测量的位置数据进行。还可以以其他方式计算所述原始位置。

[0151] 由于患者跟踪器54、56和工具跟踪器52均由定位器44相对于定位器坐标系LCLZ报告,提供LCLZ-PT和LCLZ-TT,这些变换可以一起处理以确定工具跟踪器52和患者跟踪器54、56之间的变换(TT-PT)。从这开始,可以由控制系统60计算基础坐标系到患者跟踪器(BCS-PT)的变换,计算患者跟踪器54、56相对于手持部分16的位置。由于目标平面TP相对于患者跟踪器54、56是已知的,所以控制系统60可以计算基础坐标系BCS到目标平面TP(BCS-TP)的变换,生成目标平面在手持部分16的坐标系(BCS)中的姿态。在一个示例中,BCS-TP可直接用于计算将TCP置于目标切割平面TP上的命令姿态BCS-TCP,然后可以命令致动器21、22、23将工具20移动到期望的姿态。在一些示例中,BCS-TCP计算可用于生成在虚拟模拟VM内将TCP吸引到TP的约束。尽管自始至终描述了目标平面变换,但是应当理解,代替目标平面的与目标轨迹相关的变换也在本文中被考虑。

[0152] 在一些示例中,数字滤波器可以应用于直接从定位器接收的输入数据,应用于从正向运动学(例如,直接从运动控制器188)接收的输入数据,或应用于前述变换的任何中间组合。在一些示例中,可以使用移动平均滤波器,尽管可以应用其他数字滤波技术。

[0153] 器械控制器28可以通过向每个致动器21、22、23发送命令信号来控制一个或多个致动器21、22、23,以在至少一个自由度上朝着目标状态调节工具20。器械控制器28可以向每个致动器21、22、23发送命令信号以将致动器21、22、23从第一组位置移动到将工具20置于目标状态的一组命令位置。在一些示例中,命令位置可以由器械控制器28结合导航系统32基于手持部分16的姿态和已知坐标系(即,相对于患者跟踪器54、56定义的)中的目标状态(例如虚拟对象(目标切割平面或目标轨迹)的状态)来确定,并向致动器21、22、23发送信号以调整到命令位置。

[0154] 第二软件模块是运动控制器188。运动控制器188的一个功能是控制器械14。运动控制器188可以接收定义锯片20、380的目标状态的数据,例如来自行为控制器186的下一个

命令姿态。基于这些数据,运动控制器188确定每个致动器21、22、23的转子148的下一个命令接头位置(例如,通过逆向运动学),使得器械14能够如行为控制器186命令地来定位工具20,例如,将器械控制到命令姿态。换言之,运动控制器188将可能在笛卡尔空间中定义的命令姿态处理成器械14的致动器位置(例如命令接头位置),使得器械控制器28可以相应地命令电机142,以将器械14的致动器21、22、23移动到命令位置,例如对应于命令姿态的命令接头位置。在一个形式中,运动控制器188调节每个电机142的接头位置并不断地调整每个电机142输出的扭矩,以尽可能接近地确保电机142将相关联的致动器21、22、23驱动到命令接头位置。在另一个形式中,器械控制器调节每个电机142的接头位置并不断地调整每个电机142输出的扭矩,以尽可能接近地确保电机142将相关联的致动器21、22、23驱动到命令接头位置。

[0155] 器械控制器28可以知道致动器21、22、23能够相对于手持部分16调节工具支撑18的整个长度。在一些示例中,器械控制器28知道致动器21、22、23能够调节的整个长度,并且可以向致动器21、22、23发送命令信号以从一个位置向另一个位置移动测量距离(例如,通过经由命令旋转的方式命令期望的线性行进量)。测量位置可以是已知位置,或致动器21、22、23的当前位置与致动器极限之间的距离。致动器21、22、23移动到的每个位置可以距致动器行程的正极限和负极限一测量距离(即,导螺杆的两端之间的一位置)。器械控制器28可以命令致动器21、22、23进出如下所述的位置。器械控制器可以命令致动器21、22、23到一位置以达到对工具20的期望调节。器械控制器28可以控制致动器21、22、23线性地移动计算的距离,以使工具20朝向期望的姿态调整。在其他示例中,例如当使用绝对编码器时,器械控制器可以,基于由绝对编码器确定的在相应致动器行程极限之间的致动器21、22的已知定位,向致动器21、22、23发送信号而将每个致动器21、22、23置于命令位置。可替代地,在一个示例中,增量编码器可以与在系统设置期间执行的归位过程结合使用,如美国专利公开No. 2017/0156799中所述的,该专利被通过引用方式并入本文。可以使用归位程序,将致动器21、22、23和接头置于它们的中心位置,然后确定增量编码器的绝对偏移。通过确定增量编码器的偏移,增量编码器可以作为向前的绝对编码器来执行。

[0156] 在一些形式中,对于每个致动器21、22、23来说,器械控制器28确定致动器的命令位置和测量位置之间的差异。器械控制器28输出目标电流(与致动器的扭矩成比例),改变电压以将致动器处的电流从初始电流调整为目标电流。目标电流实现致动器21、22、23的移动,使每个致动器21、22、23朝向命令接头位置移动,并因此将器械朝向命令姿态移动。这可以发生在命令姿态转换为接头位置之后。在一个示例中,每个接头的测量位置可以自上述传感器S、例如编码器得到。

[0157] 在整个说明书中,除非另有说明,否则任何姿态的实例可以是当前命令姿态、当前测量姿态、过去测量姿态或过去命令姿态。虽然这些姿态中的每一个都可能彼此不同,但由于控制循环的频率,这些姿态之间的位置和/或定向的差异在每次控制迭代中可能是最小的。此外,任何位置的实例可以是当前命令位置、当前测量位置、过去测量位置或过去命令位置。

[0158] 可以使用不同的控制方法来控制多个致动器以将工具放置在期望的位置,例如目标平面或目标轨迹,包括、但不限于阻抗控制、导纳控制、位置控制或使用多种不同控制实施方式的混合控制。虽然详细描述了导纳控制实施方式,但应该理解,可以使用其他方法。

在导纳控制模式下,控制系统接受力输入(虚拟或测量)并命令位置(或运动)输出。例如,对于导纳控制,系统对虚拟质量上特殊定位处的力和/或扭矩进行建模,并修改虚拟质量的姿态以实现工具的期望目标状态。在阻抗控制模式下,控制系统接受位置(或运动)输入并命令力或扭矩输出。例如,阻抗控制系统测量、感测和/或计算器械的位置(即,位置、定向、速度和/或加速度),并且可以将适当的对应扭矩施加到每个致动器以实现工具的期望目标状态。位置控制还可用于控制多个致动器以实现某些行为。应该理解,将需要对行为控制器和运动控制器两者的改变来实现这些控制方案。

[0159] 在一些形式中,一旦治疗开始,器械控制器28可以减轻用户将工具20放置成远离期望姿态(例如,在虚拟边界184或计划的虚拟对象(TP)外面或偏离)的能力的影响。例如,在一些实施方式中,一旦导航系统32提供了工具20正在移离期望的切割平面或远离骨头预定距离/定向的指示,器械控制器28立即终止给驱动电机M施加激励信号,防止工具20凿到骨头,并最小化软组织损伤。在其他示例中,驱动电机M可以使用电机制动来减速或停止,例如,如在题为“Surgical tool system with a powered handpiece and a console, the console able to provide energization signals to the handpiece in either a motor drive mode or a direct drive mode”的美国专利No.7,998,157中所述的,该专利被通过引用方式并入本文。在该特征的一些实施方式中,具有期望姿态的工具20的可接受的不对准可以随着切除深度的增加而变化。

[0160] 边界生成器182、行为控制器186和运动控制器188可以是软件程序的子集。可替代地,每一个都可以是单独和/或以其任意组合独立运行的软件程序。术语“软件程序”在此用于描述被配置为执行所描述的技术方案的各种能力的计算机可执行指令。

[0161] 现在参考图12,目标坐标系TF可以是其原点和轴定义目标状态的任何坐标系,并且目标状态可以关于用来相对于工具20的目标状态来监控工具20的状态所需的任何其他坐标系来指定。目标状态可以在患者跟踪器坐标系(例如,患者跟踪器54、56的坐标系)、定位器坐标系LCLZ、基础坐标系BCS、虚拟质量坐标系VM、TCP坐标系等中跟踪。目标状态初始可以相对于患者的植入物坐标系(IM)定义,并且可以相对于患者的解剖结构固定并且相对于所述一个或多个患者跟踪器固定。出于本公开的目的,目标状态可以包括锯片的期望姿态。

[0162] 工具20的当前状态可以通过引导坐标系GF(也称为引导框系GF)来定义。引导坐标系GF可以绑定到另一个坐标系,或者当前状态可被变换到任何其他坐标系,以相对于目标状态实现对当前状态的跟踪。当前状态可以在跟踪器坐标系(例如,工具跟踪器坐标系(TT)、定位器坐标系LCLZ、基础坐标系BCS、虚拟质量坐标系VM、TCP坐标系等中进行跟踪。在本文所述的一些形式中,工具20的当前状态初始由TCP坐标系定义(例如,为了便于说明,TCP坐标系和引导坐标系GF被示为相同)。引导坐标系GF和目标坐标系TF两者都可以变换到一公共坐标系以进行跟踪。目标状态可以在术前、术中或两者中定义。

[0163] 如上所述,为了控制多个致动器,通常设定命令姿态。该命令姿态可以是BCS和TCP之间的期望关系,即工具支撑和手持部分之间的期望关系。命令姿态是基于手持部分16在已知坐标系中的姿态和在同一坐标系(例如与患者跟踪器54、56相关联的坐标系)中的目标状态来确定的,例如,计划的虚拟对象的姿态,例如,从计划的植入物的姿态推导出的锯片的目标姿态。命令姿态可以导致工具20位于期望的平面上或与计划的虚拟对象(例如计划

的轨迹)对准。如上所述,器械控制器28可以使用逆向运动学将命令姿态转换为多个致动器中的每一个的命令位置,然后向致动器21、22、23发送命令指令以移动到命令位置,从而改变工具支撑18和工具20的相对姿态。

[0164] 可以设想,控制系统60可以被配置为控制其他类型的器械和致动器组件布置,例如钻头、锉、探针、引导装置等、或它们的组合。例如,可以实施本教导以控制在题为“Surgical instrument including housing,a cutting accessory that extends from the housing and actuators that establish the position of the cutting accessory relative to the housing”的美国专利No.9,707,043中描述的器械,该专利被通过引用方式并入。例如,如图32所示,以作为钻头或锉的工具20示出了器械的可替代示例。将关于各种变换来描述示例性控制。通过利用工具跟踪器52 (TT) 相对于定位器坐标系LCLZ (LCLZ-TT变换) 来跟踪工具20、以及使用配准数据或校准数据确定工具跟踪器52和工具20 (例如钻孔/锉) 的TCP之间的变换 (TT-TCP变换) 来定位TCP。类似地,利用患者跟踪器 (示出为54) 跟踪患者,生成从定位器坐标系LCLZ到患者跟踪器坐标系的变换 (LCLZ-PT变换)。

[0165] 如关于图11所述,通过骨配准过程,建立从骨到患者跟踪器54、56的变换 (骨到患者跟踪器)。通过植入物计划过程,确定骨到植入物/解剖结构模型的变换 (骨-IM的变换)。然后,计算患者跟踪器54到计划的植入物 (患者跟踪器-IM) 的变换。给定所选植入物部件的定位,计划的植入物 (IM) 可以与目标轨迹相关 (IM-轨迹的变换)。再次参考图32,然后,使用配准数据和计划信息的组合计算患者跟踪器54、56和每个计划的虚拟对象 (例如每个目标轨迹) 之间的变换 (PT-TTRAJ的变换)。

[0166] 工具支撑18以及因此TCP的位置和/或定向可以与工具跟踪器52相关 (工具支撑到工具跟踪器的变换,通过配准或校准过程计算)。如上所述,在一些实施方式中,手持部分16和TCP (BCS-TCP) 之间的变换是基于每个致动器的位置来计算的。此BCS和TCP之间的变换被用于将各坐标系反向关联到手持部分16,因为对于某些控制实施方式来说可以相对于BCS确定命令姿态。从概念上讲,命令姿态是对BCS到TCP的变换的更新,在本示例中这导致TCP与计划的虚拟对象 (目标轨迹TTRAJ) 对准。作为替代,在一些情况下,可以通过使用直接联接到手持部分16的手持部分跟踪器53来直接确定手持部分16的姿态。这可以消除利用TCP坐标系和基于每个致动器的位置在BCS和TCP之间进行变换的需要。

[0167] 当致动器21、22、23处于它们的原始位置/中心点或其他预定位置时,可以基于工具支撑和手持部分16之间的已知几何关系来确定相对于基础坐标系BCS的TCP的初始姿态。此外,和/或替代地,可以通过使用编码器测量初始姿态并计算正向运动学以获得TCP相对于BCS的测量姿态,可以将初始姿态“植入”虚拟模拟内,使用该姿态来初始化虚拟模拟。当调节致动器21、22、23时这种关系发生变化,并且相关联的变化可以基于机器人系统10的运动学 (例如,建立这些坐标系之间的动态变换) 来确定。因此,机器人系统10知道工具20的姿态,例如处于原始位置及其与手持部分16的姿态的关系。因此,当用户移动工具20并且使用工具跟踪器52跟踪其姿态时,机器人系统10还确定手持部分16及其基础坐标系BCS的姿态。在一些示例中,作为在前的校准过程的结果,假设工具20相对于工具支撑18的位置是已知的。在建立致动器21、22、23中的每一个的原始位置/中心点和最大行程之后,控制基于来自导航控制器36的位置和/或定向数据以及致动器的被测量的位置数据进行。

[0168] 由于患者跟踪器54、56和工具跟踪器52两者均由定位器44相对于定位器坐标系LCLZ报告,提供LCLZ-PT变换和LCLZ-TT变换,这些变换可以一起处理以确定工具跟踪器52和患者跟踪器54、56之间的变换(TT-PT)。从这开始,可以由控制系统60计算基础坐标系到患者跟踪器(BCS-PT)的变换,计算患者跟踪器54、56相对于手持部分16的定位。由于目标轨迹TTRAJ相对于患者跟踪器54、56的是已知的,所以控制系统60可以计算基础坐标系BCS到目标轨迹TTRAJ(BCS-TTRAJ)的变换,生成目标轨迹在手持部分16的坐标系(BCS)中的姿态。在一个示例中,BCS-TTRAJ变换可直接用于计算将TCP置于目标轨迹TTRAJ上的命令姿态BCS-TCP,然后可以命令致动器21、22、23将工具20移动到期望的姿态。在一些示例中,BCS-TCP计算可用于生成在虚拟模拟VM内将TCP吸引到TTRAJ的约束。

[0169] 器械控制器28可以通过向每个致动器21、22、23发送命令信号来控制一个或多个致动器21、22、23,以在至少一个自由度上朝着目标状态调节工具20。器械控制器28可以向每个致动器21、22、23发送命令信号以将致动器21、22、23从第一组位置移动到将工具20置于目标状态的一组命令位置。在一些示例中,命令位置可以由器械控制器28结合导航系统32基于手持部分16的姿态和已知坐标系(即,相对于患者跟踪器54、56定义的)中的目标状态(例如虚拟对象(目标轨迹)的状态)来确定,并向致动器21、22、23发送信号以调整到命令位置。

[0170] 虚拟约束

[0171] 在一些实施方式中,控制系统使用一个或多个虚拟约束来计算命令姿态。通常,虚拟约束是对刚体在某些方向上的运动的限制和/或增强,控制系统60将其与其他运动相关的信息一起作为虚拟模拟的一部分进行考虑。每个虚拟约束可以认为是沿着一特殊方向(称为约束方向)起作用。这些单向约束可以组合以产生多自由度约束,例如,在虚拟模拟中这些约束可以协作使两个坐标系相互对准或相互排斥。虚拟约束既可以限制运动,或者也可以增强某个方向的运动。约束不是在方向的意义上“限制”运动(吸引/排斥),而是它不允许自由(不受约束的)运动,而是在虚拟模拟中基于两个被跟踪对象/坐标系的相对运动或姿态以某种方式影响运动。起作用的虚拟约束都被添加到约束求解器中,其中约束求解器确定一组参数,这些参数考虑每个虚拟约束并计算力。此生成的力可以表示为6-DOF力/扭矩矢量,该矢量代表各种虚拟约束的平衡或均衡,每个虚拟约束沿潜在的单独的约束方向起作用。应当注意,在本教导中使用了术语“力”,它可以指广义的力/扭矩矢量,其中线性力和/或旋转扭矩的分量被指定在一个或多个自由度上。例如,“力”可以指在单一方向上的单一力、围绕单一轴线的单一扭矩、或其任何组合,例如,在给定坐标系中的一6-DOF力/扭矩矢量定义由x、y和z分量构成的力和由围绕着x、y和z轴的扭矩分量构成的力矩。

[0172] 在一些示例中,每个虚拟约束不具有相等的力,并且,取决于被该虚拟约束作用的刚体的定位,其可以被调整以使该虚拟约束是灵活的。例如,根据器械14相对于患者解剖结构和目标切割平面或目标轨迹的定位,可以调整虚拟约束以使得虚拟约束是灵活的。虚拟约束不是无限刚性的,而是每个虚拟约束都有调整参数来调整虚拟约束的刚度,例如,通过将弹簧和阻尼参数引入到虚拟约束中。这种参数可以包括约束力混合参数(C)和误差减少参数(ϵ)。然后可以向虚拟模拟中的虚拟刚体(代表工具20或刀片支撑18)施加力。执行6-DOF正向动力学计算以确定虚拟刚体的最终运动。模拟以时间步长进行并且结果被用作命令姿态。

[0173] 对于位置约束来说调整参数的值可能比定向约束更大(例如,更硬),反之亦然。因此,虚拟约束的计算导致对相对于手持部分移动的工具支撑的运动参数的直接控制。例如,可以如在2020年9月30日提交的题为“Systems and Methods For Guiding Movement Of A Tool”的PCT申请No.PCT/US2020/053548中所述地确定调整参数,该申请被通过引用方式并入本文。

[0174] 虚拟约束的状态可以在器械的操作过程中进行控制。例如,虚拟约束的状态可以基于第一状态和第二状态(例如,工具的当前状态和目标状态)之间的关系而改变。例如,状态可以被配置为工具的位置和参考定位的位置之间的距离参数的函数,使得状态在使用期间变化。在另一个示例中,状态可以被配置为工具的位置和参考定位的位置之间的角度参数的函数,使得状态在使用期间发生变化。每个虚拟约束的状态可以是起作用(active)状态、不起作用状态,包括用于调整参数的第一值,和/或包括用于调整参数的第二值。在一些示例中,状态的值可以由查找表来定义。这样,可以基于工具的状态来激活和/或停用某些约束。

[0175] 在工具是锯片的情况下,相对于针对多个切割平面的锯片的目标状态,锯片的状态可以包括确定锯片的当前定向和锯片的多个目标定向之间的角度,确定锯片的当前位置与锯片的多个目标位置之间的距离,或者确定角度和距离两者。相对于锯片的目标状态确定锯片的当前状态还可以包括确定由锯片限定的平面相对于已知坐标系中的多个切割平面的定位。因此,如果锯片被定位成与特殊的目标切割平面相邻,则一个或多个虚拟约束的状态可以改变,并且可以进一步更新控制系统以更新目标姿态来反映所选则的切割平面。当使用旋转切割工具与一个或多个目标轨迹对准时,可以实施类似的技术来控制器械。

[0176] 当使用用户输入设备时,或者当机器人系统10自动激活虚拟约束时,可以激活虚拟约束。另外或替代地,用户可以能够手动设定虚拟约束(例如,通过一个或多个用户界面UI改变虚拟约束的一个或多个参数、激活/停用虚拟约束等)。用户可以采用临床应用程序190用于此目的。当正在执行某些外科手术步骤(例如,切割期望的组织部分等)时,或者当机器人系统10检测到或以其他方式识别某些条件时,也可以触发虚拟约束。

[0177] 在一个示例中,参考图10,虚拟约束的状态可以根据工具被相对于计划的切割或手术部位定位于哪个区域而改变。在一个或多个已知坐标系中这些区域可以由虚拟对象184(参见图示的球形对象)定义。

[0178] 在改变虚拟约束的状态的一个示例中,可以在操作期间调整弹簧和阻尼参数。在某些形式中,调整参数的值可以基于工具的当前状态和目标状态之间的关系而改变。例如,调整参数可以被配置为随着工具20接近目标状态而刚度增加,或者调整参数可以随着工具20接近目标状态而刚度减小。对于不同的约束,调整参数可能不同。例如,虚拟约束可以包括具有调整参数的第一值的第一虚拟约束和具有调整参数的第二值的第二虚拟约束,第一值大于第二值,使得所得到的被体现为约束力 F_c 的虚拟力和/或扭矩被适于,与第二虚拟约束相比,在第一虚拟约束作用下更坚固地移动工具。对于位置约束来说,调整参数的值可能比定向约束的更大(例如,更硬),反之亦然。

[0179] 调整参数也可以设定为:无论从工具的当前状态到工具的目标状态的距离/角度如何都保持不变;随距离呈指数上升/下降;随着当前状态和目标状态之间的距离线性地变化;随约束方向变化;与时间相关地变化;考虑引力效应;或它们的组合。参考图18-20,用于

一个约束的与一个自由度相关联的调整参数可以基于与另一个自由度相关联的关系来设定,例如,y-轴约束的刚度可以基于当前状态和目标状态之间沿x轴的距离而改变。调整参数也可以取决于工具20为了达到目标状态而需要移动的方向而变化,例如,当沿x-轴在一个方向上移动时比沿x-轴在相反方向上移动时更硬。调整参数还可以根据基于虚拟约束而最终计算出的约束力 F_c 来成比例变化,例如通过根据约束力 F_c 或其任何分量的大小增加/减小刚度。在一些情况下,可以将一个或多个虚拟力的固定值添加到虚拟模拟中。虚拟约束的调整参数可以:在术前设定;在术中设定;定术中更新;以及它们的组合。调整参数和它们的值、它们与特殊关系的相关性、以及它们可以被成比例改变的方式都可以存储在控制系统60中的任何合适的存储器中的一个或多个查找表中以供以后提取。

[0180] 作为时间和距离的函数改变一个或多个约束的一个或多个调整参数的刚度可以响应于一个或多个事件而提供有利的致动器行为。例如,在跟踪器的视线被暂时中断的情况下,一旦跟踪器回到相机的视线中,通过缓慢增加刚度,这可以使用户手中的突然和剧烈的致动器移动最小化,否则这可能会分散用户的注意力。相反,一旦器械的跟踪器重新进入视线,刚度可以慢慢增加。当手持器械在不同控制区域之间转移时,这种基于时间和距离的函数对调整参数的控制也可能是有用的,如下所述。如上所述,所述一个或多个虚拟约束可被自动激活。另外或替代地,用户可能能够手动设定虚拟约束(例如,通过用户界面UI中的一个或多个,改变虚拟约束的一个或多个参数、激活/停用虚拟约束等)。用户可以采用临床应用程序190用于此目的。当正在执行某些外科手术步骤(例如,切割期望的组织部分等)时,或者当机器人系统10检测到或以其他方式识别到某些条件时,也可以触发虚拟约束。

[0181] 每个虚拟约束也有配置设置。所述配置设置可以包括:关于调整参数的信息,例如约束力混合参数(C)和误差减少参数(ϵ);上和/或下力极限;和/或上和/下约束距离偏移。上和/下力极限指的是针对每个虚拟约束计算的力的极限,所述极限最终由约束求解器189求解出来以产生约束力 F_c ,如下面进一步描述的。虚拟约束可以是两侧约束(例如,为满足约束而计算的力可以是正的或负的),并且可以在任一方向上施加吸引力,而不管引导坐标系GF(在每个自由度上)位于目标坐标系TF的哪一侧。这些力极限可以在正方向和负方向上设置得很高(例如,-100,000/+100,000牛顿)或设置于任何期望的极限。可替代地,虚拟约束可以是单侧约束(例如,为满足约束而计算的力只能在一个方向上起作用,即只能是正的或负的,这取决于力极限所配置的方向)。此外,约束可以被配置为“吸引性的”,朝着满足约束标准的方向施加力,或“排斥性的”,背离满足约束标准的方向施加力。上和/下约束距离偏移决定约束何时起作用或有效。对于虚拟约束来说,上和/下约束距离偏移可以设置成使得在当前状态与目标状态不同的任何时间约束都起作用或有效。

[0182] 如果控制系统接收到与一个或多个虚拟约束相关联的较高的力,此较高的力可能导致在模拟中受虚拟约束影响的刚体的加速度率较高。虚拟模拟的输出作为工具的命令姿态,相应地命令致动器21、22、23,导致在虚拟模拟中看到更高的力和更高的加速度,导致工具支撑18相对于手持部分16的更高加速度。此较高的力可以基于为该特殊约束计算的值、调整参数的值、或其组合。例如,虚拟约束可以包括具有调整参数的第一值的第一虚拟约束和具有调整参数的第二值的第二虚拟约束,第一值大于第二值,使得所得到的被体现为约束力 F_c 的虚拟力和/或扭矩被适于,与第二虚拟约束相比,在第一虚拟约束的作用下更坚固地移动工具。

[0183] 图11和17A-17E是被执行以使用所述一个或多个虚拟约束来执行命令姿态的计算的过程的控制图。图11是简化的控制图,图17A-17E更深入。在这些形式中,行为控制器186可以与约束生成器384连接。约束生成器384可以包括将边界约束发送给行为控制器186的边界处理器389,以及将引导约束发送给行为控制器186的引导处理器385。行为控制器186可以包括约束求解器189和虚拟模拟器388。运动约束处理器390将接头定心约束、运动学运动约束、工作空间约束和接头极限约束发送到行为控制器186以被添加到约束求解器386和虚拟模拟器388中。在一些示例中,运动约束处理器390是运动控制器188的一部分。虚拟模拟器(在图11中表示为sim,在图17A-E中表示为虚拟正向动力学)可以基于约束力和潜在的其它力(包括阻尼、惯性和外部感测的力)来模拟工具20上的虚拟动力学。约束生成器384、约束求解器189和虚拟模拟器388各自包括存储在任何一个或多个上述控制器的非暂态存储器中并由控制系统60实施的可执行软件。可以将约束力施加到虚拟质量坐标系VM,其中对工具20的虚拟刚体模型进行虚拟模拟,从而可以在虚拟模拟中将力和扭矩虚拟地施加到虚拟刚体,以便最终确定这些力和扭矩(以及其他输入)将如何影响虚拟刚体的移动,如下所述。可以在虚拟模拟中施加到虚拟刚体的虚拟力和扭矩适于将工具20朝向目标状态移动。这些虚拟力和扭矩影响工具20朝向虚拟对象(即目标状态)的总体移动。

[0184] 在一个示例中,如图11所示,行为控制器186不利用给虚拟模拟的外力传感器输入。即使在没有外力传感器的情况下,使用基于虚拟约束的控制也能提供一些有利的结果。虚拟模拟中的约束系统和虚拟力建模使您可以轻松地将与不同结果相关的约束混合在一起。约束系统还允许您以直观的方式调节每个约束的参数。此外,对于给定的采样率来说,速度约束的使用提供了更高的响应性(例如,更高的刚度),因为它与其他数值积分或模拟方法相比具有改进的数值稳定性。然而,如所描述的,外力传感器或外力的其他近似(例如,外力的基于电流的估计)的使用可以与本文描述的系统和方法一起使用。

[0185] 引导约束

[0186] 在本文中一种类型的虚拟约束被称为引导约束。引导约束被定义为最终影响工具20朝向目标状态的移动。如下文进一步描述的,引导约束具有可配置的弹簧和阻尼特性,因此引导约束不是无限刚性的。更具体地说,在某些形式中,引导约束被定义为“软约束”,因此它们不会完全阻止违反它们的运动,例如由其它约束在与目标状态相反的方向上施加的力和扭矩导致的运动。

[0187] 控制系统60可以使用一个或多个引导约束来引导工具支撑18,包括最多三个与目标位置相关联的引导约束和最多三个与目标定向相关联的引导约束。如下文更详细描述,控制系统60操作以计算满足或试图满足引导约束(和其他虚拟约束,如果使用的话)的约束力 F_c 。约束力 F_c 在其中结合了虚拟力和扭矩以将工具20移动到目标状态。每个引导约束都被认为是一维的虚拟约束。控制系统可以利用多个单自由度约束来将引导框系对准到目标框系。如前所述,引导约束是“双侧”约束,因为引导约束可以在任一定向上施加吸引力,而不管引导坐标系GF位于目标坐标系TF的哪一侧(在每个自由度上)。在一些形式中,引导约束是速度脉冲约束,其中计算力和/或扭矩以将虚拟脉冲施加到虚拟模拟中的对象,以引起对象的速度按照期望的约束参数变化。在一些形式中,所述约束类似于在美国专利No. 9,119,655中描述的脉冲建模中使用的约束,该专利被以引用的方式并入本文。

[0188] 在图12中,在至少一个自由度上与目标姿态相关联的引导约束GC被示意性地表示

为在目标坐标系TF中定义。由这些引导约束GC (和其他起作用的虚拟约束) 而最终计算出的约束力 F_c 被示意为包括结合了用于将工具20的TCP引导至目标姿态的虚拟弹簧和阻尼特性的力。引导约束可以基于引导坐标系GF的姿态 (例如, 相对于虚拟质量坐标系VM定义) 和目标坐标系TF的姿态 (例如, 相对于患者跟踪器定义)。引导坐标系GF和目标坐标系TF的姿态 (在至少一个自由度上) 分别用于计算锯片的当前状态和锯片的目标状态, 或分别用于计算工具的当前状态和工具的目标状态。

[0189] 每个引导约束具有沿或围绕目标坐标系的x、y或z轴定义的约束方向。约束方向是约束能够有效地施加力的定向。对于旋转约束的情况, 约束方向是约束可以有效地围绕着施加扭矩的轴线。约束方向也可以在引导坐标系 (GF) 中定义, 或者可以使用与目标坐标系 (TF) 或引导坐标系 (GF) 的任何已知关系来定义约束方向。在一个示例中, 3个平移引导约束和3个旋转约束可以用于将引导框系的位置和定向与目标框系完全对准。然而, 可以使用少于3个平移约束, 并且可以使用少于3个旋转约束。

[0190] 在一个示例中, 引导约束在三个自由度上计算-1个位置和2个定向。位置引导约束在高度方面进行定义, 定向约束在俯仰和侧倾方面进行定义, 这些被用于将锯片对准到目标平面TP。通过比较目标姿态 (TF) 的定向和锯片上的引导框系来计算这些定向。侧倾 (绕X轴的旋转) 和俯仰 (绕Y轴的旋转) 被用于定义锯片需要旋转多少才能使锯片的X-Y平面 (引导坐标系) 平行于目标姿态的X-Y平面 (目标坐标系)。对于本示例来说, 三个约束方向是沿着TF的z轴 (高度)、围绕TF的x轴 (侧倾) 和围绕TF的y轴 (俯仰)。在其他虚拟对象的另一个示例中, 可以使用2个位置引导约束和2个定向引导约束。

[0191] 可替代地, 在引导坐标系中可以使用任意数量的自由度来将锯片或其他工具对准到目标姿态。例如, 平面上的1-DOF位置点、上述的3-DOF位置和定向、4-DOF位置和定向、或完整的6-DOF姿态, 这将包括用于对准三个位置和三个定向的引导约束。

[0192] 引导约束 (和其他虚拟约束, 如果使用的话) 主要由三个运行时参数定义: 约束Jacobian J_p , 它将每个一维引导约束映射到虚拟模拟采用的坐标系 (例如, 在目标坐标系TF和虚拟质量坐标系VM之间); 期望速度 V_{des} (或 V_{p2}), 其是沿着由目标坐标系TF定义的可适用约束方向或围绕该方向的引导约束的标量速度 (线性或角度) (例如, 当患者固定不动并且相对于患者定义的相关联的目标状态不移动时, 期望速度可以为零, 但当患者移动时期望速度可能不为零, 因为目标状态可以被绑定到患者); 以及约束距离 Δd , 它是引导框系GF沿着由TF定义的可适用约束方向或围绕该方向与目标框系TF的接近程度, 并且它指示所述约束是否在被违反。在某些情况下, Δd 指的是当前状态与目标状态的距离/角度, 并且对于相关联的自由度来说任何时候当前状态与目标状态不匹配都会违反引导约束。

[0193] 应当理解, 当除引导约束之外采用了其它约束时, 约束求解器的最终任务是提供满足或试图满足所有虚拟约束的约束力 F_c 的解, 因此其它约束可能会影响约束力的大小和/或方向。

[0194] 接头定心约束

[0195] 接头定心约束是另一个虚拟约束, 代表在虚拟模拟中用来影响工具支撑18相对于多个致动器中的每个致动器的定心位置的移动的虚拟力和/或扭矩。接头定心约束被用于在工具支撑18相对于手持部分的运动中实施特殊限制, 控制系统60考虑该限制以最大化工具支撑18相对于手持部分16的可用行程量。在一个示例中, 对工具20的特殊运动限制可以

是当其它约束不起作用时使接头返回到它们的定心位置(或由用户、控制系统60或两者确定的另一接头位置)。可替代地,接头定心约束可以促进工具支撑18相对于手持部分16的定位,以实现特殊外科手术的最佳平衡,比如全膝手术中的特殊切口或某些骨钻孔手术中的特殊轨迹。如下文进一步描述的,接头定心约束可以具有可配置的弹簧和阻尼特性,使得接头定心约束不是无限刚性的。更具体地说,在某些形式中,接头定心约束被定义为“软约束”,使得接头定心约束不能完全阻止违反它的运动,例如由其它约束在相反方向上施加的力和扭矩导致的运动。

[0196] 控制系统60可以使用接头定心约束来移动工具支撑18。如下文更详细描述的,控制系统60可以操作以计算满足或试图满足接头定心约束的约束力 F_c 。约束力 F_c 在其中结合了用于将工具支撑18朝向定心位置移动的虚拟力和扭矩。接头定心约束被认为是一维的虚拟约束。在一些形式中,接头定心约束是速度脉冲约束,其中计算力和/或扭矩以将虚拟脉冲施加到虚拟模拟中的对象,以引起对象速度按照期望的约束参数变化。应当理解,当除接头定心约束之外还采用了其它约束时,约束求解器的最终任务是提供满足或试图满足所有虚拟约束的约束力 F_c 的解,因此其它约束可能会影响约束力的大小和/或方向。

[0197] 在图21中,接头定心约束被示意性地呈现在各相应致动器的接头空间中(沿着致动器21、22、23的平移轴线)。用于接头定心约束的约束方向为沿着该致动器21、22、23的平移轴线,因此只能沿着该方向施加线性力。由于每个接头定心约束而计算出的约束力被示意为包括线性力,该线性力结合了弹簧和阻尼特性,该线性力沿着将致动器位置引导到定心位置的相应致动器的平移轴线作用。应该理解,接头定心约束也可以在其他坐标系中定义。还应该理解,器械中的所有或少于所有的致动器可以利用接头定心约束。

[0198] 接头定心约束主要由三个运行时参数定义:约束Jacobian J_p ,它将该一维接头定心约束映射到虚拟模拟采用的坐标系(例如,在接头的运动和虚拟质量坐标系VM之间);先前命令接头位置,其是用于在先前控制迭代中控制每个致动器的命令位置;以及接头定心位置,该位置是在没有其它约束起作用时期望致动器返回到的被配置的接头位置。应该理解,致动器的当前测量位置也可以用于接头定心约束。所述先前命令位置可以提供更少的控制滞后和改进的稳定性。接头定心约束可以是双侧的并且在起作用时始终将接头拉到定心位置。

[0199] 接头定心位置可以是这样的定位:在此定位,每个转子148沿它们各自的导螺杆具有相对高的行进量。换言之,接头定心位置可以被认为是如上所述的每个致动器的“原始”或“空闲”位置。通过将接头定心位置设置为原始位置,转子沿着导螺杆的中间位置,对于每个致动器来说,工具支撑可以实现最大的运动范围。可替代地,对于多个致动器中的一个或多个致动器来说,可以将接头定心位置设置到不同于原始位置的位置。这可以被认为是第二接头定心位置。对于致动器21、22、23中的每一个来说,第二接头定心位置可以不同。应当理解,当致动器被设置于第二接头定心位置时,所述一个或多个致动器21、22、23可能仅能够在一个方向上实现该同一个致动器在接头定心位置位于原始位置时所可能具有的行程的一小部分。在一个示例中,第一接头定心位置是“原始位置”,而第二接头定心位置是除原始位置之外的位置。不受特别限制,当致动器处于第二接头定心位置时,致动器在特定方向上具有的运动范围可能比相同致动器在被设置于相当于原始位置的接头定心位置时具有的运动范围小50%、小40%或小30%。然而,对于某些外科手术或某些用户来说,使接头定

心位置偏离致动器的中间位置可能会有所帮助,以便在特定(可能具有挑战性的)方向上提供更大的行程,以改善人体工程学或考虑如何握住器械。应当理解,每个致动器可以具有多个不同的接头定心位置,或用于优选平衡布置的预设。可以将与优选握持/平衡场景相对应的多组接头定心位置合计在一起(所有致动器的接头定心位置组)。用户可以使用一个或多个用户输入设备来选择这些定心位置。

[0200] 当每个致动器21、22、23处于第一接头定心位置(原始位置)时,致动器21、22、23的可调节的量通常对称地最大化,以使用户更容易将工具20保持在期望的姿态,即接头定心位置通常被设置到致动器的中间位置或“原始”位置。根据器械14的特定几何形状和配置,可以进行各种级别的调整。在一些示例中,当所有致动器21、22、23都处于它们的第一接头定心位置时,假设侧倾定向上的变化为零并且没有z轴平移,那么工具20可以相对于接头定心位置在俯仰定向方面调整大约 $\pm 18^\circ$ 。在一些示例中,当所有致动器21、22、23都处于它们的定心位置时,假设俯仰定向上的变化为零并且没有z轴平移,那么工具20可以相对于所述定心位置在侧倾定向上调整大约 $\pm 33^\circ$ 。在一些示例中,当所有致动器21、22、23都处于它们的第一接头定心位置时,假设俯仰定向和侧倾定向上的变化均为零,那么工具20可以相对于第一接头定心位置在z轴平移方面调整大约 ± 0.37 英寸。当然,工具20可以在操作期间同时地、顺序地或以它们的组合的形式调整俯仰、侧倾和z轴平移。

[0201] 接头定心约束可被用于在所述一个或多个致动器的位置将一个或多个致动器“冻结”成徒手模式,以防止不必要的致动和移动,防止致动器因移动而产生过多的热量,例如当器械14与目标骨相距相当大的距离时。徒手模式对于执行一些类型的治疗可能是有用的,例如切割髌骨或解剖结构的其他部分。当在徒手模式下致动器21、22、23被冻结而不能进一步移动时,器械14的行为很像传统的切割器械,工具支撑18相对于手持部分16没有任何移动。在徒手模式下虚拟边界184也可以被停用。徒手模式可以通过任何合适的用户界面的任何合适的输入设备(例如,按钮、脚踏开关等)接合。在一些形式中,用户可以通过致动输入设备并选择其中器械控制器28命令工具姿态被保持或冻结在位的徒手模式来选择该工具行为(即,用特殊的接头定心位置激活接头定心约束和/或改变接头定心位置)。在一些示例中,为了将工具20冻结在特殊姿态,器械控制器28可以启用接头定心约束并将每个致动器21、22、23的定心位置设置到对应于期望的工具姿态的接头位置(例如,通过对所述期望的工具姿态执行逆向运动学以获得对应的接头位置)。可替代地,在另一示例中,接头定心位置可以保持为零或重置为零(即,原始位置)。此外,在用户请求该模式时,可以将接头定心位置设置到致动器的当前位置,如使用编码器或其他致动器位置反馈所确定的。如上所述,接头定心位置是可调节的。第二接头定心位置可以使用用户输入设备进行设置,或者可以自动地设置。

[0202] 器械控制器28可以自动控制接头定心约束或行为的状态。例如,可以基于工具的状态和目标状态来控制接头定心约束的状态。可替代地,可以基于在已知坐标系中的工具20的位置和与骨骼相关联的参考定位的位置来控制接头定心约束的状态。接头定心约束的状态可以包括多个致动器21、22、23中的每一个的接头定心位置的值和/或接头定心约束的调整参数。例如,器械控制器28可以,当工具20被从切口中移除时,基于工具20的状态和导航系统32确定的与骨骼相关联的参考定位而利用用于每个致动器的特定接头定心位置自动启用接头定心约束,使得用户可以相对于工具20在手持部分16周围以相同的抓握重新开

始该过程,以保持舒适的抓握、控制、便利、熟悉解剖结构、不希望的解剖结构、或其组合。在这样的示例中,接头定心位置被设定为在从切口移除锯片380之前测量的每个致动器21、22、23的位置。

[0203] 还应当理解,虽然从接头定心约束的角度描述了接头定心位置,但是上述的接头定心位置控制可以在不使用虚拟约束的情况下使用,例如与致动器的位置控制系统一起使用。在这样的实施方式中,控制系统可以简单地将每个致动器的位置控制到设定的接头定心位置。在利用接头定心行为而不实施约束求解器的情况下,可以以与接头定心约束相同的方式控制接头定心行为的状态。

[0204] 器械控制器28可以被配置为基于在工具20的位置和与骨骼相关联的参考定位的位置之间计算的距离参数(例如距离;大小)来控制接头定心约束的状态。距离参数可以是方向、大小或两者。在一些情况下,当该距离参数具有远离骨骼的方向和大于第一阈值(例如15cm)的大小时,控制器可以切换到不同的状态。

[0205] 如上所述,接头定心位置是可调节的。第二接头定心位置可以使用用户输入设备进行设置,或者可以自动设置。在某些配置中,第二接头定心位置和接头定心约束的激活可以基于由锯片定义的平面相对于已知坐标系中的多个切割平面的状态,或者可以基于由工具定义的轴线相对于多个计划轨迹的状态。

[0206] 更具体地,第二接头位置和接头定心约束的激活可以基于锯片的当前定向与锯片的多个目标定向之间的角度、锯片的当前位置和锯片的多个目标位置之间的距离、或角度和距离两者,并根据角度的值、距离的值、或角度的值和距离的值两者来确定所述多个切割平面中被用户选择的那一个。因此,可以选择用于每个致动器的特殊的第二定心位置以优化工具支撑相对于手持部分的姿态,从而提高可用性。类似的实施方式可以用于其他类型的外科工具的轨迹。

[0207] 参考图22A-22C,下面描述控制接头定心行为的一个示例。在该示例中,可以使用虚拟边界或距离参数来区分区域IV和V、以及紧邻骨骼的区域。在此示例中,首先参考图22A和图22B,控制系统被配置为自动保存当前接头位置,这些接头位置可以随后当工具从第一区域(区域IV)移动到第二区域(区域V)时用作接头定心位置。如图22A中可见,工具在切割平面上,引导约束将工具20主动地对准切割平面。当工具20从区域IV移动到区域V时,控制系统60分析当前接头位置,拍摄接头位置的“快照”,关闭引导约束,允许工具20通过其前面配置的接头定心约束返回到定心位置(图22B)。当从区域V转移回区域IV时,接头定心约束重新设置为“快照”时的值(例如恢复对准),致使工具对准到退出位置(图22C)。直到工具20进入到由紧邻骨骼入口的区域限定的区域内时,才可以启用引导约束。可以实施恢复的接头位置以使用户重新对准到用于手柄的人体工程学起始位置,如他们前面退出切口时被捕捉到的那样。当刀片的姿态(例如刀片的VM)接近骨骼(考虑从刀片的VM到参考坐标系/参考位置的阈值距离)时,可以重新激活引导约束。

[0208] 应当理解,接头定心约束可以与引导约束、接头极限约束或工作空间约束同时起作用。在这种场景下,约束求解器将在计算应如何控制各致动器时(例如,在计算命令姿态时)寻求平衡从每个虚拟约束施加的力。因此,在某些情况下,尽管以特殊的接头定心位置激活了接头定心约束,但实际上可能不会将致动器控制到该接头定心位置。这是因为其它约束可能具有更高的优先级。可以通过使用各种调整参数(例如刚度或阻尼)来调整各约束

的优先级。当然,也可以设想不同的虚拟约束不必同时起作用。

[0209] 在一个示例中,虚拟引导约束可以在TCP从区域II过渡到区域I时被激活。虚拟接头定心约束可以在它从区域III过渡到区域II时被激活。类似地,当TCP从区域II过渡到区域I时,可以停用接头定心约束。当然,可以定义具有任何特定形状的任意数量的区域。设想虚拟接头极限约束可以在所有三个区域中都起作用。如通篇所述的,这些区域可以被定义为各种形状的虚拟对象或相对于参考定位的距离参数。

[0210] 在一些示例中,控制系统60基于下述而用调整参数来修改每个虚拟力(虚拟约束):器械14的姿态、刀片支撑或工具支撑的姿态、手持部分的姿态、致动器中的至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器21、22、23的测量位置、至少一个致动器21、22、23的先前命令位置、至少一个致动器21、22、23的先前测量位置、或其组合。在一些示例中,控制系统60基于锯片380或工具的目标姿态和手持部分16的测量姿态生成引导约束。控制系统60还基于致动器21、22、23中的至少一个的位置而生成用于至少一个致动器21、22、23的定心位置以及接头定心约束。控制系统60通过基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片或工具的动力学、而基于引导约束和接头定心约束来计算约束力。在一些示例中,控制系统60还可以确定施加到器械14(例如刀片支撑或工具支撑、手持部分、或刀片/工具支撑和手持部分之间)的外力,并且在计算中使用该外力来确定约束力并在虚拟模拟中将其应用于虚拟刚体。外力可以在一个或多个自由度上进行测量,并且可以建模为力/扭矩矢量。虚拟模拟的结果是命令姿态,其最终可被用于确定多个致动器21、22、23中的每一个的命令接头位置。定心位置可以在致动器范围的中点和该致动器的接头极限之间。

[0211] 在虚拟模拟中,虚拟约束中的每一个都可以利用调整参数进行修改。在虚拟模拟中每个调整参数可以导致相应的虚拟约束对约束力的影响增加。在一个示例中,接头定心约束可以具有具有第一值的调整参数,并且引导约束可以具有具有第二值的调整参数,这些调整参数中的每一个都导致相应的虚拟约束对最终计算的约束力的影响增加。在一个示例中,接头定心约束的调整参数小于引导约束的调整参数,使得约束力使虚拟模拟以及随后的命令姿态和命令接头位置偏向于将工具20移动到目标姿态,同时使致动器中的至少一个致动器远离接头定心位置(例如,中心点/原始位置)移动。控制系统60可以进一步基于多个致动器中的至少一个的位置和位置限制来激活接头极限约束。接头极限约束可以与其他虚拟约束(例如引导约束;接头定心约束)一起求解以确定该约束力。在一个示例中,接头定心约束调整参数具有第一值,引导约束调整参数具有第二值,并且接头极限约束调整参数具有大于引导约束调整参数和接头定心约束参数的值的第三值。接头极限约束的调整参数大于引导约束的调整参数和接头定心约束的调整参数,则虚拟模拟保证了施加在虚拟锯片上的约束力更可能满足接头极限约束。在本例子中,由于接头极限约束具有最高值,所以施加在虚拟锯片上的虚拟力将被引导到接头极限内的位置,从而产生不超过接头极限位置的命令位置。在本例子中可以使用的一个这样的调整参数是约束的刚度。

[0212] 接头极限约束

[0213] 接头极限约束是代表在虚拟模拟中采用的虚拟力和/或扭矩的另一个虚拟约束,用于在控制多个致动器时影响工具支撑18的移动。控制系统60使用接头极限约束来对工具支撑18的运动实施特殊限制,该限制旨在防止致动器21、22、23行进到它们的运动范围之外。接头极限约束还可以强加被认为太接近致动器行程限制的行程阈值。如下文进一步描

述的,接头极限约束具有可配置的弹簧和阻尼特性。然而,诸如软停止和硬停止之类的接头极限仍然可操作以防止工具过度伸出或缩回。

[0214] 控制系统60可以使用接头极限约束来引导工具支撑18。如以下更详细描述,控制系统60操作以计算满足或试图满足各虚拟约束(包括接头极限约束)的约束力 F_c 。此约束力 F_c 在其中结合了虚拟力和扭矩,以不违反致动器接头极限的方式移动工具支撑18和工具20。接头极限约束被认为是一维的虚拟约束。例如,接头极限约束可能是单侧的,因此可能会“推离”接头极限,但不会朝向接头极限吸引。在一些形式中,接头极限约束是速度脉冲约束,其中计算力和/或扭矩以将虚拟脉冲施加到虚拟模拟中的对象,以引起对象的速度按照期望的约束参数变化。应当理解,当除接头极限约束之外还采用其它约束时,约束求解器的最终任务是提供满足或试图满足所有虚拟约束的约束力 F_c 的解,因此其它约束可能会影响约束力的大小和/或方向。

[0215] 接头极限约束主要由三个参数定义:先前命令接头位置,接头极限的位置,以及与接头定心约束所使用的相同的约束Jacobian J_p ,将接头的运动与虚拟质量的运动联系起来。接头极限约束利用接头极限位置和先前命令位置之间的位置差的计算。在一些实施方式中,可以基于当前测量位置而不是之前的命令位置来计算接头极限约束。

[0216] 接头极限约束被确定和计算为防止致动器21、22、23延伸和/或缩回超过致动器21、22、23中的每一个的物理和虚拟极限的力。器械控制器28分析沿着每个活动轴线AA1、AA2和AA3的先前命令位置以确定接头极限约束。当计算命令姿态时,接头极限约束被与接头定心约束、引导约束、工作空间约束和/或其他虚拟约束极限平衡。接头极限约束可以基于各接头极限(软停止),所述接头极限可以是软件启用的停止,被设置在刚好接近在归位过程中测量的行程的极端末端的计数值处。软停止可以是预编程到软件中的值。软停止可以是计数值和预编程值的组合。

[0217] 工作空间约束

[0218] 工作空间限制约束是代表在虚拟模拟中采用的虚拟力和/或扭矩的另一种虚拟约束,用于在控制多个致动器时影响工具支撑18的移动。控制系统60使用工作空间限制约束来对工具支撑18的运动实施特殊约束,以防止工具20移动到其工作空间之外。工作空间限制约束沿着在笛卡尔空间中、而不是在接头空间中(接头极限约束是这种情况)定义的方向施加力。如下文进一步描述的,工作空间限制约束具有可配置的弹簧和阻尼特性,因而工作空间约束不是无限刚性的。更具体地,在一些形式中,工作空间限制约束被定义为“软约束”,使得工作空间约束阻碍、但不阻止违反它的运动,例如由其它约束在相反方向上施加的力和扭矩引起的运动。

[0219] 控制系统60可以使用工作空间限制约束来防止工具支撑18和工具20移动到所定义的工作空间之外的各个定位。如以下更详细描述,控制系统60操作以计算满足或试图满足各虚拟约束(包括工作空间约束)的约束力 F_c 。约束力 F_c 在其中引入了虚拟力和扭矩以便以不违反工作空间限制的方式移动工具支撑18和工具20。工作空间限制约束被认为是一维的虚拟约束,因为工作空间限制约束只可以在单一一个方向上施加力(即,“推离”工作空间限制,但不朝向工作空间限制吸引)。在一些形式中,工作空间限制约束是速度脉冲约束,其中计算力和/或扭矩以将虚拟脉冲施加到虚拟模拟中的对象,以引起对象的速度按照期望的约束参数变化。如上所述,工作空间限制约束可以包括一个或多个可手动或自动(基于

通篇描述的各种位置/角度关系) 调整的调整参数。

[0220] 工作空间限制约束可以基于工具的姿态和预定义的笛卡尔空间,通常相对于BCS坐标系定义。可以如上所述计算工具16的姿态。如以下更详细描述,控制系统60操作以计算满足或试图满足工作空间限制约束(和其他虚拟约束,如果使用的话)的约束力 F_c 。约束力 F_c 在其中引入了虚拟力和扭矩以便以不违反工作空间限制约束的方式移动工具20。每个工作空间限制约束具有约束方向,该方向在工具20接触工作空间边界的点处沿着工作空间边界的法线,朝向允许的工作空间区域向内指向。通常,约束方向是在BCS坐标系中定义的;但是也可以使用其他坐标系。约束方向是工作空间约束可以有效施加力的方向。然后可以确定约束Jacobian J_p ,将工具20沿约束方向的运动与虚拟质量VM的运动相关联。此外,工作空间限制约束还可以通过将工具姿态与工具正在接触的可适用工作空间限制边界进行比较来利用穿透深度的计算(即,沿约束方向违反了多少工作空间限制)。

[0221] 应当理解,当除工作空间限制约束之外采用了其它约束时,约束求解器的最终任务是提供满足或试图满足所有虚拟约束的约束力 F_c 的解,因此其它约束可能影响约束力的大小和/或方向。

[0222] 如图3A-5C和23最佳所示,多个致动器21、22、23能够使工具支撑18和工具20相对于手持部分16在至少三个自由度上移动,包括俯仰、侧倾和沿Z轴平移(竖直平移)。这些单独的自由度最佳地示出在图3A-3C(俯仰)、图4A-4C(侧倾)和图5A-5C(z轴)中。图23显示了一个示例性的预定义的笛卡尔空间,图示为立方体形状的体积。其他形状的预定义的笛卡尔空间可以实现为诸如八面体、不对称八面体、球体、长方体、圆柱体等的体积。特别地,在一些示例中,当定义为体积时,笛卡尔空间在形状上可以是不对称的,例如当每个致动器处于原始位置时关于工具支撑18和手持部分之间的平面位置不对称,平面上方的笛卡尔体积大于平面下方的笛卡尔体积。在该示例中,体积可以由多个笛卡尔点定义。此体积可能小于灵活的工作空间(小于所有可达配置)。可替代地,所述预定义的笛卡尔空间可以在每个自由度上分别进行定义。例如,笛卡尔空间可以用多个笛卡尔点来定义。预定义的笛卡尔空间也可以由一个或多个定向定义,基于锯片380可沿其或围绕其平移的任何一个、两个或三个轴(x、y和z)。

[0223] 器械可以被控制成使得刀片支撑相对于手持部分的运动范围可以在俯仰方面大于侧倾方面。替代地或附加地,器械可以被控制成使得刀片支撑相对于手持部分的运动范围在高度方面大于侧倾方面。在一种可能的实施方式中,可以使用接头极限约束和工作空间约束的组合来控制器械。此外,一个或多个其他虚拟约束可以与接头极限约束和工作空间约束同时使用,例如引导约束和/或接头定心约束。约束求解器可以被配置为基于接头极限约束和工作空间约束(以及正在使用的任何其他虚拟约束)来计算适于移动虚拟锯片的约束力。虚拟锯片的动力学基于约束力进行模拟并输出命令姿态。基于该命令姿态,系统基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置。然后使用命令位置控制多个致动器中的每一个。

[0224] 工作空间限制(在笛卡尔坐标中定义)与接头极限(在接头空间中定义)相结合使用可以提供有关于器械的控制的优势。这两个极限的实施可以提供避免控制上的异常的额外选项,可以通过避开可能导致一个或多个柔性电路损坏的易受攻击的姿态来提供额外的设计稳健性,和/或可以提供避免机械干扰的额外选项。例如,控制系统60可以实施工作空

间限制,以便通过限制工作空间约束和接头极限约束来限制刀片支撑18相对于手持部分16的侧倾的量,超过通过限制工作空间约束和接头极限约束而限制的俯仰、z轴高度或两者方面的量。通过将工作空间限制设置为在侧倾方面高于其他受控的自由度(俯仰和高度),被限制的侧倾可能小于机械能力。在一些情况下,工作空间约束在侧倾方向上与在俯仰和z轴方向上的其他受控的自由度可以具有相同的量值或更少的机械移动。

[0225] 可替代地,可以在没有约束的情况下控制多个致动器的运动范围。在这样的实施方式中,基于致动器的位置和极限位置来确定接头极限行为,并且基于工具的姿态和预定义的笛卡尔空间来确定工作空间限制。然后,控制系统60被配置为基于锯片380的姿态、接头极限位置和预定义的笛卡尔空间来限制多个致动器21、22、23中的每一个。

[0226] 运动学运动约束

[0227] 控制系统可以使用运动学运动约束来控制不受多个致动器控制的自由度,即不受控的自由度。在一个示例中,在器械包括三个受控自由度和三个不受控自由度的情况下,运动学运动约束可以与三个不受控自由度(侧滑、x-平移和y-平移)一起使用。因为虚拟模拟器使用在六个自由度上受力的虚拟质量对虚拟约束进行建模,所以运动学运动约束用于确保虚拟模拟器中的虚拟质量模型保持与工具20的物理相关运动学姿态一致,防止工具20在虚拟模拟中在不受控的自由度上漂移。运动学运动约束被用于测量运动学姿态和虚拟质量之间的侧滑(yaw)、X平移和Y平移的差异。基于这些运动学运动约束计算的约束力被计算出来用于抵消这些差异,无论它们是正的还是负的;因此,这是一个双侧约束。运动学运动约束在笛卡尔空间中计算。虽然接头极限约束确保所述多个致动器不超过它们的接头阈值,但运动学运动约束始终起作用,确保不受控的自由度在虚拟质量的坐标系中对准。

[0228] 边界约束

[0229] 控制系统还可以利用一个或多个边界约束。边界约束可以基于上述的一个或多个虚拟边界以及工具的姿态。边界约束可用于约束生成和致动器控制(此处描述)、驱动电机控制、一起使用、单独使用、或它们的组合。边界约束可能会在虚拟质量上产生阻止工具跨过虚拟边界的力。应该理解,边界约束可以利用上面关于驱动电机控制所描述的任何虚拟边界。在边界约束的实例中,应该理解虚拟边界被用于控制多个致动器、而不是控制锯驱动电机。在一些示例中,边界约束或其他边界控制方法可以利用碰撞检测。

[0230] 在一个示例中,边界可被定义为三角形网格,并且可以使用碰撞检测算法来确定网格的哪个部分可能被工具20接触。首先,控制系统60执行粗测阶段碰撞检测以生成位于工具20的区域中的候选三角形的列表。接下来,对于每个候选三角形,执行细测阶段碰撞检测以确认工具20是否接触了该三角形以及工具20穿过边界到达了多少穿透深度(沿着该三角形的法线)。边界约束可能只对与工具接触的那些三角形生成,即从细测阶段碰撞检测输出的三角形。在一些情况下,工具20可以使用图元几何形状的阵列来建模,例如沿着工具20的周边设置的离散球体(直径等于工具厚度)或离散的扫掠球体(胶囊形状)。可以针对每个图元元素(例如,离散的球体)重复碰撞检测过程,以寻找与网格三角形的碰撞。可以对工具几何图元和网格三角形之间的每次接触生成边界约束。

[0231] 通常,边界是相对于患者跟踪器54、56定义的,但可以使用其他参考坐标框系。在控制系统60确定了接触工具20的几何图元或VM的边界网格的点之后,可以计算边界约束。可以为每个产生的细测阶段三角形计算单自由度、单侧(远离边界施加的力)边界约束。边

界约束方向为沿着三角形的法线。也可以沿该边界约束方向测量边界的穿透深度。计算约束Jacobian J_p 以将工具20沿三角形法线(边界约束方向)的移动映射成虚拟质量的所得运动。对于附接到解剖结构跟踪器(即,具有相对于工具20的相对速度)的任何边界约束,可能需要计算 $V_{desired} \cdot V_{desired}$ 可以是骨骼和工具20之间的相对速度在约束方向上的投影。在另一个示例中,当工具完全超出边界时,由驱动电机M控制而不是通过边界约束生成(以及由此产生的致动器控制)来处理。

[0232] 应当理解,当除边界约束之外采用了其它约束时,约束求解器的最终任务是提供满足或试图满足所有虚拟约束的约束力 F_c 的解,因此其它约束可能会影响约束力的大小和/或方向。

[0233] 外力

[0234] 在一个形式中,器械14可以被配置为计算、估计或测量由用户或由骨骼施加在器械14上的力和扭矩,以便作用或影响工具20。例如,器械14可以检测和测量由用户或由骨骼施加到工具20上的力和扭矩,并产生由控制系统60使用的对应输入(例如,一个或多个对应输入/输出信号)。用户施加的力和扭矩至少部分地限定被用于确定和促进多个致动器的控制的外力 F_{ext} 。通过在虚拟模拟中包括外力/扭矩测量结果,可以将用户或骨骼施加的力带入虚拟模拟中。这可以允许虚拟约束具有对物理施加的力的顺从性。例如,引导约束具有特殊的刚度和阻尼。当外力(F_{ext})被包括在虚拟模拟中时,工具可以被定位成使得用户会“感觉到”引导约束的顺从性。这可以允许工具的控制更好地响应于用户施加的力(即,可以在虚拟模拟中找到被施加的用户/骨骼力和引导约束刚度之间的平衡)。如果用户施加很大的力,那么,如果需要,引导约束可以根据其调整参数被用户部分地超控。这可以用于在锯片与切割平面之间或工具与计划轨迹之间存在小的位置不对准的情况下限制工具抵抗用户的约束或对抗,当刀片或工具不能完美地达到其目标姿态时,该虚拟顺应性允许在不施加很大的力或用户不会通过手柄感觉到积极的反馈的情况下解决该小误差(平衡掉)。如果没有 F_{ext} 测量结果,虚拟约束的刚度可能会与其他虚拟约束施加的力达到平衡,而无需考虑用户或骨骼对刀片施加的任何物理力。在虚拟模拟中不包括外力的情况下,在确定命令姿态时不考虑用户施加的力。例如,通过将外力包括在约束求解器中与上述其他虚拟约束相结合,可以使用该外力来计算命令姿态,然后在虚拟模拟中将该外力施加到虚拟刚体。外力 F_{ext} 可以包括除了由用户或骨骼施加的力和扭矩之外的其他力和扭矩,例如重力补偿力、反向驱动力、其他虚拟力等,如美国专利No. 9,119,655中所述的,该专利被通过引用方式并入本文。这样,用户施加的力和扭矩至少部分地限定了外力 F_{ext} ,并且在一些情况下可以完全限定影响工具20的总体移动的外力 F_{ext} 。在一些情况下,器械可以包括力/扭矩传感器S,其被实施为定位在手持部分、工具平台上或两个部件之间的6-DOF力/扭矩传感器。在其他示例中,也可以在每个致动器21、22、23中使用线性力传感器,或在每个致动器电机输出中使用扭矩传感器。此外,电机电流可用作电机扭矩的低保真近似值,以代替力/扭矩传感器。这些接头空间力/扭矩测量结果中的每一个都可以基于机械手运动学、使用适当的Jacobian矩阵转换为作用在虚拟质量VM上的等效力/扭矩。器械控制器28和/或导航控制器36可以接收来自力/扭矩传感器的输入(例如,信号)。在一些形式中,外力被从力/扭矩坐标系 F_T 变换到另一个坐标系,例如VM坐标系。在这种方法中,该方法可以包括感测提供给多个致动器中的每一个的电流的量值,基于一个或多个电流传感器的输出来估计施加在刀片支撑和手持

部分之间的外力的量值,并基于估计的外力的量值计算适于将虚拟锯片朝向目标姿态移动的约束力。

[0235] 操作

[0236] 对器械14的控制考虑了解剖结构(例如,股骨F或胫骨T)和器械14的最新位置和/或定向,它们被从导航控制器36通过数据连接传输给器械控制器28。使用这些数据,器械控制器28确定目标平面或目标轨迹和/或虚拟边界184在期望坐标系中的姿态(即,位置和/或定向)。还计算工具20(例如,TCP)相对于目标平面和/或虚拟边界184的相对姿态。器械控制器28用工具20相对于工具20将被应用到的解剖结构的位置和/或定向来更新导航系统32(包括显示器38)。还可以呈现目标平面和/或虚拟边界184的定位的指示。

[0237] 工具20相对于目标平面和/或虚拟边界184的相对位置由器械控制器28评估以确定是否需要采取行动,即移动工具20、改变工具20的速度(例如振荡速度)、停止工具20的操作等。例如,指导性数据包被发送到电机控制器,例如从器械控制器28。这些指导性数据包包括电机142的转子148的命令位置(或致动器的目标位置)。这里,每个命令位置可以是代表相关联的转子148的目标累积编码器计数的正数字或负数字,或致动器的位置的其他表示。器械控制器28以每0.05到4毫秒一个数据包的速率生成这些指导性数据包并将其发送到每个电机控制器。在一些示例中,每个电机控制器每0.125毫秒至少接收一次指导性数据包。器械控制器28还可以基于工具20相对于一个或多个虚拟边界184的相对定位选择性地调节器械14的切割速度。例如,在任何时候工具20相对于虚拟边界184处于不期望的关系时,控制工具20的振荡以及相应切割的驱动电机M都可以被器械控制器28禁用,例如,工具20偏离目标平面超过阈值,工具20的穿透到虚拟边界184内大于阈值等。设想控制系统60还可以基于光学跟踪系统是否保持着对工具跟踪器52和/或患者跟踪器54、56的视线来控制驱动电机M。例如,如果视线已经受阻达预定时间量,则控制系统60可以停用驱动电机M。

[0238] 在使用期间,在一种可能的实施方式中,控制系统60利用导航系统32、借助被定位于工具支撑18上的工具跟踪器52来确定工具20的姿态(当前姿态)。器械控制器28还可以基于来自设置于每个致动器21、22、23上的一个或多个编码器的输出编码器信号来确定每个致动器21、22、23的当前位置。一旦接收到致动器21、22、23中的每一个的当前位置,器械控制器28即可以使用正向运动学计算工具(TCP)相对于手持部分16(BCS)的当前姿态。定位器数据可被用于确定患者跟踪器54、56和工具跟踪器52之间的相对姿态。上述姿态可以与附加的校准和配准数据一起相结合来相对于期望坐标系(例如患者跟踪器坐标系)计算手持部分16的姿态(例如,基础坐标系BCS的当前姿态)。

[0239] 在一些示例中,手持部分的当前姿态是利用导航系统32、借助于定位在手持部分16上的跟踪器53来确定的。BCS相对于期望坐标系(例如,患者跟踪器)的姿态可以直接使用定位数据结合附加的校准和配准数据来确定。在一种情况下,器械包括器械14上的两个跟踪器、手持部分16上的手持部分跟踪器53和定位于工具支撑18上的工具跟踪器52,如图24所示。导航系统32根据手持部分16上的跟踪器52和期望坐标系(例如,患者解剖结构)上的跟踪器54、56的定位确定BCS相对于期望坐标系(例如,患者跟踪器)的姿态。

[0240] 一旦器械控制器28具有了手持部分16在期望坐标系中的姿态,器械控制器28即可以控制多个致动器21、22、23。在一种实施方式中,器械控制器28可以基于手持部分16的当前姿态并且基于计划的虚拟对象(例如目标平面)的位置和/或定向来确定工具20的命令姿

态。器械计算TCP相对于BCS的姿态(命令姿态),导致TCP位于期望平面上或与计划的虚拟对象对准。该命令姿态可以可选地使用虚拟约束(引导约束、接头定心约束、接头极限约束、工作空间约束)来计算。器械控制器28可以使用逆向运动学将命令姿态转换为多个致动器21、22、23中的每一个的命令位置,然后向致动器21、22、23发送命令指令以移动到命令位置,从而改变工具支撑18和工具20相对于手持部分的姿态。

[0241] 如图17A-17E中可见的,控制系统基于特殊的条件和参数确定器械的移动和驱动电机M的通电。从图17D开始,一个或多个跟踪器54、56被放置在患者的解剖结构(例如股骨、胫骨)上并且一个或多个跟踪器52被放置在器械14上。定位器44捕获每个跟踪器52、54、56的位置,并将该位置信息处理到公共坐标系内(图17B)。然后从定位器44将数据传递到临床应用程序190和约束生成器384。

[0242] 临床应用程序190被用于计算配准和计划变换,控制系统使用所述配准和计划变换来命令工具。在图17A中,临床应用程序从定位器44接收设备跟踪器52和患者跟踪器54、56的姿态信息。临床应用程序190还可以使用与指针跟踪器PT、设备跟踪器52和患者跟踪器54、56相关的定位器数据来基于手持件设置和配准、骨配准、植入物计划和骨准备来计算设备命令变换。

[0243] 在临床应用程序190内,工具跟踪器52和指针跟踪器PT信息被与手持件设置和配准信息一起处理,以创建工具跟踪器到TCP(工具跟踪器到TCP)的变换。这可以通过结合两个配准步骤的结果来计算:1)将工具支撑18配准到工具跟踪器52,和2)将工具支撑18配准到工具(TCP)。然后将得到的工具跟踪器到TCP变换(即,器械配准结果)转发给约束生成器384。来自定位器44的位置信息被与骨配准数据一起使用以计算骨骼到患者跟踪器的变换,然后倒过来以产生患者跟踪器到骨骼的变换,从而将患者跟踪器的定位与骨骼相关联。利用用户界面UI中的一个或多个,用户可以相对于屏幕上的骨骼模型调整期望植入物的大小和定位,以允许临床应用程序基于骨骼的定位、相对于植入物的计划位置和/或定向的来创建骨骼到植入物的变换。基于所选植入物的已知的几何形状和尺寸,临床应用程序查找植入物的计划姿态到期望的一个或多个目标切割平面TP的变换、植入物到目标平面的变换或期望的一个或多个目标轨迹。还可以基于所选植入物计算虚拟边界。患者跟踪器到骨骼的变换和骨骼到植入物的变换(B-IM)相结合以产生患者跟踪器54、56到植入物姿态的变换(患者跟踪器-IM),这是骨配准和植入物计划的组合结果,被转发给约束生成器384。IM-TP的变换可被用于生成引导约束并且利用边界生成器边界可被用于生成边界约束(如果使用的)。边界信息也可以发送给驱动命令处理器192。

[0244] 三个变换被用于最终确定手持部分到定位器的变换:a)手持部分到TCP的变换,从运动控制器188接收的正向运动学结果;b)工具支撑对TCP的变换,从临床应用程序190接收的工具配准结果;以及c)从定位器44接收的工具跟踪器到定位器的变换。还可以从定位器44接收定位器到患者跟踪器的变换。然后,手持部分到患者跟踪器的变换可以基于以下计算:a)手持部分到定位器的变换;b)定位器到患者跟踪器的变换。应当理解,工具跟踪器坐标系和工具支撑坐标系可以彼此互换地使用,因为工具支撑的姿态可以通过已知的、校准的和/或配准的变换相对于TCP固定。

[0245] 如上所述,约束生成器384接收来自定位器的患者跟踪器54、56和设备跟踪器的定位数据,来自临床应用程序190的配准和计划变换,以及来自行为控制器186和运动控制器

188的附加数据输入,包括运动约束处理器390(下文进一步描述),以便计算引导约束和/或可选的边界约束。约束生成器384处理接收到的数据以创建要求解的一组约束,以计算工具20的命令姿态。如上所述,引导约束是虚拟约束,其被定义为生成在虚拟模拟中采用的、将工具20移动到目标状态的虚拟力和扭矩。一旦约束生成器384确定了要求解的那一组起作用的约束,该信息就被传送到行为控制器186。

[0246] 行为控制器186计算指示工具20的下一个命令位置和/或定向(例如姿态)的数据。在一些示例中,行为控制器186基于求解该组约束并执行虚拟模拟来计算下一个命令姿态。来自运动控制器188的运动约束处理器390的输出可以作为输入馈送到行为控制器186以确定工具20的下一个命令位置和/或定向。如图17B中可见的,行为控制器186处理各种虚拟约束以确定命令姿态。约束求解器189接收由运动控制器188的运动约束处理器390生成的约束,例如接头极限约束和接头定心约束,以及工作空间约束和运动学运动约束。约束求解器189还从约束生成器384接收约束,例如来自边界处理器385的引导约束和边界约束。约束求解器189还接收由行为控制器186处理并加回到约束求解器189中的惯性和阻尼力。一旦将这些约束添加到约束求解器189中,约束求解器189就生成约束力,然后将其与所有虚拟力相加,例如惯性和阻尼力,以及可选的外力。然后用虚拟正向动力学处理总虚拟力。然后,从虚拟正向动力学输出的姿态和速度被发送以在行为控制器186内计算惯性和阻尼力,并作为工具支撑的命令姿态和速度命令(手持部分-TCP)转发给运动控制器188。命令姿态(手持部分-TCP)还被发送回约束生成器384以用于生成约束。

[0247] 运动控制器188控制工具支撑18、特别是TCP坐标系的运动。运动控制器188从行为控制器186接收定义下一个命令姿态的数据。基于该数据,运动控制器188确定每个致动器的下一个位置(例如,通过逆向运动学和Jacobian计算器),使工具支撑可以相对于手持部分呈现如行为控制器186命令的姿态,例如,在命令姿态。换言之,运动控制器188将工具支撑相对于手持部分的命令姿态(其可以在笛卡尔坐标中定义)处理成多个致动器21、22、23的命令接头位置,使得器械控制器28可以相应地命令致动器。在一个形式中,运动控制器188调节工具支撑相对于手持部分的位置,并不断地调节每个致动器21、22、23输出的扭矩,以尽可能接近地确保致动器21、22、23相对于手持部分16移动工具支撑18以便能够达到命令姿态。

[0248] 一旦手持部分与TCP的关系进入运动控制器188的运动约束处理器390,手持部分与TCP的关系即被用于计算工作空间约束和运动学运动约束。这些约束是在命令姿态的笛卡尔坐标系中计算的一使用手持部分和TCP之间的关系。一旦计算出工作空间约束和运动学运动约束,来自运动约束处理器390的数据被转发回行为控制器186和约束求解器384。

[0249] 手持部分到TCP的数据也利用逆向运动学计算进行变换。在执行逆向运动学修改生成一组命令接头位置之后,进一步处理所述数据以计算接头极限约束和接头定心约束。这些约束是在接头空间中计算的。接头极限约束可以基于下述计算:每个致动器的先前命令接头位置或测量接头位置,约束Jacobian J_p ,其将一维接头极限约束映射到虚拟模拟所采用的坐标系(例如,在接头的运动和虚拟质量坐标系VM之间);和一个或多个极限位置。接头定心约束基于下述计算:约束Jacobian J_p ,其将一维接头定心约束映射到虚拟模拟所采用的坐标系(例如,在接头的运动和虚拟质量坐标系VM之间),先前命令接头位置或测量接头位置,以及接头定心位置。一旦计算出接头极限约束和接头定心约束,所述数据即被发送

回行为控制器186中的约束求解器189。

[0250] 此外,逆向运动学数据变换创建每个致动器的命令接头位置(Joint Pos Cmd)和接头速度命令(Joint Vel Cmd),并将处理后的数据发送给接头位置-速度控制器(每个致动器一个)并且发送给驱动命令处理器192进行处理以确定接头行程速度超控。

[0251] 运动控制器188将每个致动器的命令位置发送到驱动命令处理器192,驱动命令处理器192可以将每个致动器的所述一个或多个命令或测量位置与各自的接头阈值进行比较,以确定在驱动命令处理器192中是否有必要对驱动电机M进行超控(参见被标识为接头位置速度超控的框)。换言之,当控制系统60确定每个致动器的命令位置以将TCP移动到目标姿态时,控制系统60可以基于所述多个致动器的一个或多个位置来控制驱动电机M的激活。所述一个或多个致动器位置可以基于至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置、或它们的组合。在一个示例中,驱动电机M被基于致动器21、22、23中的至少一个的命令位置来控制。将至少一个致动器21、22、23的命令接头位置与所述至少一个致动器21、22、23的致动器电机超控极限进行比较。电机超控极限可以是一值,或定义一范围外边界的一系列值。尽管该示例演示了监控一个致动器,但控制系统可以监控每个致动器21、22、23的命令位置和致动器电机超控极限。致动器电机超控极限的上极限和下极限可以是与相对于每个致动器的操作范围的致动器位置对应的值。上极限可以对应于在第一方向上允许行进的最大值,并且下极限可以对应于在将要调整驱动电机参数之前在第二相反方向上允许行进的最大值。更具体地,控制系统60基于命令接头位置是否将致动器位置保持在电机超控极限的上极限和下极限之间而将驱动电机M的电机参数控制在第一值和第二值。控制系统60可以控制驱动电机M的一个或多个电机参数,所述一个或多个电机参数可以是速度、扭矩、操作时间、电流或其组合。在一个示例中,由控制系统60控制的电机参数是电机速度,第一值为零(驱动电机M关)并且第二值大于零(驱动电机M开)。控制系统60基于致动器21、22、23的命令位置在第一值和第二值之间切换电机参数。当致动器21、22、23的命令位置将致动器置于电机超控极限的上极限和下极限内时,控制系统60可以命令驱动电机参数的第二值,从而允许驱动电机M被致动和/或继续通电。当命令的致动器位置在电机超控极限的下极限和上极限之间时,则不修改接头速度命令超控。

[0252] 在一些示例中,驱动电机超控可以实现为基于接收到的致动器位置(P)数据评估的查找表或函数。对于接头位置速度超控的示例,随着接头位置接近其电机超控极限,这将允许驱动电机的速度按比例下降。在一些例子中,当致动器位置在电机超控极限的下极限和上极限范围内时可以没有修改。在其他示例中,当致动器21、22、23中的一个或多个位于80%行程至95%行程范围之间的位置时驱动电机速度按比例下降,并且在超过95%行程时完全禁用,这可以向用户提供工具20正在接近操作限制(下和上电机超控阈值)的持续且渐进的反馈。在这样的实施方式中,可能存在多个下电机超控阈值和多个上电机超控阈值,每个阈值对应电机参数(例如电机速度)。在一些情况下,驱动电机M速度可能不完全降低到零,而是降低到一固定的较低速度,允许外科医生被警告,但允许由外科医生自行决定是否继续进行。当致动器21、22、23的命令位置将致动器置于电机超控极限的上极限和下极限之外时,控制系统60可以命令驱动电机参数的第一值,防止驱动电机M被致动和/或继续被通电。每个致动器的电机超控极限可能不同于在上面描述的用于每个致动器的接头阈值。例

如,电机超控极限可以定义比接头阈值定义的范围更窄的范围,并且电机超控极限的范围可以完全在接头阈值范围内。

[0253] 接头位置速度控制器194用于处理来自运动控制器188的数据并处理命令接头位置命令(Joint Pos Cmd)和接头速度命令(Joint Vel Cmd),以确定用于每个致动器的接头扭矩命令(Joint Torque Cmd)。接头扭矩命令的计算可以通过闭环控制算法来完成,例如PID控制。接头扭矩命令被发送到手术器械中,其中对应于每个致动器的每个电流控制器将接头扭矩命令解释为电流。电流控制器然后根据需要选择性地施加电压以将命令电流驱动到每个致动器电机,致使每个致动器将工具支撑移向命令位置。施加的扭矩(或电流)可以使每个致动器在相应的方向上移动和加速。致动器移动/加速的行进量和速度可以取决于机械负载、摩擦、其他外部因素、或其组合。通过随着时间的推移监控每个致动器的位置反馈,位置-速度控制器调整命令扭矩(电流),以便密切地跟踪每个致动器的命令位置。由于致动器电机正在调整工具支撑,每个电机编码器正在收集每个转子的旋转和/或位置数据并将接头位置数据发送回电流控制器。然后,电流控制器将每个致动器的接头位置数据处理成接头速度测量(Joint Vel Meas)和接头位置测量(Joint Pos Meas)并通过接头位置-速度控制器将接头速度测量数据和接头位置测量数据发送到运动控制器188。然后,运动控制器188利用正向运动学变换每个致动器的接头位置和速度测量数据,以生成TCP和手持部分16之间的姿态和速度关系。然后将手持部分与TCP的关系发送到约束生成器384内,以便约束生成器384可以利用该数据来生成各种虚拟约束。

[0254] 此外,参考图31,接头速度测量和接头位置测量可被用于PID控制回路中。例如,PID回路可以计算接头命令位置和接头测量位置之间的误差,该误差可以由PID回路使用以控制接头命令速度。可以将接头的命令速度与接头测量速度进行比较以确定误差。在PID回路中该误差可被用于控制命令电流。可以将命令电流与测量电流进行比较以确定误差。在PID回路中该误差可被用于输出命令接头电压。

[0255] 驱动命令处理器192是控制系统的一部分,其计算和确定用于控制驱动电机M的特殊参数(图17C)。驱动命令处理器192从一个或多个输入设备接收输入命令信号以致动驱动电机M。如图17E中可见的,输入设备的一个示例是器械的手持部分上的触发器。另一个例子也显示在图17E中,是脚踏开关。在另一示例中,驱动命令处理器具有触发源选择,其可用于在多个用户输入设备(例如按钮、触发器和脚踏开关)之间多路复用。在一些示例中,当两个输入设备都不起作用时触发源选择仅评估触发源的变化,然后评估哪个输入设备首先变为起作用。然后所选择的输入设备可以确定主动触发百分比。在其他示例中,潜在地,一个输入设备在优先级上可能具有高于另一个。当输入设备中的一个或多个被致动时,命令信号被发送到驱动命令处理器192,接着该驱动命令处理器192分析该输入设备被致动的百分比(例如触发器被用户压下了多远)。驱动命令处理器192利用从临床应用程序的骨准备部分输出的最大允许速度分析命令百分比并按照接收到的数据修改命令信号。

[0256] 驱动命令处理器192还可以利用在约束生成器384或控制系统的其他部件内执行的碰撞检测的结果。在所示配置中,约束生成器384将工具的位置和/或定向与边界进行比较。具体而言,如前所述,碰撞检测确定工具是否违反边界超出阈值量。此外,碰撞检测步骤处理该定位信息以确定边界速度超控信号。如上所提到的,任何数量的合适边界可被用于该碰撞检测步骤,例如远侧或侧向边界。边界也可以实现为工具和骨骼上的参考定位之间

的距离。基于该比较,器械控制器28可以改变电机参数,这可用于减慢或停止驱动电机M。

[0257] 在该示例中,单独的全局内部/外部检查,使用诸如射线投射或体素查找之类的技术来确定工具20是否完全超出边界。应当理解,相对于边界的驱动电机控制可以使用上面计算的穿透深度,对于工具与边界接触的情况,用以确定是否有刀片的任何部分正在穿透超过阈值量。在工具20被用离散几何图元(例如球体)建模的示例中,进/出检查将评估这些球体中的任何球体是否被定位于边界之外。一旦控制系统60评估了工具20是否超出边界,就可以生成约束并可以更新工具支撑姿态以防止工具违反边界。然而,如果在达到接头极限之后用户继续移动工具超出边界,移动手持部分16太快,或者移动骨骼太快,或者在工具20的不受控的自由度上前进到边界之外,则边界可能被违反。在这种情况下,全局的进/出检查可能会失败,并且驱动电机M可能会被关掉或更改,如前所述地。

[0258] 除了边界速度超控和接头位置速度超控功能外,还通知命令信号以确定是否满足误差处理超控条件(命令是否在正常处理的预期范围内)。如果误差处理条件也满足了,则将驱动速度命令从驱动命令处理器192发送到驱动速度控制器。

[0259] 应当理解,边界速度超控(基于边界控制驱动电机的速度)、接头位置速度超控(基于致动器位置控制驱动电机的速度)、和误差处理超控可能都同时起作用,并且每个都提供部分的超控。例如,边界速度超控可能会将速度降低10%,即使将输入乘以0.9,然后下一个块可能进一步将速度降低20%,即将其(已经降低后的)输入乘以0.8,在这种情况下生成的输出速度为原始请求速度命令的 $0.9 \times 0.8 = 0.72$ 倍。换句话说,每个块所应用的超控倍数(从输入到输出的增益)不依赖于其他超控块确定的内容。除了这种(级联乘法)方法之外,可能还有其他方法以组合多个超控源,例如仅使用最严格的超控等。

[0260] 驱动速度控制器处理驱动速度命令信号并确定驱动扭矩命令,该驱动扭矩命令被发送给手持件中的电流控制器。电流控制器将此驱动扭矩命令转换为命令电流,并根据需要选择性地施加电压以将命令电流驱动到驱动电机M,从而使工具操作(例如,切割)。驱动电机编码器监控驱动电机的驱动,将与驱动电机的操作相关的编码器信号向回发送通过器械中的电流控制器。电流控制器将编码器数据变换为驱动速度测量值并将变换后的反馈数据发送到驱动速度控制器内。

[0261] 如图17A-17C所示,约束生成器384的两个输入包括当前状态(定位器数据、运动学数据)和目标状态(相对于被定位的跟踪器的切割平面)。约束生成器384获得工具20的目标状态并基于该目标状态和手持部分的当前状态生成一个或多个引导约束。当前状态可以基于先前命令姿态CP来定义,因为先前命令姿态CP是与工具20的当前姿态相关联的。目标状态可被定义在解剖坐标系、解剖结构跟踪器坐标系等中,并与当前状态变换到一公共坐标系。约束生成器384的其他输入包括引导约束的配置和调整参数。约束生成器384基于当前状态和目标状态之间的关系以及配置和调整参数来定义所述一个或多个引导约束。引导约束被从约束生成器384输出到约束求解器189内。

[0262] 可以将各种虚拟约束馈送到约束求解器189内,包括但不限于引导约束、接头极限约束、接头定心约束、运动学运动约束、边界约束和诸如外部感测力的其他输入。这些约束可由控制系统60开启/关闭。例如,在一些情况下,可能既没有生成接头定心约束,也没有生成边界约束。类似地,在一些情况下以及在某些操作模式中可能不会产生引导约束。在行为控制器186中采用的所有虚拟约束都可能影响工具20的移动。

[0263] 约束求解器189基于馈送到约束求解器189内的虚拟约束来计算将在虚拟模拟器388中虚拟地施加到工具20的约束力 F_c 。当引导约束起作用时,约束力 F_c 包括被适于基于所述一个或多个虚拟约束将工具20从当前状态朝向目标状态移动的力和/或扭矩的分量。在只有引导约束被输入到约束求解器189内的情况下,约束力 F_c 可以被认为是为满足各引导约束而计算的虚拟力。然而,当采用其它约束时,比如边界约束、接头定心约束、和/或接头极限约束时,约束求解器189的最终任务是基于各约束各自的调整参数提供尽可能接近的满足所有约束的约束力 F_c 的解,这样其它约束也可能影响约束力 F_c 的大小/方向。

[0264] 189为了求解 F_p ,如下所述,将图26中所示的方程转换为矩阵方程,其中每一行代表单一一个一维约束。将约束数据与约束求解器189已知的其他信息一起放置在约束方程中,例如外力 F_{cgext} 、(如果应用)阻尼力 $F_{damping}$ 、惯性力 $F_{inertial}$ 、虚拟质量矩阵 M 、虚拟质量速度 V_{cg1} 和时间步长 Δt (例如,125微秒)。得到的 F_p 是在约束空间中表示的力矢量,其中 F_p 的每个分量是沿着或围绕着与该行约束方程对应的约束方向作用的标量约束力或扭矩。

[0265] 虚拟质量矩阵 M 结合了3x3质量和惯性矩阵。阻尼和惯性力 $F_{damping}$ 和 $F_{inertial}$ 由虚拟模拟器388基于虚拟模拟器388在前一时间步长中输出的虚拟质量速度 V_{cg1} (例如,虚拟质量坐标系VM的速度)来计算。虚拟质量速度 V_{cg1} 是6-DOF速度矢量,包括线性速度分量和角度速度分量。阻尼力 $F_{damping}$ 是6-DOF力/扭矩矢量,被计算为虚拟质量速度 V_{cg1} 和阻尼系数矩阵(线性系数和转动系数可能不相等)的函数。对虚拟质量应用阻尼以提高其稳定性。惯性力 $F_{inertial}$ 也是6-DOF力/扭矩矢量,被计算为虚拟质量速度 V_{cg1} 和虚拟质量矩阵 M 的函数。阻尼和惯性力 $F_{damping}$ 和 $F_{inertial}$ 可以按照Bowling等人的美国专利No.9,566,122中描述的方式来确定,该专利被通过引用方式并入本文。

[0266] 约束求解器189可以配置有任何合适的算法指令(例如,迭代约束求解器、Projected Gauss-Seidel求解器等)以求解该约束方程组,以便提供满足方程组(例如,满足各种约束)的解。在一些情况下,可能不会同时满足所有约束条件。例如,在运动被各种约束过度约束的情况下,给定了各种约束的相对刚度/阻尼的话,约束求解器189将基本上找到“最佳拟合”解。约束求解器189求解方程组并最终输出约束力 F_c 。

[0267] 当采用Projected Gauss-Seidel求解器时,约束求解器189基于这些约束构建 A 和 b 矩阵,使用Projected Gauss-Seidel求解方程组以确定生成的力矢量 F_p ,提取Projected Gauss-Seidel的输出并且对于整组约束来说使用聚合约束Jacobian J_p 将该输出从约束空间变换到虚拟质量坐标系VM。例如,使用方程 $F_c = J_p^T F_p$,其中 F_c 是约束力,其中 F_p 的分量的聚合作用被转换为施加到虚拟质量坐标系VM的力/扭矩矢量 F_c 。

[0268] 使用Projected Gauss-Seidel求解多个约束的方程组的方法例如在下述中展示了:Marijn Tamis和Giuseppe Maggiore的“Constraint based physics solver”,日期为2015年6月15日(第02册),可以在http://www.mft-spirit.nl/files/MTamis_ConstraintBasedPhysicsSolver.pdf中找到;或Marijn Tamis的“Comparison between Projected Gauss-Seidel and Sequential Impulse Solvers for Real-Time Physics Simulations”,日期为2015年7月1日(第01册),可在http://www.mft-spirit.nl/files/MTamis_PGS_SI_Comparison.pdf中找到,两者均通过引用方式整体并入本文。

[0269] Projected Gauss-Seidel方法解决了线性互补问题(LCP)。由于一些约束类型(例如,单侧约束,比如边界约束、接头极限约束和工作空间限制约束)只能在一个方向上推(施

加力),例如正的约束力,因此出现了与LCP相关联的不等式。如果对于约束求解器189的给定迭代来说,针对这种约束计算出的力是负的(或更广泛地说,在其允许范围之外),这是无效的,则该给定的约束必须被剪除(或交替地在其上或下允许值处限制/设限)并求解剩余的约束,直到找到合适的结果(即收敛)。以这种方式,约束求解器189确定给定时间步长的起作用的约束集,然后求解它们的值。其它约束类型可以在正和负两个方向上施加力,例如,双侧约束。这样的约束包括引导约束、接头定心约束和运动学运动约束。这种双侧约束在被启用时通常是起作用的,并且在约束求解器189迭代期间不会被剪除/限制。

[0270] 由约束求解器189计算的约束力 F_c 包括沿VM坐标系的x、y、z轴的三个力分量和围绕VM坐标系的x、y、z轴的三个转矩分量。在其虚拟模拟中虚拟模拟器388利用约束力 F_c 以及外力 $F_{c_{\text{gext}}}$ (如果使用的话)、阻尼力 F_{damping} 和惯性力 F_{inertial} (所有这些都可能包括六个力/扭矩的分量)。在某些情况下,这些力/扭矩的分量首先被变换到一公共坐标系(例如,虚拟质量坐标系VM),然后求和以定义总力 F_T 。将产生的6-DOF力(即力和扭矩)施加到虚拟刚体上,通过虚拟模拟器388计算产生的运动。这样,虚拟模拟器388有效地模拟各种约束以及其他事物(例如外力)如何影响虚拟刚体的运动。虚拟模拟器388基于被施加到虚拟刚体的给定总力 F_T 执行正向动力学以计算所得到的虚拟刚体的6-DOF姿态和速度。在一个示例中,虚拟模拟器388包括物理引擎,其是存储在上述控制器28、36中的任何一个或多个的非瞬态存储器中并由控制系统60实现的可执行软件。

[0271] 对于虚拟模拟来说,虚拟模拟器388将工具20建模为虚拟质量坐标系VM中的虚拟刚体,其中虚拟质量坐标系VM的原点设置于虚拟刚体的质心处,并且各坐标轴与虚拟刚体的各主轴对准。出于虚拟模拟的目的,虚拟刚体是工具20的动态对象和刚体表示。根据虚拟模拟,虚拟刚体按照笛卡尔空间中的六个自由度(6-DOF)自由移动。可以在没有视觉或图形表示的情况下以计算方式处理虚拟模拟。因此,不要求虚拟模拟显示虚拟刚体的动力学。换句话说,虚拟刚体不需要在于处理单元上执行的图形应用内建模。虚拟刚体可以只存在于虚拟模拟中。

[0272] 虚拟刚体及其属性(质量、惯性矩阵、质心、主轴等)定义了工具20将如何响应于所施加的力和扭矩(例如,来自总力 F_T ,其可选地利用虚拟力和扭矩引入了由用户施加的力和扭矩)而进行移动。它控制工具20如何响应于当前的条件而移动(例如,在平移和旋转中加速)。通过调整虚拟刚体的属性,控制系统60可以调整工具20如何反应。可能希望的是使所建模的虚拟刚体的属性合理地接近工具20的真实属性,以实现尽可能真实的运动,但这不是必需的。出于控制稳定性的原因(考虑到致动器组件的有限加速度、控制延迟等),可以将虚拟质量和惯性建模为略高于器械的虚拟质量和惯性。

[0273] 虚拟刚体可以对应于可能在工具20之上或之内的部件。附加地或可替代地,虚拟刚体可以部分地延伸超出实体工具20。虚拟刚体可以考虑具有工具支撑18的工具20或者可以考虑没有工具支撑18的工具20。此外,虚拟刚体可以是基于TCP的。在一个示例中,虚拟刚体的质心被理解为这样的点:如果一虚拟力被施加到虚拟刚体的另一点并且虚拟刚体不受约束,则虚拟刚体将围绕该点旋转。虚拟刚体的质心可以靠近工具20的实际质心但不必与其相同。虚拟刚体的质心可以根据经验确定。一旦工具20被附接到工具支撑18,质心的位置可以重新设置以适应个体从业者的偏好。在虚拟模拟中没有使用外力的一些示例中,虚拟质量的精确数值属性和单位(例如,质心定位、质量、惯性矩阵)在某种程度上是任意的,因

为在这种情况下虚拟模拟不与从现实世界测量的物理力相互作用。在这种情况下,为了简化计算,可能需要简单地将虚拟质量放置在TCP上,将质量设置为1并将惯性矩阵设置为恒等式。然而,其他选项也是可能的,以允许以物理上可感知的单位调整各约束,如果需要,可以为虚拟刚体设置更真实的属性。在任一种情况下,约束调整参数都应考虑为虚拟质量选择的属性。

[0274] 通过在虚拟模拟中在虚拟刚体上虚拟地施加力和/或扭矩,即通过在虚拟质量坐标系VM中在虚拟刚体的质心上虚拟地施加来自总力 F_T 的力和扭矩的分量,虚拟模拟器388有效地模拟工具20的刚体动力学。因此,虚拟地施加到虚拟刚体的力/扭矩可以包括与外力 F_{cgext} 相关联的力/扭矩(例如,其可以基于来自一个或多个传感器的输入)、阻尼力 $F_{damping}$ 、惯性力 $F_{inertiai}$,和/或来自与各种约束相关联的约束力 F_c (由于包含在约束力 F_c 中)的力/扭矩。

[0275] 刚体Jacobians可用于将速度和力从一个坐标系(参考框系)变换到同一虚拟刚体上的另一个坐标系,并且在这里可以被采用以用于将 F_{ext} 的力和扭矩变换到虚拟质量坐标系VM(例如,以产生在约束方程中使用的 F_{cgext})。接着,虚拟模拟器388在内部计算阻尼力 $F_{damping}$ 和惯性力 $F_{inertiai}$,并且还输出阻尼力 $F_{damping}$ 和惯性力 $F_{inertiai}$ 以供约束求解器189在下一时间步长中在其方程组中使用。如果使用, F_{ext} 也可以馈送给约束求解器。这些力可以加在一起,然后与约束力一起输入,以获得总计算。

[0276] 在虚拟模拟中可以采用如图26和27所示的虚拟正向动力学算法,以模拟虚拟刚体的运动,因为它会在施加总力 F_T 时移动。有效地,虚拟正向动力学算法解出了6-DOF方程 $F=ma$ (或 $a=F/m$),并对加速度积分得到速度,然后再次积分以确定新的姿态,详细信息如图27所示。控制系统60将虚拟力和/或扭矩(例如,总力 F_T)输入到虚拟模拟器388中,当虚拟刚体处于具有初始速度的初始姿态时将它们这些虚拟力和/或扭矩施加到虚拟刚体上、虚拟模拟388的质心(例如,CG)处。响应于控制系统60满足输入的虚拟力和/或扭矩,虚拟刚体被移动到笛卡尔空间内具有不同状态(即,位置和/或定向)且具有最终速度的最终姿态。将要发送到器械控制器28的下一个命令姿态CP是基于虚拟模拟器388计算的最终姿态的。这样,虚拟模拟器388通过如图27所示使用虚拟正向动力学模拟在虚拟刚体上施加总力 F_T 的效果来确定下一个命令姿态CP。

[0277] 虽然虚拟模拟在六个自由度上进行,但应注意致动器组件可以在少于六个自由度、例如三个自由度上进行控制。在这种情况下,运动学运动约束可用于约束不受控的自由度,以便可以有意义地进行所述模拟(即,保持VM坐标系对准到实体工具)。

[0278] 在模拟中可以在虚拟刚体上施加速度限制。在一些情况下,速度限制可能会设置得较高,使得它们通常不会影响模拟,或者可以将它们设置为任何期望的值。在某些情况下,可以通过以非线性方式计算要施加到虚拟刚体的阻尼力来实现速度限制,其中阻尼的量值显著增加到阈值速度以上。虚拟刚体处于初始姿态(初始状态),并且在虚拟模拟的每次迭代开始时(例如,在每个时间步长/间隔 dt 处)具有初始速度。初始姿态和初始速度可以定义为虚拟模拟器388在先前时间步长中输出的最终姿态和最终速度。

[0279] 此后,虚拟模拟器388基于其虚拟模拟计算并输出下一个命令姿态CP。在该实施方式中,控制系统60被配置为基于命令姿态CP命令工具支撑18移动工具20,这理想地致使工具20以引导工具20到目标状态的方式并且按照其他虚拟约束移动。

[0280] 图28总结了行为控制器186执行的各个步骤。这些包括如上所述由约束求解器189和虚拟模拟器388执行的步骤。在步骤350中,(可选地)基于从力/扭矩传感器S或替代感测方法获取的读数来计算外力 F_{ext} 。在步骤352中,与各种虚拟约束相关联的约束数据被馈送到约束求解器189。

[0281] 在步骤354-358中,由虚拟模拟器388执行刚体计算以确定反质量矩阵 M^{-1} 、惯性力 $F_{inertial}$ 和虚拟刚体的阻尼力 $F_{damping}$ 。在步骤360-364中,约束求解器189利用在步骤354-358中执行的刚体计算的输出和在步骤352中提供的约束数据来执行前面描述的约束力计算,最终产生约束力 F_c 。在步骤366中,约束力 F_c 与被变换到虚拟质量坐标系 $VM(F_{cgext})$ 的外力 F_{ext} 、阻尼力 $F_{damping}$ 和惯性力 $F_{inertial}$ 相加,得到总力 F_T 。在步骤368中,总力 F_T 被施加到由虚拟模拟器388进行的虚拟模拟中的虚拟刚体上,以便在步骤370中确定虚拟刚体的新姿态和速度,并最终在步骤372中将新姿态和速度变换到TCP。在步骤374中由虚拟模拟器388输出新的命令姿态和速度(V_{TCP})。

[0282] 膝关节应用

[0283] 图29A-29D示意出引导装置的应用。在该示例中,控制系统60已激活引导约束和虚拟约束以将工具20的TCP置于目标姿态。定位器LCLZ检测工具跟踪器52和患者跟踪器54。定位器LCLZ监控器械14相对于目标解剖结构的位置。临床应用程序利用植入物计划来相对于患者跟踪器54确定目标切割平面TP,并将其提供给控制系统。一旦选择了特殊的切割,就从定位器LCLZ接收与器械14的位置和患者解剖结构相关的定位信息。控制系统60还使用设备跟踪器和患者跟踪器定位以及每个致动器21、22、23的接头位置的编码器数据来确定手持部分16的基础坐标系BCS相对于患者跟踪器54的姿态。控制系统60确定将使工具支撑18和锯片20、380朝向目标姿态移动的一组虚拟约束。在这种情况下,控制系统将尝试将锯片20、380放置到目标姿态TP,同时平衡多个虚拟力以将致动器21、22、23保持在它们的操作极限内。控制系统60基于定位数据生成若干引导约束。在三个自由度上采用引导约束来将工具支撑18朝向目标状态引导,即沿着目标坐标系TF的z轴的位置约束,用于将引导坐标系GF的原点引导到目标坐标系的原点,以及围绕着目标坐标系TF的x和y轴的两个定向约束,用于将引导坐标系GF的z轴引导至与目标坐标系TF的z轴对准。此外,计算接头极限约束,其通常具有比引导约束大得多的刚度,以确保致动器21、22、23不被命令到行程极限之外的位置。

[0284] 在一些情况下,可以仅使用一个、两个、三个、四个或更多个引导约束。也可以使用多于六个引导约束,例如当为任意自由度定义多于一个引导约束时。出于说明目的,从图29A到29D的进程显示了引导坐标系GF在三个自由度上与目标坐标系TF对准。在从图29A到图29D的进程中,工具20的TCP显示为朝向目标状态移动(在这种情况下,朝向目标坐标系TF的原点移动)。在每个时间步长,约束力 F_c 被计算出来并考虑了引导约束、接头极限约束、工作空间约束、接头定心约束、运动学运动约束、或其组合,以有效地引导工具支撑18施加将锯片380理想地朝向目标状态移动的力和扭矩。在一个示例中,当TCP处于该位置时,只有引导约束和接头极限约束起作用。由于在每个时间步长处都调整虚拟约束的调整参数,所以虚拟约束可以是动态的。例如,虚拟约束中的一些可能具有越强的弹簧和/或阻尼特性并且其他虚拟约束可能具有越弱的弹簧和/或阻尼特性,当前状态越接近目标状态(例如,引导坐标系GF越接近目标坐标系TF)。在一种情况下,引导约束具有的弹簧和/或阻尼特性越强,当前状态越接近目标状态。因此,约束力 F_c (其可能包括与较强的弹簧和/或阻尼特性相关

的力和/或扭矩的分量)可以随着引导坐标系GF接近目标坐标系TF而在大小上增大。

[0285] 在一个示例中,控制系统确定锯片380相对于已知坐标系(例如患者解剖结构)在至少一个自由度上的目标姿态。控制系统60还确定手持部分16在相同坐标系内、即相对于患者解剖结构的姿态。然后控制系统60处理锯片380和手持部分16的定位信息,以基于锯片380的目标姿态和手持部分16的姿态计算一个或多个引导约束。一旦生成了所述一个或多个引导约束,则由控制系统60计算约束力,约束力被适于在虚拟模拟中移动虚拟锯片。虚拟模拟基于约束力模拟虚拟锯片的动力学,并基于虚拟模拟计算命令姿态。命令姿态从虚拟模拟中输出,并被用于确定致动器21、22、23中每一个的命令接头位置。控制系统60将命令接头位置信号转发到每个致动器21、22、23,通电致动器21、22、23以将工具支撑18和锯片380移动到目标姿态。

[0286] 图18-20示出了用于将工具20(例如,带有锯片380)置于目标状态的引导装置的另一个示例。在该示例中,控制系统60已激活引导装置和相关联的引导约束,以帮助用户将工具20的TCP在相对于用于全膝关节置换的期望切割平面73c定位的至少一个自由度上置于目标姿态,这包括将TCP放置在使工具20与期望切割平面73c对准的目标定向和高度上。在这种情况下,目标坐标系TF的原点被从期望切割平面73c偏移至少刀片厚度的一半以考虑刀片厚度因素。至少一个引导约束被计算并在至少一个自由度上被采用以将工具支撑18朝向目标姿态移动。在一个示例中,在三个自由度上采用三个引导约束以将锯片移动到目标状态,即,一个沿目标坐标系TF的z轴的位置约束和两个围绕着目标坐标系TF的x、y轴的定向约束。

[0287] 在每个时间步长,约束力 F_c 被计算出来并考虑起作用的虚拟约束(例如引导约束、接头极限约束、接头定心约束、运动学运动约束和/或工作空间约束),以有效地引导工具支撑18施加使锯片380理想地朝向目标状态移动的力和扭矩。由于在每个时间步长都调整它们的调整参数,所以虚拟约束可以是动态的。参考图20,例如,引导约束可以具有的刚度越大,当前状态越接近目标状态(例如,引导坐标系GF在x轴方向上越接近目标坐标系TF-参见x距离)。因此,参考图20,与引导约束的调整参数相关联的刚度可以随着x距离的减小而大小增加。

[0288] 例如,将工具20对准到期望切割平面有助于用户沿着股骨和/或胫骨进行精确切割,从而为全膝关节植入物腾出空间。返回参考图13,引导约束可用于将工具20对准到股骨可能需要的五个目标切割平面TP、73a-73e中的每一个。引导约束同样可以在切割过程中保持起作用,从而使刀片保持在目标状态。

[0289] 此外,虚拟边界184可以可选地用于控制驱动电机M的操作。当驱动电机M被致动时,在切割期间使锯片380振荡,基于锯片380相对于虚拟边界184的状态,给驱动电机M的致动信号可以停止和/或改变。虚拟边界184可以防止用户不正确地切割患者解剖结构,特别是防止锯片380切割到不打算受影响的患者解剖结构的那一部分(例如韧带)。参见图18,随着锯片380沿目标切割平面向前,控制驱动电机的一个或多个电机参数。在一个示例中,基于锯片380相对于虚拟边界184的定位,电机参数是驱动电机的速度(以及因此锯片380的切割速度)。然而,其他电机参数也是可以考虑的,例如扭矩、操作时间、电流、加速度或它们的组合。如图13所示,虚拟边界对应于特殊切割的端部点,这取决于用户为了使植入物安装到患者解剖结构而进行的切割。在其他示例中,虚拟边界184可以是如上所述的网格、点、平面

或它们的组合。虚拟边界可以基于解剖结构、计划的植入物、图像数据等。随着锯片380前进穿过患者解剖结构,器械14相对于患者跟踪器的定位数据以及随后的目标平面被实时更新。当锯片380到达虚拟边界184时,电机参数(电机的速度)可以设定为0或被减小。当电机参数的值为0时,驱动电机M被断电,因此用户不会切过虚拟边界184。

[0290] 在另一示例中,驱动电机M被基于工具相对于边界184的姿态、在致动器21、22、23不能调节工具支撑18的至少一个不受控的自由度上进行控制。受控的自由度是由致动器组件400控制的移动方向并且是基于致动器21、22、23的布置的。在一些配置中,致动器组件400的布置可以提供六个受控的自由度、五个受控的自由度、四个受控的自由度、三个受控的自由度、或至少一个受控的自由度。例如,致动器组件400被布置成控制俯仰(图3A-3C)、侧倾(图4A-4C)和z轴平移(相对于手持部分16的高度-图5A-5C)。器械14能够在这些移动方向上相对于手持部分调整工具支撑18和工具20。当自由度不受控制时,致动器21、22、23不能在该特定方向上进行调整。例如,在一些配置中,工具支撑18的侧滑不能调整,因为致动器21、22、23布置成控制俯仰、侧倾和z轴平移(相对于手持部分16的高度)。作为另一示例,当致动器21、22、23被布置为控制俯仰、侧倾和z轴平移(相对于手持部分16的高度)时,沿纵向轴线的线性平移(x平移)是不受控的自由度,因为致动器组件400不控制沿纵向轴线的平移移动。以这种方式,虚拟边界可以被建立用于控制那些不受致动器组件控制的自由度上的边界,例如x轴平移。这可以被配置为用于控制上述的工具深度的边界。如上所述,用于控制深度的边界可以大致垂直于目标平面。这样,虽然该边界可能不用于控制多个致动器,但该边界可以用于控制驱动电机。在一些示例中,不受控的自由度和受控的自由度都可以用作用于控制驱动电机M的进/出(in/out)检查。控制系统60可以使用受控的自由度作为辅助误差缓解,比如在由于误差或故障导致锯片没有保持在平面上时。在该示例中,受控的自由度和不受控的自由度都与边界一起控制驱动电机M的通电。因此,虽然致动器组件不会防止用户将工具定位到超出边界,但是当TCP指示工具的远端超出边界时,控制系统60会阻止用户致动驱动电机M。应当理解,虚拟边界也可以用于在受控的自由度上控制驱动电机。

[0291] 控制系统可以计算合适的运动参数以相对于手持部分移动工具支撑。可以基于命令姿态计算所述运动参数。基于此确定的运动参数,控制系统可以计算合适的信号以发送给多个致动器中的每一个。在一个示例中,控制系统可以基于确定的运动参数和该致动器的命令位置输出接头速度命令。应当理解,在一些示例中,工具支撑相对于手持部分以可变速度移动。每个致动器的运动可以基于由多个致动器中的每一个施加到工具支撑的力。

[0292] 参考图30A和30B,一旦建立了槽口,控制系统60可以,在用户切割与患者的解剖结构(例如要切割的骨骼)相关联的目标切割平面时,利用一个或多个虚拟约束自动调整工具20相对于手持部分16的一个或多个运动参数的值。在一个示例中,在接近切口时,被启用的引导约束和工具被自动对准到目标平面。当工具接触骨骼并进入至超出指定的深度边界、相对于参考定位/参考坐标系的距离参数时,控制系统60保持引导约束的起作用状态。在工具通过指定深度的那一刻,控制系统60感测致动器的当前位置,并将致动器的当前位置设置为新的接头定心位置,启用接头定心约束并禁用引导约束。这导致系统进入“锯片到手柄”对准冻结的徒手模式,就像它第一次进入到并前进到骨骼内时一样。用户可以继续切割,但是当刀片保持在骨头内超过指定深度时控制系统60不会自动校正对准,因为引导约束是不起作用的。即使器械被冻结在固定姿态,刀片仍近似保持在切割平面上,因为通过初

始切割在骨骼中形成的狭槽正在机械地约束刀片的运动,以保持在该切割平面上。当用户开始将刀片移向骨骼出口时,一旦深度小于较早期配置的值(例如,刀片相对于参考定位/参考坐标系的姿态处于阈值)系统即返回到引导约束起作用的模式。此时,接头定心约束被禁用,引导约束被重新启用以恢复将刀片到平面的对准。通过禁用引导约束并启用接头定心约束,可以防止工具粘连在骨骼内或不太可能将工具粘连在骨骼内。一旦在硬骨中达到特定的切割深度,刀片即被在初始切割进入过程中形成的骨狭槽有效地约束住顶部和底部。如果刀片对准的精度有任何小误差(由于校准不准确、刀片刮削或顺应性下潜等),机器人系统可被阻止将刀片恢复到切割平面,因为刀片的顶部和底部不去除骨头了,并且已经加工过的骨头表面可能阻挡刀片返回切割平面。所以,当刀片深入骨头内时,并且如果发生粘连,控制系统在使刀片恢复对准方面受到限制,导致用户必须施加更大的力来完成切割。这种方法可以确保在骨骼接近(在参考定位/参考坐标系的阈值内)和首次切割进入时引导约束得到启用,以确保在骨骼中执行的初始切割进入尽可能准确,并且在达到足以机械地约束刀片的进一步(更深)运动的特定深度之前继续这种对准。

[0293] 在该示例中,引导约束可能具有接近0的虚拟力,意思是引导约束可以被关闭和/或它们的调整参数被调整,因为锯片被建立在槽口内(图30B)。在锯片380切割到患者解剖结构内的同时(图30B),当达到指定的切割深度时,朝向每个致动器21、22、23的导螺杆上的中心点引导转子148的接头定心约束也可能被关闭和/或使定心位置重新设置到致动器21、22、23的当前位置。控制系统60可以基于相对于与骨骼相关联的参考定位、从工具20的姿态(例如,从TCP)确定的距离参数(例如方向、大小)自动改变致动器21、22、23的调节速率。可以保持工具20的姿态,同时引导阵列200引导用户移动手持部分16以保持或校正到期望平面。可以设想,即使在槽口建立之后,接头极限约束和/或工作空间约束也可以保持起作用。

[0294] 参考图30A,描述了控制多个致动器的一种示例性方式。当锯片(TCP)的位置以第一距离参数(DP1)与和骨骼相关的参考定位(RL)隔开时,控制所述器械以使工具支撑相对于手持部分移动,例如,使用量值大于零的运动参数。这是因为槽口尚未充分建立。在这种情况下,引导约束具有大于零的值并具有高刚度值,主动地调整和命令工具支撑18使其保持在期望的切割平面上。

[0295] 参考图30B,当锯片的位置(TCP)以第二距离参数(DP2)与和骨骼相关联的参考定位(RL)隔开时,控制所述器械以使运动参数具有较低的量值,例如使用零量值,或者以其他方式停止工具支撑相对于手持部分的移动。这是因为槽口已经充分地建立。在这种情况下,引导约束力值被减小或不起作用,并且接头定心约束力值也减小和/或被禁用。可替代地,可以重新设置接头定心约束以保持工具支撑18和手持部分16之间的这种固定的相对姿态。

[0296] 一旦工具20建立了槽口,器械控制器28可以将运动参数的值设置为更低的量值或零和/或控制虚拟约束的状态,以停止或减少致动器21、22、23,不再相对于手持部分16调整工具支撑18。一旦工具20已经在骨头内建立了切割路径,工具20可以弯曲并移偏一小量值(例如,刮削),在控制系统试图针对误差进行调整时推回到手持部分16上。用户可以将该力感知为先后推,因为锯片通常不会设计成在调节俯仰和/或侧倾所需的方向上移除硬骨,例如一旦被嵌入到骨头中。当工具20处于切割狭槽290中时,“先后推”或“对抗”手持部分的感觉由控制致动器21、22、23的器械控制器28产生。因此,通过控制致动器向期望的平面移动而引起的唯一移动是手持部分16的移动。这意味着器械控制器28可以使力被施加到手持部

分16,然后传递到用户的手上。这些力可能导致切割过程中的疲劳和/或不适。通过改变运动参数,工具20可以进一步在切割中提供更小的阻力。用户可能会发现,通过将运动参数值设置为0或通过以其他方式停止手持部分相对于工具支撑的移动,在工具20处于切割槽290内时,可以在不与手持部分16相抵触的情况下完成切割,切割槽290用作自然的切割引导装置(参见图30A-30B)。更具体地,器械控制器28可以主动改变与每个虚拟约束的力、速度、加速度或其他状态相关的运动参数的值,使得工具20进入到目标解剖结构内越远,致动器21、22、23以比最初开始切割时相对更低的力、速度和/或加速度朝向目标平面调整,最终在工具20处于中间切割时停止致动器的移动,利用切入到骨骼内的路径作为引导。在一些示例中,外力/扭矩传感器可以允许在虚拟模拟中考虑用户施加的力。在这种情况下,一旦锯片充分进入骨骼内并建立了槽口,引导约束的刚度即可以被降低。引导刚度降低了并且感测到用户施加的力,约束求解器可以找到一种平衡,在该平衡中用户能够用小量值的施加力来平衡引导力。这可以给用户触觉反馈,向用户指示工具20没有完美地对准在平面上,但是其大小使得它不会产生疲劳或导致手持部分16过度先后推至致动器21、22、23的接头极限被耗尽的点。

[0297] 控制工具支撑的运动参数的一种示例性方式是通过改变上述虚拟约束的状态。例如,改变一个或多个虚拟约束的状态可以包括激活虚拟约束中的所述一个或多个,停用虚拟约束中的一个或多个,或改变虚拟约束中的一个或多个的调整参数(即,增大或减小虚拟约束的调整参数)。当引导约束或接头定心约束不起作用时,接头极限约束可能保持起作用。换言之,通过改变虚拟约束的状态,工具支撑18可以在切割初始开始(引导约束的刚度高)时以更大的力、速度和/或加速度移动,然后在工具20已经进入到骨骼内相对于参考定位的阈值距离之后(引导约束的刚度低)以力、速度和/或加速度移动。虽然从将运动参数设置为零的角度描述了停止致动器21、22、23以不再调整工具支撑18,但应当理解,可以使用其他合适的控制逻辑来停止致动器21、22、23,例如通过停止算法的运动控制方面或以其他方式冻结多个致动器21、22、23的位置。如上所述,虚拟约束的状态可以基于相对于患者上的参考定位(例如骨头)监控任何合适的变量(例如,诸如锯片的工具的状态)来控制。可替代地,可以基于工具相对于诸如目标平面的虚拟对象的状态来控制虚拟约束的状态。图11示出了执行引导所执行的过程,例如当工具20包括锯片380时。在本形式中,行为控制器186包括可以与约束生成器384、约束求解器189和虚拟模拟器388同义(synonymous)的引导处理器。行为控制器186进一步包括边界处理器389,用于基于由边界生成器182生成的一个或多个虚拟边界184可选地生成虚拟边界约束。引导处理器/约束生成器384、约束求解器189、虚拟模拟器388和边界处理器389各自包括存储在任何一个或多个上述控制器的非瞬态存储器中并由控制系统60实施的可执行软件。

[0298] 此外,在另一个示例性配置中,基于感测到的外力的大小(或者来自力/扭矩传感器或者经由致动器电机电流得出),控制系统可以触发接头定心模式。这允许控制系统检测“打架”并在检测到时进入“固定手柄”模式。这种方法通常还与驱动电机边界控制结合使用,以确保当手柄被固定(并希望由切口引导)时锯片充分保持在平面上,以允许切割继续进行。如果边界受到违反(由于锯片偏离平面太远),可以通过合适的指示器向用户提供反馈,或者可以调整驱动电机参数(例如,可以关闭驱动电机)。

[0299] 当其他类型的工具联接到工具平台时,引导约束可用于对准钻头或锉和/或螺钉

丝锥、锚固件或其他紧固件。引导约束可用于将冲击器与期望轨迹对准,用于冲击髌臼杯植入物以将髌臼杯植入物安置到准备好的髌臼中。引导约束可用来对准用于安置其他类型植入物的工具。引导约束可用于对准/引导工具以放置克氏丝、套管、套管针、牵开器等。

[0300] 可以采用例如各种用户界面UI上的输入设备来切换/激活器械14的各种操作模式。例如,工具20的UI可以具有输入设备(按钮、触摸传感器、手势输入、脚踏板、触发器等),其可以被致动以激活一个或多个虚拟约束,使得约束力 F_c 包括与移动工具相关联的力和扭矩的分量。控制系统60可以被配置为在特定情况下自动改变虚拟约束的状态。控制系统60还可以在自动继续另一模式之前首先提示用户,例如通过在显示器38中的一个或多个上提供可选择的提示以便以选定模式继续。

[0301] 此外,预期器械控制器28、用户或两者可以,通过输入设备手动地,基于导航数据、致动器数据、驱动电机数据或其组合自动地,在模式和行为之间切换器械14。在一些情况下,用户可以确定器械应该保持在特殊姿态(工具支撑相对于手持部分)并用输入设备超控器械控制器。

[0302] 在一些配置中,将被切割的解剖结构特征的表面(例如骨骼表面)可以用作致使器械控制器28改变下述的操作模式或行为的参考点、虚拟边界或两者:(i) 器械14;(ii) 一个或多个致动器21、22、23;(iii) 引导阵列200;(iv) 一个或多个视觉指示器201、202、203;(v) 或其组合。

[0303] 在一些示例中,器械控制器28可以利用一个或多个输入来确定一个或多个输出。所述一个或多个输入可以包括由患者跟踪器54、56确定的骨骼姿态,比如参考定位,由工具支撑18上的工具跟踪器52确定的工具20的工具中心点TCP或TCP坐标系的姿态,手持部分16的姿态,工具20的命令姿态,距离参数,致动器信息(例如命令或测量位置和/或姿态、当前位置和/或姿态、过去的位置和/或姿态等),来自脚踏开关、触发器或触摸屏的输入信号,或其组合。器械控制器28的一个或多个输出可以包括改变驱动电机M的电机参数,调整工具支撑18的运动参数(例如改变约束的状态或调整参数),包括改变力、加速度或速度,可以关闭边界控制,相对于手持部分16保持或冻结工具20和工具支撑18,激活归位模式,或它们的组合。任何合适的输入组合可以与任何合适的输出一起使用。

[0304] 相对于目标状态和/或相对于手术部位或相对于命令位置的,工具20的当前状态和/或一个或多个致动器当前状态可以由导航系统32输出并且通过工具20、工具支撑18、手持部分16、致动器21、22、23、目标状态、虚拟边界184和/或手术部位(例如,股骨F、胫骨T、骨盆、椎体或其他解剖结构)的图形表示呈现在显示器38上。这些图形表示可以实时更新,以使用户能够可视化他们相对于目标状态、虚拟边界184、解剖结构等的移动。例如,工具20和解剖结构的图形表示可以随着工具20被工具支撑18的实际移动和解剖结构的实际移动而在显示器38上实时移动。

[0305] 应当理解,对象的位置和定向的组合称为对象的姿态。在整个本说明书中,设想术语姿态可以由位置和/或一个或多个自由度上的定向代替,反之亦然,以实现本文描述的概念的适当替代方案。换句话说,术语姿态的任何使用都可以替换为位置,并且术语位置的任何使用都可以替换为姿态。

[0306] 根据本教导的方法例如是计算机实现的方法。例如,根据本教导的方法的所有步骤或仅一些步骤(即少于步骤的总数)可以由计算机(例如,至少一个计算机)执行。一种配

置的计算机实现的方法是使用计算机执行数据处理方法。此外,在本教导中,本文公开的方法包括在至少一个计算机(例如,作为导航系统的一部分的至少一个计算机)的至少一个处理器上执行由所述至少一个处理器执行的下述示例性步骤。

[0307] 计算机例如包括至少一个处理器和例如至少一个存储器,以便(在技术上)处理数据,例如电子地和/或光学地。处理器例如由是半导体的物质或组合物制成,所述半导体例如是至少部分n-和/或p-掺杂的半导体,例如II-、III-、IV-、V-、VI-半导体材料中的至少一种,例如(掺杂)硅和/或砷化镓。所描述的计算或确定步骤例如由计算机执行。确定步骤或计算步骤例如是在技术方法的框架内、例如在程序的框架内确定数据的步骤。计算机例如是任何类型的数据处理设备,例如电子数据处理设备。计算机可以是通常认为是这样的一种设备,例如台式PC、笔记本电脑、上网本等,但也可以是任何可编程装置,例如移动电话或嵌入式处理器。例如,计算机可以包括“子计算机”的系统(网络),其中每个子计算机本身代表计算机。术语“计算机”包括云计算,例如云服务器。术语计算机包括服务器资源。术语“云计算”包括云计算系统,该云计算系统例如包括至少一个云计算和例如多个操作地互连的云计算(例如服务器场)的系统。这种云计算优选地连接到诸如万维网(WWW)的广域网并且位于全部连接到万维网的所谓的计算机云中。这种基础设施被用于“云计算”,它描述了计算、软件、数据访问和存储服务,这些服务不需要终端用户知道提供具体服务的计算机的物理定位和/或配置。例如,术语“云”在这方面被用作Internet(万维网)的隐喻。例如,云提供计算基础设施即服务(IaaS)。云计算可以用作用于执行本教导的方法的操作系统和/或数据处理应用程序的虚拟主机。云计算例如是由Amazon Web Services™提供的弹性计算云(EC2)。例如,计算机包括接口以便接收或输出数据和/或执行模数变换。例如,本教导可以不涉及或特别是包括或包含侵入性步骤,该侵入性步骤将代表与需要实施专业医学专业知识并且即使在利用所需的专业护理和知识执行时也包含相当大的健康风险的身体的实质性物理干扰。数据例如是表示物理特性和/或从技术信号生成的数据。技术信号例如通过(技术)检测设备(例如用于检测标记设备的设备)和/或(技术)分析设备(例如用于执行(医学)成像方法的设备)产生,其中技术信号例如是电信号或光信号。例如,技术信号代表计算机接收或输出的数据。计算机优选地操作地耦合到显示设备,该显示设备允许将计算机输出的信息进行显示,例如显示给用户。显示设备的一个示例是虚拟现实设备或增强现实设备(也称为虚拟现实眼镜或增强现实眼镜)。显示设备的另一个示例是包括例如液晶显示器的标准计算机监控器,液晶显示器操作地耦合到计算机,用于从计算机接收显示控制数据,以便生成用于在显示设备上显示图像信息内容的信号。

[0308] 本教导还涉及包括指令的计算机程序,当该程序由计算机执行时,使计算机执行本文所述的一种或多种方法,例如所述一种或多种方法的步骤,和/或上面存储有程序的计算机可读存储介质(例如,非暂时性计算机可读存储介质)和/或包括所述程序存储介质的计算机和/或(物理的,例如电的,例如技术上产生的)信号波,例如数字信号波,例如携带表示程序(例如前述程序)的信息的电磁载波,其例如包括适于执行此处描述的任何或全部方法步骤的代码装置。在一个示例中,信号波是携带上述计算机程序的数据载波信号。本教导还涉及包括至少一个处理器和/或上述计算机可读存储介质和例如存储器的计算机,其中程序由处理器执行。

[0309] 在本教导的框架内,计算机程序元件可以由硬件和/或软件(这包括固件、常驻软

件、微代码等)来体现。在本教导的框架内,计算机程序元件可以采取计算机程序产品的形式,该计算机程序产品可以由计算机可用的、例如计算机可读的数据存储介质来体现,该存储介质包括计算机可用的、例如计算机可读的程序指令、包含在所述数据存储介质中用于在指令执行系统上或与指令执行系统结合使用的“代码”或“计算机程序”。这样的系统可以是计算机;计算机可以是包括用于执行计算机程序元素和/或根据本教导的程序的装置的数据处理设备,例如包括执行计算机程序元件的数字处理器(中央处理单元或CPU)的数据处理设备,以及可选的易失性存储器(例如随机存取存储器或RAM),用于存储用于执行计算机程序元件和/或通过执行计算机程序元件产生的数据。在本教导的框架内,计算机可用的、例如计算机可读的数据存储介质可以是任何数据存储介质,其可以包括、存储、通信、传播或传输用于在指令执行系统、装置或设备上使用或与指令执行系统、装置或设备结合使用的程序。计算机可用的、例如计算机可读的数据存储介质例如可以是、但不限于电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外线的或半导体系统、装置或设备或诸如互联网的传播媒介。

[0310] 在本申请中,包括以下定义,术语“控制器”可以替换为术语“电路”。术语“控制器”可以指代下述、属于下述的一部分或包括下述:专用集成电路(ASIC);数字、模拟或混合模拟/数字分立电路;数字、模拟或混合模拟/数字集成电路;组合逻辑电路;现场可编程门阵列(FPGA);执行代码的处理器电路(共享、专用或组);存储由处理器电路执行的代码的存储器电路(共享、专用或组);提供所述功能的其他合适的硬件部件;或上述的一些或全部的组合,例如在片上系统中。

[0311] 控制器可以包括一个或多个接口电路。在一些示例中,接口电路可以实现连接到局域网(LAN)或无线个域网(WPAN)的有线或无线接口。LAN的示例是电气和电子工程师协会(IEEE)标准802.11-2016(也称为WIFI无线网络标准)和IEEE标准802.3-2015(也称为ETHERNET有线网络标准)。WPAN的示例是来自Bluetooth Special Interest Group的BLUETOOTH无线网络标准和IEEE标准802.15.4。

[0312] 控制器可以使用接口电路与其他控制器通信。尽管控制器可以在本公开中描述为与其他控制器直接逻辑通信,但是在各种配置中,控制器实际上可以通过通信系统进行通信。通信系统包括物理和/或虚拟网络设备,比如集线器、交换机、路由器和网关。在一些配置中,通信系统连接到或穿越广域网(WAN),比如互联网。例如,通信系统可以包括使用包括Multiprotocol Label Switching(MPLS)和虚拟专用网络(VPN)在内的技术通过互联网或点对点租用线路相互连接的多个LAN。

[0313] 在各种配置中,控制器的功能可以分布在通过通信系统连接的多个控制器上。例如,多个控制器可以实现由负载平衡系统分配的相同功能。在另一个示例中,控制器的功能可以在服务器(也称为远程或云)控制器和客户端(或用户)控制器之间分割。

[0314] 控制器的一些或全部硬件特征可以使用用于硬件描述的语言来定义,例如IEEE标准1364-2005(通常称为“Verilog”)和IEEE标准10182-2008(通常称为“VHDL”)。硬件描述语言可用于制造和/或编程硬件电路。在一些配置中,控制器的一些或所有特征可以通过包含如下所述的代码和硬件描述两者的语言定义,例如IEEE 1666-2005(通常称为“SystemC”)。

[0315] 各种控制器程序可以存储在存储器电路上。术语存储器电路是术语计算机可读介质的子集。如本文所用的,术语计算机可读介质不包括通过介质(例如在载波上)传播的瞬态电或电磁信号;因此,术语计算机可读介质可以认为是有形的和非暂时的。非暂时性计算

机可读介质的非限制性示例是非易失性存储器电路(例如闪存电路、可擦除可编程只读存储器电路、或掩模只读存储器电路)、易失性存储器电路(例如静态随机存取存储器电路或动态随机存取存储器电路)、磁存储介质(如模拟或数字磁带或硬盘驱动器)和光学存储介质(如CD、DVD或Blu-ray Disc)。

[0316] 本申请中描述的装置和方法可以部分地或完全地由通过配置通用计算机来执行包含在计算机程序中的一个或多个特定功能而创建的专用计算机来实现。上述的功能块和流程图元素用作软件规范,可以通过熟练的技术人员或程序员的日常工作将其翻译成计算机程序。

[0317] 计算机程序包括存储在至少一种非暂时性计算机可读介质上的处理器可执行指令。计算机程序还可以包括或依赖于存储的数据。计算机程序可以包括与专用计算机的硬件交互的基本输入/输出系统(BIOS)、与专用计算机的特定设备交互的设备驱动程序、一个或多个操作系统、用户应用程序、后台服务、后台应用程序等。

[0318] 计算机程序可以包括:(i)要解析的描述性文本,例如HTML(超文本标记语言)、XML(可扩展标记语言)或JSON(JavaScript Object Notation),(ii)汇编代码,(iii)由编译器从源代码生成的目标代码,(iv)由解释器执行的源代码,(v)由即时编译器编译和执行的源代码等。仅作为示例,源代码可以使用包括以下语言的语法编写:C、C++、C#、Objective C、Swift、Haskell、Go、SQL、R、Lisp、**Java®**、Fortran、Perl、Pascal、Curl、OCaml、**JavaScript®**、HTML5(超文本标记语言第5版)、Ada、ASP(Active Server Pages)、PHP(PHP: Hypertext Preprocessor)、Scala、Eiffel、Smalltalk、Erlang、Ruby、**Flash®**、**Visual Basic®**、Lua、MATLAB、SENSORLINK、和**Python®**。

[0319] 条款

[0320] I.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当该程序由计算机执行时,所述指令导致计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;基于引导约束计算适合于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;基于来自约束力的输入在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学,并基于虚拟模拟输出命令姿态;以及基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置。条款I,进一步包括基于多个致动器中的每一个的命令接头位置来控制多个致动器中的每一个;或者,在已知坐标系中用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,已知坐标系被相对于患者跟踪器定义;或者,进一步包括确定多个致动器中的每一个的位置,以及确定工具的姿态,并且确定手持部分的姿态的步骤基于工具的姿态和多个致动器中的每一个的位置进行,或者,其中确定多个致动器中的每一个的位置的步骤被进一步限定为使用耦合到多个致动器中的每一个的编码器测量多个致动器中的每一个的位置,或者包括在已知坐标系中确定耦合到工具支撑的跟踪器的姿态,以及基于耦合到工具支撑的跟踪器的姿态来确定工具的姿态,或者进一步包括在已知坐标系中确定耦合到手持部分的跟踪器的姿态;并且基于耦合到手持部分的跟踪器的姿态确定手持部分的姿态,或者其中确定工具的目标姿态的步骤被进一步限定为在至少三个自由度上定义目标姿态,或者其中目标姿态包括目标坐标系并且工具包括引导坐标系,约束力被适于将引导坐标系朝向目标坐标系

移动,或者进一步包括在已知坐标系中确定工具的姿态,并且其中引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于工具的目标姿态和工具的姿态之间的关系改变调整参数的值,或者其中模拟动力学的步骤被进一步限定为基于引导约束和外力值计算约束力,或者进一步包括在已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中工具的目标姿态是基于植入物的计划姿态的,或者进一步包括确定接头定心约束;以及基于接头定心约束来控制多个致动器,或者进一步包括基于引导约束并且基于接头定心约束来计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;并且基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态,其中控制多个致动器以朝向工具的目标姿态移动被进一步限定为命令多个致动器以基于命令姿态来对准工具,或者其中引导约束具有调整参数的第一值并且接头定心约束具有调整参数的第二值,第一值不同于第二值,使得与接头定心约束相比在引导约束情况下产生的约束力适合于更坚固地对准工具,或者,其中命令姿态是手持部分和工具之间的关系,或者进一步包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度来控制多个致动器中的每一个。

[0321] II.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当该程序由计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;确定多个致动器中的每一个的位置;基于多个致动器中的每一个的位置确定手持部分的姿态;基于手持部分的姿态和工具的目标姿态确定工具的命令姿态;以及基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置。

[0322] III.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当该程序由计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定命令姿态;基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置;以及基于至少一个致动器的命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制工具驱动电机。

[0323] IV.条款III,进一步包括基于每个致动器的命令接头位置控制多个致动器中的每一个;或者其中控制工具驱动电机的步骤被限定为基于所述至少一个致动器的先前命令位置或其组合来控制工具驱动电机,或者其中控制工具驱动电机的步骤被进一步限定为比较多个致动器中的第一致动器的命令接头位置和第一致动器的第一电机超控极限,或者其中第一电机超控极限包括上阈值和下阈值,或者其中控制工具驱动电机的步骤被进一步限定为基于多个致动器中的第二致动器的命令接头位置和第二致动器的第二电机超控极限来控制工具驱动电机,或者其中控制工具驱动电机的步骤包括将工具驱动电机的电机参数控制为第一值和第二值,其中第一值不同于第二值,控制器可操作以基于第一致动器的命令接头位置和第一电机超控极限而将操作从第一值改变到第二值,或者其中基于命令接头位置、至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制工具驱动电机被进一步限定为使工具驱动电机停止,或者基于命令姿态确定多个致动器中的每一个致动器的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度或其组合来控制多个致动器中的每一个。

[0324] V.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于至少一个致动器的测量位置、至少一个致动器的先前测量位置或其组合来控制工具驱动电机。

[0325] VI.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定工具的状态;基于工具的状态确定调整参数的值;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态并且基于调整参数的值生成引导约束;基于引导约束计算适于移动虚拟工具的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学,并且基于虚拟模拟输出命令姿态。

[0326] VII.条款VII,进一步包括基于命令姿态控制多个致动器中的每一个,或者其中工具的状态是先前命令姿态。

[0327] VIII.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向;在已知坐标系中确定工具的状态;基于工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态;基于工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态,第一约束不同于第二约束;基于第一约束的状态和/或第二约束的状态计算适于移动虚拟工具的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学,并基于虚拟模拟输出命令姿态。

[0328] IX.条款VIII,进一步包括基于命令姿态控制多个致动器中的每一个,或者所述第一约束的状态被选自包括以下的组:所述第一约束的起作用状态、所述第一约束的不起作用状态、所述第一约束具有调整参数的第一值、以及所述第一约束具有调整参数的第二值;并且其中,所述第二约束的状态被选自包括以下的组:所述第二约束的起作用状态、第二约束的不起作用状态、第二约束具有调整参数的第三值、以及第二约束具有调整参数的第四值,或者所述第一约束是引导约束,并且所述第二约束是接头定心约束,或者所述工具的第一状态和所述工具的第二状态在所述已知坐标系中包括位置、定向或姿态,或者所述工具的状态被进一步限定为在第一时刻的所述工具的第一状态和在第二时刻的所述工具的第二状态,其中所述工具的第一状态与所述工具的第二状态不同,并且第一时刻与第二时刻不同,其中第一约束的状态在工具的第一状态下是不起作用的并且在工具的第二状态下是起作用的,并且其中所述第二约束的状态在工具的第一状态下是起作用的并且在工具的第二状态下是不起作用的,或者所述工具的状态被进一步限定为在第一时刻的所述工具的第一状态和在第二时刻的所述工具的第二状态,其中工具的第一状态不同于工具的第二状态并且第一时刻不同于第二时刻,其中所述第一约束的状态在工具的第一状态下具有调整参数的第一值并且在工具的第二状态下具有调整参数的第二值,并且其中所述第二约束的状态在工具的第一状态下具有调整参数的第三值并且在工具的第二状态下具有调整参数的第四值,或者还包括基于所述工具的第一状态和所述参考坐标系确定第一距离参数,并且基于所述工具的第二状态和所述参考坐标系确定第二距离参数,其中第一和第二距离参数选自

包括方向和大小的组,并且其中,基于工具的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第一约束的第一状态,并且其中,基于工具的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第一约束的第二状态,或者其中基于工具的第一状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态被进一步限定为基于第一距离参数确定第二约束的第一状态,并且其中,基于工具的第二状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的第二状态被进一步限定为基于第二距离参数确定第二约束的第二状态,或者其中,所述第一距离参数和所述第二距离参数分别从远离骨骼的方向和进入骨骼的方向中选择,或者所述参考坐标系是相对于患者跟踪器定义的,或者其中,所述参考坐标系是基于所述工具的目标姿态的,或者还包括接收用户输入信号,以及基于所述用户输入信号改变所述第一约束和/或所述第二约束的状态,或者其中,所述调整参数的第一值和第二值通过函数定义,或者其中,所述函数是基于在至少一个自由度上所述工具相对于所述参考坐标系的距离和/或角度的,或者其中,所述第一约束的状态和/或所述第二约束的状态通过函数定义,所述函数是基于在至少一个自由度上所述工具相对于所述参考坐标系的距离和/或角度的,或者其中,所述第一约束的状态和/或所述第二约束的状态由查找表定义,或者它们的组合。

[0329] X.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中在至少一个自由度上确定外科工具的目标姿态;确定参考坐标系相对于已知坐标系的位置和/或定向;在已知坐标系中确定外科工具的状态;基于外科工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第一约束的状态;以及基于外科工具的状态和参考坐标系之间的关系确定第二约束的状态,所述第一约束不同于所述第二约束。

[0330] XI.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的姿态、手持部分的姿态、边界和工具的目标姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;基于边界和工具的姿态控制刀具驱动电机。

[0331] XII.条款XI,进一步包括基于引导约束控制多个致动器以朝向工具的目标姿态对准,或者其中确定工具的目标姿态的步骤被进一步限定为在至少三个自由度上定义目标姿态,其中目标姿态是目标平面或轴线,或者进一步包括基于引导约束计算适于将虚拟工具的虚拟表示朝向目标姿态移动的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学,并输出命令姿态,并且其中控制多个致动器以朝向工具的目标姿态移动被进一步限定为命令多个致动器以基于命令姿态对准所述工具,或者进一步包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置;以及基于多个致动器中的每一个的命令接头位置来控制多个致动器中的每一个,或者其中目标姿态包括目标坐标系并且工具包括引导坐标系,该方法包括控制多个致动器以使引导坐标系朝向目标坐标系移动,或者其中引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于工具的目标姿态和工具的姿态之间的关系改变调整参数的值,或者模拟动力学的步骤被进一步限定为基于引导约束和外力值计算约束力,或者进一步包括在已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中工具的目标姿态是基于植入物的计划姿态的,或者其中边界基于植入物的计划姿态,或者其中控制工具驱动电机包括基

于边界和工具的姿态控制工具驱动电机的速度,或者进一步包括确定关于工具的一部分和边界的距离参数,并且控制工具驱动电机被进一步限定为基于距离参数控制工具驱动电机的速度,或者其中距离参数具有大小和定向,或者进一步包括基于边界和工具的姿态防止工具驱动电机的致动,或者其中控制工具驱动电机包括将工具驱动电机的电机参数控制在第一值和第二值,其中第一值不同于第二值,控制器可操作以基于边界并且基于工具的姿态而将操作从第一值改变为第二值,或者其中电机参数选自包括下述的组:速度、扭矩、操作时间、电流、加速度或其组合,或者其中边界是在已知坐标系中定义的对象,其中对象包括网格、点、平面、多个平面、几何图元(例如平行于计划轴线的线)、以及它们的组合,或者其中边界是从包括球体或直角棱柱的组中选择的几何图元,或者进一步包括确定接头定心约束;以及基于接头定心约束来控制多个致动器,或者进一步包括基于引导约束并且基于接头定心约束来计算适于移动虚拟工具的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态,并且其中控制多个致动器进行移动被进一步限定为基于命令姿态命令多个致动器对准工具,或者其中确定手持部分姿态包括确定多个致动器中的每个致动器的位置,以及确定工具的姿态,以及基于工具的姿态和多个致动器中的每个致动器的位置来确定手持部分姿态,或者进一步包括确定耦合到工具支撑的跟踪器的姿态,并且基于耦合到工具支撑的跟踪器的姿态确定工具的姿态,或者进一步包括用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,已知坐标系是相对于患者跟踪器定义的,或者其中确定多个致动器中的每一个的位置的步骤被进一步限定为使用耦合到多个致动器中的每一个的编码器测量多个致动器中的每一个的位置,或者其中该方法进一步包括确定耦合到手持部分的跟踪器的姿态;并且确定手持部分姿态是基于耦合到手持部分的跟踪器的姿态,或者其中命令姿态是手持部分和工具之间的关系,或者它们的组合。

[0332] XIII. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的姿态、边界网格和工具的目标姿态;控制多个致动器以将工具朝向工具的目标姿态对准;以及基于边界网格和工具的姿态控制工具驱动电机。

[0333] XIV. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的姿态、手持部分姿态、工具的目标姿态、和边界;基于工具的目标姿态和手持部分姿态控制多个致动器,以在多个受控的自由度上对准工具;以及基于边界和工具在至少一个不受控的自由度上的姿态来控制工具驱动电机。

[0334] XV. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的姿态、手持部分姿态、工具的目标姿态、和边界;基于工具的目标姿态和手持部分姿态控制多个致动器以在多个受控的自由度上定位工具;以及基于边界和工具在至少一个不受控的自由度上的姿态来控制工具驱动电机。

[0335] XVI. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:控制所述多个致动器朝向所述多个致动器中的每一个的第一定心位置

的移动;控制所述多个致动器朝向第二定心位置的移动,对于所述多个致动器中的至少一个致动器来说所述第二定心位置不同于所述第一定心位置;以及在朝向第一定心位置和第二定心位置的控制之间自动切换。

[0336] XVII. 条款XVI,其中所述切换基于在已知坐标系中工具相对于目标状态的状态进行,或者进一步包括在已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中工具的目标状态是基于植入物的计划姿态的,或者其中工具的状态包括工具的位置、工具的定向、或工具的姿态,或者其中在已知坐标系中相对于工具的目标状态确定工具的状态包括在已知坐标系中相对于多个切割平面或计划轨迹确定由工具定义的平面或轴线的位置,或者其中,对于所述多个切割平面或计划轨迹来说,在已知坐标系中相对于工具的目标状态确定工具的状态包括确定工具的当前定向和工具的多个目标定向之间的角度,确定工具的当前位置和工具的多个目标位置之间的距离,或者确定角度和距离来自,并且基于角度值、距离值、或角度值和距离值两者确定所述多个切割平面或计划轨迹中被用户选择的那一个,或者它们的组合。

[0337] XVIII. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:控制所述多个致动器朝向所述多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动;接收表示希望改变定心位置的用户输入信号;并且基于接收到用户输入信号,而控制多个致动器朝向多个致动器中的每一个的第二定心位置的移动,对于多个致动器中的至少一个致动器来说第二定心位置不同于第一定心位置。

[0338] XIX. 条款XVIII,其中所述多个致动器中的第一致动器的第一定心位置位于所述第一致动器的大致中点处,并且所述第二定心位置在所述第一致动器的所述第一定心位置和第一致动器的接头阈值之间,或者其中所述多个致动器中的第二致动器的第一定心位置与第二致动器的第二定心位置相同,或者其中用户输入信号是基于对用户输入设备的输入,其中用户输入设备选自包括器械上的触发器、触摸屏、脚踏板、移动设备及其组合的组,或者其中用户输入信号基于工具的位置和/或定向,或者它们的组合。

[0339] XX. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束;基于多个致动器中的至少一个的位置和多个致动器中的至少一个致动器的定心位置产生接头定心约束;基于引导约束和接头定心约束来计算适合于移动虚拟工具的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学,并基于虚拟模拟输出命令姿态;以及基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置。

[0340] XXI. 条款XVII,进一步包括基于命令接头位置控制多个致动器中的每一个,或者其中所述多个致动器中的至少一个的位置包括所述至少一个致动器的测量位置、所述至少一个致动器的先前命令位置、所述至少一个致动器的先前测量位置、或它们的组合,或者其中所述多个致动器中的所述至少一个致动器的位置包括所述至少一个致动器的先前命令位置,或者所述方法进一步包括确定施加在工具或工具支撑和手持部分之间的外力值;并且其中计算约束力的步骤进一步基于施加到工具的外力值,或者其中接头定心约束具有调

整参数的第一值,并且引导约束具有调整参数的第二值,调整参数导致各约束对约束力具有增加的影响,接头定心约束的调整参数小于引导约束的调整参数,或者其中引导约束或接头定心约束的调整参数影响相应约束的刚度或阻尼,或者基于所述多个致动器中的至少一个的位置和接头极限生成接头极限约束,并且计算约束力的步骤被进一步限定为基于引导约束、接头定心约束和接头极限约束来计算约束力,或者其中接头定心约束具有调整参数的第一值,引导约束具有调整参数的第二值,以及接头极限约束具有调整参数的第三值,调整参数导致各约束对约束力具有增加的影响,接头极限约束的调整参数大于引导约束的调整参数和接头定心约束的调整参数,或者进一步包括在已知坐标系中确定工具的姿态,并基于工具的目标姿态和工具的姿态之间的关系计算引导约束,或者其中引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于工具的目标姿态和工具的姿态之间的关系来改变引导约束的调整参数的值,或者进一步包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度来控制多个致动器中的每一个,或它们的组合。

[0341] XXII.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:在已知坐标系中确定工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于工具的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束;以及基于所述多个致动器中的至少一个的位置和所述多个致动器中的至少一个致动器的定心位置生成接头定心约束。

[0342] XXIII.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法、程序或产品,该方法、程序或产品包括指令,当程序被计算机执行时,所述指令使计算机完成以下步骤:感测被供应给多个致动器中的一个或多个致动器的电流量;基于一个或多个电流传感器的输出来估计施加在工具支撑和手持部分之间的外力的量,基于估计的外力的量计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度。

[0343] XXIV.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法,该方法包括以下步骤:基于多个致动器中的至少一个的位置和接头极限来确定接头极限约束;基于工具的姿态和预定义的笛卡尔空间确定工作空间限制约束;基于接头极限约束和工作空间约束计算适合于移动虚拟工具的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;以及基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置。

[0344] XXV.条款XXIV,进一步包括基于命令接头位置控制多个致动器中的每一个,或者其中所述多个致动器中的所述至少一个致动器的位置包括至少一个致动器的测量位置、所述至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置、或它们的组合,或者其中工具的姿态是相对于手持部分定义的,或者其中预定义的笛卡尔空间是定义在笛卡尔空间中的体积、在一个或多个自由度上的多个限制、多个定向、或其组合,或者进一步包括使用工作空间约束和接头极限约束限制工具支撑相对于手持部分的侧倾大于俯仰和/或高度,或者其中相对于工具支撑的机械能力,侧倾比俯仰和/或高度更受限制,或者其中工具

支撑相对于手持部分的运动范围在俯仰方面大于在侧倾方面,或者其中工具支撑相对于手持部分的运动范围在高度方面大于在侧倾方面,或者其中预定义的笛卡尔空间在形状上是不对称的,或者进一步包括基于工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;并且其中计算约束力的步骤进一步基于引导约束,或者进一步包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度控制多个致动器中的每一个,或者它们的组合。

[0345] XXVI.一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的计算机实施的医疗方法,该方法包括以下步骤:在已知坐标系中确定工具的姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于多个致动器中的至少一个的位置确定接头极限;基于工具的姿态和预定义的笛卡尔空间确定工作空间限制;以及基于工具的目标姿态、接头极限和工作空间限制来控制多个致动器中的每一个。

[0346] XXVII.一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机;致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑来对准刀片/工具,致动器组件包括多个致动器;定位器;耦合到定位器、多个致动器和锯/工具驱动电机的控制系统,控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片/工具的姿态、手持部分的姿态,边界、和锯片/工具的目标姿态;控制系统包括:引导处理器,用于基于锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;控制系统被配置为基于引导约束控制多个致动器以将锯片/工具朝向目标姿态对准;并且基于边界和锯片/工具的姿态来控制锯/工具驱动电机。

[0347] XXVIII.根据条款XXVII所述的系统,其中目标姿态被在至少两个自由度上定义。

[0348] XXIX.根据条款XXVII或XXVIII中任一项所述的系统,其中所述手持器械包括约束组件,所述约束组件具有将所述刀片支撑和所述手持部分操作地互连的被动联动装置,所述被动联动装置被联接到所述刀片/工具支撑和所述手持部分,以便约束刀片/工具支撑相对于手持部分在三个自由度上的移动。

[0349] XXX.根据条款XXVII-XXIX中任一项所述的系统,其中该器械的重量小于6磅并且该器械能够在四个自由度上移动。

[0350] XXXI.根据条款XXVII-XXX中任一项所述的系统,其中控制系统还包括约束求解器,用于基于引导约束计算适于将虚拟锯片/工具朝向目标姿态移动的约束力;并且其中控制系统还包括虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片/工具的动力学并输出命令姿态,并且其中控制系统被进一步限定为基于命令姿态控制多个致动器以对准锯片/工具。

[0351] XXXII.根据条款XXVII-XXXI中任一项所述的系统,其中边界是在已知坐标系中定义的对象,其中对象包括网格、点、平面、多个平面、几何图元(例如垂直于计划轨迹的线)、以及它们的组合。

[0352] XXXIII.根据条款XXVII-XXXII中任一项所述的系统,其中致动器组件被配置为在少于四个受控的自由度上对准锯片/工具。

[0353] XXXIV.根据条款XXXIII所述的系统,其中所述少于四个受控的自由度包括俯仰、侧倾和高度。

[0354] XXXV. 根据条款XXVII-XXXIV中任一项所述的系统,还包括联接到器械的被动臂,或者其中多个致动器中的每至少两个致动器被连接到工具支撑和手持部分。

[0355] XXXVI. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地耦合到手持部分以支撑锯片的刀片支撑,致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,该方法包括步骤:在已知坐标系中确定锯片的姿态、手持部分的姿态、边界和锯片的目标姿态;基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;基于引导约束控制多个致动器以朝向锯片的目标姿态对准;并且基于边界和锯片的姿态控制锯驱动电机。

[0356] XXXVII. 根据条款XXXVI所述的方法,其中确定锯片的目标姿态的步骤被进一步限定为在至少三个自由度上定义目标姿态,其中目标姿态是目标平面。

[0357] XXXVIII. 根据条款XXXVII所述的方法,进一步包括基于引导约束计算适于将虚拟锯片的虚拟表示朝向目标姿态移动的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态,其中控制多个致动器以朝向锯片的目标姿态移动被进一步限定为基于命令姿态来命令多个致动器以对准锯片。

[0358] XXXIX. 根据条款XXXVIII所述的方法,进一步包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置;以及基于多个致动器中的每一个的命令接头位置来控制多个致动器中的每一个。

[0359] XL. 根据条款XXXVI-XXXIX中任一项所述的方法,其中所述目标姿态包括目标坐标系并且所述锯片包括引导坐标系,所述方法包括控制所述多个致动器以将所述引导坐标系朝向所述目标坐标系移动。

[0360] XLI. 根据条款XXXVIII-XL中任一项所述的方法,其中所述引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于锯片的目标姿态和锯片的姿态之间的关系来改变调整参数的值。

[0361] XLII. 根据条款XXXVIII-XLI中任一项所述的方法,其中模拟动力学的步骤被进一步限定为基于引导约束和外力值计算约束力。

[0362] XLIII. 根据条款XXXVI-XLI中任一项所述的方法,还包括在已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中锯片的目标姿态基于植入物的计划姿态。

[0363] XLIV. 根据条款XLIII所述的方法,其中边界基于植入物的计划姿态。

[0364] XLV. 根据条款XXXVI-XLIV中任一项所述的方法,其中控制锯驱动电机包括基于边界和锯片的姿态控制锯驱动电机的速度。

[0365] XLVI. 条款XLV所述的方法,进一步包括确定关于锯片的一部分和边界的距离参数,并且控制锯驱动电机被进一步限定为基于距离参数控制锯驱动电机的速度。

[0366] XLVII. 根据条款XLVI所述的方法,其中距离参数具有大小和方向。

[0367] XLVIII. 根据条款XXXVI-XLVII中任一项所述的方法,还包括基于边界和锯片的姿态防止锯驱动电机的致动。

[0368] XLIX. 根据条款XXXVI-XLVIII中任一项所述的方法,其中控制锯驱动电机包括将锯驱动电机的电机参数控制在第一值和第二值,其中第一值不同于第二值,控制器可操作以基于边界和锯片的姿态将操作从第一值更改为第二值。

[0369] L. 根据条款XLIX所述的方法,其中电机参数选自包括速度、扭矩、操作时间、电流、

加速度或其组合的组。

[0370] LI. 根据条款XXXVI-L中任一项所述的方法,其中边界是在已知坐标系中定义的对象,其中对象包括网格、点、平面、多个平面、几何图元及其组合。

[0371] LII. 根据条款LI所述的方法,其中边界是从包括球体或直角棱柱的组中选择的几何图元。

[0372] LIII. 根据条款XXXVIII-LII中任一项所述的方法,进一步包括确定接头定心约束;以及基于接头定心约束来控制多个致动器。

[0373] LIV. 根据条款LIII所述的方法,进一步包括基于引导约束并且基于接头定心约束计算适于移动虚拟锯片的约束力;以及基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态,其中控制多个致动器移动进一步限定为基于命令姿态命令多个致动器以对准锯片。

[0374] LV. 根据条款XXXVII-LIV中任一项所述的方法,其中确定所述手持部分的姿态包括确定所述多个致动器中的每个致动器的位置,以及确定所述锯片的姿态,以及基于锯片的姿态和多个致动器中的每个致动器的位置确定所述手持部分的姿态。

[0375] LVI. 根据条款LV所述的方法,进一步包括确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,并且基于耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态确定锯片的姿态。

[0376] LVII. 根据条款LVI所述的方法,进一步包括用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,已知坐标系是相对于患者跟踪器定义的。

[0377] LVIII. 根据条款LV所述的方法,其中确定所述多个致动器中的每一个的位置的步骤进一步限定为利用耦合到所述多个致动器中的每一个的编码器来测量所述多个致动器中的每一个的位置。

[0378] LIX. 根据条款XXXVII-LVIII中任一项所述的方法,其中所述方法进一步包括确定耦合到所述手持部分的跟踪器的姿态;并且确定手持部分的姿态是基于耦合到手持部分的跟踪器的姿态。

[0379] LX. 根据条款XXXVIII-LVIII中任一项所述的方法,其中命令姿态是手持部分和锯片之间的关系。

[0380] LXI. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以用于支撑锯片的刀片支撑,致动器组件将刀片支撑和手持部分操作地互连,致动器组件包括多个致动器,刀片支撑包括锯驱动电机,该方法包括以下步骤:在已知坐标系中确定锯片的姿态、边界网格和锯片的目标姿态;控制多个致动器以将锯片朝向锯片的目标姿态对准;以及基于边界网格和锯片的姿态控制锯驱动电机。

[0381] LXII. 一种与锯片一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分和联接到手持部分的刀片支撑,刀片支撑包括用于驱动锯片的运动的锯驱动电机;致动器组件操作地互连刀片支撑与手持部分以移动刀片支撑从而相对于手持部分在多个受控的自由度上对准锯片,来对准锯片,致动器组件在至少一个不受控的自由度上不能重新定位锯片,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其耦合到多个致动器、锯驱动电机和定位器,控制系统配置为用于:在已知坐标系中确定锯片的姿态、手持部分的姿态、锯片的目标姿态和边界,并控制多个致动器以基于手持部分的姿态

和锯片的目标姿态在多个受控自由度上对准锯片;并且基于边界以及锯片在所述至少一个不受控自由度上的姿态来控制锯驱动电机。

[0382] LXIII.根据条款LXII所述的系统,其中目标姿态是在至少三个自由度上定义的目标平面。

[0383] LXIV.根据条款LXIII所述的系统,其中致动器组件被配置成在少于四个受控自由度上对准锯片。

[0384] LXV.根据条款LXIV所述的系统,其中所述少于四个受控自由度包括俯仰、侧倾和高度。

[0385] LXVI.根据条款LXII-LXVI中任一项所述的系统,其中所述至少一个不受控自由度包括沿x的平移、沿y的平移、侧滑或其组合,其中x基本平行于刀片支撑的纵向轴线。

[0386] LXVII.根据条款LXII-LXVI中任一项所述的系统,其中所述手持器械包括约束组件,所述约束组件具有操作地互连所述刀片支撑与所述手持部分的被动联动装置,所述被动联动装置被联接到所述刀片支撑和所述手持部分,以便约束刀片支撑相对于手持部分在三个自由度上的移动。

[0387] LXVIII.根据条款LXVI-LXVII中任一项所述的系统,其中该器械的重量小于6磅。

[0388] LXIX.根据条款LXVII-LXVIII中任一项所述的系统,其中边界是边界网格,其中控制锯驱动电机包括将锯驱动电机的电机参数控制在第一值和第二值,其中第一值不同于第二值,控制器可操作以基于边界网格并基于锯片的姿态将操作从第一值改变为第二值。

[0389] LXX.根据条款LXIX所述的系统,其中电机参数选自包括速度、扭矩、电流、加速度或其组合的组。

[0390] LXXI.根据条款LXIX-LXX中任一项所述的系统,进一步包括确定关于锯片的一部分和边界的距离参数,其中控制锯驱动电机是基于距离参数。

[0391] LXXII.根据条款LXXI所述的系统,其中边界是在已知坐标系中定义的对象,其中对象包括网格、点、平面、多个平面、几何图元及其组合。

[0392] LXXIII.根据条款LXVI-LXXII中任一项所述的系统,其中控制系统被配置为确定多个致动器中的每个致动器的位置,并且基于锯片的姿态以及多个致动器中的每个致动器的位置确定手持部分的姿态。

[0393] LXXIV.根据条款LXVI-LXXIII中任一项所述的系统,其中控制系统被配置为在已知坐标系中确定耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态,并且基于在已知坐标系中耦合到刀片支撑的跟踪器的姿态来确定锯片的姿态。

[0394] LXXV.根据条款LXVI-LXXIV中任一项所述的系统,其中所述控制系统被配置为在已知坐标系中确定耦合到所述手持部分的跟踪器的姿态;并且基于在已知坐标系中耦合到手持部分的跟踪器的姿态来确定手持部分的姿态。

[0395] LXXVI.根据条款LXXV所述的系统,进一步包括用患者跟踪器跟踪患者解剖结构的一部分,已知坐标系是相对于患者跟踪器定义的。

[0396] LXXVII.根据条款LXII-LXXVI中任一项所述的系统,其中控制系统被配置为基于植入物的计划姿态来确定边界。

[0397] LXXVIII.根据条款LXII-LXXVII中任一项所述的系统,还包括联接到器械的被动臂,或者其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。

[0398] LXXIX. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分和联接到手持部分的工具支撑, 该工具支撑包括用于驱动工具的运动的工具驱动电机; 致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分以移动工具支撑从而相对于手持部分在多个受控的自由度上移动工具, 来将工具放置在期望姿态, 致动器组件在至少一个不受控的自由度上不能重新定位工具, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 和控制系统, 其耦合到所述多个致动器和定位器, 控制系统配置为用于: 在已知坐标系中确定手持部分的姿态、工具的目标姿态和边界; 基于手持部分的姿态和工具的目标姿态, 控制多个致动器以在多个受控的自由度上定位工具; 以及基于边界以及工具在所述至少一个不受控的自由度上的姿态来控制工具驱动电机。

[0399] LXXX. 根据条款LXXIX所述的系统, 进一步包括联接到器械的被动臂, 或者其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分, 或者当边界是平行于计划轨迹的线或平面时。

[0400] LXXXI. 一种控制与锯片一起使用的手持医疗机器人系统的方法, 该机器人系统包括定位器和手持器械, 该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片的刀片支撑, 致动器组件操作地互连刀片支撑和手持部分, 致动器组件包括多个致动器, 刀片支撑包括锯驱动电机, 致动器组件在至少一个不受控的自由度上不能重新定位刀片支撑, 该方法包括以下步骤: 在已知坐标系中确定锯片的姿态、手持部分的姿态、锯片的目标姿态、和边界; 基于锯片的目标姿态和手持部分的姿态控制多个致动器以在多个受控的自由度上对准锯片; 以及基于边界和锯片在至少一个不受控的自由度上的姿态来控制锯驱动电机。

[0401] LXXXII. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的方法, 该机器人系统包括定位器和手持器械, 该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑工具的工具支撑, 致动器组件将工具支撑和手持部分操作地互连, 致动器组件包括多个致动器, 工具支撑包括工具驱动电机, 致动器组件在至少一个不受控的自由度上不能重新定位工具, 该方法包括以下步骤: 在已知坐标系中确定工具的姿态、手持部分的姿态、工具的目标姿态和边界; 基于工具的目标姿态和手持部分的姿态控制多个致动器以在多个受控的自由度上定位工具; 以及基于边界和工具在所述至少一个不受控的自由度上的姿态来控制工具驱动电机。

[0402] LXXXIII. 一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分; 联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑, 刀片支撑包括锯/工具驱动电机; 致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑, 致动器组件包括多个致动器; 用户输入设备; 控制系统, 其被耦合到所述多个致动器、用户输入设备和锯/工具驱动电机, 所述控制系统被配置为用于: 控制所述多个致动器朝向所述多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动; 接收表示希望改变定心位置的用户输入信号; 并且基于接收到用户输入信号, 被配置为控制多个致动器朝向用于多个致动器中的每一个的第二定心位置的移动, 对于所述多个致动器中的至少一个致动器来说, 所述第二定心位置不同于所述第一定心位置。

[0403] LXXXIV. 根据条款LXXXIII所述的系统, 进一步包括耦合到器械的被动臂。

[0404] LXXXV. 一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械,

所述器械包括:由用户握持的手持部分;联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机;致动器组件,其操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑,致动器组件包括多个致动器;控制系统,其被耦合到所述多个致动器和所述锯/工具驱动电机,所述控制系统被配置为用于:控制所述多个致动器朝向所述多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动;控制所述多个致动器朝向第二定心位置的移动,对于所述多个致动器中的至少一个致动器来说,所述第二定心位置不同于所述第一定心位置;并在朝向第一定心位置和第二定心位置的控制之间自动切换。

[0405] LXXXVI. 根据条款LXXXV所述的系统,还包括联接到器械的被动臂,或者其中所述多个致动器中的每至少两个致动器被连接到刀片支撑和手持部分。

[0406] LXXXVII. 一种控制与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片/工具支撑包括锯驱动电机,该方法包括以下步骤:控制所述多个致动器朝向所述多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动;控制所述多个致动器朝向第二定心位置的移动,对于所述多个致动器中的至少一个致动器来说所述第二定心位置不同于所述第一定心位置;自动切换朝向第一定心位置和第二定心位置的控制。

[0407] LXXXVIII. 根据条款LXXXVII所述的方法,其中所述切换基于相对于已知坐标系中的目标状态的锯片/工具的状态。

[0408] LXXXIX. 根据条款LXXXVIII所述的方法,进一步包括在已知坐标系中计划植入物的姿态,并且其中锯片/工具的目标状态基于植入物的计划姿态。

[0409] XC. 根据条款LXXXVIII-LXXXIX中任一项所述的方法,其中锯片/工具的状态包括锯片/工具的位置、锯片/工具的定向、或锯片/工具的姿态。

[0410] XCI. 根据条款XC所述的方法,其中在已知坐标系中相对于锯片/工具的目标状态确定锯片/工具的状态包括在已知坐标系中相对于多个切割平面/轨迹确定由锯片/工具限定的平面/轴线的位置。

[0411] XCII. 根据条款XCI所述的方法,其中在已知坐标系中相对于针对多个切割平面/轨迹的锯片/工具的目标状态确定锯片/工具的状态包括:确定锯片/工具的当前定向和锯片/工具的多个目标定向之间的角度,确定锯片/工具的当前位置和锯片/工具的多个目标位置之间的距离,或者确定角度和距离两者,以及基于角度的值、距离的值、或者角度的值和距离的值两者来确定所述多个切割平面/轨迹中用户选择的那一个。

[0412] XCIII. 一种控制与工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑工具的工具支撑,致动器组件将工具支撑和手持部分操作地互连,致动器组件包括多个致动器,该方法包括以下步骤:控制多个致动器朝向用于多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动;控制所述多个致动器朝向第二定心位置的移动,对所述多个致动器中的至少一个致动器来说所述第二定心位置不同于所述第一定心位置;以及在朝向第一定心位置和第二定心位置的控制之间自动切换。

[0413] XCIV.一种控制与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机,该方法包括以下步骤:控制所述多个致动器朝向用于多个致动器中的每一个的第一定心位置的移动;接收表示希望改变定心位置的用户输入信号;并且基于接收到用户输入信号,控制所述多个致动器朝向多个致动器中的每一个的第二定心位置的移动,对于多个致动器中的至少一个致动器来说,第二定心位置不同于第一定心位置。

[0414] XCV.根据条款XCIV所述的方法,其中所述多个致动器中的第一致动器的第一定心位置位于所述第一致动器的大致中点处,并且所述第二定心位置在所述第一致动器的所述第一定心位置和第一致动器的接头阈值之间。

[0415] XCVI.根据条款XCV所述的方法,其中所述多个致动器中的第二致动器的第一定心位置与第二致动器的第二定心位置相同。

[0416] XCVII.根据条款XCIV-XCVI中任一项所述的方法,其中所述用户输入信号基于向用户输入设备的输入,其中所述用户输入设备选自包括器械上的触发器、触摸屏、脚踏板、移动设备及其组合的组。

[0417] XCVIII.根据条款XCIV-XCVII中任一项所述的方法,其中用户输入信号基于锯片的位置和/或定向。

[0418] XCIX.一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;被联接到手持部分以支撑锯片的刀片/工具支撑,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机;致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑,从而将锯片/工具放置在期望平面/轨迹上,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其被耦合到所述多个致动器、定位器、和工具驱动电机,控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态,控制系统还包括:引导处理器,用于基于锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;运动控制器,用于基于所述多个致动器中的至少一个的位置和所述多个致动器中的至少一个致动器的定心位置来确定接头定心约束;约束求解器,用于基于引导约束和接头定心约束计算适于移动虚拟锯片/工具的约束力;以及虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片/工具的动力学并输出命令姿态;其中,控制系统被配置为用于:基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头位置;并且基于命令接头位置控制多个致动器中的每一个。

[0419] C.根据条款XCIX所述的系统,其中所述控制系统还被配置为基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每个致动器的命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个。

[0420] CI.根据条款C所述的系统,进一步包括耦合到器械的被动臂。

[0421] CII.一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;被联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机;致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑来对准刀片/工具,致动器组件包

括多个致动器;定位器;控制系统,其被耦合到所述多个致动器、定位器和锯/工具驱动电机,控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态,所述控制系统还包括:引导处理器,用于基于锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态确定引导约束;运动控制器,用于基于所述多个致动器中的至少一个的位置和所述多个致动器中的至少一个致动器的定心位置来确定接头定心约束;约束求解器,用于基于引导约束和接头定心约束计算适于移动虚拟锯片/工具的约束力;和虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片/工具的动力学并输出命令姿态;其中,控制系统被配置为基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度;并且基于命令接头位置和/或命令接头角度来控制多个致动器中的每一个。

[0422] CIII. 根据条款CII所述的系统,其中所述控制系统还被配置为基于所述命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头速度,并且基于所述多个致动器中的每一个的所述命令接头速度来控制所述多个致动器中的每一个。

[0423] CIV. 一种控制与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机,该方法包括下述步骤:在已知坐标系中确定锯片/工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束;基于多个致动器中的至少一个的位置和多个致动器中的至少一个致动器的定心位置产生接头定心约束;基于引导约束和接头定心约束计算适于移动虚拟锯片/工具的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片/工具的动力学并基于虚拟模拟输出命令姿态;基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头位置;以及基于命令接头位置控制多个致动器中的每一个。

[0424] CV. 根据条款CIV所述的方法,其中所述多个致动器中的所述至少一个的位置包括所述至少一个致动器的测量位置、所述至少一个致动器的先前命令位置、所述至少一个致动器的先前测量位置致动器,或它们的组合。

[0425] CVI. 根据条款CIV-CV中任一项所述的方法,其中所述多个致动器中的所述至少一个致动器的位置包括所述至少一个致动器的先前命令位置。

[0426] CVII. 根据条款CIV-CVI中任一项所述的方法,该方法还包括确定施加在锯片或刀片支撑与手持部分之间的外力值;其中,计算约束力的步骤还基于被施加在锯片上的外力值。

[0427] CVIII. 根据条款CIV-CVII中任一项所述的方法,其中所述接头定心约束具有调整参数的第一值,并且所述引导约束具有调整参数的第二值,所述调整参数导致相应的约束对约束力的影响增加,接头定心约束的调整参数小于引导约束的调整参数。

[0428] CIX. 根据条款CVIII所述的方法,其中引导约束或接头定心约束的调整参数影响相应约束的刚度或阻尼。

[0429] CX. 根据条款CIV-CIX中任一项所述的方法,该方法还包括基于多个致动器中的至少一个的位置和接头极限生成接头极限约束,并且计算约束力的步骤进一步限定为基于引导约束、接头定心约束和接头极限约束计算约束力。

[0430] CXI. 根据条款CX所述的方法,其中接头定心约束具有调整参数的第一值,引导约

束具有调整参数的第二值,并且接头极限约束具有调整参数的第三值,调整参数导致相应的约束对约束力的影响增加,接头极限约束的调整参数大于引导约束的调整参数和接头定心约束的调整参数。

[0431] CXII.根据条款CIV-CXI中任一项所述的方法,进一步包括在已知坐标系中确定锯片的姿态,以及基于锯片的目标姿态和锯片的姿态之间的关系计算引导约束。

[0432] CXIII.根据条款CXII所述的方法,其中引导约束具有调整参数的值,所述方法包括基于锯片的目标姿态和锯片的姿态之间的关系改变引导约束的调整参数的值。

[0433] CXIV.根据条款CIV-CXIII中任一项所述的方法,还包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度来控制多个致动器中的每一个。

[0434] CXV.一种控制与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑,致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分,致动器组件包括多个致动器,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机,该方法包括以下步骤:在已知坐标系中确定锯片/工具的目标姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于锯片/工具的目标姿态和手持部分的姿态生成引导约束;基于多个致动器中的至少一个的位置和多个致动器中的至少一个致动器的定心位置生成接头定心约束;以及基于引导约束和接头定心约束来控制多个致动器中的每一个。

[0435] CXVI.一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;被联接到手持部分以支撑工具的工具支撑,工具支撑包括工具驱动电机;致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑以对准工具,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其被耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机,控制系统被配置为在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态;一个或多个电流传感器,其被配置为检测被供应给所述多个致动器中的每一个的电流的量;所述控制系统包括:力估计器,其被配置为基于所述一个或多个电流传感器的输出来估计施加在所述工具支撑和所述手持部分之间的外力的量;约束求解器,用于基于估计出的外力的量计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;控制系统还被配置为用于:基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度;以及基于命令接头位置或命令接头角度来控制多个致动器中的每一个。

[0436] CXVII.一种用于控制与外科工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑外科工具的工具支撑,致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,工具支撑包括工具驱动电机,该方法包括步骤:感测被供应给多个致动器中的一个或多个致动器的电流量;基于所述一个或多个电流传感器的输出来估计施加在工具支撑和手持部分之间的外力的量;基于估计出的外力的量计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度;以及基于命令接头位置和/或命令接头角度来控制多个致动器中的每一个。

[0437] CXVIII. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分; 工具支撑, 其被联接到手持部分以支撑工具, 工具支撑包括工具驱动电机; 致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑以对准工具, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 控制系统, 其被耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机, 该控制系统包括: 运动控制器, 用于基于多个致动器中的至少一个的位置和接头阈值来确定接头极限约束, 并基于工具的姿态和预定义的笛卡尔空间来确定工作空间限制约束; 约束求解器, 用于基于接头极限约束和工作空间约束来计算适用于移动虚拟锯片的约束力; 以及虚拟模拟器, 用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片的动力学并输出命令姿态; 其中, 控制系统被配置为基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度; 并且基于命令接头位置和/或命令接头角度控制多个致动器中的每一个。

[0438] CXIX. 根据条款CXVIII所述的系统, 其中所述控制系统还被配置为基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头速度, 并且基于多个致动器中的每一个的命令接头速度来控制多个致动器中的每一个。

[0439] CXX. 根据条款CXVIII所述的系统, 进一步包括耦合到器械的被动臂。

[0440] CXI. 一种与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统, 所述系统包括: 器械, 所述器械包括: 由用户握持的手持部分; 被联接到手持部分以支撑锯片的刀片/工具支撑, 刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机; 致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动刀片/工具支撑以对准锯片/工具, 致动器组件包括多个致动器; 定位器; 控制系统, 其被耦合到所述多个致动器、定位器和锯驱动电机/工具, 该控制系统被配置为在已知坐标系中确定锯片/工具在至少一个自由度上的目标姿态以及手持部分的姿态; 基于多个致动器中的至少一个的位置和接头阈值确定接头极限, 基于锯片/工具的姿态和预定义的笛卡尔空间确定工作空间极限, 以及基于刀片/工具的目标姿态、接头极限和工作空间限制来控制多个致动器中的每一个。

[0441] CXXII. 一种控制与锯片/工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法, 该机器人系统包括手持器械, 该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑锯片/工具的刀片/工具支撑, 致动器组件操作地互连刀片支撑和手持部分用于在多个自由度上移动刀片/工具支撑, 致动器组件包括多个致动器, 刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机, 该方法包括以下步骤: 基于多个致动器中的至少一个的位置和接头极限来确定接头极限约束; 基于锯片/工具的姿态和预定义的笛卡尔空间确定工作空间限制约束; 基于接头极限约束和工作空间约束计算适于移动虚拟锯片/工具的约束力; 基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟锯片/工具的动力学并输出命令姿态; 基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置; 以及基于命令接头位置控制多个致动器中的每一个。

[0442] CXXIII. 根据条款CXXII所述的方法, 其中所述多个致动器中的所述至少一个的位置包括至少一个致动器的测量位置、所述至少一个致动器的先前命令位置、至少一个致动器的先前测量位置, 或其组合。

[0443] CXXIV. 根据条款CXXII-CXXIII中任一项所述的方法, 其中锯片的姿态是相对于手持部分定义的。

[0444] CXXV. 根据条款CXXII-CXXIV中任一项所述的方法, 其中所述预定义的笛卡尔空间

是在笛卡尔空间中定义的体积、在一个或多个自由度上的多个限制、多个定向、或其组合。

[0445] CXXVI. 根据条款CXXII-CXXV中任一项所述的方法,还包括使用工作空间约束和接头极限约束限制刀片支撑相对于手持部分的侧倾多于限制俯仰和/或高度。

[0446] CXXVII. 根据条款CXXII-CXXVI中任一项所述的方法,其中相对于刀片支撑的机械能力而言,侧倾比俯仰和/或高度更受限制。

[0447] CXXVIII. 根据条款CXXII-CXXVII中任一项所述的方法,其中所述刀片支撑相对于所述手持部分的运动范围在俯仰方面大于在侧倾方面。

[0448] CXXIX. 根据条款CXXII-CXXVII中任一项所述的方法,其中刀片支撑相对于手持部分的运动范围在高度方面大于在侧倾方面。

[0449] CXXX. 根据条款CXXII-CXXIX中任一项所述的方法,其中预定义的笛卡尔空间在形状上是不对称的。

[0450] CXXXI. 根据条款CXXIII-CXXXI中任一项所述的方法,进一步包括基于所述锯片的目标姿态和所述手持部分的姿态来确定引导约束;其中,计算约束力的步骤还基于引导约束。

[0451] CXXXII. 根据条款CXXII-CXXXI中任一项所述的方法,还包括基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头速度,以及基于多个致动器中的每一个的命令接头速度来控制多个致动器中的每一个。

[0452] CXXIX. 一种控制与锯片或其他工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分,以及可移动地联接到手持部分以支撑锯片或工具的刀片/工具支撑,致动器组件操作地互连刀片/工具支撑和手持部分用于在多个自由度上移动刀片/工具支撑,致动器组件包括多个致动器,刀片/工具支撑包括锯/工具驱动电机;该方法包括以下步骤:在已知坐标系中确定锯片/工具的姿态;在已知坐标系中确定手持部分的姿态;基于多个致动器中的至少一个的位置确定接头极限;基于锯片/工具的姿态和预定义的笛卡尔空间确定工作空间限制;以及基于锯片/工具的目标姿态、接头极限和工作空间限制来控制多个致动器中的每一个。

[0453] CXXX. 一种与工具一起使用的手持医疗机器人系统,所述系统包括:器械,所述器械包括:由用户握持的手持部分;工具支撑,其被联接到手持部分以支撑工具,工具支撑包括工具驱动电机;致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分以相对于手持部分在多个自由度上移动工具支撑以对准工具,致动器组件包括多个致动器;定位器;控制系统,其被耦合到所述多个致动器、定位器和工具驱动电机,控制系统被配置为在已知坐标系中确定工具的目标姿态和手持部分的姿态;约束求解器,用于基于外力计算适于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;虚拟模拟器,用于基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;控制系统还被配置为用于:基于命令姿态确定多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度;以及基于命令接头位置或命令接头角度来控制多个致动器中的每一个。

[0454] CXXXI. 一种用于控制与外科工具一起使用的手持医疗机器人系统的移动的方法,该机器人系统包括定位器和手持器械,该手持器械具有由用户握持的手持部分和可移动地联接到手持部分以支撑外科工具的工具支撑,致动器组件操作地互连工具支撑与手持部分,致动器组件包括多个致动器,工具支撑包括工具驱动电机,该方法包括下述步骤:估计

施加在工具支撑和手持部分之间的外力的量;基于估计出的外力的量计算适合于将虚拟工具朝向目标姿态移动的约束力;基于约束力在虚拟模拟中模拟虚拟工具的动力学并输出命令姿态;基于命令姿态确定所述多个致动器中的每一个的命令接头位置和/或命令接头角度;以及基于命令接头位置和/或命令接头角度来控制多个致动器中的每一个。

[0455] 在前面的描述中已经描述了若干实施例。然而,本文所讨论的实施例并非旨在穷举或将本教导限制为任何特定形式。已使用的术语旨在具有描述性而非限制性词语的性质。鉴于以上教导,许多修改和变化是可能的,并且可以以不同于具体描述的方式实践呈现的教导。

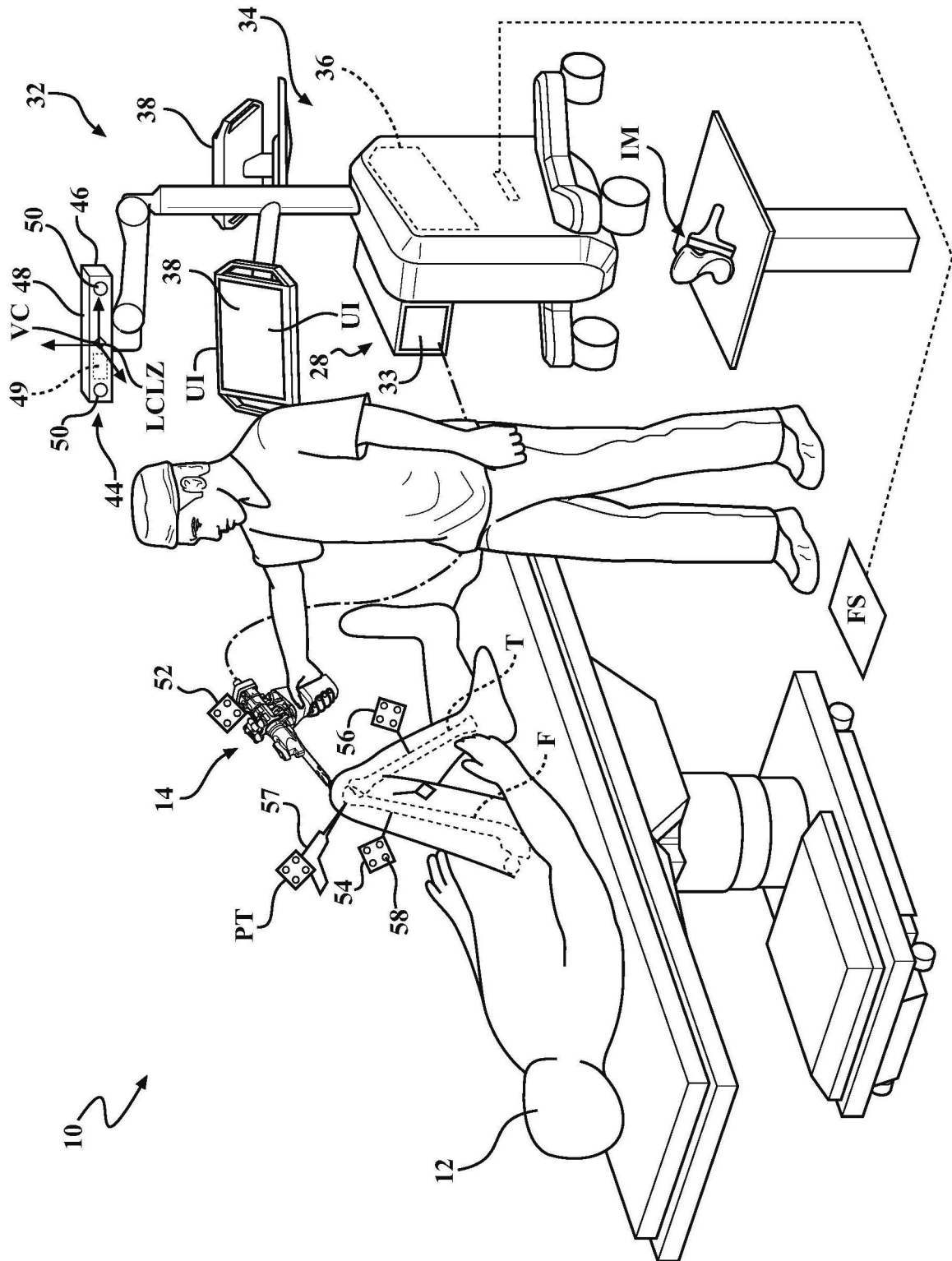


图1

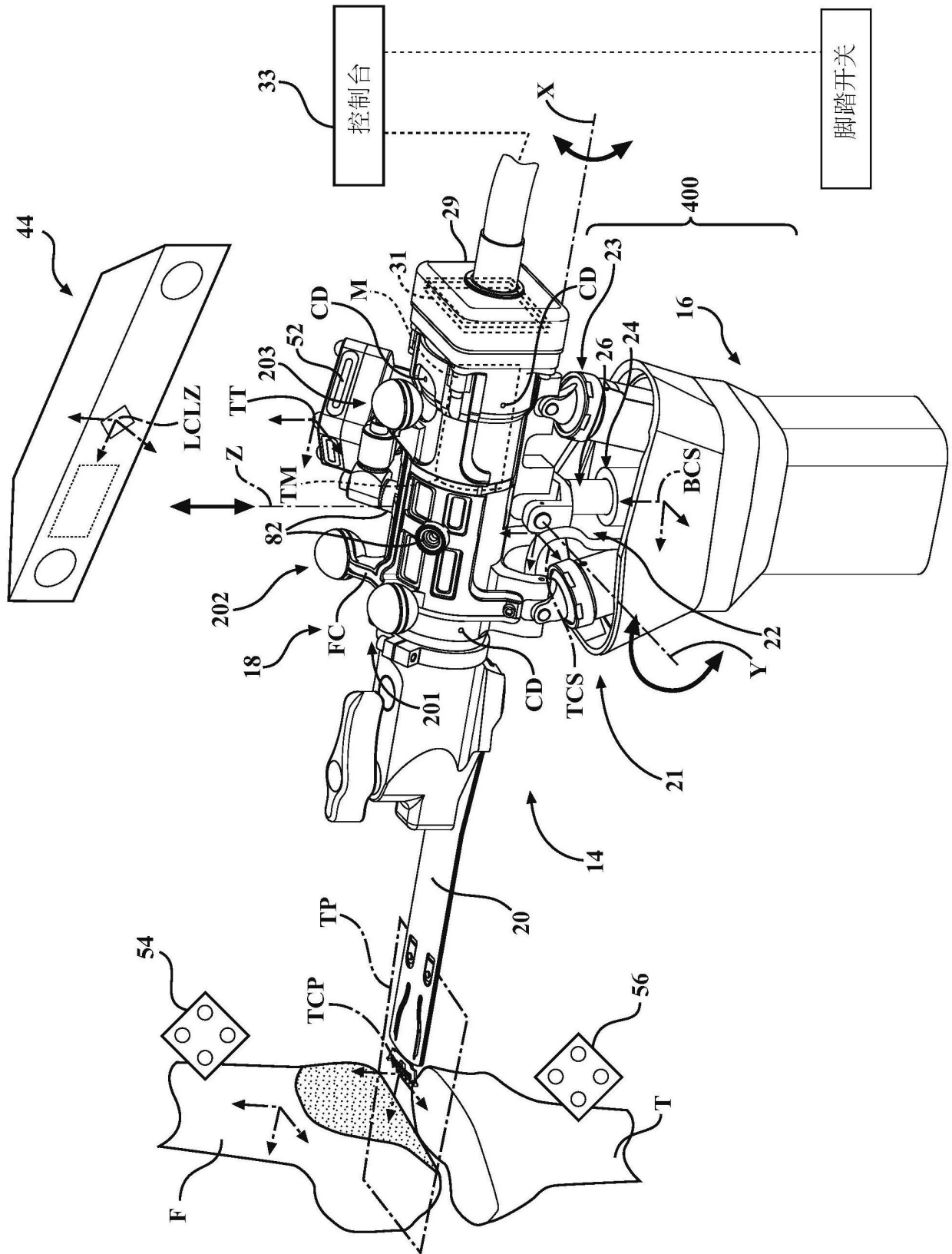


图2

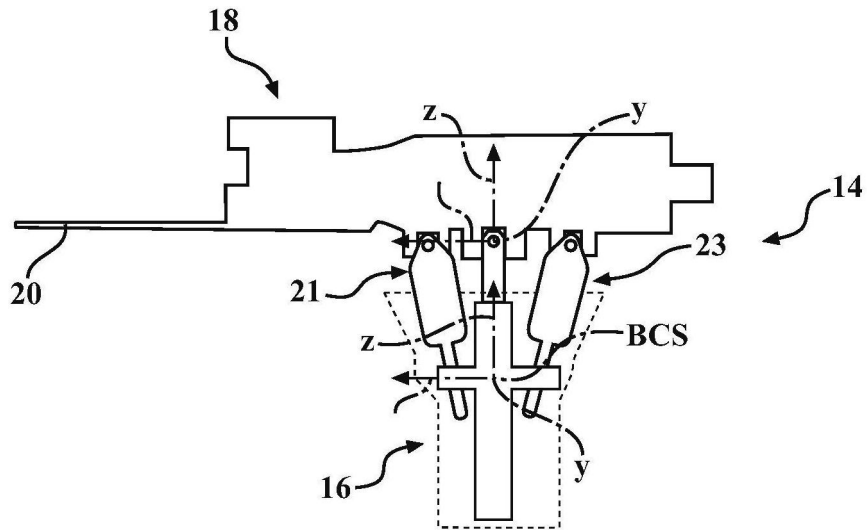


图3A

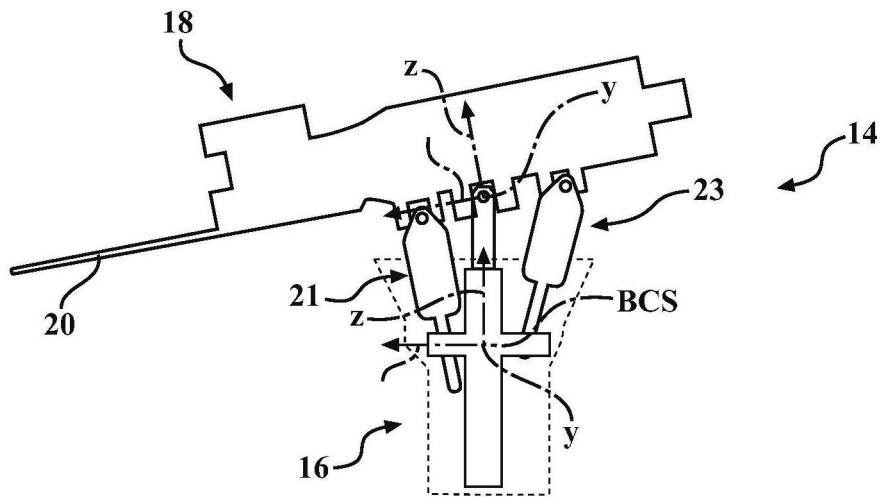


图3B

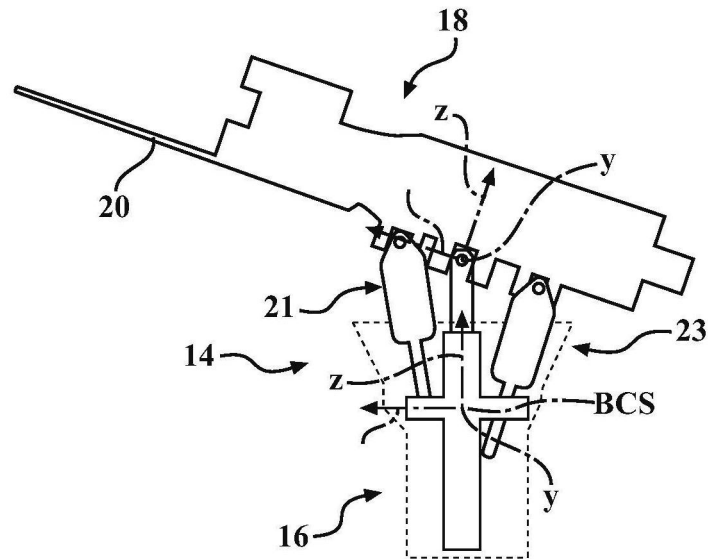


图3C

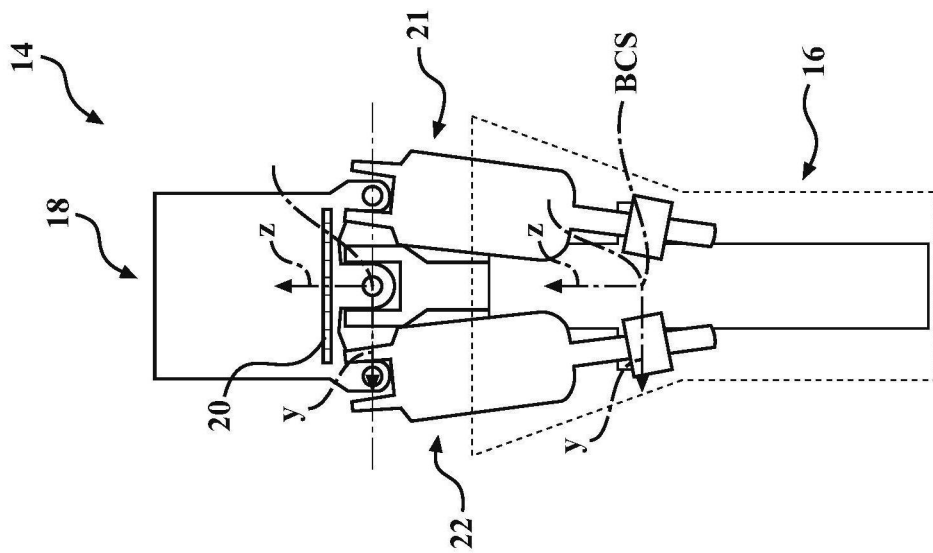


图4A

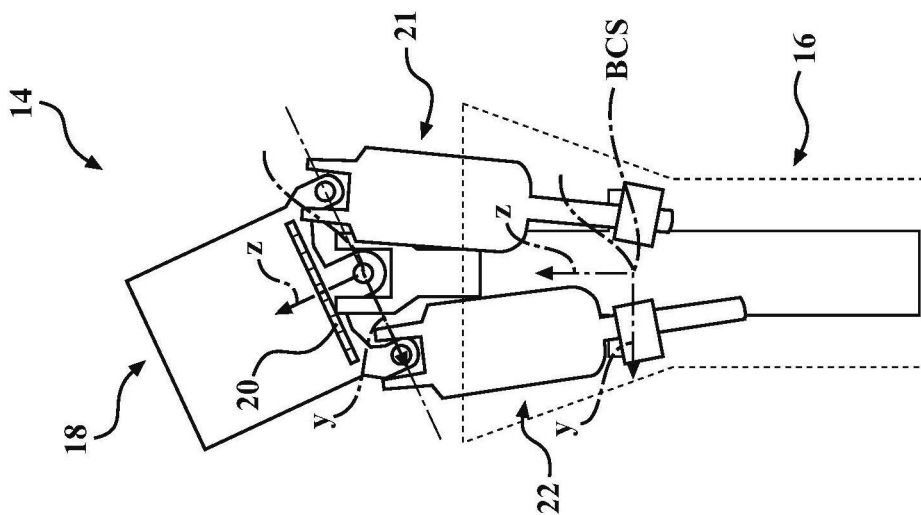


图4B

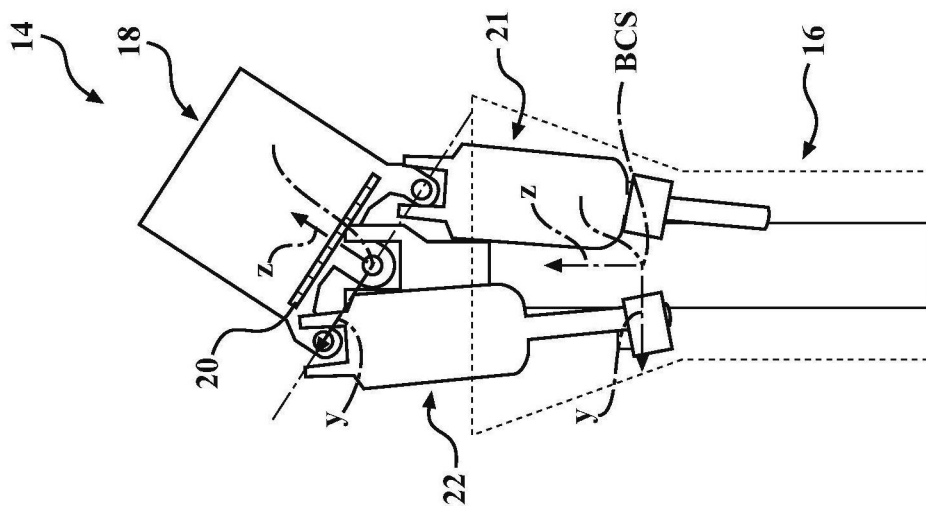


图4C

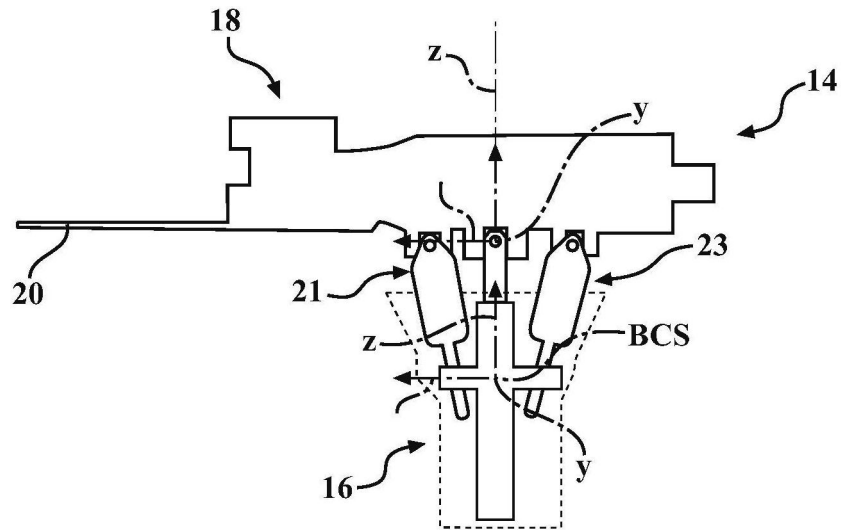


图5A

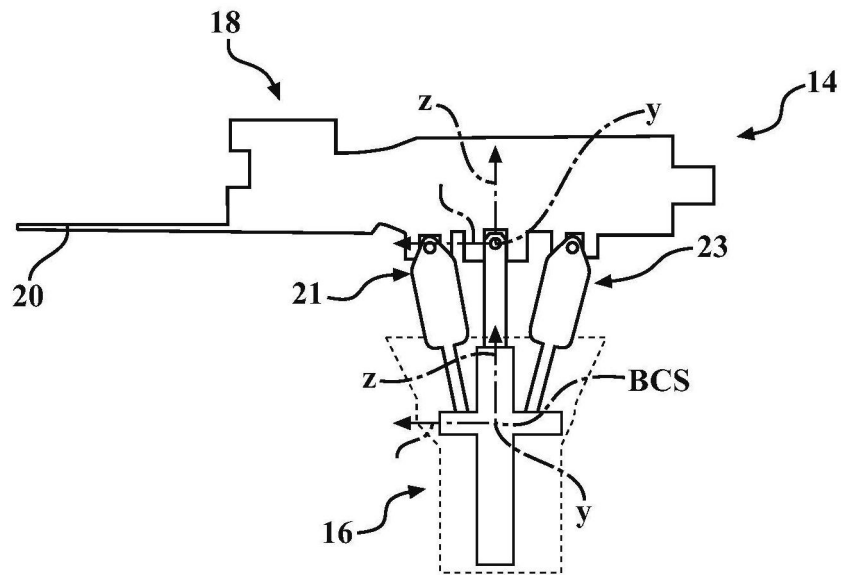


图5B

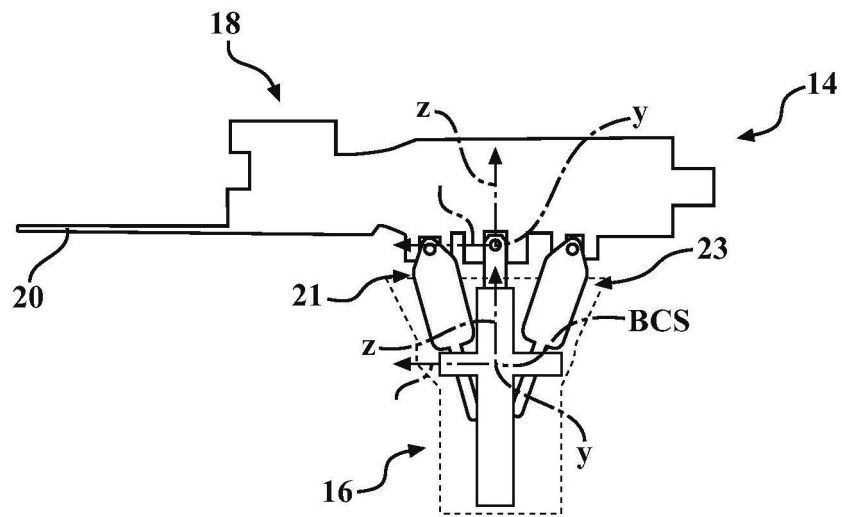


图5C

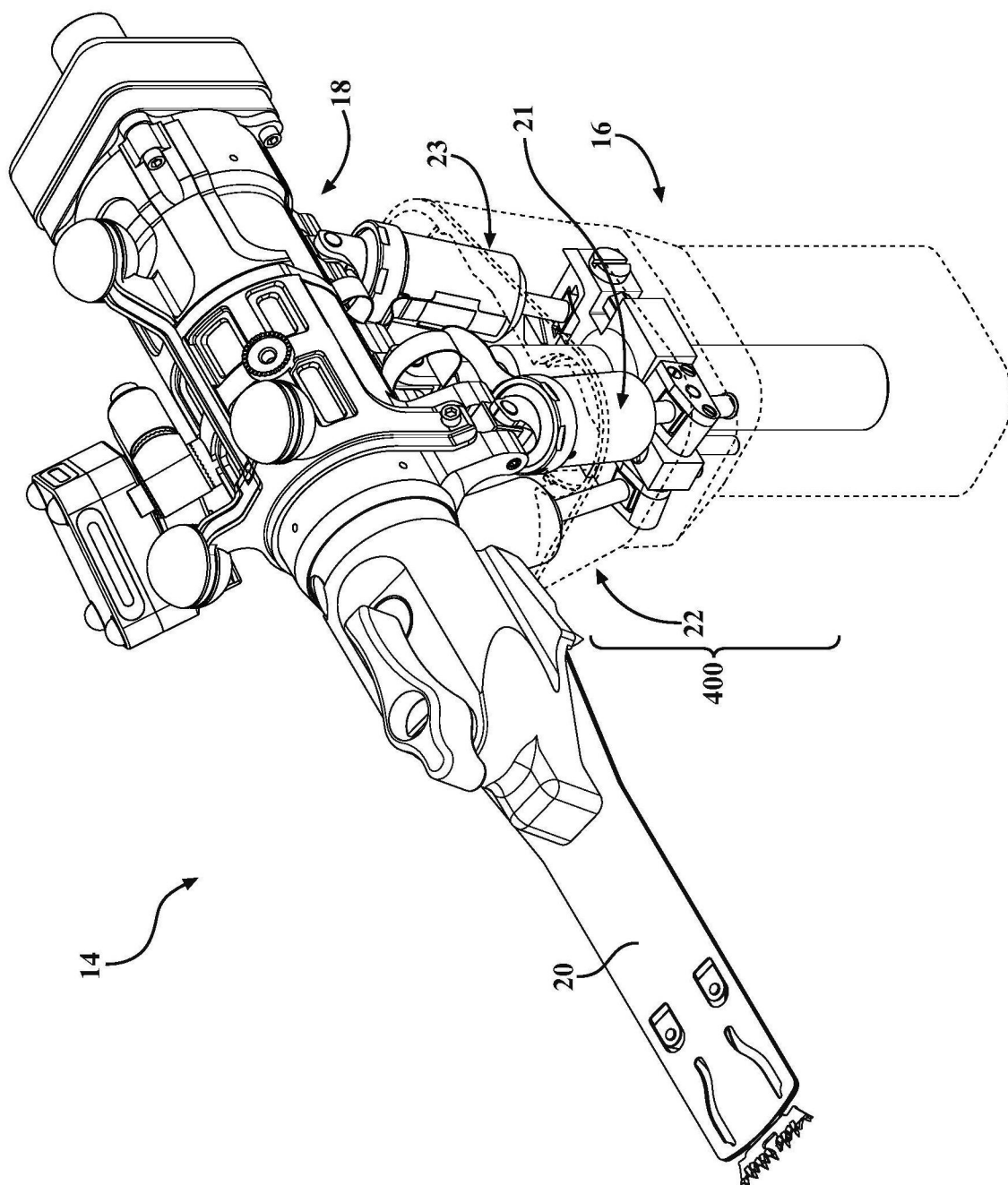


图6

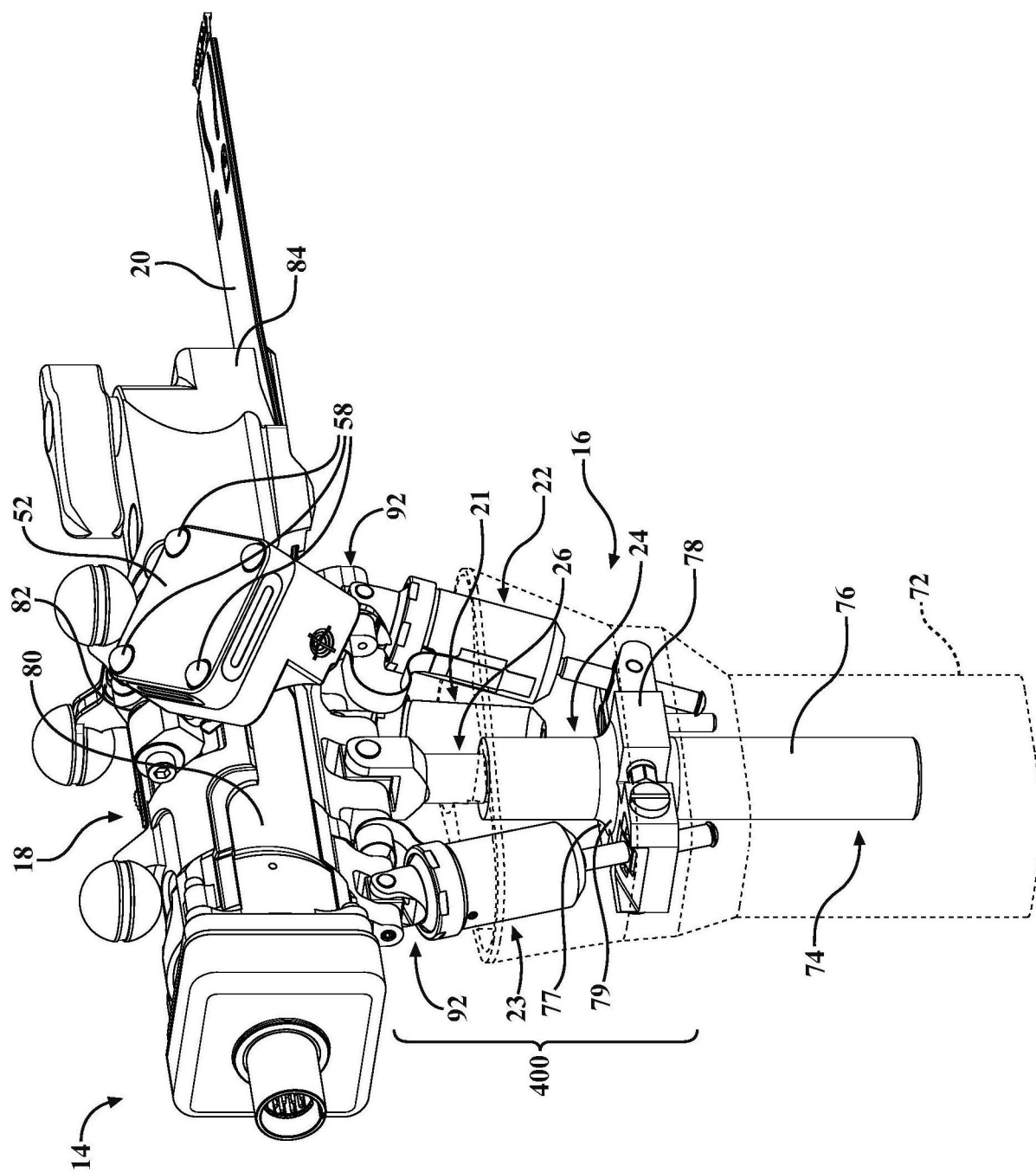


图8

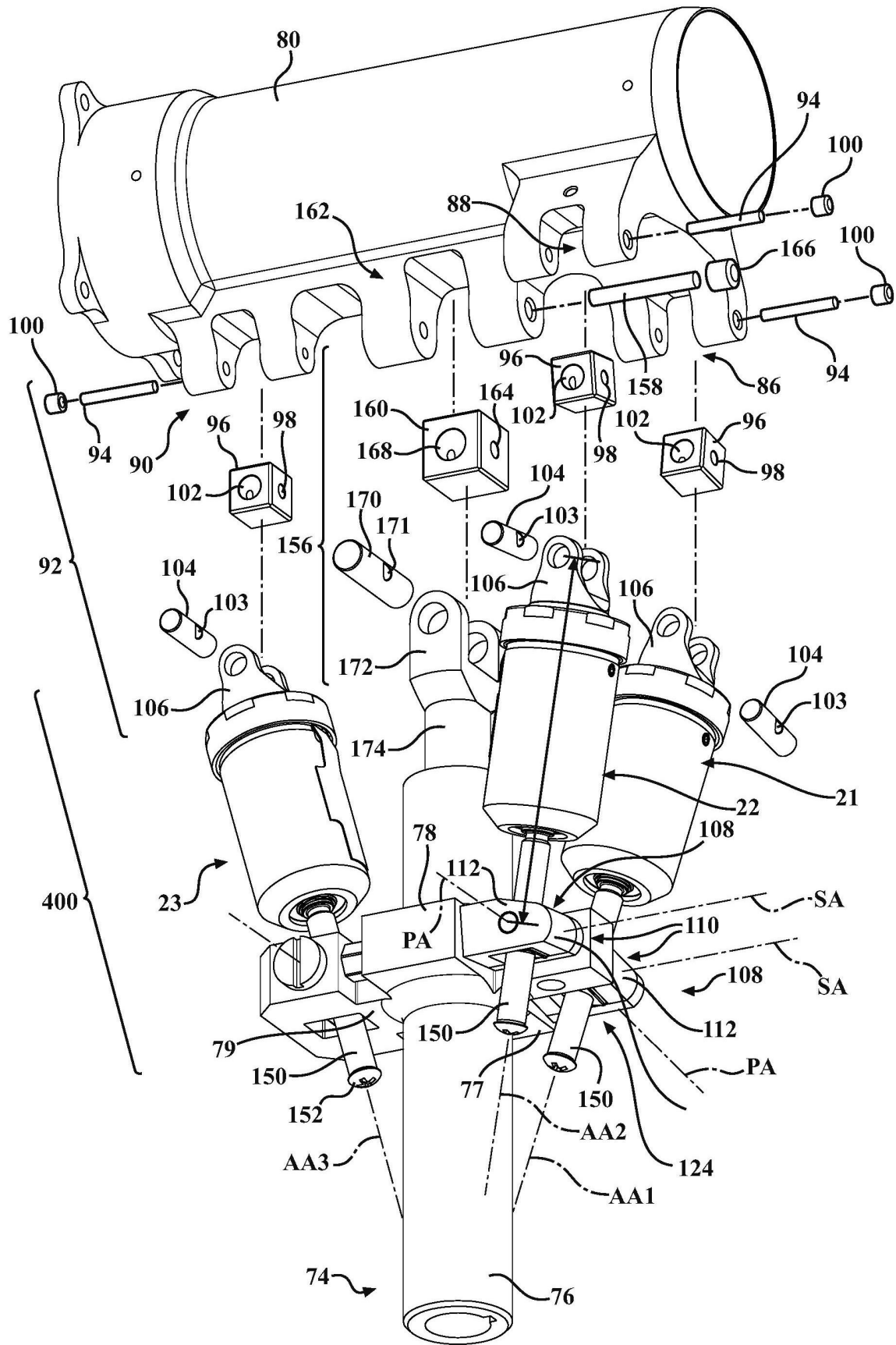


图9

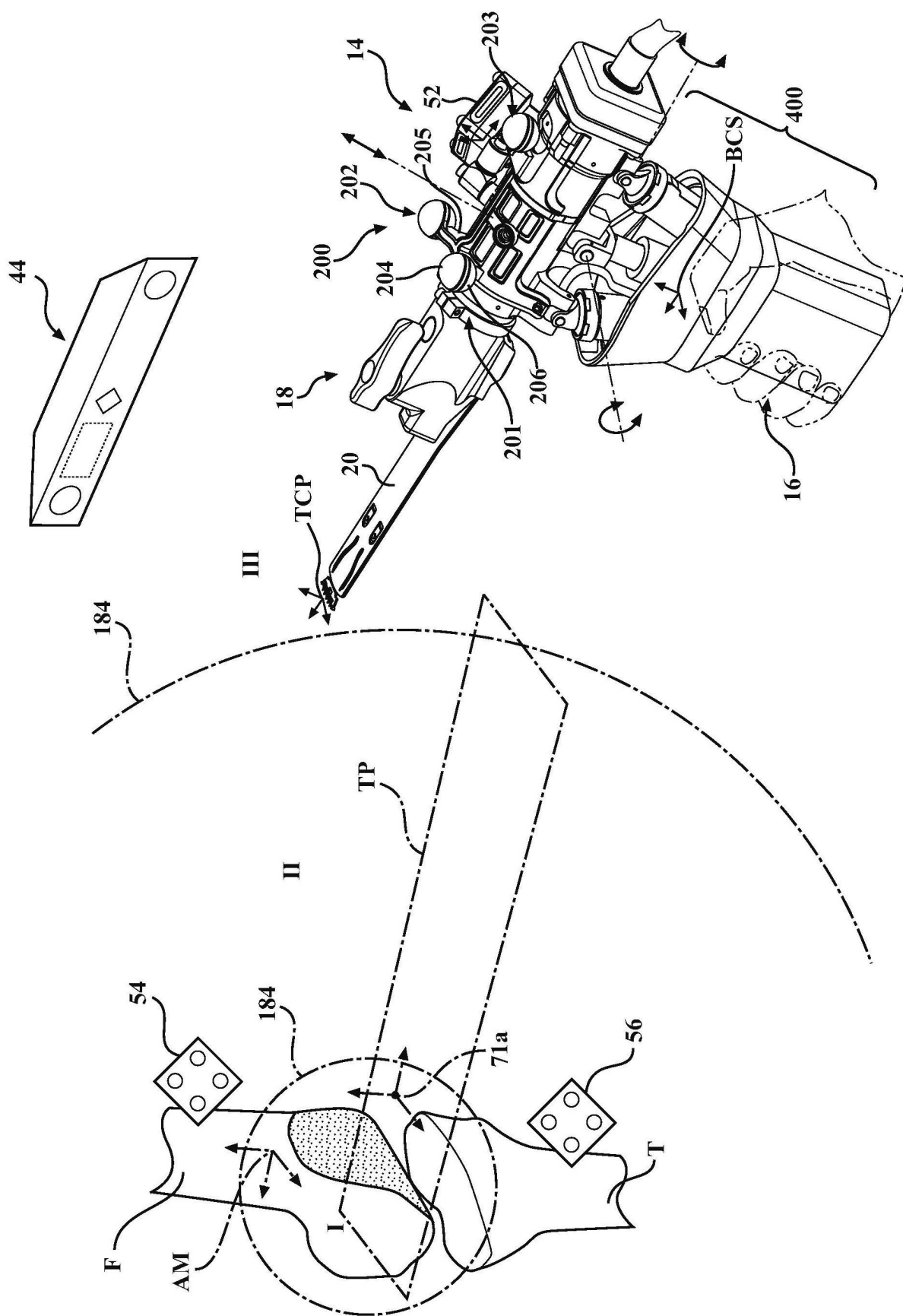


图10

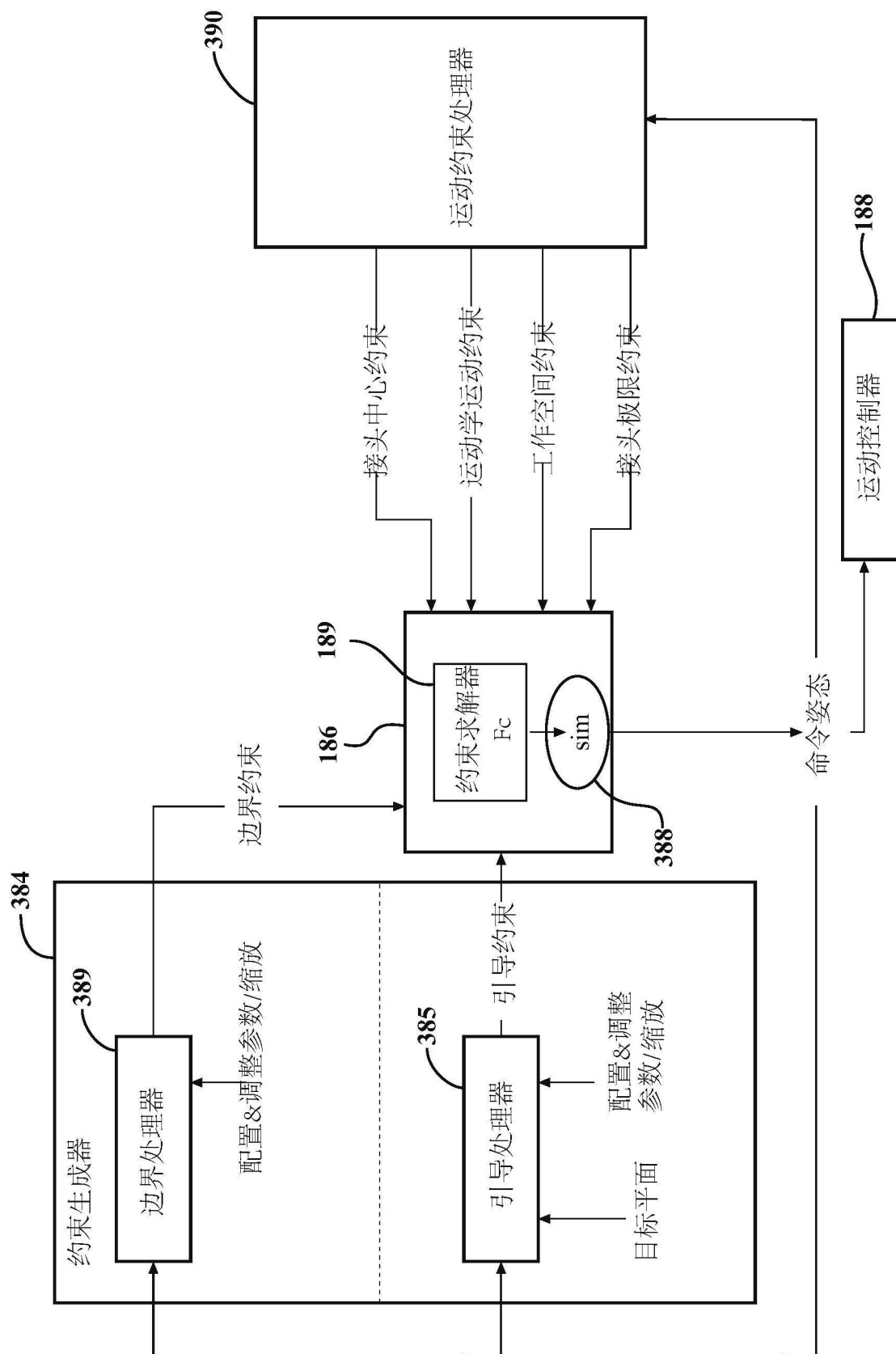


图11

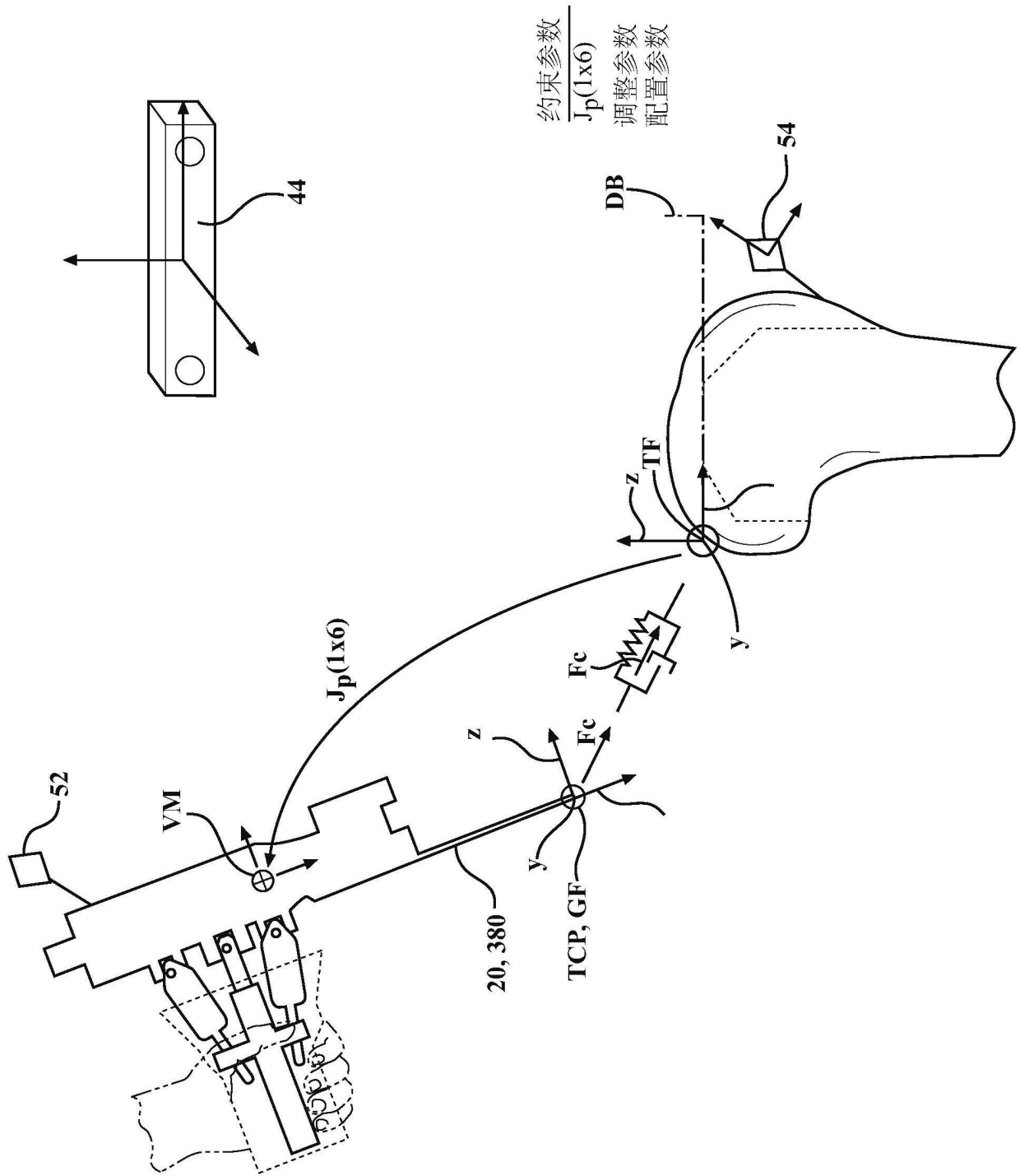


图12

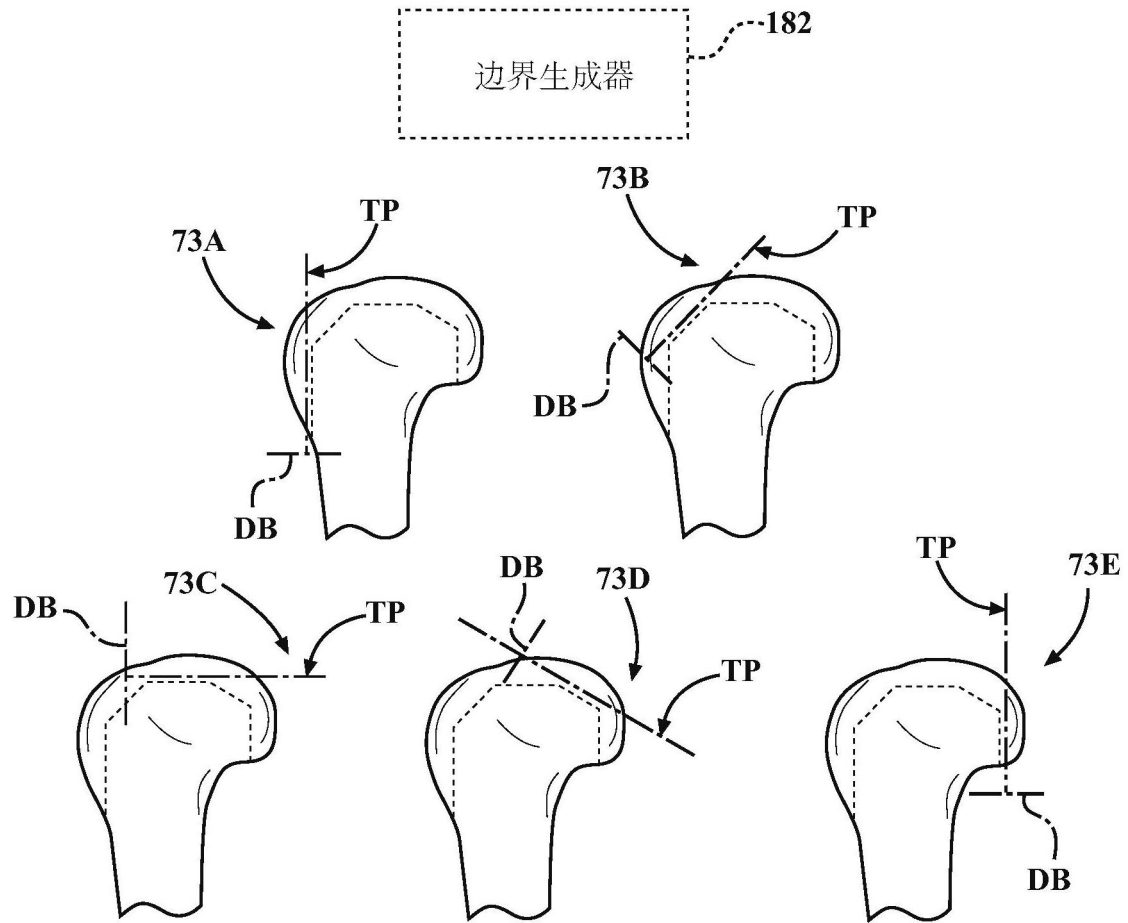


图13

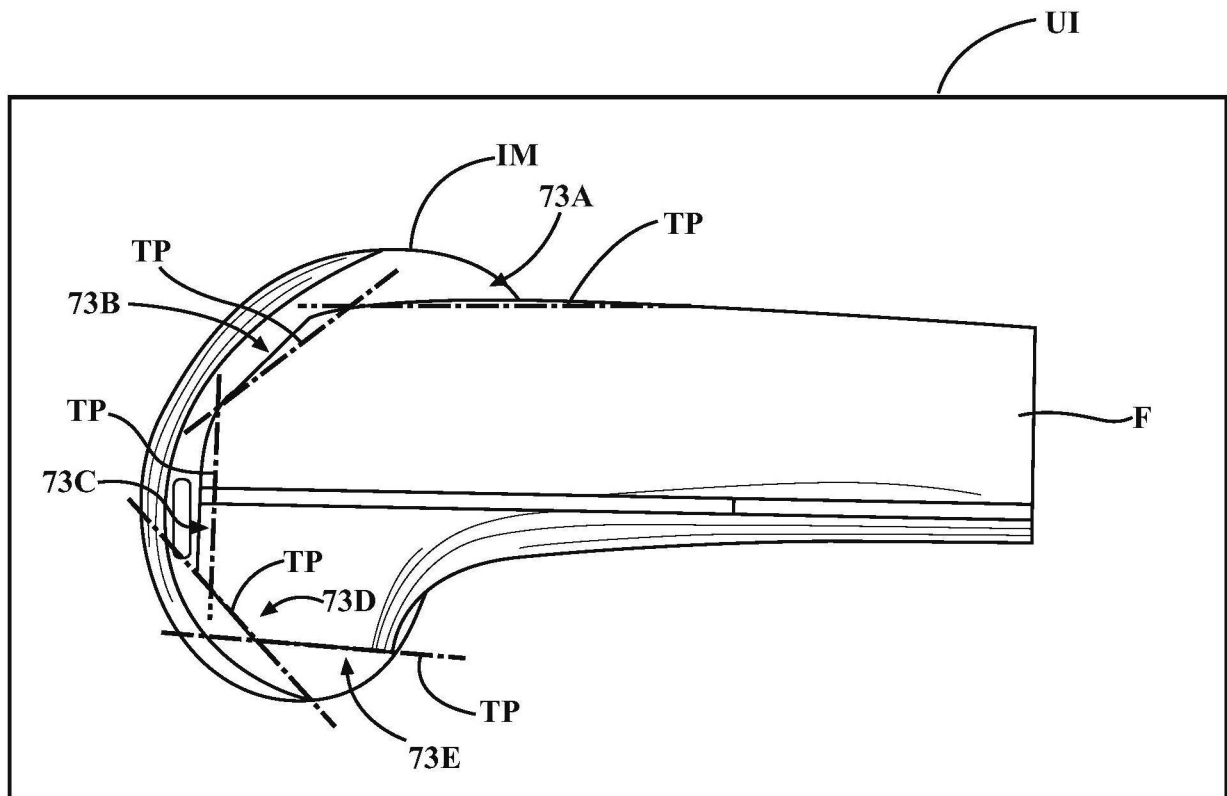


图14

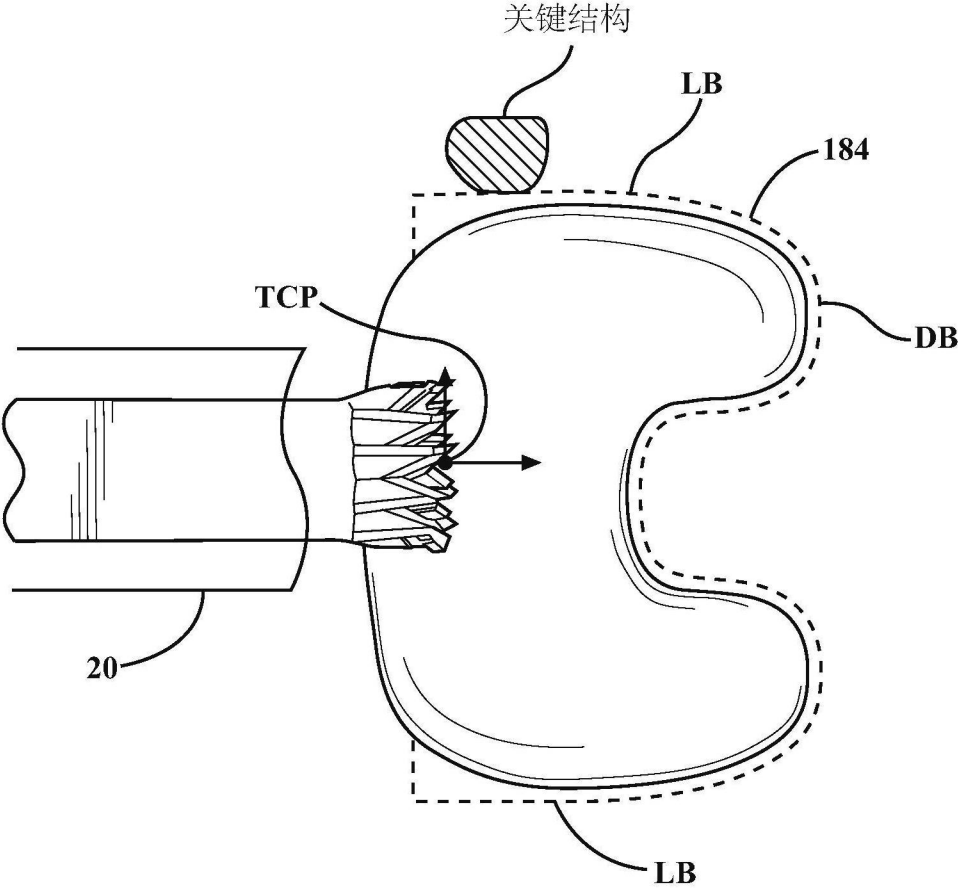


图15

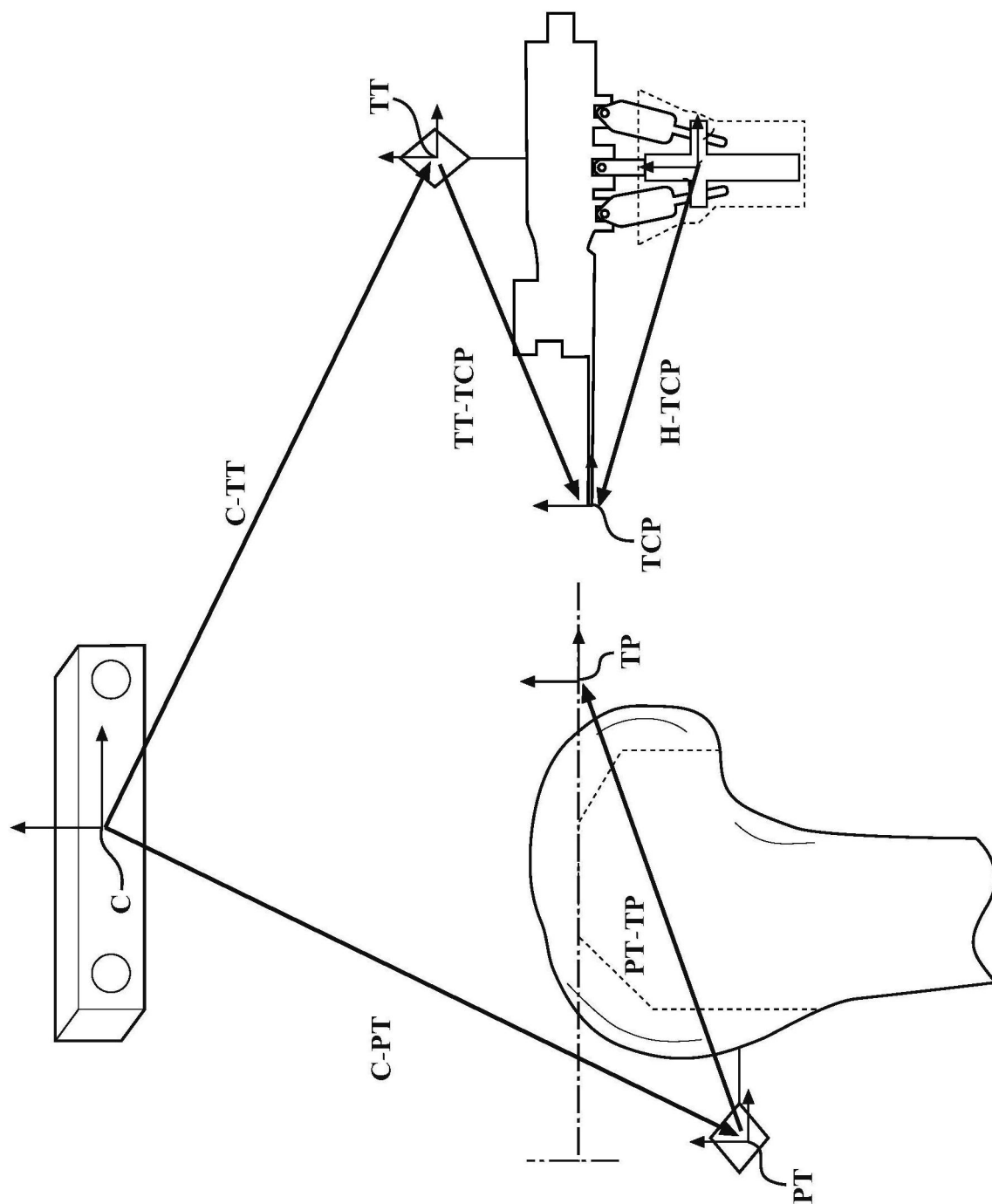


图16

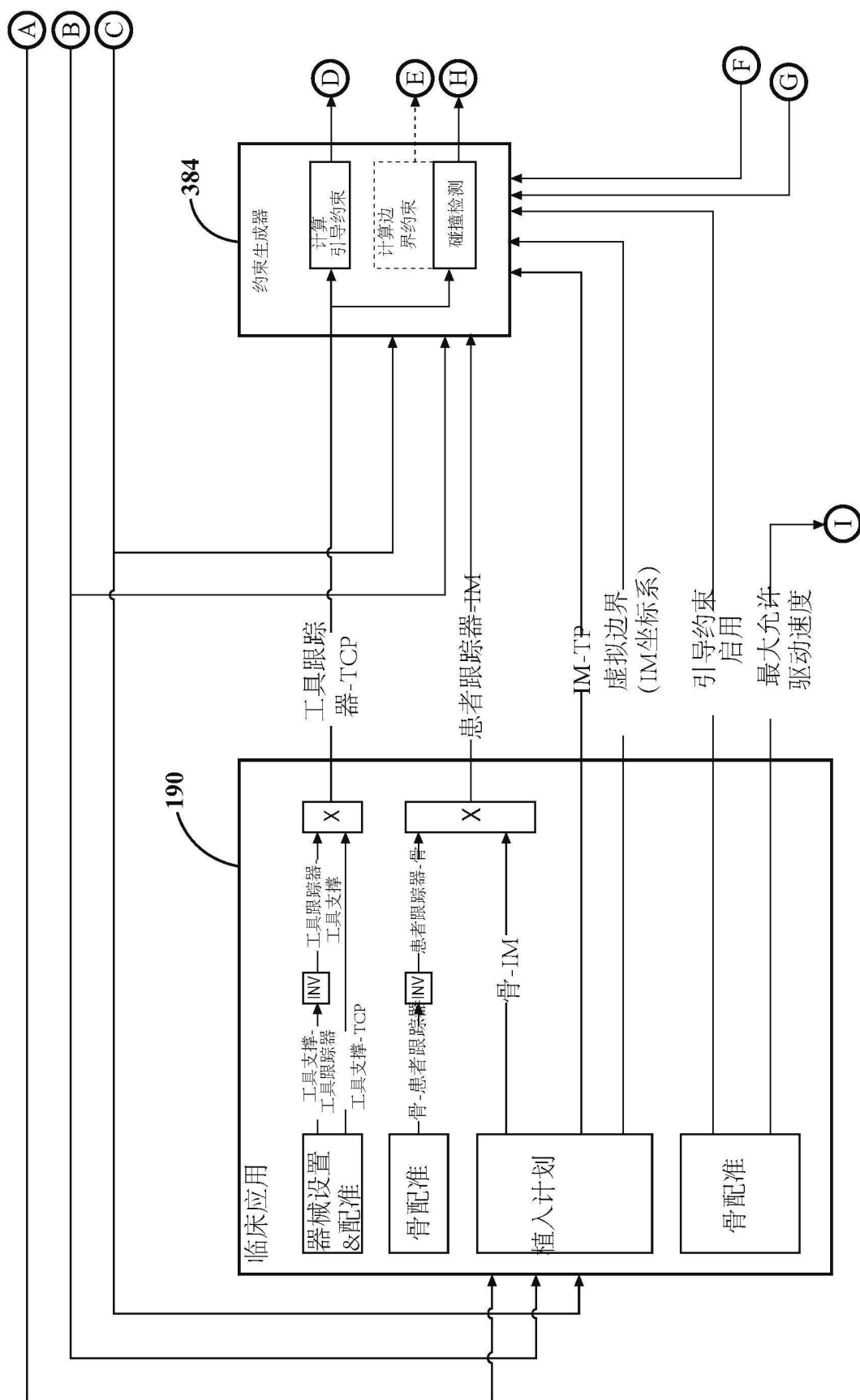


图17A

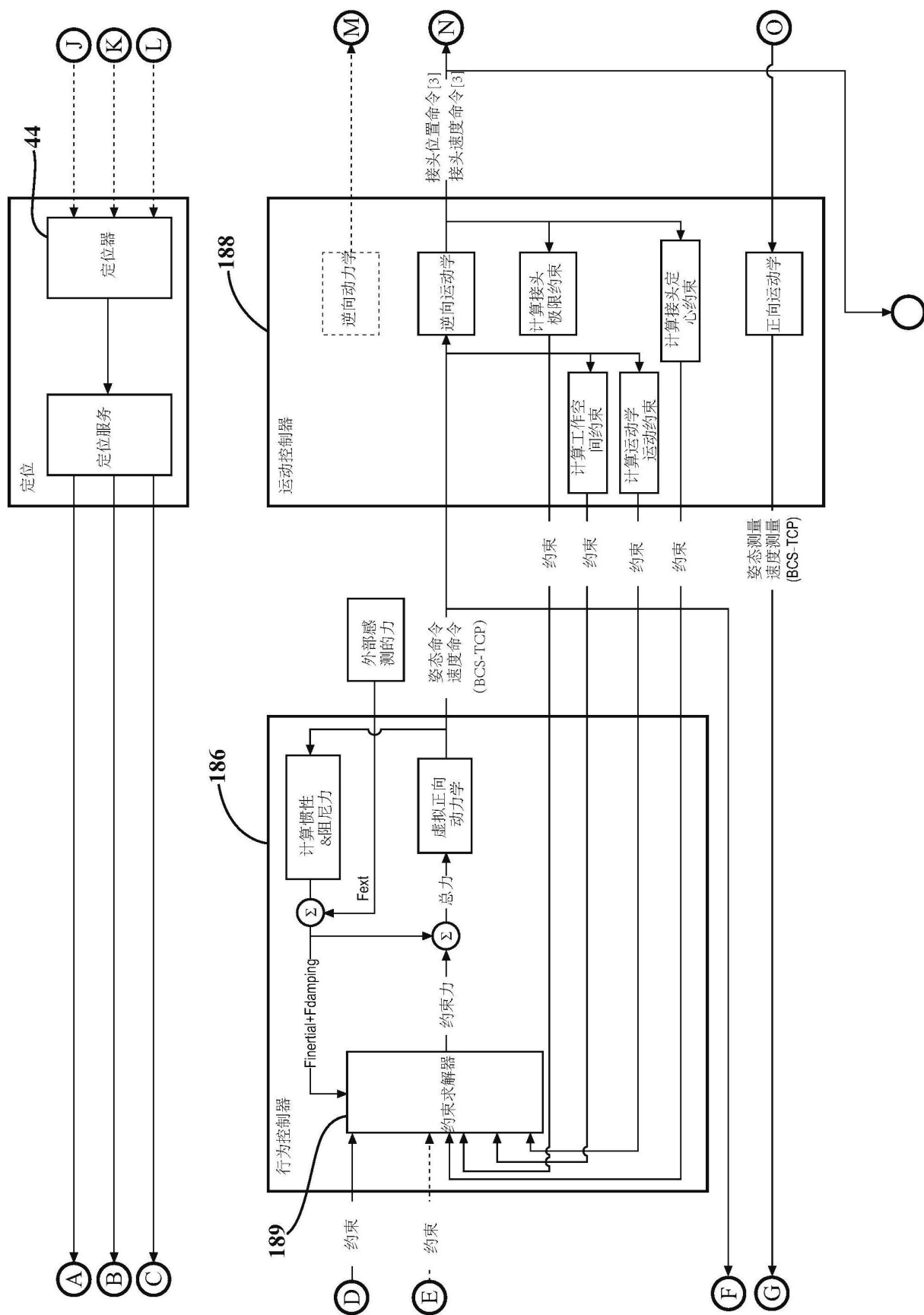


图17B

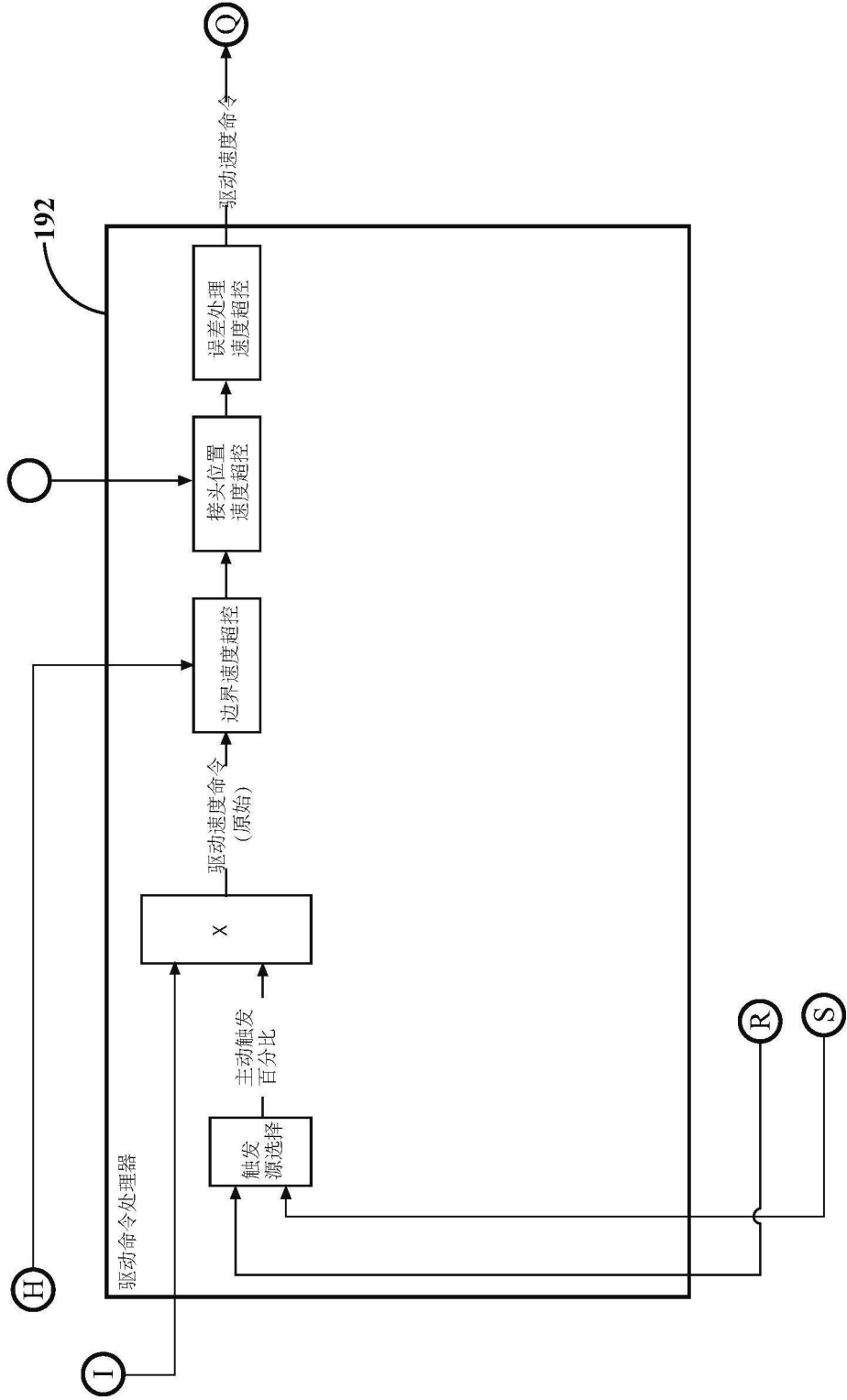


图17C

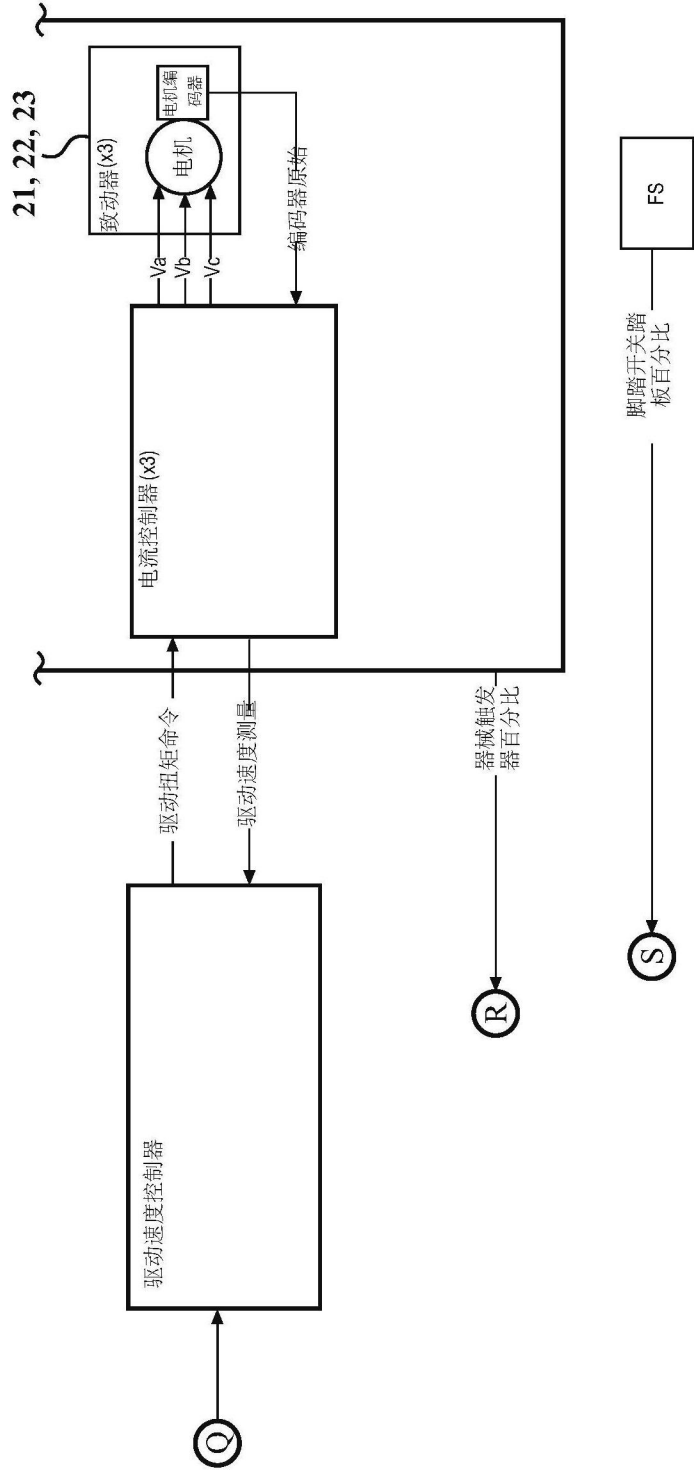


图17E

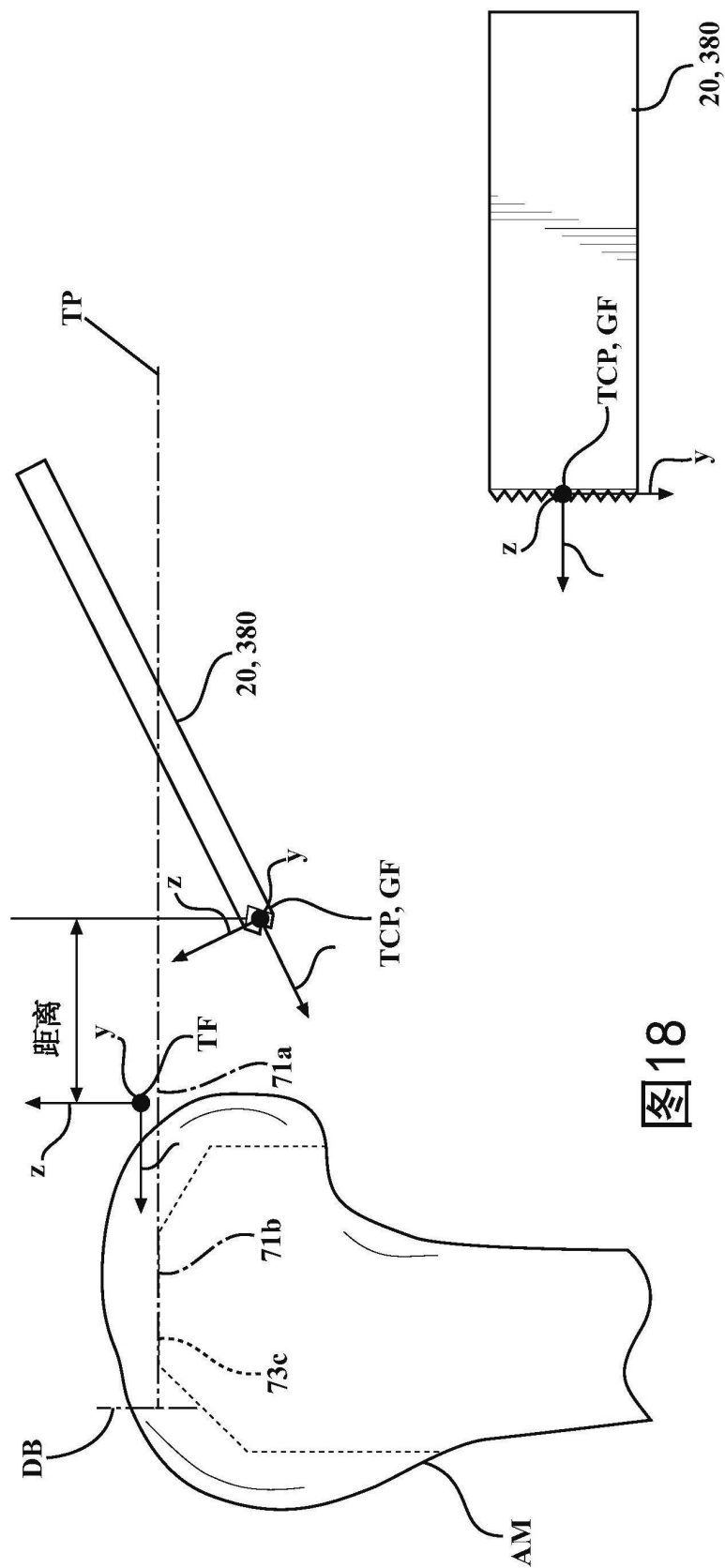


图18

图19

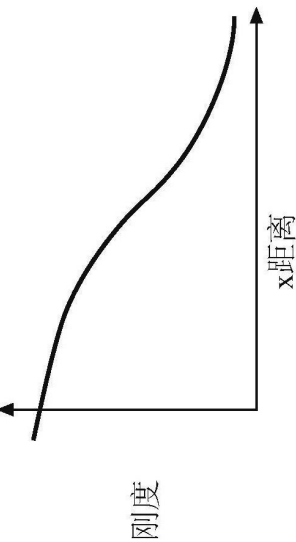


图20

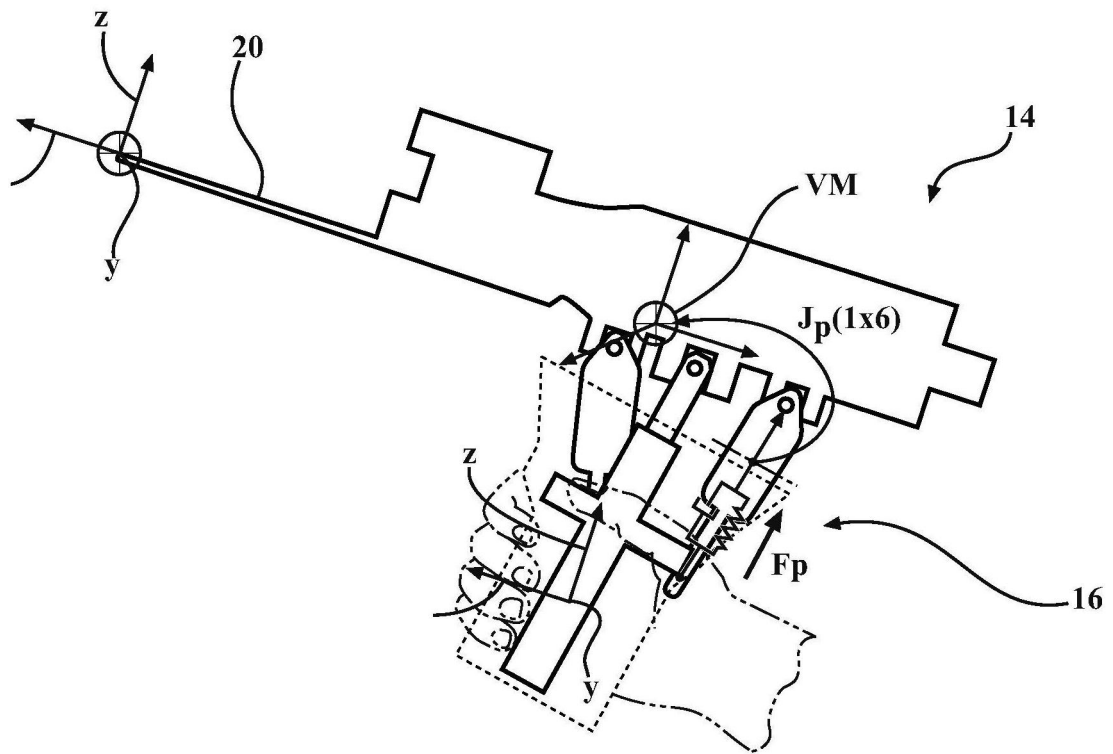


图21

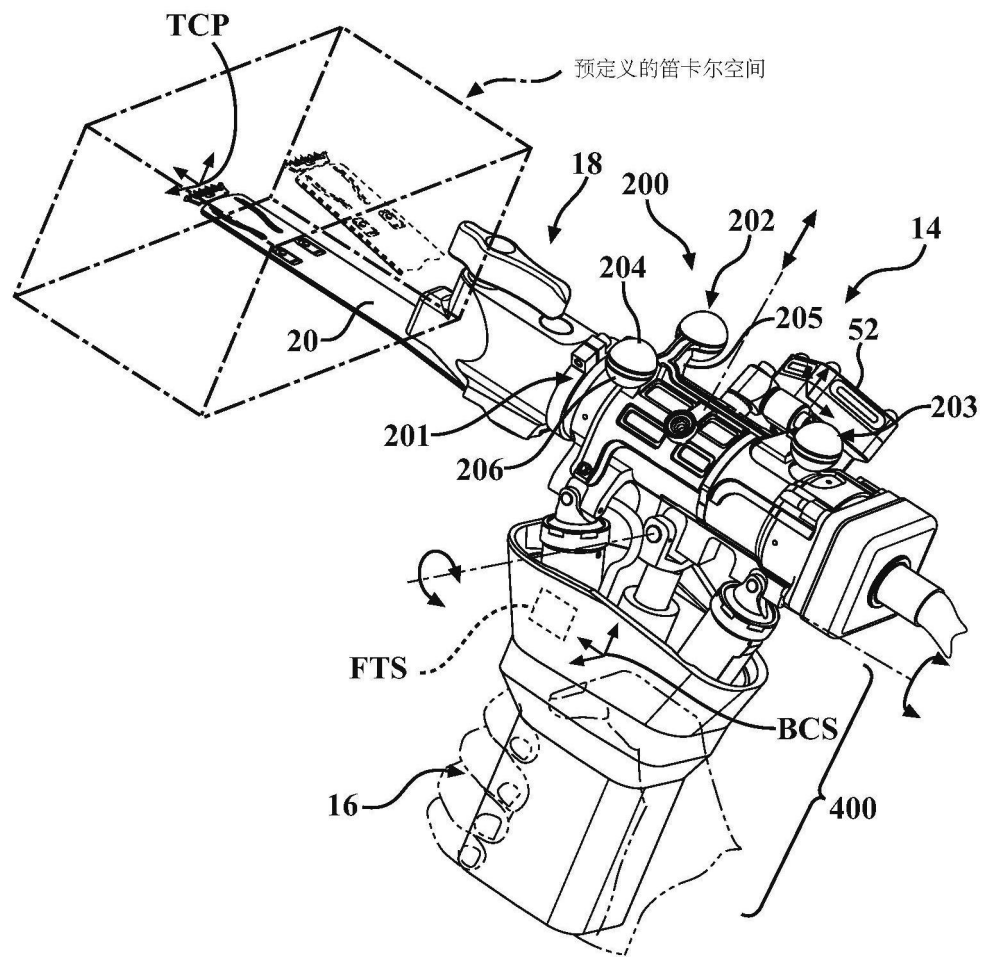


图22

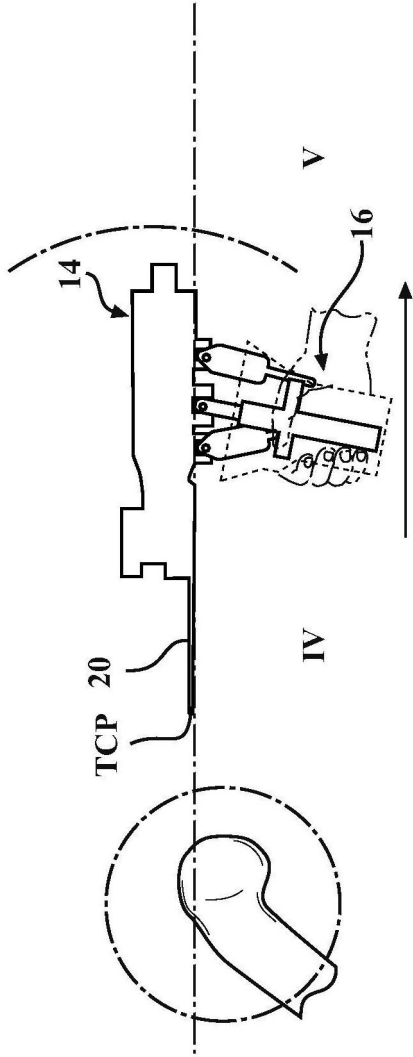


图23A

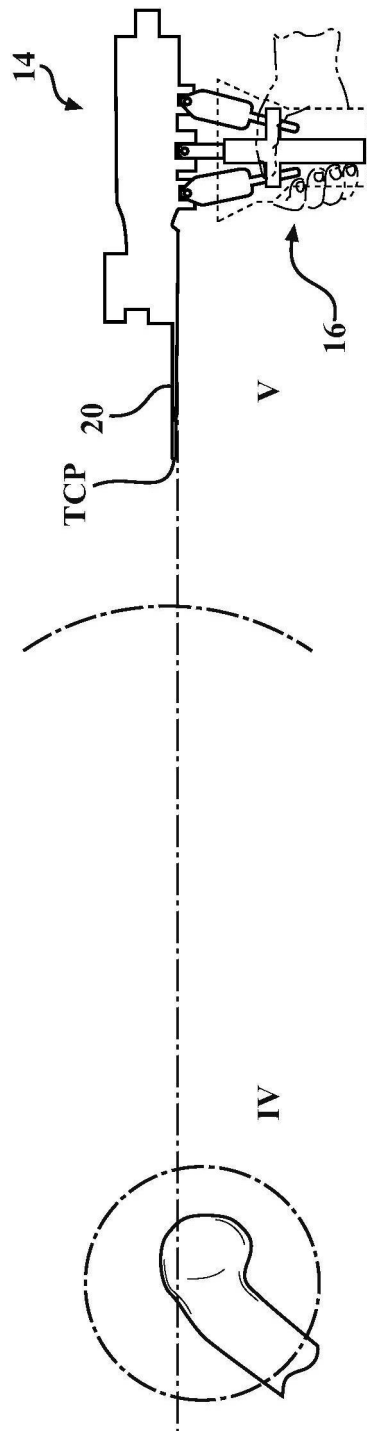


图23B

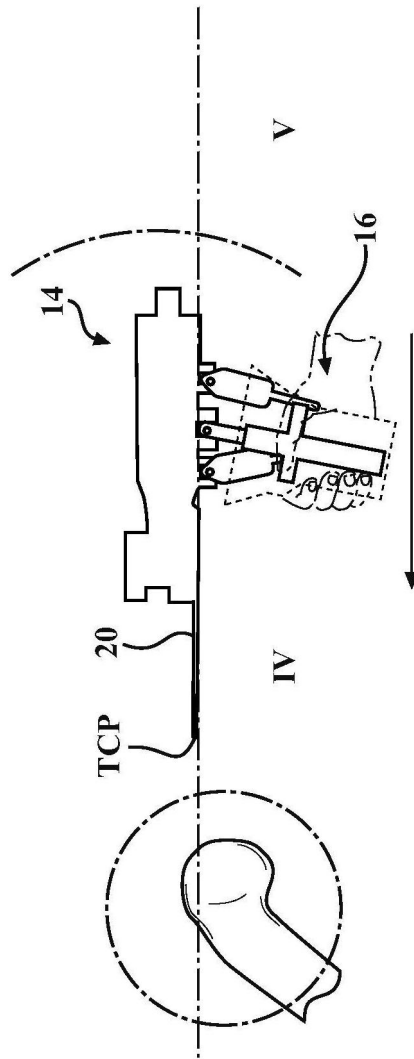


图23C

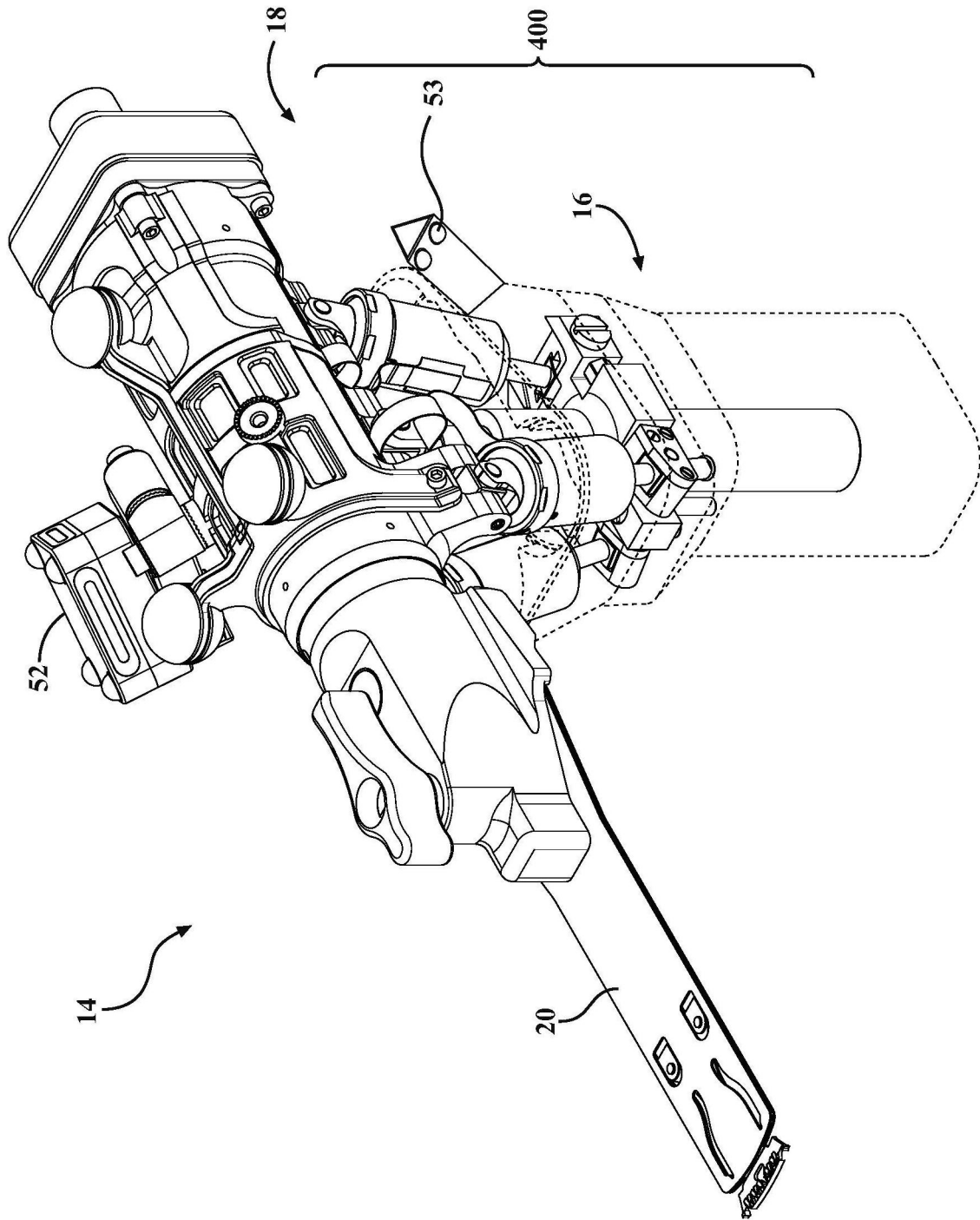


图24

约束方程

通过求解下述n线性方程组来计算约束空间中每个约束 (F_p) 的力

$$(Ax = b \rightarrow x = A^{-1}b = F = (M^I)^{-1}a)$$

$$F_p = \left(J_p^T M^{-1} J_p^T + \frac{C}{\Delta t} \right)^{-1} \left(\frac{v_{p2}}{\Delta t} - \frac{J_p^T v_{cg1}}{\Delta t} - \frac{\varepsilon \Delta d}{\Delta t^2} - \left(J_p^T M^{-1} I + \frac{C}{\Delta t} J_p^{-T} \right) (F_{inertial} + F_{damping} + F_{cg_{ext}}) \right) \geq 0$$

图25

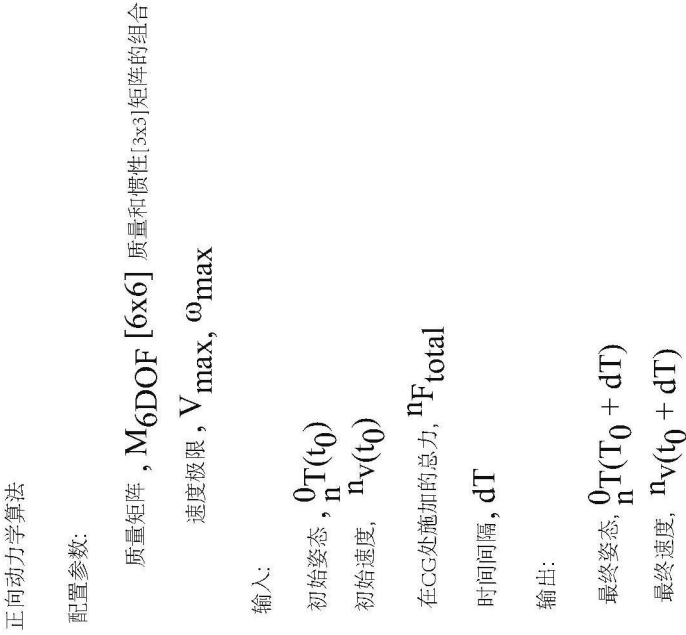


图26

正向动力学算法

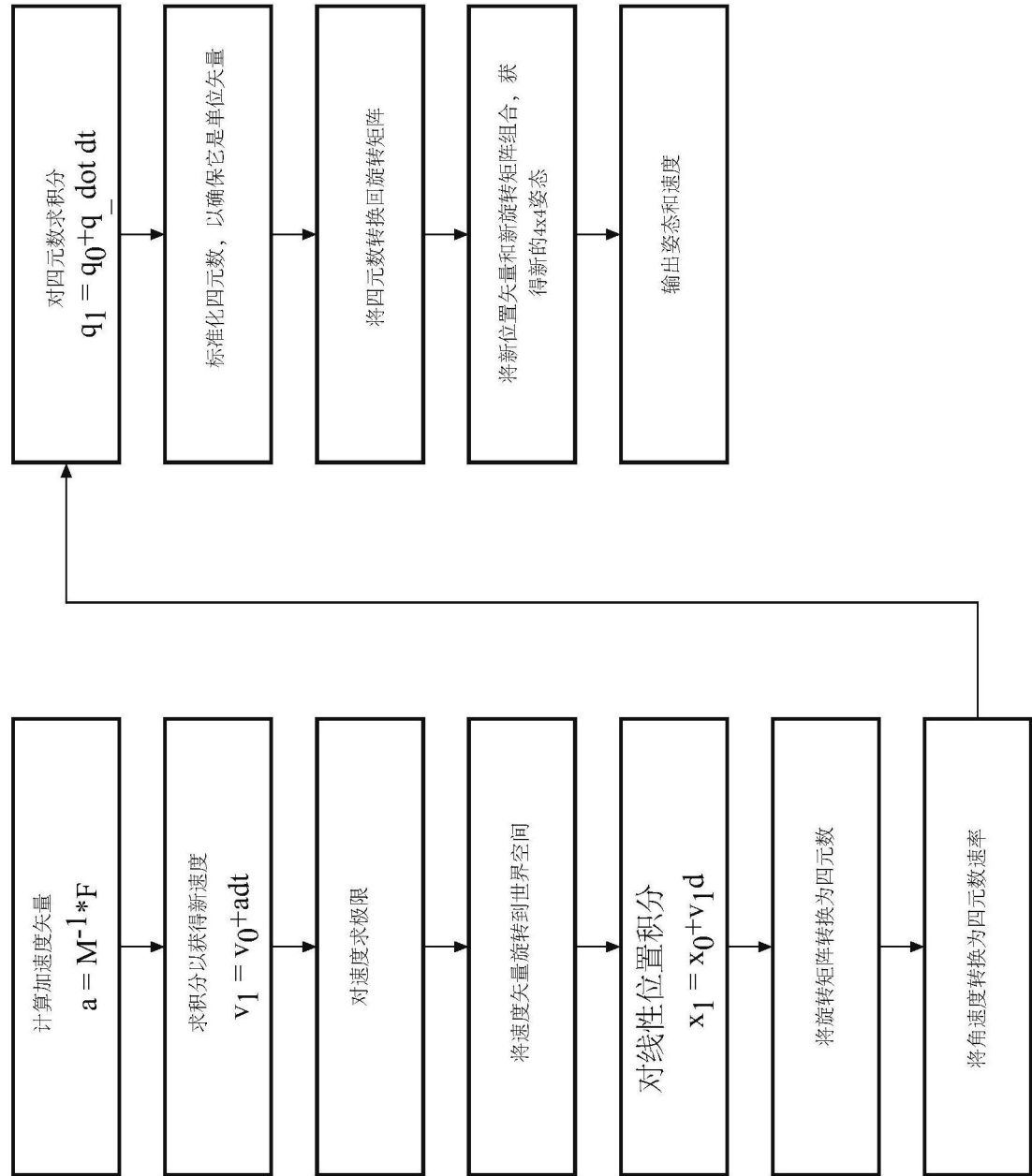


图27

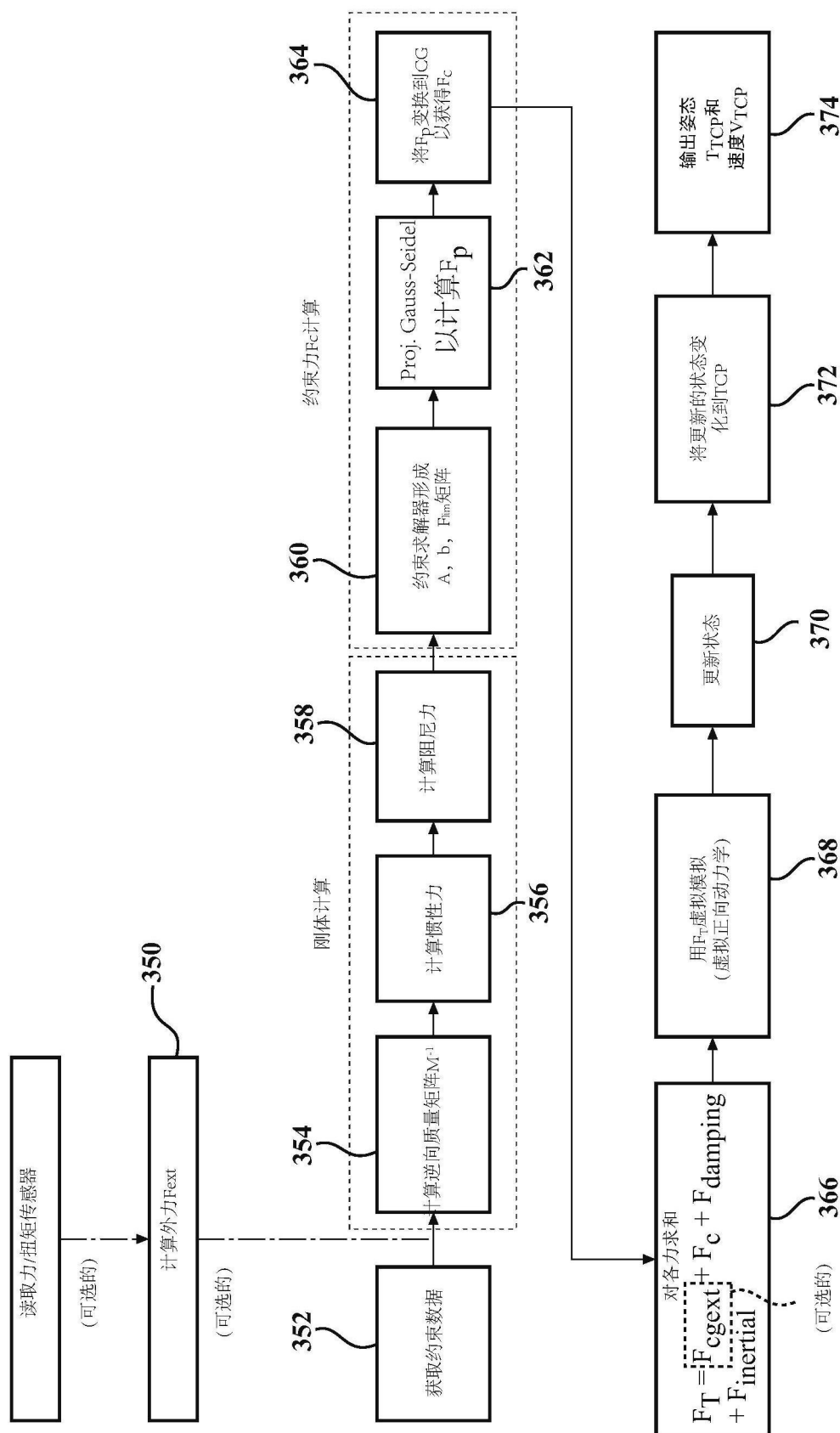


图28

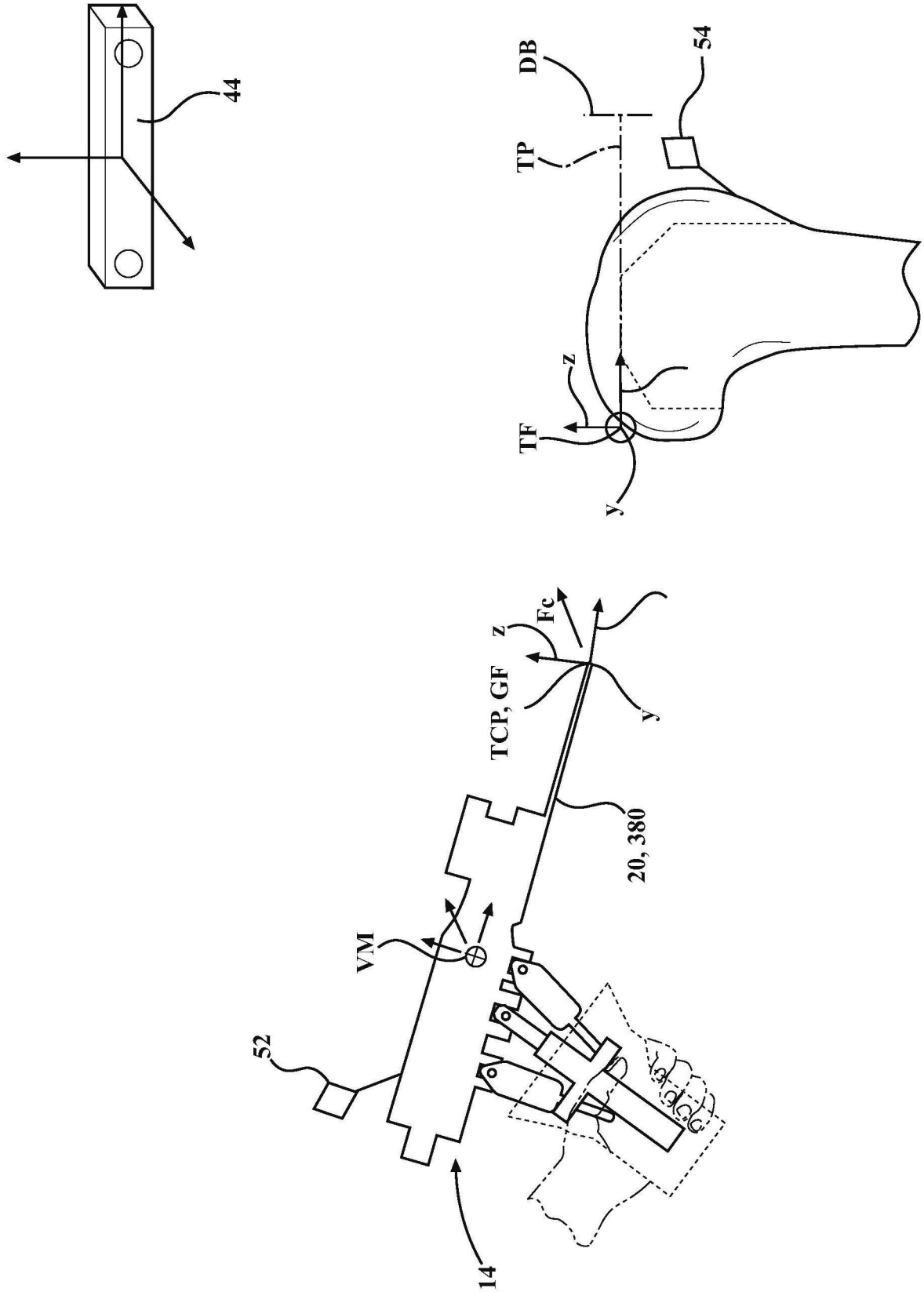


图29B

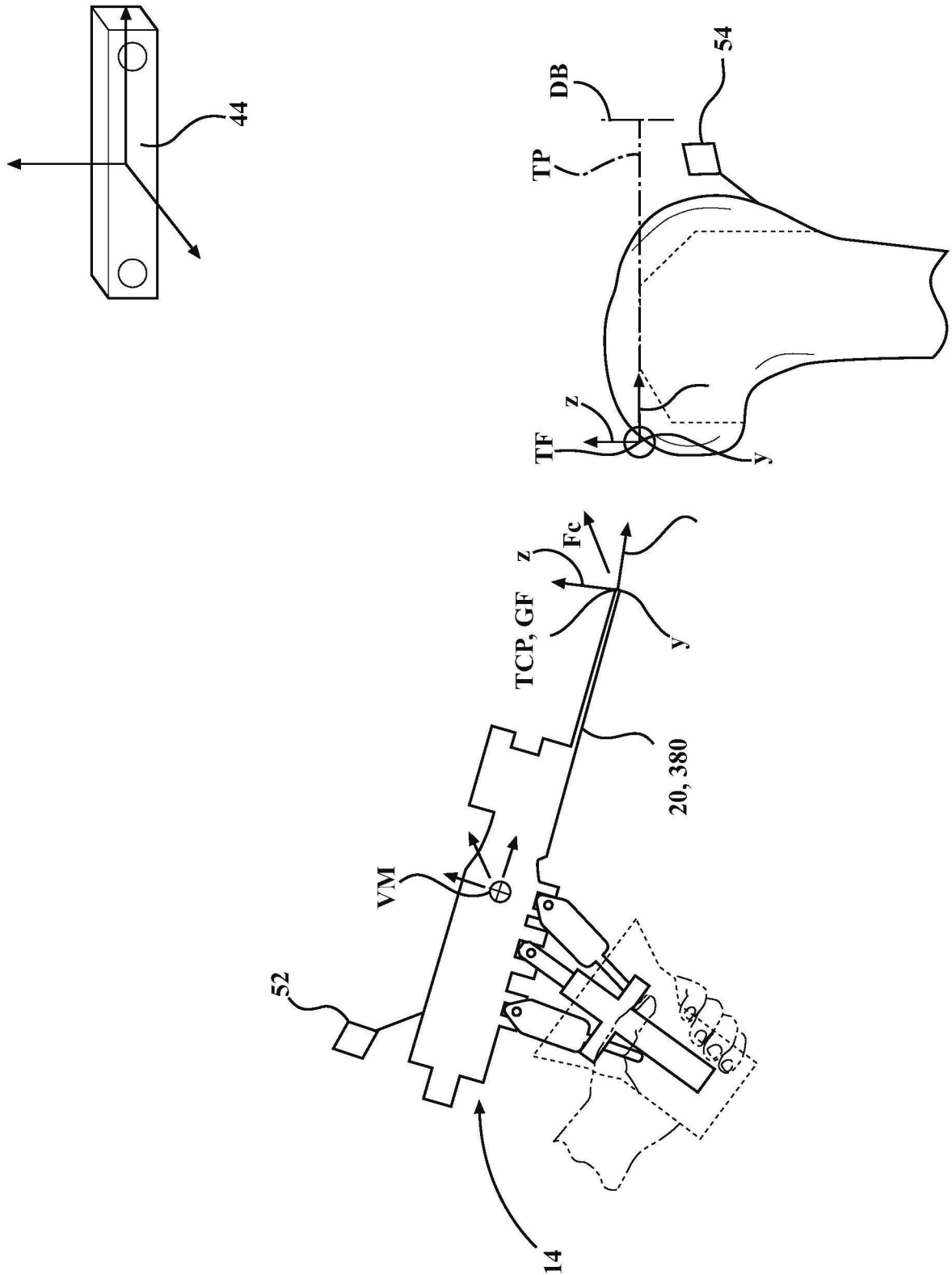


图29C

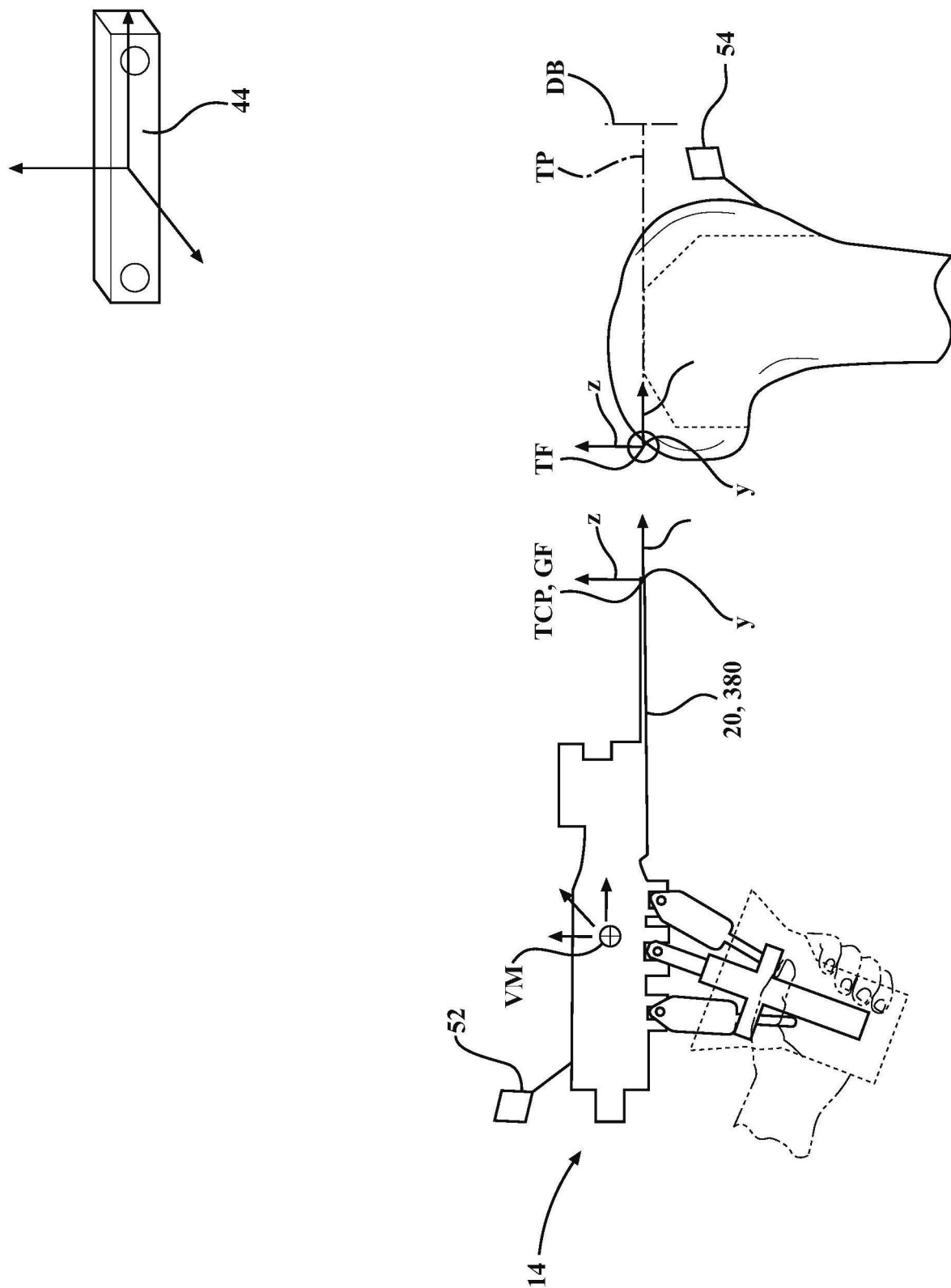


图29D

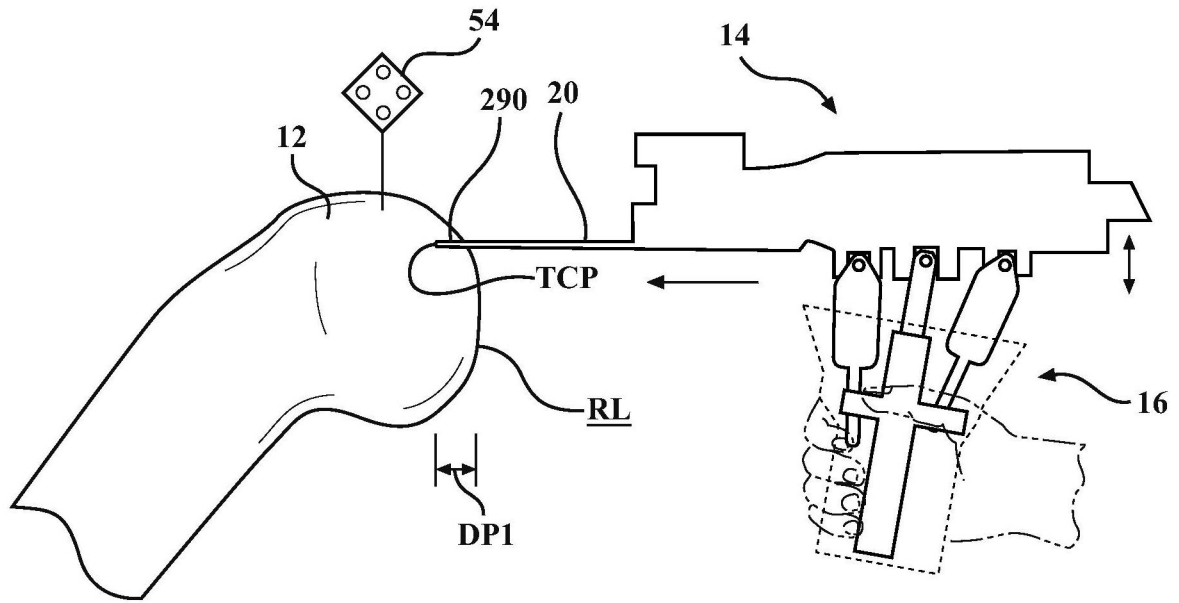


图30A

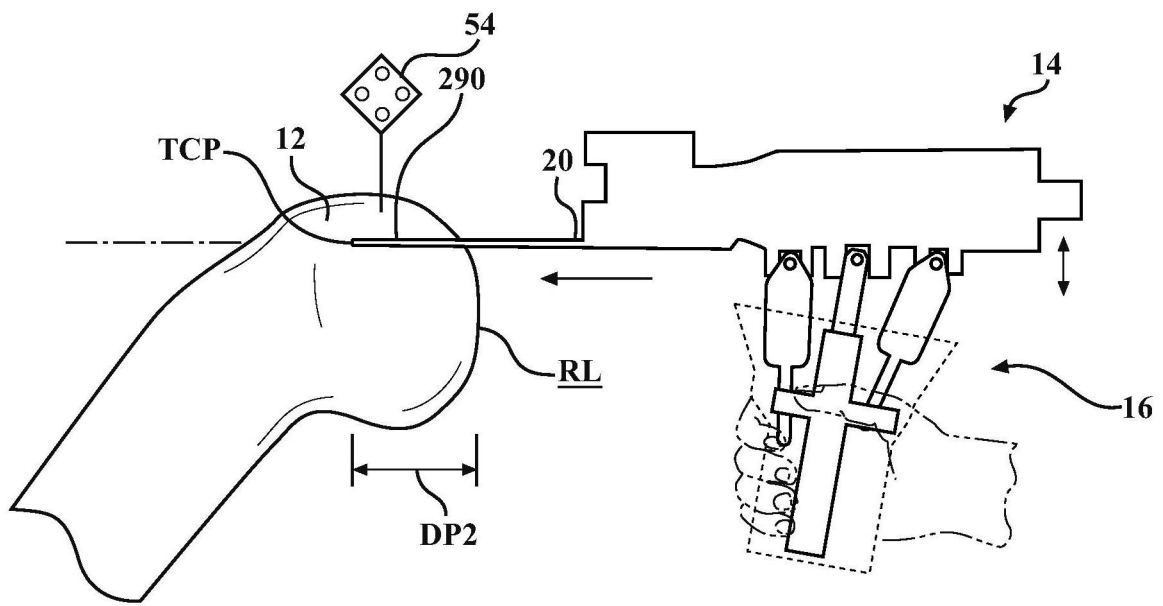


图30B

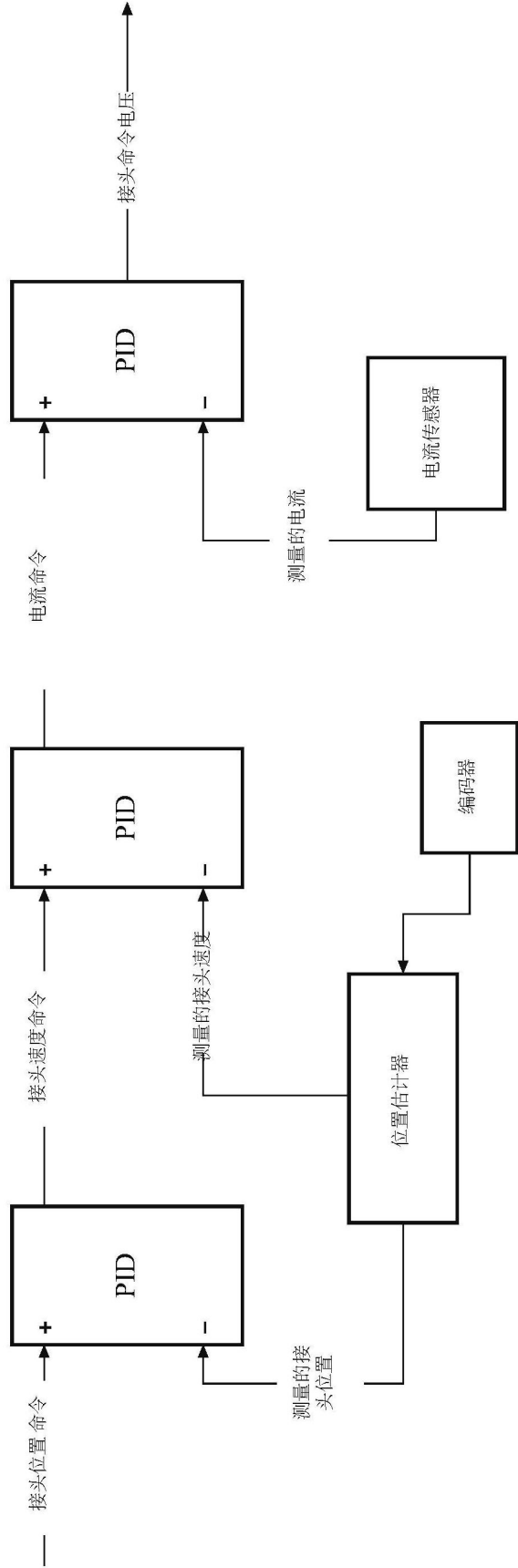


图31

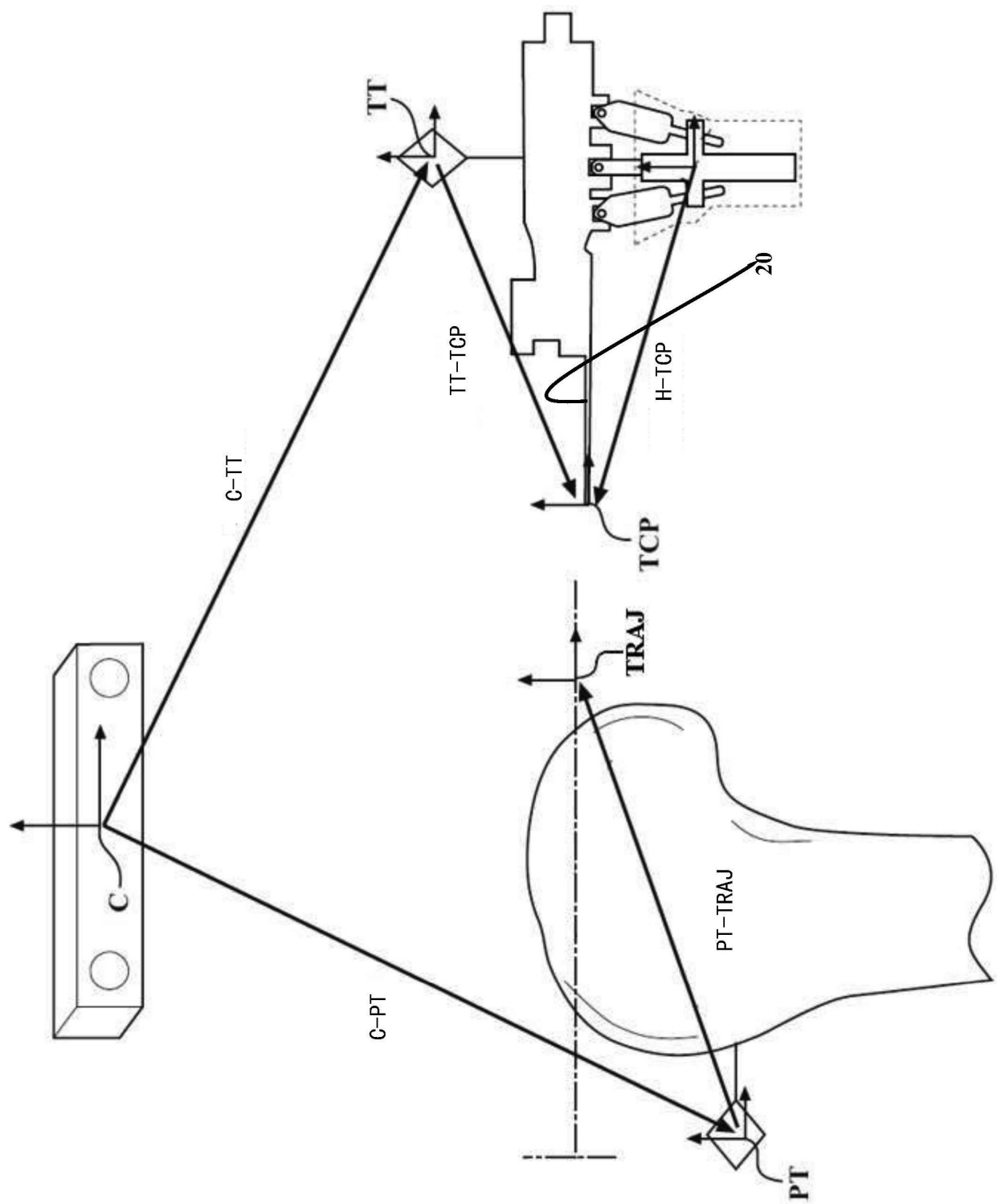


图32