



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116348056 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 27

(21) 申请号 202180059277.X

(22) 申请日 2021.07.27

(30) 优先权数据

63/057,391 2020.07.28 US

63/087,408 2020.10.05 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.01.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2021/056784 2021.07.27

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/023962 EN 2022.04.28

(71) 申请人 弗塞特机器人有限公司

地址 以色列约克尼姆伊利特

(72) 发明人 丹尼尔·格楼兹曼 奥弗·阿诺德

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

专利代理师 李薇 杨明钊

(51) Int.Cl.

A61B 34/32 (2006.01)

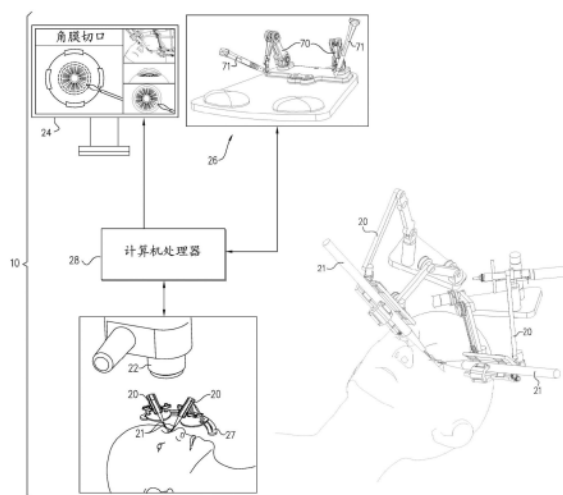
权利要求书10页 说明书20页 附图12页

(54) 发明名称

用于显微外科手术的机器人系统

(57) 摘要

描述了用于使用一个或多个工具 (21) 对患者身体的一部分执行手术的装置和方法。一种机器人单元 (20) 包括被配置成将一个或多个工具 (21) 牢固地保持在其上的工具支架 (30)。多关节臂 (32) 被布置在工具支架 (30) 的一侧上并且被配置成可移动地支撑工具支架 (30)。与至少一个多关节臂 (32) 相关联的多个臂马达 (34) 被配置成使工具支架 (30) 通过至少五个自由度移动。与工具支架 (30) 相关联的一个或多个支架马达 (36) 被配置成使工具 (21) 相对于工具支架 (30) 通过第六自由度移动。还描述了其他应用。



1. 一种用于使用一个或更多个工具对患者身体的一部分执行手术的装置,所述装置包括:

机器人单元,所述机器人单元包括:

工具支架,所述工具支架被配置成将所述一个或更多个工具牢固地保持在所述工具支架上;

至少一个多关节臂,所述至少一个多关节臂被布置在所述工具支架的一侧上,并被配置成能够移动地支撑所述工具支架;

多个臂马达,所述多个臂马达与所述至少一个多关节臂相关联,所述多个臂马达被配置成使所述工具支架通过至少五个自由度移动;

一个或更多个支架马达,所述一个或更多个支架马达与所述工具支架相关联,并且被配置成使所述工具相对于所述工具支架通过第六自由度移动。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述至少一个多关节臂包括两个或更多个多关节臂,所述两个或更多个多关节臂被布置在所述工具支架的单侧上并且被配置成能够移动地支撑所述工具支架。

3. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述多个臂马达被配置成沿着x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架。

4. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述多个臂马达被配置成使所述工具支架通过多于五个自由度移动。

5. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述多个臂马达被配置成使所述工具通过另一个自由度移动。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述机器人单元还包括围绕所述至少一个多关节臂的多个关节放置的一个或更多个张紧缆绳、以及张紧缆绳马达,所述张紧缆绳马达被配置成向所述张紧缆绳施加张力,以便在所述关节上产生张力,从而减少所述多关节臂中的反冲。

7. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述至少一个多关节臂包括被布置在每个关节处的垂直连杆、以及在每一对相邻的垂直连杆之间延伸的相应的平行梁对,使得即使在所述臂移动时所述多关节臂的每个连杆的端部也保持彼此平行。

8. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述至少一个多关节臂包括滑轮和缆绳系统,所述滑轮和缆绳系统包括被布置在所述臂的相应关节处的滑轮,所述滑轮和缆绳系统被布置成使得即使在所述臂移动时所述滑轮仍保持面向固定方向。

9. 根据权利要求1-8中任一项所述的装置,其中,与所述工具支架相关联的所述一个或更多个支架马达被配置成使所述工具相对于所述工具支架通过另一个自由度移动。

10. 根据权利要求9所述的装置,其中,与所述工具支架相关联的所述一个或更多个支架马达被配置成使所述工具相对于所述工具支架移动,以便控制物质到患者眼睛中的注射。

11. 根据权利要求1-8中任一项所述的装置,其中,所述一个或更多个工具包括两个或更多个工具,所述两个或更多个工具中的每一个都具有彼此不同的相应圆周,以及其中,所述工具支架被配置成将所述两个或更多个工具中的每一个牢固地保持在所述工具支架上。

12. 根据权利要求11所述的装置,其中,所述工具支架被配置成将直径在3mm和20mm之

间的工具牢固地保持在所述工具支架上。

13. 根据权利要求11所述的装置, 其中, 所述两个或更多个工具包括角膜刀刀片和超声乳化探头, 以及其中, 所述工具支架被配置成将所述角膜刀刀片和所述超声乳化探头牢固地保持在所述工具支架上。

14. 根据权利要求11所述的装置, 其中, 所述两个或更多个工具中的第一工具具有5-8mm的直径, 以及所述两个或更多个工具中的第二工具具有10-14mm的直径。

15. 根据权利要求1-8中任一项所述的装置, 其中, 所述工具支架被配置成将所述一个或更多个工具牢固地保持在所述工具支架上, 同时允许所述一个或更多个工具相对于所述工具支架滚动。

16. 根据权利要求15所述的装置, 其中, 所述工具支架被配置成允许所述一个或更多个工具在相对于中心位置成正/负80度的范围内滚动。

17. 一种用于使用两个或更多个工具对患者身体的一部分执行手术的装置, 所述两个或更多个工具具有彼此不同的相应圆周, 所述装置包括:

机器人单元, 所述机器人单元包括:

工具支架, 所述工具支架被配置成能够在相应位置之间调节, 使得在所述相应位置的每一个中, 所述工具支架被配置成将所述工具中的相应一个工具牢固地保持在所述工具支架中;

至少一个臂, 所述至少一个臂被布置在所述工具支架的一侧上, 并且被配置成能够移动地支撑所述工具支架;

一个或更多个支架马达, 所述一个或更多个支架马达与所述工具支架相关联, 并被配置成使所述两个或更多个工具中的每一个工具相对于所述工具支架滚动, 同时所述工具被牢固地保持在所述工具支架内。

18. 根据权利要求17所述的装置, 其中, 所述工具支架被配置成将直径在3mm和20mm之间的工具牢固地保持在所述工具支架上。

19. 根据权利要求17所述的装置, 其中, 所述两个或更多个工具包括角膜刀刀片和超声乳化探头, 以及其中, 所述工具支架被配置成将所述角膜刀刀片和所述超声乳化探头牢固地保持在所述工具支架上。

20. 根据权利要求17所述的装置, 其中, 所述两个或更多个工具中的第一工具具有5-8mm的直径, 以及所述两个或更多个工具中的第二工具具有10-14mm的直径。

21. 根据权利要求17所述的装置, 其中, 所述一个或更多个支架马达被配置成使所述两个或更多个工具中的每一个工具相对于所述工具支架在相对于中心位置成正/负80度的范围内滚动。

22. 根据权利要求17-21中任一项所述的装置, 其中, 与所述工具支架相关联的所述一个或更多个支架马达被配置成使所述工具中的至少一个相对于所述工具支架通过另一个自由度移动。

23. 根据权利要求22所述的装置, 其中, 与所述工具支架相关联的所述一个或更多个支架马达被配置成使所述工具中的至少一个相对于所述工具支架移动, 以便控制物质到患者眼睛中的注射。

24. 一种用于与机器人系统一起使用的方法, 所述机器人系统被用于眼内手术, 所述方

法包括：

基于人眼的相应部分的标准尺寸范围，训练所述机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤；以及

对所述机器人系统进行编程，以通过以下操作对给定患者的眼睛执行所述白内障手术的一个或更多个步骤：

接收所述眼睛的至少一个图像；

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的一个或更多个尺寸；以及

基于所述训练和所述眼睛的确定的尺寸来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

25. 根据权利要求24所述的方法，其中，训练所述机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤包括编写算法，所述算法指示与所述机器人系统相关联的一个或更多个计算机处理器驱动所述机器人系统的部件来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

26. 根据权利要求24所述的方法，其中，训练所述机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤包括使用机器学习来训练所述机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤。

27. 根据权利要求24-26中任一项所述的方法，

还包括根据所述至少一个图像确定所述眼睛的位置和取向，

其中，执行所述白内障手术的一个或更多个步骤包括至少部分地基于所述眼睛的位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

28. 根据权利要求27所述的方法，

其中，根据所述至少一个图像确定所述眼睛的位置和取向包括根据所述至少一个图像确定所述眼睛的当前位置和取向，以及

其中，执行所述白内障手术的一个或更多个步骤包括至少部分地基于所述眼睛的当前位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

29. 根据权利要求24-26中任一项所述的方法，其中，执行所述白内障手术的一个或更多个步骤包括：

在执行所述白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中：

接收患者眼睛和所述机器人系统的至少一部分的实时图像，以及

响应于所述实时图像，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作。

30. 根据权利要求29所述的方法，其中，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动移动一个或更多个工具。

31. 根据权利要求29所述的方法，其中，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制所述机器人系统的成像系统的一个或更多个部件。

32. 根据权利要求29所述的方法，其中，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制超声乳化探头。

33. 根据权利要求29所述的方法，其中，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制注射器工具。

34. 根据权利要求29所述的方法，其中，在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执

行所述动作包括检测所述眼睛何时处于给定位置,以及将所述动作的执行定时为所述眼睛处于所述给定位置时。

35. 根据权利要求29所述的方法,其中,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制IOL操纵器工具。

36. 根据权利要求35所述的方法,其中,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制所述IOL操纵器工具包括控制所述IOL操纵器工具,使得所述工具操纵在所述患者眼睛内部的IOL,以便将所述IOL精确定位在所述患者眼睛内。

37. 根据权利要求29所述的方法,其中,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动执行所述动作包括相对于所述患者眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行所述动作,同时保持所述工具进入所述患者眼睛的入口被固定在切口点处。

38. 根据权利要求37所述的方法,其中,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时保持所述工具进入所述患者眼睛的入口被固定在切口点处包括提供动态远程运动中心,所述远程运动中心位于所述切口点处,并且所述工具的运动以所述远程运动中心为中心,所述远程运动中心与所述眼睛的移动协调地移动。

39. 一种装置,包括:

机器人系统,所述机器人系统被配置用于执行眼内手术;以及

至少一个计算机处理器,所述至少一个计算机处理器被配置成:

在训练阶段期间,接收用于基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤的编程指令,以及

在后续阶段期间,通过以下操作来驱动所述机器人系统对给定患者的眼睛执行所述白内障手术的一个或更多个步骤:

接收所述眼睛的至少一个图像,

根据所述至少一个图像,确定所述眼睛的一个或更多个尺寸,以及

基于所述编程指令和所述眼睛的确定的尺寸来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

40. 根据权利要求39所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成:

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的位置和取向,以及

至少部分地基于所述眼睛的位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

41. 根据权利要求40所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成:

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的当前位置和取向,以及

至少部分地基于所述眼睛的当前位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

42. 根据权利要求39所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在执行所述白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中通过以下操作来驱动所述机器人系统对所述给定患者的眼睛执行所述白内障手术的一个或更多个步骤:

接收患者眼睛和所述机器人系统的至少一部分的实时图像,以及

响应于所述实时图像,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动驱动所述机器人系统执行动作。

43. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与一个或更多个工具一起使用,以及

其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统自动移动所述一个或更多个工具。

44. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与成像系统一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制所述成像系统的一个或更多个部件。

45. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与超声乳化探头一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述超声乳化探头。

46. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与注射器工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述注射器工具。

47. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成检测所述眼睛何时处于给定位置,并驱动所述机器人系统将动作的执行定时为所述眼睛处于所述给定位置时。

48. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与IOL操纵器工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述IOL操纵器工具。

49. 根据权利要求48所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统控制所述IOL操纵器工具,使得所述工具操纵在所述患者眼睛内部的IOL,以便将所述IOL精确定位在所述患者眼睛内。

50. 根据权利要求42所述的装置,其中,所述装置与工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统相对于所述患者眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述动作,同时保持所述工具进入所述患者眼睛的入口被固定在切口点处。

51. 根据权利要求50所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统提供动态远程运动中心,所述远程运动中心位于切口点处,并且所述工具的运动以所述远程运动中心为中心,所述远程运动中心与所述眼睛的移动协调地移动。

52. 一种装置,包括:

机器人系统,所述机器人系统被配置用于执行眼内手术;以及

一个或更多个计算机处理器,所述一个或更多个计算机处理器被配置成:

在训练阶段期间,通过机器学习被训练,以基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤,以及

在后续阶段期间,通过以下操作来驱动所述机器人系统对给定患者的眼睛执行所述白内障手术的一个或更多个步骤:

接收所述眼睛的至少一个图像,

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的一个或更多个尺寸,以及

基于编程指令和所述眼睛的确定的尺寸来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

53. 根据权利要求52所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成:

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的位置和取向,以及

至少部分地基于所述眼睛的位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

54. 根据权利要求53所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成:

根据所述至少一个图像确定所述眼睛的当前位置和取向,以及

至少部分地基于所述眼睛的当前位置和取向来执行所述白内障手术的一个或更多个步骤。

55. 根据权利要求52所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在执行所述白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中通过以下操作来驱动所述机器人系统对所述给定患者的眼睛执行所述白内障手术的一个或更多个步骤:

接收患者眼睛和所述机器人系统的至少一部分的实时图像,以及

响应于所述实时图像,在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动驱动所述机器人系统执行动作。

56. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与一个或更多个工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统自动移动所述一个或更多个工具。

57. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与成像系统一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时自动控制所述成像系统的一个或更多个部件。

58. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与超声乳化探头一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述超声乳化探头。

59. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与注射器工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述注射器工具。

60. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成检测所述眼睛何时处于给定位置,并驱动所述机器人系统将动作的执行定时为所述眼睛处于所述给定位置时。

61. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与IOL操纵器工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成在考虑所述患者眼睛的实时移动的同时驱动所述机器人系统控制所述IOL操纵器工具。

62. 根据权利要求61所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统控制所述IOL操纵器工具,使得所述工具操纵在所述患者眼睛内部的IOL,以便将所述IOL精确定位在所述患者眼睛内。

63. 根据权利要求55所述的装置,其中,所述装置与工具一起使用,以及其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统相对于所述患者眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述动作,同时保持所述工具进入所述患者眼睛的入口被固定在切口点处。

64. 根据权利要求63所述的装置,其中,所述至少一个计算机处理器被配置成驱动所述机器人系统提供动态远程运动中心,所述远程运动中心位于所述切口点处,并且所述工具的运动以所述远程运动中心为中心,所述远程运动中心与所述眼睛的移动协调地移动。

65. 一种用于使用具有尖端的工具对患者的眼睛执行眼内手术的装置,所述装置包括:机器人单元,所述机器人单元包括:

工具支架,所述工具支架被配置成将所述工具牢固地保持在所述工具支架上,并且被配置成将所述工具插入到所述患者的眼睛中,使得所述工具进入所述患者的眼睛的入口是通过切口点,并且所述工具的尖端被布置在所述患者的眼睛内;

一个或更多个多关节臂,所述一个或更多个多关节臂被布置在所述工具支架的单侧上,并被配置成能够移动地支撑所述工具支架;以及

计算机处理器,所述计算机处理器被配置成驱动所述机器人单元通过相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述手术的一部分、同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处来对所述患者的眼睛执行手术的至少一部分。

66. 根据权利要求65所述的装置,还包括成像设备,所述成像设备被配置成获取所述患者的眼睛的图像,其中,所述计算机处理器被配置成:

接收所述患者的眼睛的图像,

通过分析所述图像来检测所述患者的眼睛的三维移动,以及

响应于所述患者的眼睛的检测到的移动,驱动所述机器人单元相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述手术的所述一部分,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

67. 根据权利要求65或权利要求66所述的装置,其中,所述一个或更多个多关节臂被配置成沿着x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架,以及其中,所述计算机处理器被配置成驱动所述一个或更多个多关节臂沿着x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

68. 根据权利要求67所述的装置,其中,所述一个或更多个多关节臂被配置成通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动所述工具支架,以及其中,所述计算机处理器被配置成驱动所述一个或更多个多关节臂通过相对于所述中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动所述工具支架,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

69. 根据权利要求67所述的装置,其中,所述一个或更多个多关节臂被配置成通过相对于起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动所述工具支架,以及其中,所述计算机处理器被配置成驱动所述一个或更多个多关节臂通过相对于所述起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动所述工具支架,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

70. 根据权利要求65或权利要求66所述的装置,其中,所述工具支架被配置成允许所述工具相对于所述工具支架滚动,以及其中,所述计算机处理器被配置成驱动所述工具相对于所述工具支架滚动,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

71. 根据权利要求70所述的装置,其中,所述工具支架被配置成允许所述工具通过相对于中心位置成正/负80度的滚动角旋转来相对于所述工具支架滚动,以及其中,所述计算机处理器被配置成驱动所述工具通过相对于所述中心位置成正/负80度的滚动角旋转来相对于所述工具支架滚动,同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点

处。

72. 根据权利要求65或权利要求66所述的装置, 其中, 所述计算机处理器被配置成驱动所述机器人单元提供动态远程运动中心, 所述动态远程运动中心位于所述切口点处, 并且所述工具的运动以所述动态远程运动中心为中心。

73. 根据权利要求72所述的装置, 其中, 所述计算机处理器被配置成驱动所述机器人单元通过提供与所述眼睛的移动协调地移动的动态远程运动中心来提供所述动态远程运动中心, 从而即使在所述患者的眼睛经历三维移动时也保持所述工具进入所述患者的眼睛的入口被固定在所述切口点处。

74. 一种使用具有尖端的工具对患者的眼睛执行眼内手术的方法, 所述方法包括:

将所述工具固定在机器人单元的工具支架内;

驱动所述机器人单元将所述工具插入到所述患者的眼睛中, 使得所述工具进入所述患者的眼睛的入口是经由切口点, 并且所述工具的尖端被布置在所述患者的眼睛内; 以及

使用计算机处理器, 驱动所述机器人单元通过相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述手术的一部分、同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处来执行对所述患者的眼睛的手术的至少一部分。

75. 根据权利要求74所述的方法, 还包括使用所述计算机处理器:

接收所述患者的眼睛的图像;

通过分析所述图像, 检测所述患者的眼睛的三维移动; 以及

响应于所述患者的眼睛的所检测到的移动, 驱动所述机器人单元相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行所述手术的所述一部分, 同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

76. 根据权利要求74或权利要求75所述的方法, 其中, 驱动所述机器人单元通过相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行手术的一部分来对所述患者的眼睛执行所述手术的至少一部分包括驱动所述机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架, 同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

77. 根据权利要求76所述的方法, 其中, 驱动所述机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架包括驱动所述机器人单元通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动所述工具支架, 同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

78. 根据权利要求76所述的方法, 其中, 驱动所述机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动所述工具支架包括驱动所述机器人单元通过相对于起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动所述工具支架, 同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

79. 根据权利要求74或权利要求75所述的方法, 其中, 驱动所述机器人单元通过相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行手术的一部分来对所述患者的眼睛执行所述手术的至少一部分包括驱动所述工具相对于所述工具支架滚动, 同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

80. 根据权利要求79所述的方法, 其中, 驱动所述工具相对于所述工具支架滚动包括驱

动所述工具通过相对于中心位置成正/负80度的滚动角旋转来相对于所述工具支架滚动，同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处。

81. 根据权利要求74或权利要求75所述的方法，其中，驱动所述机器人单元通过相对于所述眼睛以期望的方式移动所述工具的尖端以便执行手术的一部分、同时所述工具进入所述患者的眼睛的入口被保持固定在所述切口点处来对所述患者的眼睛执行所述手术的至少一部分包括提供动态远程运动中心，所述动态远程运动中心位于所述切口点处，并且所述工具的运动以所述动态远程运动中心为中心。

82. 根据权利要求81所述的方法，其中，提供所述动态远程运动中心包括提供与所述眼睛的移动协调地移动的动态远程运动中心，从而即使在所述患者的眼睛经历三维移动时也保持所述工具进入所述患者的眼睛的入口被固定在所述切口点处。

83. 一种用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行手术的装置，所述装置包括：

机器人单元，所述机器人单元被配置成使所述工具通过六个自由度移动；以及

控制部件，所述控制部件包括被配置成由用户移动的至少一个控制部件臂，所述控制部件臂包括：

控制部件工具，所述控制部件工具限定尖端；

至少六个关节；

三个旋转编码器，所述三个旋转编码器中的每一个都耦合到所述关节中相应的关节，并且被配置成检测所述相应的关节的移动，并且响应于检测到所述相应的关节的移动，生成指示所述控制部件工具的尖端的XYZ位置的旋转编码器数据；以及

惯性测量单元，所述惯性测量单元包括选自以下项组成的组中的至少一个传感器：三轴加速度计、三轴陀螺仪、和三轴磁力计，

所述惯性测量单元被配置成生成指示所述控制部件工具的尖端的取向的惯性测量单元数据；以及

计算机处理器，所述计算机处理器被配置成：

接收所述旋转编码器数据和所述惯性测量单元数据，

基于所述旋转编码器数据和所述惯性测量单元数据的组合，

确定所述控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向，以及

响应于确定所述控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向，

移动所述机器人单元。

84. 根据权利要求83所述的装置，其中，所述控制部件包括一个或更多个手腕支撑元件，所述手腕支撑元件被配置成在所述控制部件臂的移动期间支撑所述用户的手腕。

85. 根据权利要求83所述的装置，其中，所述控制部件包括内置的立体显示器，所述内置的立体显示器被配置成向所述用户显示所述患者的身体的所述一部分的实时立体图像和所述一个或更多个工具的实时立体图像。

86. 根据权利要求83-85中任一项所述的装置，其中：

所述装置与至少第一工具和第二工具一起使用；

所述机器人单元包括第一部分和第二部分，所述第一部分被配置成使所述第一工具通过六个自由度移动，所述第二部分被配置成使所述第二工具通过六个自由度移动；

所述至少一个控制部件臂包括两个控制部件臂,所述控制部件臂中的第一控制部件臂被配置成由所述用户的右手移动,所述控制部件臂中的第二控制部件臂被配置成由所述用户的左手移动,以及

其中,所述计算机处理器被配置成响应于所述控制部件臂中的所述第一控制部件臂的移动来控制所述机器人单元的第一部分,以及响应于所述控制部件臂中的第二控制部件臂的移动来控制所述机器人单元的第二部分。

87. 根据权利要求86所述的装置,其中,所述第一控制部件臂和所述第二控制部件臂相对于彼此不对称。

88. 根据权利要求83-85中任一项所述的装置,还包括头戴式显示器,所述头戴式显示器被配置成向所述用户显示所述患者的身体的所述一部分的实时图像和所述一个或更多个工具的实时图像。

89. 根据权利要求88所述的装置,其中,所述头戴式显示器包括立体头戴式显示器,所述立体头戴式显示器被配置成向所述用户显示所述患者的身体的所述一部分的实时立体图像和所述一个或更多个工具的实时立体图像。

用于显微外科手术的机器人系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求以下申请的优先权：

[0003] Glozman等人在2020年7月28日提交的标题为“Robotic system for microsurgical procedures”的第63/057,391号美国临时专利申请，以及

[0004] Glozman等人在2020年10月5日提交的标题为“Control component for microsurgical robotic system”的第63/087,408号美国临时专利申请。

[0005] 上面引用的两个美国临时申请均通过引用并入本文。

[0006] 本发明的实施例的领域

[0007] 本发明的一些应用总体上涉及医疗装置和方法。具体地，本发明的一些应用涉及用于以机器人方式执行显微外科手术(microsurgical procedure)的装置和方法。

[0008] 背景

[0009] 白内障手术包括移除眼睛的已经发生混浊化(称为白内障)的天然晶状体，并用人工晶状体替换。这种手术通常包括许多标准步骤，这些步骤是按次序执行的。

[0010] 在最初的步骤中，患者眼睛周围的面部被消毒(通常用碘溶液)，并且他们的面部被无菌盖布(sterile drape)覆盖，使得只露出眼睛。当消毒和铺盖布已经完成时，通常使用局部麻醉剂对眼睛进行麻醉，该麻醉剂以液体眼药水的形式给药。然后，使用保持上下眼睑张开的眼睑窥器将眼球露出。在眼睛的角膜中切开一个或更多个切口(且通常是两个或三个切口)。切口通常使用被称为角膜刀刀片的专用刀片切开。在这个阶段，通常将利多卡因注射到眼睛的前房中，以便进一步麻醉眼睛。在该步骤之后，通过角膜切口施加粘弹剂注射。执行粘弹剂注射是为了稳定前房，并在手术(procedure)的剩余部分期间帮助维持眼压，且也是为了扩张晶状体囊。

[0011] 在随后的阶段(称为撕囊术)中，晶状体前囊的一部分被移除。已经开发了用于执行撕囊术的各种增强技术，例如激光辅助撕囊术、zepto-撕囊(zepto-rhexis)(利用精密纳米脉冲技术)、和标记辅助撕囊术(其中使用预定义标记来标记角膜，以便指示囊开口的期望尺寸)。

[0012] 随后，通常通过角膜切口注射流体波，以便在称为水分离(hydrodissection)的步骤中解剖白内障的外皮质层。在称为水分层的随后步骤中，通过注射流体波将晶状体的外部较软的外核(epi-nucleus)与内部较硬的内核(endo-nucleus)分离。在下一步骤中，在称为超声乳化的过程中，执行晶状体的超声波乳化。首先使用劈核器(chopper)破碎晶状体的核，随后，通常使用超声波超声乳化探头破碎并移除晶状体的外部碎片。此外，通常，在超声乳化过程中使用单独的工具来执行吸引。当超声乳化完成时，剩余的晶状体皮质(即，晶状体的外层)物质从囊中被抽吸出。在超声乳化和抽吸过程中，被抽吸的流体通常用平衡盐冲洗溶液来代替，以便维持前房中的流体压力。在某些情况下，如果认为有必要，则对囊进行抛光。随后，将人工晶状体(IOL)插入囊内。IOL通常是可折叠的，并且在囊内部展开之前以折叠配置插入。在这个阶段，通常使用先前用于从囊中抽吸流体的吸引设备，将粘弹剂移除。如果有必要，则通过提高眼球(bulbus oculi)(即眼球(globe of the eye))内部的压

力来密封切口,使内部组织压靠在切口的外部组织上,以便迫使切口闭合。

[0013] 概述

[0014] 根据本发明的一些应用,机器人系统用于显微外科手术,例如眼内手术。值得注意的是,眼内手术且尤其是白内障手术的特征在于不同患者之间眼部解剖结构和/或几何结构的差异性相对较小的事实。此外,白内障手术具有相对标准化的程序流程,典型的步骤顺序如上文在背景部分中所述。鉴于与白内障手术相关联的相对标准的尺寸和步骤顺序,对于本发明的一些应用,机器人系统最初被训练成基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0015] 通常,除了成像系统、显示器、和控制部件之外,机器人系统还包括第一机器人单元和第二机器人单元(第一机器人单元和第二机器人单元被配置为保持工具),通过控制部件,医疗保健专业人员能够控制机器人单元。通常,机器人系统包括一个或更多个计算机处理器,该系统的部件和用户(例如,医疗保健专业人员)通过该计算机处理器可操作地彼此交互。

[0016] 对于一些应用,在训练阶段期间,机器人单元的移动(和/或机器人系统的其他方面的控制)至少部分地由用户(例如,医疗保健专业人员)控制。例如,用户可以通过显示器接收患者眼睛和机器人单元和/或布置在其中的工具的图像。通常,这样的图像由成像系统获取。对于一些应用,成像系统是立体成像设备,以及显示器是立体显示器。用户通常基于接收到的图像来执行手术的步骤。对于一些应用,用户通过控制部件(其在下文中将被进一步详细描述)向机器人单元提供命令。通常,这样的命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。例如,命令可以控制超声乳化工具(例如,超声乳化工具的操作模式和/或吸力)和/或注射器工具(例如,哪种流体(例如,粘弹剂流体、盐水等)应该被注射和/或流速是多少)。替代地或附加地,用户可以输入控制成像系统的命令(例如,成像系统的变焦(zoom)、聚焦、和/或x-y定位)。对于一些应用,命令包括控制IOL操纵器工具,例如,使得该工具操纵在眼睛内部的IOL以便将IOL精确定位在眼睛内。

[0017] 对于一些应用,在初始训练阶段之后,机器人系统被用于以至少部分自动化的方式对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤。对于一些这样的应用,使用成像系统获取患者眼睛的至少一个图像。例如,可以在对患者眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤之前或期间获取图像。通常,计算机处理器分析图像以确定患者眼睛的精确尺寸,并且基于训练和所确定的眼睛尺寸来计划白内障手术的步骤。通常,这些步骤包括经由机器人单元控制工具的位置和取向,以及控制手术的附加方面(例如控制工具的功能、和/或成像系统的功能和移动),如上文所述。在这之后,计算机处理器通常驱动机器人单元和/或机器人系统的附加部件以执行计划的步骤。对于一些应用,在手术期间,医疗保健专业人员能够控制机器人单元的移动和/或机器人系统的其他方面。例如,计算机处理器可以计划手术的步骤,并向医疗保健专业人员指示计划的步骤。然后,医疗保健专业人员可以例如通过控制部件来重写(override)和/或细化手术的计划步骤。

[0018] 对于一些应用,白内障手术的以下任何一个步骤(或其一部分、或其组合)是使用本文描述的技术以自动化或半自动化的方式执行的:角膜切开(例如,双平面或三平面切口,通常使用角膜刀刀片进行)、粘弹剂注射(包括通过切口之一插入针头和/或针头的同时

注射和缩回)、撕囊术、水分离、水分层、超声乳化术(包括劈核、和/或使用超声乳化探头进行超声波乳化)、冲洗、抽吸、IOL植入(例如,使用IOL注射系统)、粘弹剂移除、伤口修复、和/或它们的任何组合。

[0019] 对于一些应用,以迭代的方式执行上述步骤:对患者眼睛成像、计划手术步骤、以及移动机器人单元和/或控制机器人系统的其他方面。通常,在执行给定手术步骤的整个过程中,患者眼睛和机器人单元(和/或布置在其中的工具)被实时地连续成像。响应于实时图像,工具的位置和取向被更新以与患者眼睛的实时移动相对应(如下文进一步详细描述)。通常,通过经由机器人单元移动工具来更新工具的位置和取向。替代地或附加地,计算机处理器被配置为检测眼睛何时处于给定位置,并将机器人单元对某些功能的执行进行定时,使得当眼睛处于给定位置时执行这些功能。

[0020] 通常,计算机处理器通过分析由成像系统(如上所述,其通常是立体成像系统)获取的图像来检测患者眼睛在三维中的移动。对于一些应用,响应于检测到的患者眼睛的移动,计算机处理器驱动机器人单元移动工具,使得即使当患者眼睛经历三维中的移动时,工具进入患者眼睛的入口仍然通过切口点。通常,即使当患者眼睛经历三维中的移动时,计算机处理器驱动机器人单元通过以下方式对患者眼睛执行手术的至少一部分:相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。以这种方式,机器人单元起到提供位于切口点处的动态远程运动中心的作用,并且工具的运动以该动态远程运动中心为中心。通常,远程运动中心与眼睛的移动相协调地移动。对于一些应用,由于工具被布置在眼睛内,上述步骤是在患者眼睛保持基本静止时被执行。也就是说,当眼睛保持静止时,计算机处理器驱动机器人单元通过以下方式对患者眼睛执行手术的至少一部分:相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0021] 如上所述,对于一些应用,用户通过控制部件向机器人单元提供命令。通常,控制部件的控制部件臂被配置为由用户移动并且由此控制机器人单元的臂的移动。通常,控制部件包括第一控制部件臂和第二控制部件臂,第一控制部件臂和第二控制部件臂被配置成对应于机器人系统的相应机器人单元。对于一些应用,控制部件臂被配置成在其中保持相应的控制部件工具(以便复制机器人单元的臂)。对于一些应用,每个控制部件臂包括至少三个关节(joints),以及耦合到三个关节中的每一个的相应旋转编码器。旋转编码器被配置为检测相应关节的移动,并响应于此生成旋转编码器数据。对于一些应用,控制部件臂另还包括惯性测量单元,该惯性测量单元包括三轴加速度计、三轴陀螺仪、和/或三轴磁力计。惯性测量单元通常响应于控制部件臂被移动而生成与控制部件臂的三维取向相关的惯性测量单元数据。对于一些应用,计算机处理器接收旋转编码器数据和惯性测量单元数据。通常,计算机处理器基于旋转编码器数据确定控制部件工具的尖端的XYZ位置,以及基于惯性测量单元数据确定控制部件工具的尖端的取向(例如,取向的3个欧拉角和/或取向的另一种表示)。因此,基于旋转编码器数据和惯性测量单元数据的组合,计算机处理器被配置为确定控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向。

[0022] 对于一些应用,计算机处理器驱动机器人单元,使得用于执行手术的实际工具的尖端跟踪控制部件工具的尖端的移动。通常,结合惯性测量单元以检测控制部件臂的三维取向,允许用户使用减少数量的传感器(相对于旋转编码器被用于检测控制部件臂在所有

六个自由度中的运动的情况)来控制机器人单元的移动。此外,通常,减少所使用的旋转编码器的数量往往会降低控制部件的总体复杂性,因为引入额外的旋转编码器将需要额外的线绳(wire)穿过旋转关节。

[0023] 尽管参照白内障手术描述了本发明的一些应用,但是本申请的范围包括将本文描述的装置和方法经适当修改后应用于其他医疗手术。具体地,本文描述的用于其他医疗手术的装置和方法可以应用于其他显微外科手术,例如普通外科手术、矫形外科手术、妇科外科手术、耳鼻喉科手术、神经外科手术、口腔颌面外科手术、整形外科手术、足病外科手术、血管外科手术、和/或使用显微外科技术执行的儿科外科手术。对于一些这样的应用,成像系统包括一个或更多个显微成像单元。

[0024] 应当注意,本申请的范围包括将本文所描述的装置和方法经适当修改后应用于除白内障手术以外的眼内手术。这种手术可包括胶原交联、内皮角膜移植术(例如,DSEK、DMEK、和/或PDEK)、DSO(无移植的角膜后弹力层剥离)、激光辅助角膜移植术、角膜移植术、LASIK/PRK、SMILE、翼状胬肉、眼表癌症治疗、二期IOL植入(secondary IOL placement)(缝合后的二期IOL植入、经结膜的二期IOL植入等)、虹膜修复、IOL复位、IOL置换、浅表角膜切除术、微创青光眼手术(MIGS)、角膜缘干细胞移植、散光性角膜切开术、角膜缘松解切开术(LRI)、羊膜移植(AMT)、青光眼手术(例如,小梁切除术(trabs)、导管植入术(tubes)、微创青光眼手术)、自动板层角膜移植术(ALK)、前玻璃体切除术、和/或平坦部前玻璃体切除术(pars plana anterior vitrectomy)。

[0025] 因此,根据本发明的一些应用,提供了用于使用一个或更多个工具对患者身体的一部分执行手术的装置,该装置包括:

[0026] 机器人单元,该机器人单元包括:

[0027] 工具支架,该工具支架被配置成将该一个或更多个工具牢固地保持在该工具支架上;

[0028] 至少一个多关节臂,该至少一个多关节臂被布置在工具支架的一侧上,并被配置成可移动地支撑工具支架;

[0029] 多个臂马达,该多个臂马达与至少一个多关节臂相关联,该多个臂马达被配置成使工具支架通过至少五个自由度移动;

[0030] 一个或更多个支架马达,该一个或更多个支架马达与工具支架相关联,并且被配置成使工具相对于工具支架通过第六自由度移动。

[0031] 在一些应用中,该至少一个多关节臂包括两个或更多个多关节臂,该两个或更多个多关节臂被布置在该工具支架的单侧上并且被配置成可移动地支撑该工具支架。

[0032] 在一些应用中,多个臂马达被配置成沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架。

[0033] 在一些应用中,多个臂马达被配置成使工具支架通过多于五个自由度移动。在一些应用中,多个臂马达被配置成使工具通过另一个自由度移动。

[0034] 在一些应用中,机器人单元还包括围绕至少一个多关节臂的多个关节放置的一个或更多个张紧缆绳、以及张紧缆绳马达,该张紧缆绳马达被配置成向张紧缆绳施加张力,以便在关节上产生张力,从而减少多关节臂中的反冲(backlash)。

[0035] 在一些应用中,至少一个多关节臂包括被布置在每个关节处的垂直连杆、以及在

每一对相邻的垂直连杆之间延伸的相应的平行梁对,使得即使在臂移动时多关节臂的每个连杆的端部仍保持彼此平行。

[0036] 在一些应用中,该至少一个多关节臂包括滑轮和缆绳系统,该滑轮和缆绳系统包括被布置在该臂的相应关节处的滑轮,该滑轮和缆绳系统被布置成使得即使在该臂移动时该滑轮仍保持面向固定方向。

[0037] 在一些应用中,与工具支架相关联的一个或更多个支架马达被配置成使工具相对于工具支架通过另一个自由度移动。在一些应用中,与工具支架相关联的一个或更多个支架马达被配置成使工具相对于工具支架移动,以便控制物质到患者眼睛中的注射。

[0038] 在一些应用中,该一个或更多个工具包括两个或更多个工具,两个或更多个工具中的每一个都具有彼此不同的相应圆周,并且工具支架被配置成将两个或更多个工具中的每一个牢固地保持在工具支架上。在一些应用中,工具支架被配置成将直径在3mm和20mm之间的工具牢固地保持在工具支架上。在一些应用中,两个或更多个工具包括角膜刀刀片和超声乳化探头,以及工具支架被配置成将角膜刀刀片和超声乳化探头牢固地保持在工具支架上。在一些应用中,两个或更多个工具中的第一工具具有5-8mm的直径,以及两个或更多个工具中的第二工具具有10-14mm的直径。在一些应用中,工具支架被配置成将一个或更多个工具牢固地保持在工具支架上,同时允许一个或更多个工具相对于工具支架滚动。在一些应用中,工具支架被配置成允许一个或更多个工具在相对于中心位置成正/负80度的范围内滚动。

[0039] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用两个或更多个工具对患者身体的一部分执行手术的装置,该两个或更多个工具具有彼此不同的相应圆周,该装置包括:

[0040] 机器人单元,该机器人单元包括:

[0041] 工具支架,该工具支架被配置成可在相应位置之间调节,使得在每个相应位置中,工具支架被配置成将工具中相应的一个工具牢固地保持在工具支架中;

[0042] 至少一个臂,该至少一个臂被布置在该工具支架的一侧上,并且被配置成可移动地支撑该工具支架;

[0043] 一个或更多个支架马达,该一个或更多个支架马达与工具支架相关联,并被配置成在使两个或更多个工具中的每一个相对于工具支架滚动,同时工具被牢固地保持在工具支架内。

[0044] 在一些应用中,工具支架被配置成将直径在3mm和20mm之间的工具牢固地保持在工具支架上。在一些应用中,两个或更多个工具包括角膜刀刀片和超声乳化探头,以及工具支架被配置成将角膜刀刀片和超声乳化探头牢固地保持在工具支架上。在一些应用中,两个或更多个工具中的第一工具具有5-8mm的直径,以及两个或更多个工具中的第二工具具有10-14mm的直径。在一些应用中,一个或更多个支架马达被配置成使两个或更多个工具中的每一个相对于工具支架在相对于中心位置成正/负80度的范围内滚动。

[0045] 在一些应用中,与工具支架相关联的一个或更多个支架马达被配置成使工具中的至少一个相对于工具支架通过另一个自由度移动。在一些应用中,与工具支架相关联的一个或更多个支架马达被配置成使工具中的至少一个相对于工具支架移动,以便控制物质到患者眼睛中的注射。

[0046] 根据本发明的一些应用,还提供了一种用于与机器人系统一起使用的方法,该机

机器人系统被用于眼内手术,该方法包括:

[0047] 基于人眼的相应部分的标准尺寸范围,训练该机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤;以及

[0048] 对该机器人系统进行编程,以通过以下操作对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤:

[0049] 接收眼睛的至少一个图像;

[0050] 根据该至少一个图像确定该眼睛的一个或更多个尺寸;以及

[0051] 基于训练和该眼睛的确定的尺寸来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0052] 在一些应用中,训练机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤包括编写算法,该算法指示与机器人系统相关联的一个或更多个计算机处理器驱动机器人系统的部件来执行白内障手术的一个或更多个步骤。在一些应用中,训练机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤包括使用机器学习来训练机器人系统以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0053] 在一些应用中,

[0054] 该方法还包括根据该至少一个图像确定眼睛的位置和取向,以及

[0055] 执行白内障手术的一个或更多个步骤包括至少部分地基于眼睛的位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0056] 在一些应用中,

[0057] 根据该至少一个图像确定眼睛的位置和取向包括根据该至少一个图像确定眼睛的当前位置和取向,以及

[0058] 执行白内障手术的一个或更多个步骤包括至少部分地基于眼睛的当前位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0059] 在一些应用中,执行白内障手术的一个或更多个步骤包括:

[0060] 在执行白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中:

[0061] 接收患者眼睛和该机器人系统的至少一部分的实时图像,以及

[0062] 响应于该实时图像,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作。

[0063] 在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动移动一个或更多个工具。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制机器人系统的成像系统的一个或更多个部件。

[0064] 在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制超声乳化探头。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制注射器工具。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括检测眼睛何时处于给定位置,以及将动作的执行定时为眼睛处于给定位置时。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制IOL操纵器工具。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制IOL操纵器工具包括控制IOL操纵器工具,使得该工具操纵在患者眼睛内部的IOL,以便将IOL精确定位在患者眼睛内。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动执行动作包括相对于患者眼睛

以期望的方式移动工具的尖端以便执行所述动作,同时保持所述工具进入所述患者眼睛的入口被固定在切口点处。在一些应用中,在考虑患者眼睛的实时移动的同时保持工具进入患者眼睛的入口被固定在切口点处包括提供动态远程运动中心,该远程运动中心位于切口点处,并且工具的运动以该远程运动中心为中心,该远程运动中心与眼睛的移动协调地移动。

[0065] 根据本发明的一些应用,还提供一种装置,该装置包括:

[0066] 机器人系统,该机器人系统被配置用于执行眼内手术;以及

[0067] 至少一个计算机处理器,该至少一个计算机处理器被配置成:

[0068] 在训练阶段期间,接收用于基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤的编程指令,以及在后续阶段期间,通过以下操作来驱动机器人系统对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤:

[0069] 接收该眼睛的至少一个图像,

[0070] 根据该至少一个图像,确定该眼睛的一个或更多个尺寸,以及基于编程指令和该眼睛的确定的尺寸来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0071] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成:

[0072] 根据该至少一个图像确定眼睛的位置和取向,以及

[0073] 至少部分地基于眼睛的位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0074] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成:

[0075] 根据该至少一个图像确定眼睛的当前位置和取向,以及

[0076] 至少部分地基于眼睛的当前位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0077] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成在执行白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中通过以下操作来驱动机器人系统对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤:

[0078] 接收患者眼睛和该机器人系统的至少一部分的实时图像,以及

[0079] 响应于该实时图像,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动驱动机器人系统执行动作。

[0080] 在一些应用中,该装置与一个或更多个工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统自动移动一个或更多个工具。在一些应用中,该装置与成像系统一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制成像系统的一个或更多个部件。在一些应用中,该装置与超声乳化探头一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制超声乳化探头。

[0081] 在一些应用中,该装置与注射器工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制注射器工具。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成检测眼睛何时处于给定位置,并驱动机器人系统将动作的执行定时为眼睛处于给定位置时。在一些应用中,该装置与IOL操纵器工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制IOL操纵器工具。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统控制IOL操纵器工具,使得该工具操纵在患者眼睛内部的IOL,以便将IOL精确定位在患者

眼睛内。

[0082] 在一些应用中,该装置与工具一起使用,以及该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统相对于患者眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行动作,同时保持工具进入患者眼睛的入口被固定在切口点处。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统提供动态远程运动中心,该远程运动中心位于切口点处并且工具的运动以该远程运动中心为中心,该远程运动中心与眼睛的移动协调地移动。

[0083] 根据本发明的一些应用,还提供一种装置,该装置包括:

[0084] 机器人系统,该机器人系统被配置用于执行眼内手术;以及

[0085] 一个或更多个计算机处理器,该一个或更多个计算机处理器被配置成:

[0086] 在训练阶段期间,通过机器学习被训练,以基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤,以及

[0087] 在后续阶段期间,通过以下操作来驱动机器人系统对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤:

[0088] 接收该眼睛的至少一个图像,

[0089] 根据该至少一个图像确定该眼睛的一个或更多个尺寸,以及

[0090] 基于编程指令和眼睛的确定的尺寸来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0091] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成:

[0092] 根据该至少一个图像确定该眼睛的位置和取向,以及

[0093] 至少部分地基于眼睛的位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0094] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成:

[0095] 根据该至少一个图像确定眼睛的当前位置和取向,以及

[0096] 至少部分地基于眼睛的当前位置和取向来执行白内障手术的一个或更多个步骤。

[0097] 在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成在执行白内障手术的一个或更多个步骤的整个过程中通过以下操作来驱动机器人系统对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤:

[0098] 接收该患者的眼睛和该机器人系统的至少一部分的实时图像,以及

[0099] 响应于该实时图像,在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动驱动机器人系统执行动作。

[0100] 在一些应用中,该装置与一个或更多个工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统自动移动一个或更多个工具。在一些应用中,该装置与成像系统一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时自动控制成像系统的一个或更多个部件。

[0101] 在一些应用中,该装置与超声乳化探头一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制超声乳化探头。在一些应用中,该装置与注射器工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制注射器工具。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成检测眼睛何时处于给定位置,并驱动机器人系统将动作的执行定时为眼睛处于给定位置时。在一些应用中,该装置与IOL操纵器工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成在考虑患者眼睛的实时移动的同时驱动机器人系统控制IOL操纵器工

具。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统控制IOL操纵器工具,使得该工具操纵在患者眼睛内部的IOL,以便将IOL精确定位在患者眼睛内。

[0102] 在一些应用中,该装置与工具一起使用,并且该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统相对于患者眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行动作,同时保持工具进入患者眼睛的入口被固定在切口点处。在一些应用中,该至少一个计算机处理器被配置成驱动机器人系统提供动态远程运动中心,该远程运动中心位于切口点处并且工具的运动以该远程运动中心为中心,该远程运动中心与眼睛的运动协调地移动。

[0103] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用具有尖端的工具对患者的眼睛执行眼内手术的装置,该装置包括:

[0104] 机器人单元,该机器人单元包括:

[0105] 工具支架,该工具支架被配置成将工具牢固地保持在该工具支架上,并且被配置成将工具插入到患者眼睛中使得工具进入患者眼睛的入口是通过切口点,并且工具的尖端被布置在患者眼睛内;

[0106] 一个或更多个多关节臂,该一个或更多个多关节臂被布置在该工具支架的单侧上,并被配置成可移动地支撑该工具支架;以及

[0107] 计算机处理器,该计算机处理器被配置成驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处来对患者眼睛执行手术的至少一部分。

[0108] 在一些应用中,该装置还包括成像设备,该成像设备被配置成获取患者眼睛的图像,该计算机处理器被配置成:

[0109] 接收患者眼睛的图像,

[0110] 通过分析该图像来检测患者眼睛的三维移动,以及

[0111] 响应于患者眼睛的检测到的移动,驱动机器人单元相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0112] 在一些应用中,一个或更多个多关节臂被配置成沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架,并且计算机处理器被配置成驱动一个或更多个多关节臂沿着x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0113] 在一些应用中,一个或更多个多关节臂被配置成通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动工具支架,以及计算机处理器被配置成驱动一个或更多个多关节臂通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。在一些应用中,一个或更多个多关节臂被配置成通过相对于起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动工具支架,并且计算机处理器被配置成驱动一个或更多个多关节臂通过相对于起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0114] 在一些应用中,工具支架被配置成允许工具相对于工具支架滚动,并且计算机处理器被配置成驱动工具相对于工具支架滚动,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。在一些应用中,工具支架被配置成允许工具通过相对于中心位置成正/负80度的

滚动角旋转来相对于工具支架滚动,并且计算机处理器被配置成驱动工具通过相对于中心位置成正/负80度的滚动角旋转来相对于工具支架滚动,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0115] 在一些应用中,该计算机处理器被配置成驱动机器人单元提供动态远程运动中心,该动态远程运动中心位于切口点处,并且工具的运动以该动态远程运动中心为中心。在一些应用中,该计算机处理器被配置成驱动机器人单元通过提供与眼睛的移动协调地移动的动态远程运动中心来提供动态远程运动中心,从而即使在患者眼睛经历三维移动时仍保持工具进入患者眼睛的入口被固定在切口点处。

[0116] 根据本发明的一些应用,还提供了一种用于使用具有尖端的工具对患者眼睛执行眼内手术的方法,该方法包括:

[0117] 将该工具固定在机器人单元的工具支架内;

[0118] 驱动该机器人单元将该工具插入到患者眼睛中,使得该工具进入患者眼睛的入口是经由切口点,并且该工具的尖端被布置在患者眼睛内;以及

[0119] 使用计算机处理器,驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处来对患者眼睛执行手术的至少一部分。

[0120] 在一些应用中,该方法还包括使用计算机处理器:

[0121] 接收患者眼睛的图像;

[0122] 通过分析图像,检测患者眼睛的三维移动;以及

[0123] 响应于患者眼睛的检测到的移动,驱动机器人单元相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0124] 在一些应用中,驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分来对患者眼睛执行手术的至少一部分包括驱动机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0125] 在一些应用中,驱动机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架包括驱动机器人单元通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。在一些应用中,驱动机器人单元沿x轴、y轴和z轴以及通过俯仰角旋转和偏航角旋转来移动工具支架包括驱动机器人单元通过相对于起始俯仰成60度的俯仰角旋转来移动工具支架,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0126] 在一些应用中,驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分来对患者眼睛执行手术的至少一部分包括驱动工具相对于工具支架滚动,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。在一些应用中,驱动工具相对于工具支架滚动包括驱动工具通过相对于中心位置成正/负80度的滚动角旋转来相对于工具支架滚动,同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处。

[0127] 在一些应用中,驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处来对患者眼睛

执行手术的至少一部分包括提供动态远程运动中心,该动态远程运动中心位于切口点处,并且工具的运动以该动态远程运动中心为中心。在一些应用中,提供动态远程运动中心包括提供与眼睛的移动协调地移动的动态远程运动中心,从而即使在患者眼睛经历三维移动时也保持工具进入患者眼睛的入口被固定在切口点处。

[0128] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用一个或更多个工具对患者身体的一部分执行手术的装置,该装置包括:

[0129] 机器人单元,该机器人单元被配置成使工具通过六个自由度移动;以及

[0130] 控制部件,该控制部件包括被配置成由用户移动的至少一个控制部件臂,该控制部件臂包括:

[0131] 控制部件工具,该控制部件工具限定尖端;

[0132] 至少六个关节;

[0133] 三个旋转编码器,该三个旋转编码器中的每一个都耦合到该关节中相应的关节,并且被配置成检测相应的关节的移动,并且响应于检测到该相应的关节的移动,生成指示该控制部件工具的尖端的XYZ位置的旋转编码器数据;以及

[0134] 惯性测量单元,该惯性测量单元包括选自以下项组成的组中的至少一个传感器:三轴加速度计、三轴陀螺仪、和三轴磁力计,

[0135] 该惯性测量单元被配置成生成指示控制部件工具的尖端的取向的惯性测量单元数据;以及

[0136] 计算机处理器,该计算机处理器被配置成:

[0137] 接收旋转编码器数据和惯性测量单元数据,

[0138] 基于该旋转编码器数据和该惯性测量单元数据的组合,确定该控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向,以及

[0139] 响应于确定该控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向,移动机器人单元。

[0140] 在一些应用中,控制部件包括一个或更多个手腕支撑元件,该手腕支撑元件被配置成在控制部件臂的移动期间支撑用户的手腕。

[0141] 在一些应用中,控制部件包括内置的立体显示器,该内置的立体显示器被配置成向用户显示该患者身体的该一部分的实时立体图像和一个或更多个工具的实时立体图像。

[0142] 在一些应用中:

[0143] 该装置与至少第一工具和第二工具一起使用;

[0144] 该机器人单元包括第一部分和第二部分,该第一部分被配置成使该第一工具通过六个自由度移动,该第二部分被配置成使该第二工具通过六个自由度移动;

[0145] 该至少一个控制部件臂包括两个控制部件臂,该控制部件臂中的第一控制部件臂被配置成由用户的右手移动,该控制部件臂中的第二控制部件臂被配置成由用户的左手移动,以及

[0146] 该计算机处理器被配置成响应于该控制部件臂中的第一控制部件臂的移动来控制该机器人单元的第一部分,以及响应于该控制部件臂中的第二控制部件臂的移动来控制该机器人单元的第二部分。

[0147] 在一些应用中,第一控制部件臂和第二控制部件臂相对于彼此不对称。

[0148] 在一些应用中,该装置还包括头戴式显示器,该头戴式显示器被配置成向用户显

示该患者身体的该一部分的实时图像和该一个或更多个工具的实时图像。

[0149] 在一些应用中,该头戴式显示器包括立体头戴式显示器,该立体头戴式显示器被配置成向该用户显示该患者身体的该一部分的实时立体图像和该一个或更多个工具的实时立体图像。

[0150] 根据结合附图进行的对本发明的实施例的以下详细描述,本发明将被更完全地理解,附图中:

[0151] 附图简述

[0152] 图1A是根据本发明的一些应用的机器人系统的示意图,该机器人系统被配置用于显微外科手术,例如眼内手术;

[0153] 图1B是根据本发明的一些应用的被配置用于眼内手术的机器人系统的第一机器人单元和第二机器人单元的示意图;

[0154] 图2是根据本发明的一些应用的如图1B所示的机器人单元的示意图,该机器人单元是在没有患者解剖结构的情况下示出的;

[0155] 图3A、图3B、图3C和图3D是根据本发明的一些应用的机器人单元的工具支架的示意图;

[0156] 图4是根据本发明的一些应用的包括张紧缆绳(tensioning cable)的机器人单元的示意图;

[0157] 图5A、图5B和图5C是示出根据本发明的一些应用的工具的运动范围的示意图,该工具被配置成由机器人单元移动,以便符合眼科医生在手动执行的眼内手术期间移动手术工具的正常运动范围;

[0158] 图6A和图6B是根据本发明的一些应用的用于机器人系统中的机器人单元的示意图;

[0159] 图7是根据本发明的一些应用的控制部件臂的示意图,该控制部件臂被配置成由用户移动并由此控制机器人单元的臂的移动;

[0160] 图8是根据本发明的一些应用的控制部件的示意图;

[0161] 图9A和图9B是根据本发明的一些应用的包括内置的立体视觉系统的控制部件的相应视图的示意图;以及

[0162] 图10是根据本发明的一些应用的控制部件和用于与控制部件一起使用的头戴式显示器的示意图。

具体实施方式

[0163] 现在参考图1A,其是根据本发明的一些应用的机器人系统10的示意图,该机器人系统10被配置用于显微外科手术,例如眼内手术。还参考图1B,其是根据本发明的一些应用的机器人系统的第一机器人单元20和第二机器人单元20的示意图。应当注意,在图1B中示出的机器人单元20的示例不同于在图1A中示出的机器人单元20的示例。通常,除了成像系统22、显示器24和控制部件26之外,机器人系统10还包括第一机器人单元20和第二机器人单元20(它们被配置成保持工具21),用户(例如,医疗保健专业人员)通过控制部件26能够控制机器人单元20。通常,机器人系统10包括一个或更多个计算机处理器28,该系统的部件和用户(例如,医疗保健专业人员)通过该计算机处理器28可操作地彼此交互。对于一些应

用,如图所示,第一机器人单元20和第二机器人单元20被支撑在支撑表面27上。本申请的范围包括将第一机器人单元和第二机器人单元相对于彼此安装在各种不同位置中的任何位置。

[0164] 应当注意,眼内手术且特别是白内障手术由这样的事实表征,即一个患者与另一个患者的眼部解剖结构和/或几何结构的差异性相对较小。此外,白内障手术具有相对标准化的程序流程,典型的步骤顺序如上文在背景部分中所述。鉴于与白内障手术相关联的相对标准的尺寸和步骤顺序,对于本发明的一些应用,机器人系统10最初被训练成基于人眼的相应部分的标准尺寸范围以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤。通常,在训练阶段期间,机器人单元的移动(和/或机器人系统的其他方面的控制)至少部分地由用户(例如,医疗保健专业人员)控制。例如,用户可以通过显示器24接收患者眼睛的图像和机器人单元和/或布置在机器人单元中的工具的图像。通常,这样的图像由成像系统22获取。对于一些应用,成像系统22是立体成像设备,以及显示器24是立体显示器。用户通常基于接收到的图像执行手术的步骤。对于一些应用,用户通过控制部件26(其将在下文中被进一步详细描述)向机器人单元提供命令。通常,这种命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。例如,这些命令可以控制超声乳化工具(例如,超声乳化工具的操作模式和/或吸力)和/或注射器工具(例如,哪种流体(例如,粘弹剂流体、盐水等)应该被注射和/或流速是多少)。替代地或附加地,用户可以输入控制成像系统的命令(例如,成像系统的变焦、聚焦、和/或x-y定位)。对于一些应用,命令包括控制IOL操纵器工具,例如,使得该工具操纵在眼睛内部的IOL,以便将IOL精确定位在眼睛内。

[0165] 对于一些应用,机器人系统10的计算机处理器28分析用户(例如,医疗保健专业人员)提供的命令,以便执行手术的相应步骤。通常,基于对许多这样的手术的分析,计算机处理器(和/或与该计算机处理器相关联的另一计算机处理器)基于人眼的相应部分的标准尺寸范围,确定如何以自动化方式执行白内障手术的一个或更多个步骤。对于一些应用,使用机器学习算法(例如线性回归、逻辑回归、决策树、支持向量机、朴素贝叶斯、kNN、K-均值、随机森林、降维算法、和/或梯度提升算法(Gradient Boosting algorithms))来执行上述步骤。应当注意,通常,不使用单个机器人系统和单个相关联的计算机处理器来执行训练。而是,许多这样的机器人系统通常提供由集中式计算机处理器(或计算机处理器的网络)处理的数据。另外要注意的是,通常情况下,即使在初始训练阶段之后,随着对更多患者执行附加手术,机器人系统会继续接收进一步的训练数据。

[0166] 对于一些应用,计算机处理器至少部分地由一个或更多个人类程序员训练,通过人类程序员向计算机处理器提供关于如何执行相应步骤(和/或步骤的部分和/或步骤的组合)的编程指令。例如,一个或更多个人类程序员可以分析对具有标准尺寸范围的人眼部分执行的手术。基于该分析,一个或更多个人类程序员可以分析在执行手术的相应步骤(和/或步骤的部分和/或步骤的组合)时的工具经历的运动、工具的其他功能、和/或机器人系统的其他部分的功能(例如,成像系统经历的功能和/或移动)。然后,人类程序员可以编写算法,该算法指示一个或更多个计算机处理器驱动机器人单元(和/或机器人系统的其他部件)自动执行运动和/或功能。对于一些应用,算法的至少一部分由分析输入的计算机处理器编写,该输入经由控制部件26被输入到计算机处理器。

[0167] 对于一些应用,在初始训练阶段之后,机器人系统10被用于以至少部分自动化的方式对给定患者的眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤。对于一些这样的应用,使用成像系统22获取患者眼睛的至少一个图像。例如,可以在对患者眼睛执行白内障手术的一个或更多个步骤之前或期间获取图像。通常,计算机处理器分析图像以确定患者眼睛的精确尺寸,以及基于训练和所确定的眼睛尺寸来计划白内障手术的步骤。对于一些应用,进一步分析图像以确定眼睛的位置和/或取向,并且基于所确定的眼睛的位置和/或取向来额外计划白内障手术的步骤。通常,计划白内障手术的步骤包括计划通过机器人单元控制工具的位置和取向以及控制手术的附加方面(例如,控制工具的功能、和/或控制成像系统的功能和/或定位),如上文所述。在已经进行了计划之后,计算机处理器通常驱动机器人单元和/或机器人系统的附加部件执行所计划的步骤。对于一些应用,在手术期间,用户(例如,医疗保健专业人员)能够控制机器人单元的移动和/或机器人系统的其他方面。例如,计算机处理器可以计划手术的步骤并(例如,通过显示器24)向用户指示所计划的步骤。然后,用户可以例如通过控制部件26来重写和/或细化手术的所计划的步骤。

[0168] 对于一些应用,白内障手术的以下步骤中的任何一个步骤(或步骤的一部分、和/或步骤的组合)是使用本文描述的技术以自动或半自动化方式执行的:角膜切开(例如,双平面或三平面切口,通常使用角膜刀刀片)、粘弹剂注射(包括通过切口之一插入针头和/或针头的同时注射和缩回)、撕囊术、水分离、水分层、超声乳化术(包括劈核、和/或使用超声乳化探头进行超声波乳化)、冲洗、抽吸、IOL植入(例如,使用IOL注射系统)、粘弹剂移除、伤口修复、和/或它们的任何组合。对于一些应用,上述步骤的执行包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向、和/或控制由工具执行的动作。例如,控制超声乳化工具(例如,超声乳化工具的操作模式和/或吸力)和/或注射器工具(例如,哪种流体(例如,粘弹剂流体、盐水等)应该被注射和/或流速是多少)。替代地或附加地,上述步骤的执行可以包括控制成像系统(例如,成像系统的变焦、聚焦和/或x-y定位)。对于一些应用,上述步骤的执行包括控制IOL操纵器工具,例如,使得该工具操纵在眼睛内部的IOL,以便将IOL精确定位在眼睛内。

[0169] 对于一些应用,以迭代的方式执行对患者眼睛成像、计划手术步骤以及移动机器人单元和/或控制机器人系统的其他方面的上述步骤。典型地,在给定手术步骤被执行的整个过程中,患者眼睛和机器人单元(和/或布置在其中的工具)被实时地连续成像。响应于实时图像,工具的位置和取向被自动更新以与患者眼睛的实时移动相对应(如下文参考图5A-图5C进一步详细描述)。典型地,通过经由机器人单元移动工具来更新工具的位置和取向。替代地或附加地,计算机处理器被配置为检测眼睛何时处于给定位置,并将机器人单元对某些功能的执行进行定时,使得当眼睛处于给定位置时执行这些功能。

[0170] 现在参考图2,它是根据本发明的一些应用的如图1B所示的机器人单元20的示意图(在没有患者解剖结构的情况下示出了机器人单元)。对于一些应用,机器人单元中的每一个包括工具支架30,该工具支架30被配置成在其上牢固地保持工具并将工具插入患者眼睛中,使得工具是通过切口点进入患者眼睛中的,并且工具的尖端被布置在患者眼睛内。对于一些应用,两个多关节臂32被布置在工具支架的单侧上,并被配置成可移动地支撑工具支架。

[0171] 通常,计算机处理器通过分析由成像系统22(如上所述,其通常是立体成像系统)

获取的图像来检测患者眼睛的三维移动。对于一些应用,响应于检测到的患者眼睛的移动,计算机处理器驱动机器人单元移动工具,使得即使在患者眼睛经历三维移动时工具仍然保持通过切口点进入患者眼睛中。通常,即使当患者眼睛经历三维移动时,计算机处理器驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处来对患者眼睛执行手术的至少一部分。以这种方式,机器人单元起到提供动态远程运动中心的作用,该动态远程运动中心位于切口点处,并且工具的运动以该动态远程运动中心为中心。通常,远程运动中心与眼睛的移动相协调地移动。替代地或附加地,计算机处理器被配置成检测眼睛何时处于给定位置,并将机器人单元对某些功能的执行进行定时,使得当眼睛处于给定位置时执行这些功能。对于一些应用,由于工具被布置在眼睛内,上述步骤是在患者眼睛保持基本静止时执行的。也就是说,当眼睛保持静止时,计算机处理器驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处来执行对患者眼睛执行手术的至少一部分。

[0172] 通常,多个臂马达34与两个多关节臂32相关联。多个臂马达使工具支架30通过五个自由度移动(例如,沿x轴、y轴和z轴的移动以及俯仰和偏航)。对于一些应用,多个臂马达被配置成使工具支架(和/或工具)通过多于五个自由度移动。此外,通常,一个或更多个支架马达36(在图3A和图3B中更清楚地示出)与工具支架相关联,并且被配置成使工具相对于工具支架通过第六自由度移动(例如,滚动)。对于一些应用,与工具支架相关联的一个或更多个支架马达被配置成使工具相对于工具支架通过另一个自由度移动。

[0173] 现在参考图3A、图3B、图3C和图3D,它们是根据本发明的一些应用的机器人单元20的工具支架30的相应视图的示意图。通常,工具支架30被配置成使得它被配置成容纳多个不同尺寸的工具。对于一些应用,工具支架包括相对于彼此被布置在固定位置的第一辊组40和第二辊组42、以及相对于第一辊组和第二辊组可移动的第三辊44。通常,辊被安装在第一支撑元件50(第一支撑元件50支撑第一辊组和第二辊组)和第二支撑元件52(第二支撑元件52支撑第三辊)上,以及第二支撑元件相对于第一支撑元件可枢转地安装,使得第三辊44相对于第一辊组和第二辊组可移动。因此,如所示,工具支架被配置成通过第三辊相对于第一辊和第二辊移动,使得第一辊、第二辊和第三辊的不同组合包围相应圆周,而牢固地保持彼此具有不同圆周的工具有。例如,具有相对较小圆周的工具有可以被保持在第一辊组和第三辊之间(如图3A和图3C所示),而具有较大圆周的工具有可以被保持在第二辊组和第三辊之间(如图3B和图3D所示)。工具支架通常被配置成以使得每个工具在被布置在工具支架内部时可滚动的方式,牢固地保持彼此具有不同直径的工具。对于一些应用,工具支架被配置成牢固地保持直径范围为3mm-20mm(例如6mm-15mm)的工具。例如,图3A和图3C示出了牢固地保持角膜刀刀片46(其通常具有5-8mm的直径)的工具支架,而图3B和图3D示出了牢固地保持超声乳化探头48(其通常具有10-14mm的直径)的工具支架。对于一些应用,工具支架以不同的方式设计,以允许工具支架(a)牢固地保持彼此具有不同圆周的工具有,同时(b)每个工具在被布置在工具支架内部时是可滚动的。

[0174] 如上所述,一个或更多个支架马达36与工具支架相关联,并且被配置成使工具相对于工具支架通过第六自由度移动(例如,滚动)。对于一些应用,支架马达通过经由齿轮机构58(在图3C中可见的齿轮机构58)旋转第四辊54来旋转工具。

[0175] 如上所述,通常,辊被安装在支撑元件50和52上。对于一些应用,支撑表面和辊可与机器人单元的其他部分分离,并且被配置成在不同患者的使用之间进行消毒,和/或被配置成在被丢弃之前用于单个手术。对于一些应用,机器人单元定义了第七自由度,该第七自由度通常与工具支架相关联,并且控制注射器活塞(syringe piston)(即注射器柱塞(syringe plunger))的移动,以便控制流体、盐水、粘弹剂等注射。替代地或附加地,机器人单元包括与工具21的附加功能相关联的附加自由度。

[0176] 现在参考图4,图4是根据本发明的一些应用的包括一个或更多个张紧缆绳60的机器人单元20的示意图。注意,图4中所示的机器人单元20的示例与图1A中所示的机器人单元20的示例大体上相似,而与图1B和图2中所示的机器人单元20的示例不同。在图4所示的示例中,在工具支架30的每一侧上布置有相应的多关节臂62。一般而言,如图4所示的机器人单元20的特征和所描述的与其一起使用的技术可应用于机器人单元20的其他示例,反之亦然。

[0177] 通常情况下,机器人单元的移动通过马达和齿轮机构来控制。一般而言,即使没有对齿轮机构的输入,这种齿轮机构也具有一定的移动自由,以防止齿轮机构卡住。通常,这可能在齿轮机构移动后导致齿轮机构反冲,这可导致布置在机器人单元内的工具相对于患者眼睛的不精确定位。因此,对于一些应用,一个或更多个张紧缆绳围绕多关节臂的若干个关节64放置,以便在关节上产生张力。对于一些应用,张紧缆绳马达66被配置成向张紧缆绳施加张力。通常,张紧缆绳马达66以恒定的电流和/或扭矩施加张力(例如,通过使用恒定扭矩马达作为张紧缆绳马达66),以便在张紧缆绳上产生恒定张力。通常,相对于不使用张紧缆绳的情况,这减少(或消除)了多关节臂中的反冲。替代地或附加地,使用其他技术来减少(或消除)多关节臂中的反冲。例如,可以使用防反冲齿轮机构。

[0178] 现在参考图5A、图5B和图5C,它们是示出根据本发明的一些应用的工具的运动范围的示意图,该工具被配置成由机器人单元20移动,以便符合眼科医生在手动执行的眼内手术期间移动手术工具的正常运动范围。参照图5A,通常在其内执行白内障手术的工作空间的直径D1通常在10mm和15mm之间,例如大约12mm。通常,在手术过程中,该工作空间将在具有直径D2的圆内移动,该直径D2在20mm和30mm之间,例如大约25mm。这是由于眼睛在该圆内移动,如指示眼睛在每个方向上的运动范围的虚线圆所示。参照图5B,通常在其内执行白内障手术的工作空间的深度通常在10mm和20mm之间,例如大约15mm。

[0179] 对于一些应用,机器人系统10包括第一机器人单元20和第二机器人单元20,以便复制标准外科实践,在该标准外科实践中,眼科医生通过在她/他的左手和右手中握持相应工具来执行手术,每个工具从相应角度插入眼睛。以这种方式使用第一机器人单元和第二机器人单元在图1A和图1B中被示出。如上所述,通常,机器人单元的工具支架可通过至少五个自由度移动。对于一些应用,机器人单元被配置成使工具支架通过五个自由度移动,使得工具沿x轴、y轴和z轴移动以及通过俯仰角移动和偏航角移动来移动。参考图5C,通常,机器人单元被配置成使工具支架移动通过相对于中心取向成正/负25度的偏航角旋转 α 。对于一些应用,机器人单元被配置成使工具支架移动通过60度的俯仰角旋转 β 。通常,工具支架移动通过俯仰角旋转 β 是从相对于x-y平面成大约20度(例如,在15度和25度之间)的起始俯仰 γ 开始执行的(如图5C所示)。此外,通常,机器人单元被配置成使工具相对于工具支架通过第六自由度移动(例如,滚动)。对于一些应用,机器人单元被配置成使工具相对于工具支架

滚动,使得工具具有相对于中心位置成正/负80度的滚动角旋转 θ 的范围,如图5C所示。

[0180] 通常,在执行给定手术步骤的整个过程中,患者眼睛和机器人单元(和/或布置在其中的工具)被实时地连续成像。响应于实时图像,工具的位置和取向被更新以与患者眼睛的实时移动相对应(如下文进一步详细描述)。通常,通过经由机器人单元移动工具来更新工具的位置和取向。对于一些应用,在手术(或其步骤)期间,计算机处理器通过分析由成像系统22(如上所述,成像系统22通常是立体成像系统)获取的图像来检测患者眼睛的三维移动。对于一些这样的应用,响应于检测到的患者眼睛的移动,计算机处理器驱动机器人单元移动工具,使得即使在患者眼睛经历三维移动时,工具仍然保持通过切口点进入患者眼睛中。通常,即使在患者眼睛经历三维移动时,计算机处理器驱动机器人单元通过相对于眼睛以期望的方式移动工具的尖端以便执行手术的一部分、同时工具进入患者眼睛的入口被保持固定在切口点处,来对患者眼睛执行手术的至少一部分。替代地或附加地,计算机处理器被配置成检测眼睛何时处于给定位置,并将机器人单元对某些功能的执行进行定时,使得当眼睛处于给定位置时执行这些功能。

[0181] 现在参考图6A和图6B,图6A和图6B是根据本发明的一些应用的用于机器人系统10的机器人单元20的替代示例的示意图。可以观察到,在图6A-图6B中,机器人系统的多关节臂32中的至少一个多关节臂的每个杆80包括在垂直连杆84之间延伸的两个平行梁82,垂直连杆84被布置在每个关节处。对于一些应用,平行梁和垂直连杆的布置导致即使在臂移动时给定多关节臂的每个连杆的端部也保持彼此平行(如从图6A到图6B的过渡所示)。进而,这防止工具支架相对于支撑表面27滚动。对于一些应用,每个多关节臂以上述方式配置。替代地,多关节臂中仅一个多关节臂以上述方式配置。

[0182] 再次参考图2,其示出了根据本发明的一些应用的机器人单元20。对于一些应用,作为图6A-图6B中所示布置的替代方案,使用如图2中所示的滑轮和缆绳系统来稳定多关节臂中的一个或更多个多关节臂。通常,多关节臂包括滑轮86,滑轮86被布置在臂的最靠近支撑表面27的端部处。滑轮86被保持在相对于支撑表面27固定且不可旋转的位置中。附加滑轮88被布置在多关节臂的每个附加连杆84(在图6中示出)处。具有固定长度的缆绳环(a loop of cable)87通常被布置在每个相邻的一对滑轮(包括滑轮86和附加滑轮88)之间。附加滑轮可以围绕其轴线自由旋转。然而,由于缆绳环的长度是固定的,并且滑轮86被保持在相对于支撑表面27固定且不可旋转的位置中,这导致即使在多关节臂移动时附加滑轮88也面向固定方向(由箭头89指示)。对于一些应用,上述布置导致防止工具支架相对于支撑表面27滚动。对于一些应用,每个多关节臂以上述方式配置。替代地,多关节臂中仅一个多关节臂以上述方式配置。

[0183] 注意,由于平行梁彼此碰撞,使用平行梁系统来防止工具支架相对于支撑表面27滚动(如图6A-图6B所示)通常会限制多关节臂的运动范围。例如,多关节臂通常不能比图6B中所示的配置折叠得更多。相比而言,当臂包括如图2所示的滑轮和缆绳系统时,臂不以这种方式受到限制。通常,当如图2所示进行配置时,臂的相邻部分可以折叠成几乎彼此平行(例如,使得臂的相邻部分以相对于彼此小于10度的角度布置)。

[0184] 现在参考图7,图7是根据本发明的一些应用的控制部件26的控制部件臂70的示意图,该控制部件26被配置成由用户移动并由此控制机器人单元20的臂的运动。根据图1A-图1B的上面的描述,对于一些应用,控制部件26被用于在训练阶段期间(当机器人系统被训练

以执行手术(和/或其步骤时))控制机器人单元。替代地或附加地,控制部件26被用于在随后对给定患者执行手术时控制机器人单元,例如,以便重写和/或细化机器人系统将要执行的手术的步骤。此外,替代地或附加地,默认情况下,控制部件被用于在对给定患者执行手术时控制机器人单元的臂的移动。

[0185] 通常,控制部件包括第一控制部件臂70和第二控制部件臂70,第一控制部件臂70和第二控制部件臂70被配置成对应于机器人系统的相应机器人单元20,如图1A所示。对于一些应用,控制部件臂被配置成在其中保持相应的控制部件工具71(以便复制机器人单元的臂),也如图1A所示。(在图7中,仅示出了一个控制部件臂,并且该控制部件臂是在没有控制部件工具的情况下示出的。)

[0186] 对于一些应用,每个控制部件臂70包括至少三个关节72以及耦合到三个关节中的每一个的相应旋转编码器74。旋转编码器被配置成检测相应关节的移动,并响应于该移动而生成旋转编码器数据。对于一些应用,控制部件臂另外包括惯性测量单元76,惯性测量单元76包括三轴加速度计、三轴陀螺仪、和/或三轴磁力计。惯性测量单元通常响应于控制部件臂被移动,生成与控制部件臂的三维取向相关的惯性测量单元数据。对于一些应用,计算机处理器28接收旋转编码器数据和惯性测量单元数据。通常,计算机处理器基于旋转编码器数据确定控制部件工具71的尖端的XYZ位置,并基于惯性测量单元数据确定控制部件工具71的尖端的取向(例如,取向的3个欧拉角和/或取向的另一种表示)。因此,计算机处理器被配置成基于旋转编码器数据和惯性测量单元数据的组合,确定控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向。

[0187] 对于一些应用,计算机处理器驱动机器人单元,使得用于执行手术的实际工具的尖端跟踪控制部件工具的尖端的移动。通常,结合惯性测量单元以检测控制部件臂的三维取向,允许用户使用减少数量的传感器(相对于旋转编码器被用于检测控制部件臂在所有六个自由度中的运动的情况)来控制机器人单元的移动。此外,通常,减少所使用的旋转编码器的数量往往会降低控制部件的总体复杂性,因为引入额外的旋转编码器将需要额外的线绳穿过旋转关节。

[0188] 现在参考图8,图8是根据本发明的一些应用的控制部件26的示意图。对于某些应用,控制部件包括一个或更多个人体工程学特征。例如,控制部件可以包括手腕支撑元件90,例如垫子或凝胶填充垫。对于一些应用,左控制部件臂70和右控制部件臂70被不对称地设计,使得用户能够以舒适的方式用他们的左手和右手抓握和移动臂。如上所述,通常,控制部件臂用于控制机器人单元20的臂的移动。例如,如所描述的,计算机处理器可以被配置成基于旋转编码器数据和惯性测量单元数据的组合,确定控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向。对于某些应用,控制部件臂包括附加控件。例如,控制部件臂可以包括按钮92,按钮92被配置成激活工具,例如镊子。

[0189] 现在参考图9A和图9B,图9A和图9B是根据本发明的一些应用的控制部件26的相应视图的示意图,该控制部件包括内置的立体视觉系统94。如上所述,对于一些应用,成像系统22是立体成像设备。对于一些这样的应用,基于由成像系统获取的图像,实时立体图像在内置于控制部件中的立体系统94上显示给用户。基于接收到的图像,通常,用户通常通过经由控制部件26的控制臂70向机器人单元提供命令来执行手术的步骤。

[0190] 现在参考图10,图10是根据本发明的一些应用的控制部件26以及用于与控制部件

一起使用的头戴式显示器96的示意图。如上所述,对于一些应用,基于由成像系统22获取的图像,向用户显示实时图像。对于一些应用,图像被显示在头戴式显示器96上。通常,成像系统获取立体图像,并且头戴式显示器向用户显示立体图像。基于接收到的图像,通常,用户通常通过经由控制部件26的控制臂70向机器人单元提供命令来执行手术的步骤。

[0191] 尽管参照白内障手术描述了本发明的一些应用,但是本申请的范围包括将本文描述的装置和方法经适当修改后应用于其他医疗手术。具体地,本文描述的用于其他医疗手术的装置和方法可以应用于其他显微外科手术,例如普通外科手术、矫形外科手术、妇科外科手术、耳鼻喉科手术、神经外科手术、口腔颌面外科手术、整形外科手术、足病外科手术、血管外科手术、和/或使用显微外科技术执行的儿科外科手术。对于一些这样的应用,成像系统包括一个或更多个显微成像单元。

[0192] 应当注意,本申请的范围包括将本文描述的装置和方法经适当修改后应用于除白内障外科手术以外的眼内手术。这种手术可包括胶原交联、内皮角膜移植术(例如,DSEK、DMEK、和/或PDEK)、DSO(无移植的角膜后弹力层剥离)、激光辅助角膜移植术、角膜移植术、LASIK/PRK、SMILE、翼状胬肉、眼表癌症治疗、二期IOL植入(缝合后的二期IOL植入、经结膜的二期IOL植入等)、虹膜修复、IOL复位、IOL置换、浅表角膜切除术、微创青光眼手术(MIGS)、角膜缘干细胞移植、散光性角膜切开术、角膜缘松解切开术(LRI)、羊膜移植(AMT)、青光眼手术(例如,小梁切除术(trabs)、导管植入术(tubes)、微创青光眼手术)、自动板层角膜移植术(ALK)、前玻璃体切除术、和/或平坦部前玻璃体切除术。

[0193] 本文描述的发明的应用可以采取可从计算机可用或计算机可读介质(例如,非暂时性计算机可读介质)访问的计算机程序产品的形式,该计算机可用或计算机可读介质提供用于由计算机或任何指令执行系统(例如,计算机处理器28)使用或与之结合使用的程序代码。出于此描述的目的,计算机可用或计算机可读介质可以是可包括、存储、传送、传播、或输送用于由指令执行系统、装置或设备使用或与之结合使用的程序的任何装置。介质可以是电子介质、磁介质、光介质、电磁介质、红外介质、或半导体系统(或装置或设备)或传播介质。通常,计算机可用或计算机可读介质是非暂时性的计算机可用或计算机可读介质。

[0194] 计算机可读介质的示例包括半导体或固态存储器、磁带、可移动计算机软盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、刚性磁盘和光盘。光盘的当前示例包括致密光盘只读存储器(CD-ROM)、致密光盘读/写(CD-R/W)、DVD、和USB驱动器。

[0195] 适合于存储和/或执行程序代码的数据处理系统将包括至少一个处理器(例如,计算机处理器28),该至少一个处理器通过系统总线直接或间接地耦合到存储器元件。存储器元件可以包括在程序代码的实际执行期间采用的本地存储器、大容量存储装置、和高速缓冲存储器,高速缓冲存储器提供至少一些程序代码的临时存储,以便减少在执行期间必须从大容量存储装置检索代码的次数。系统可以读取在程序存储设备上的本发明指令,并遵循这些指令来执行本发明的实施例的方法。

[0196] 网络适配器可以耦合到处理器,以使处理器能够通过介入的私有或公共网络耦合到其他处理器或远程打印机或存储设备。调制解调器、电缆调制解调器和以太网卡只是目前可用的网络适配器类型中的几种。

[0197] 用于执行本发明的操作的计算机程序代码可以用一种或更多种编程语言(包括面向对象编程语言(诸如Java、Smalltalk、C++等)以及传统过程编程语言(诸如,C编程语言或

类似的编程语言))的任意组合来编写。

[0198] 将会理解,本文描述的算法可以通过计算机程序指令来实现。这些计算机程序指令可被提供给通用计算机的处理器、专用计算机的处理器、或用于生产机器的其他可编程数据处理装置的处理器,使得通过计算机的处理器(例如计算机处理器28)或其他可编程数据处理装置的处理器执行的指令产生用于实现在本申请中描述的算法中所指定的功能/动作的手段。这些计算机程序指令还可以被存储在计算机可读介质(例如,非暂时性计算机可读介质)中,该计算机可读介质可以指导计算机或其他可编程数据处理装置以特定方式起作用,使得存储在计算机可读介质中的指令产生制品,该制品包括实现算法中所指定功能/动作的指令手段。计算机程序指令也可以被加载到计算机或其他可编程数据处理装置上,以使一系列操作步骤在计算机或其他可编程装置上被执行以产生计算机实现的过程,使得在计算机或其他可编程装置上执行的指令提供用于实现在本申请中描述的算法中所指定的功能/动作的过程。

[0199] 计算机处理器28通常是用计算机程序指令编程以产生专用计算机的硬件设备。例如,当计算机处理器28被编程为执行参考附图描述的算法时,计算机处理器28通常充当专用机器人系统计算机处理器。通常,本文描述的由计算机处理器28执行的操作根据所使用的存储器技术将存储器(该存储器是真实物理物品)的物理状态转换成具有不同的磁极性、电荷等。对于一些应用,被描述为由计算机处理器执行的操作由多个计算机处理器相互组合地执行。

[0200] 本领域技术人员将认识到,本发明不限于在上文中已具体示出和描述的内容。而是,本发明的保护范围包括在上文中描述的各种特征的组合和子组合,以及本领域技术人员在阅读前面的描述时将会想到的、不在现有技术中的这些特征的变化和修改。

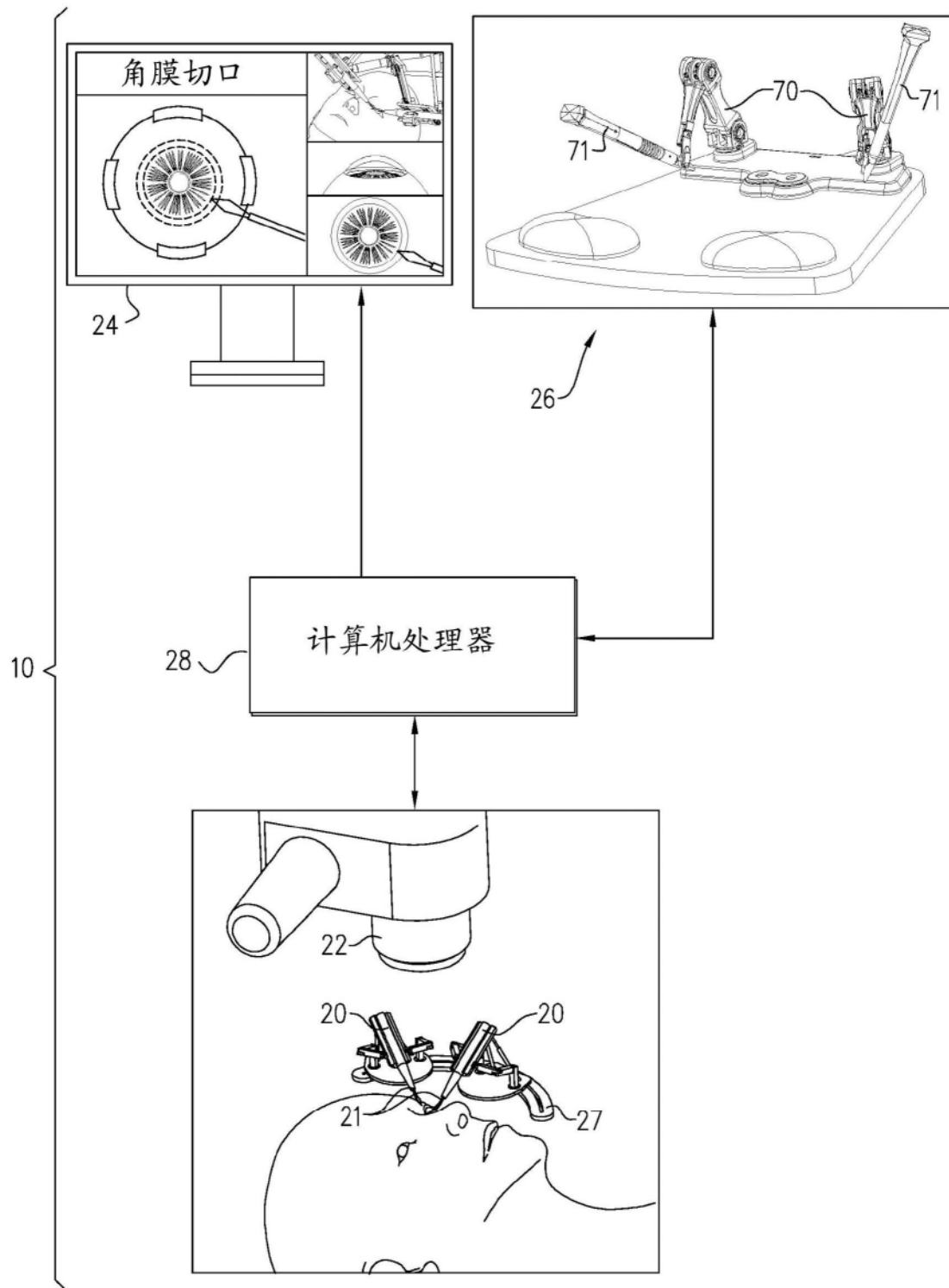


图1A

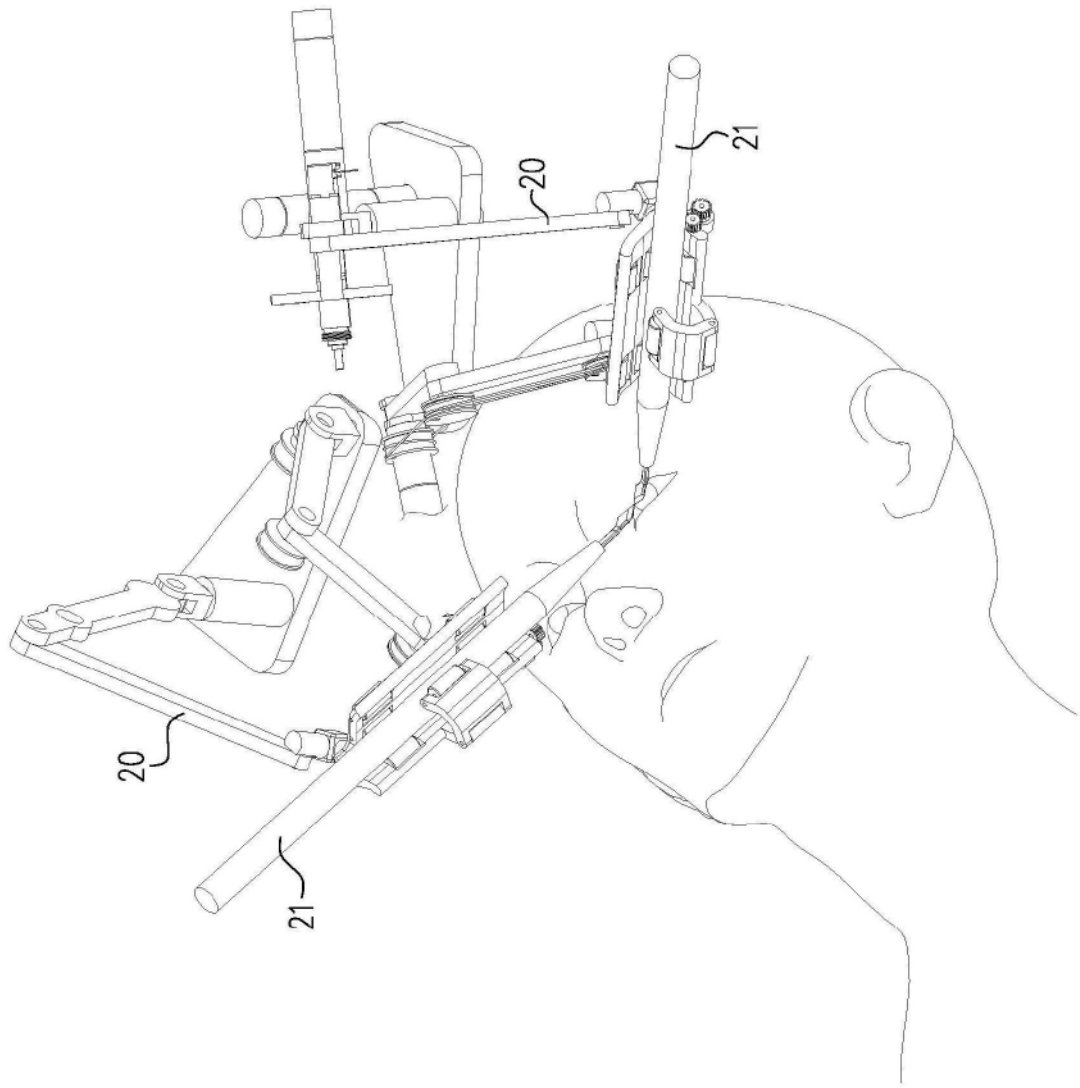


图1B

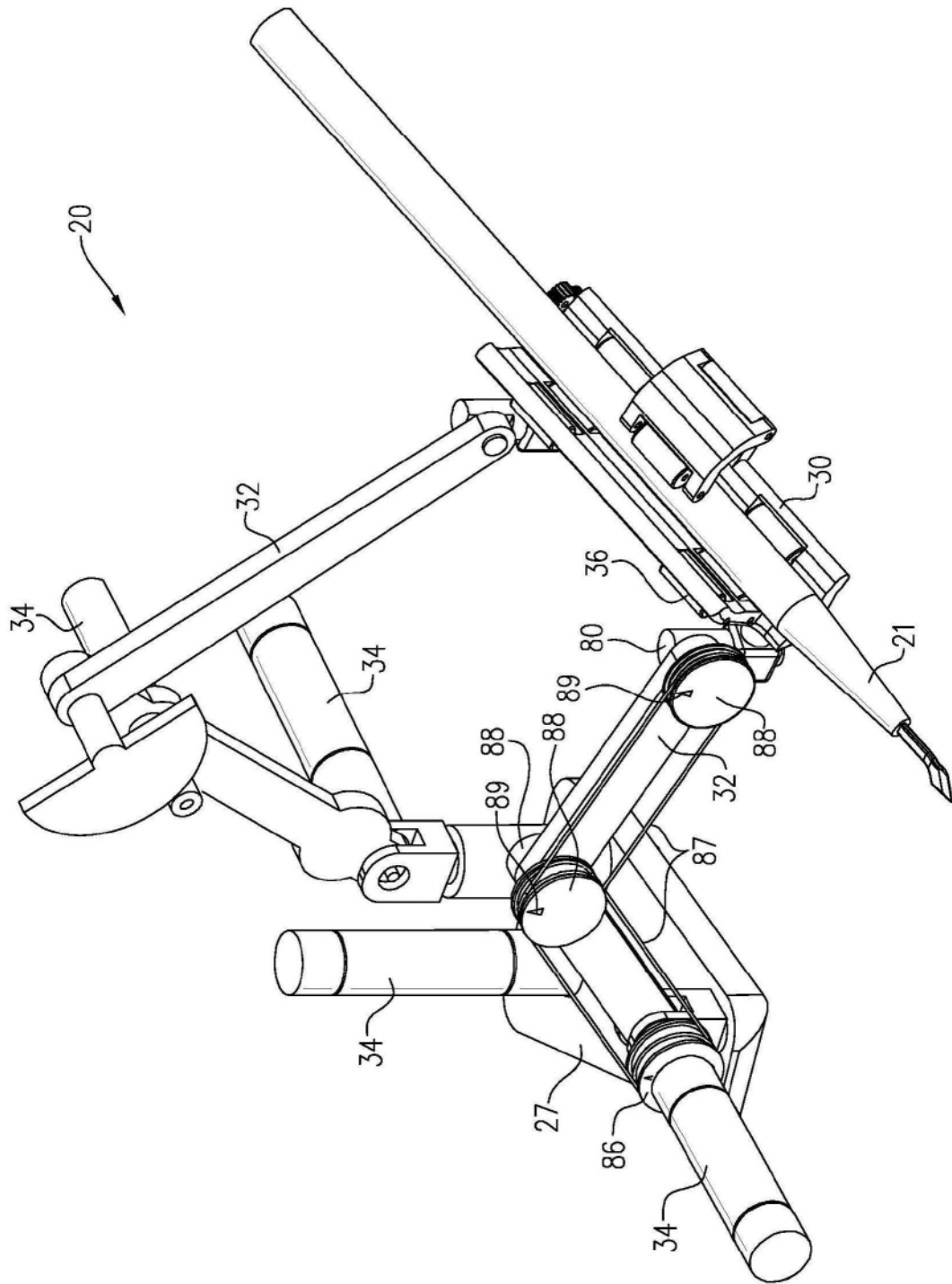


图2

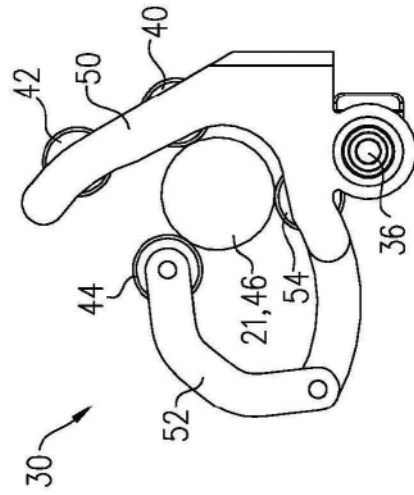


图3A

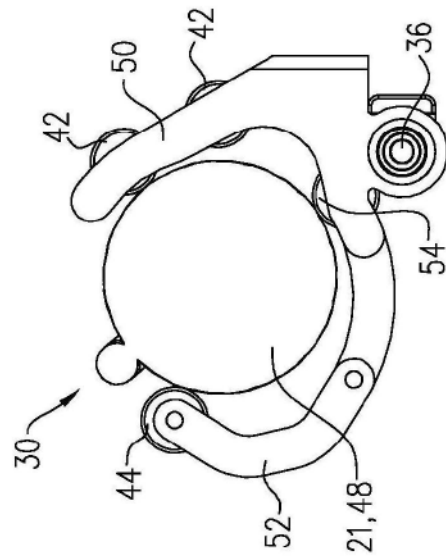


图3B

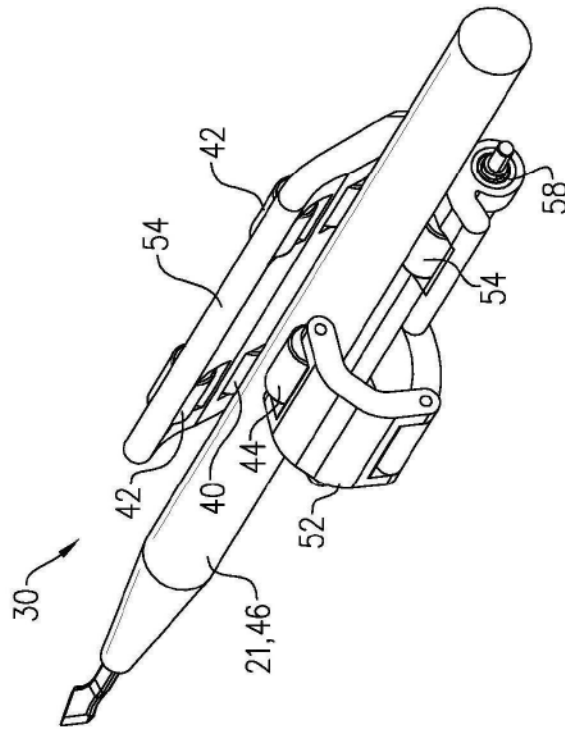


图3C

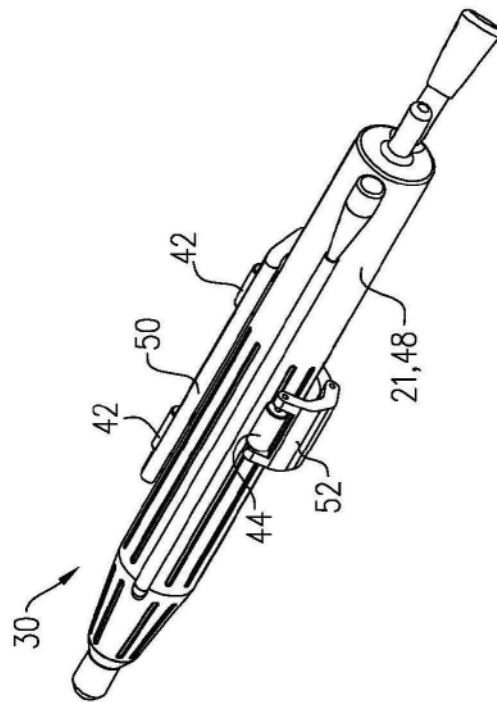


图3D

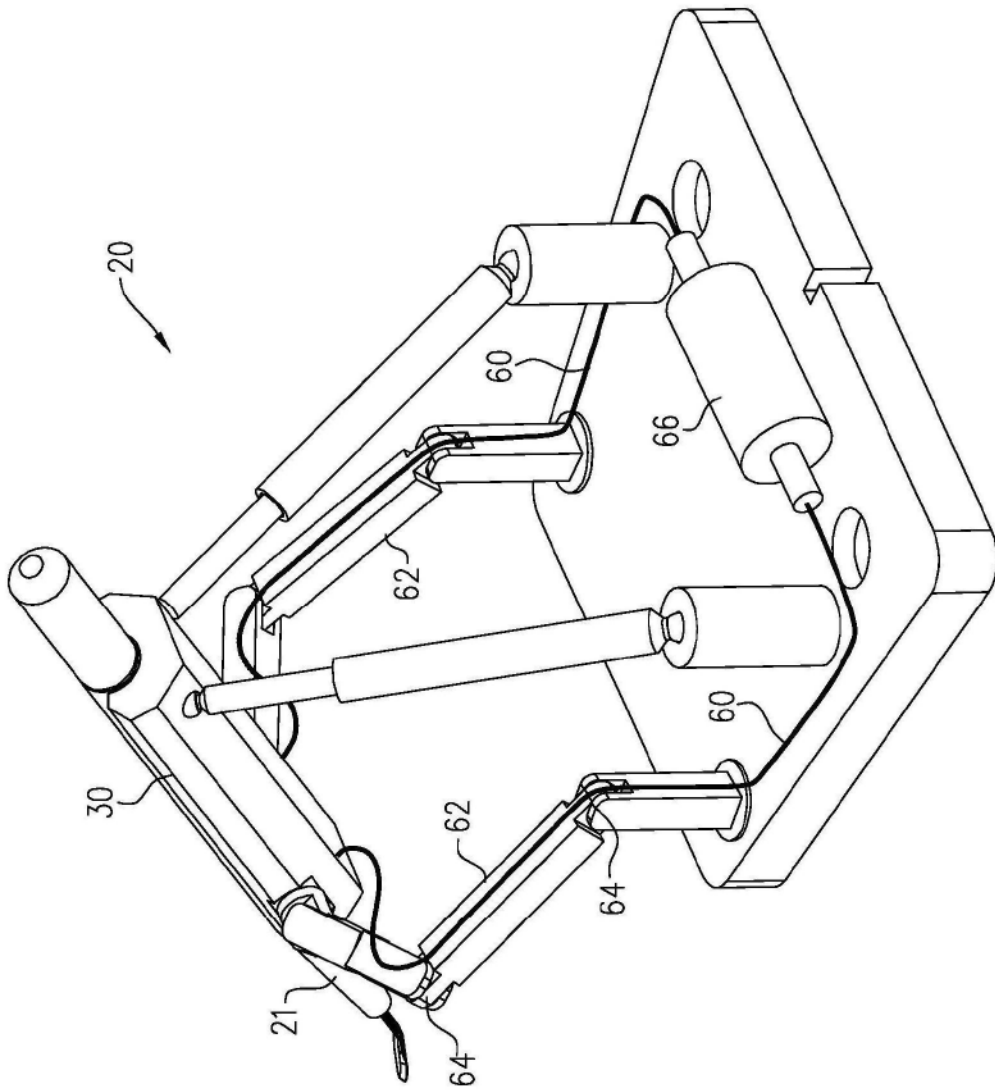


图4

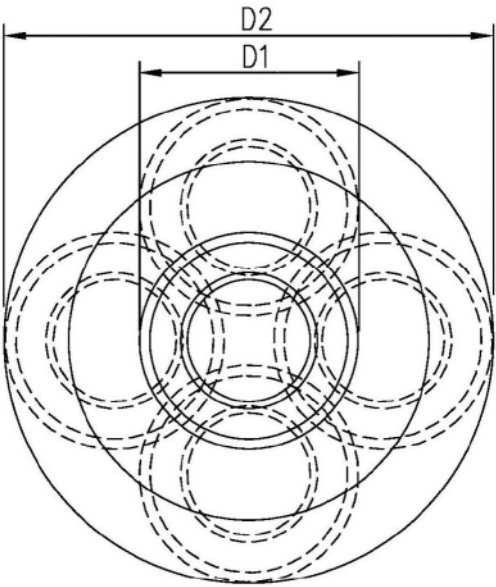


图5A

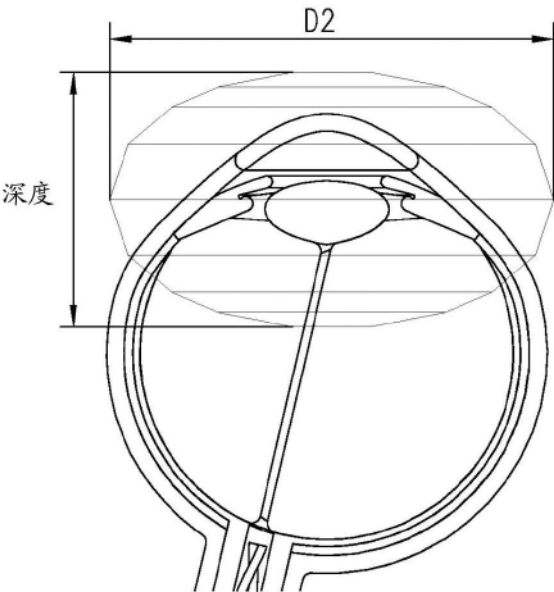


图5B

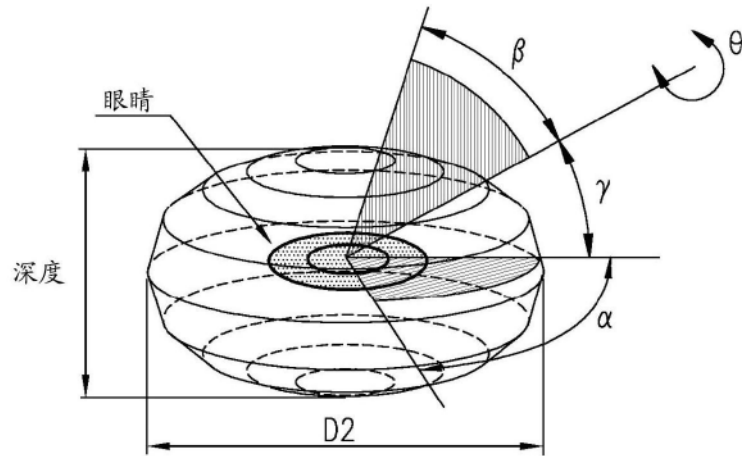


图5C

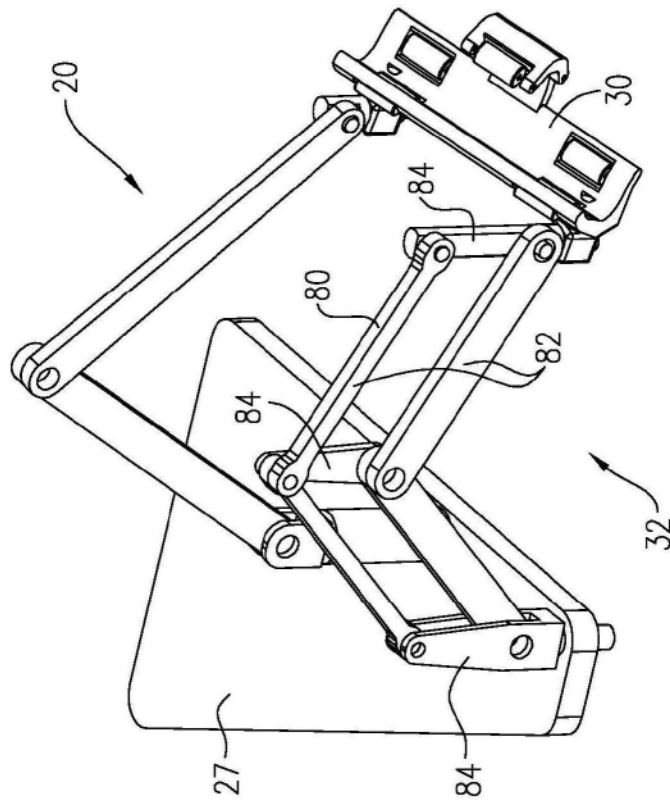


图6A

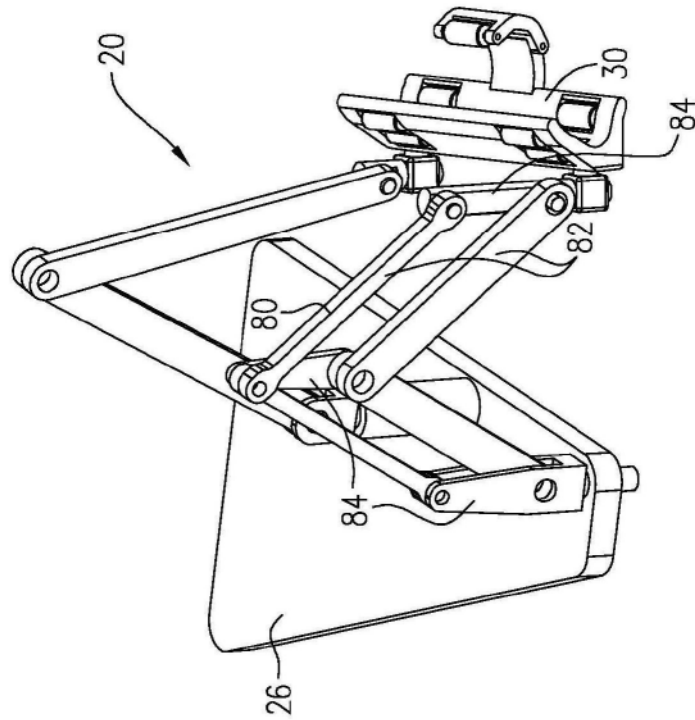


图6B

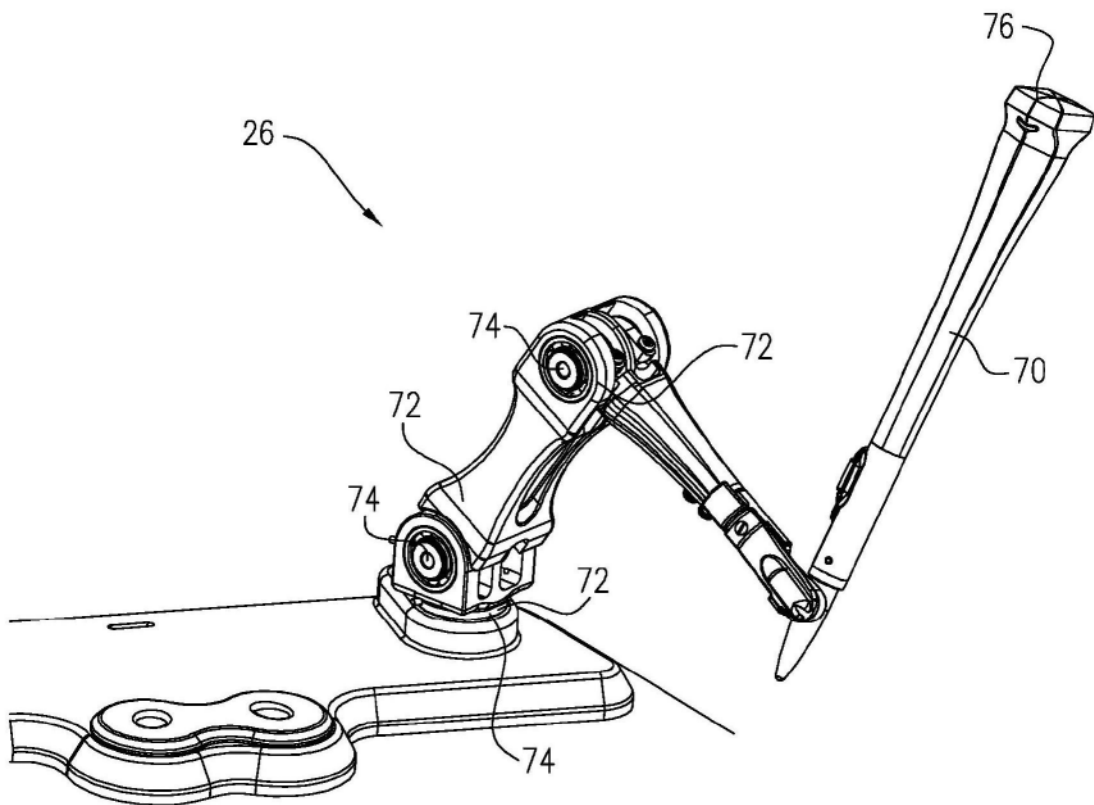


图7

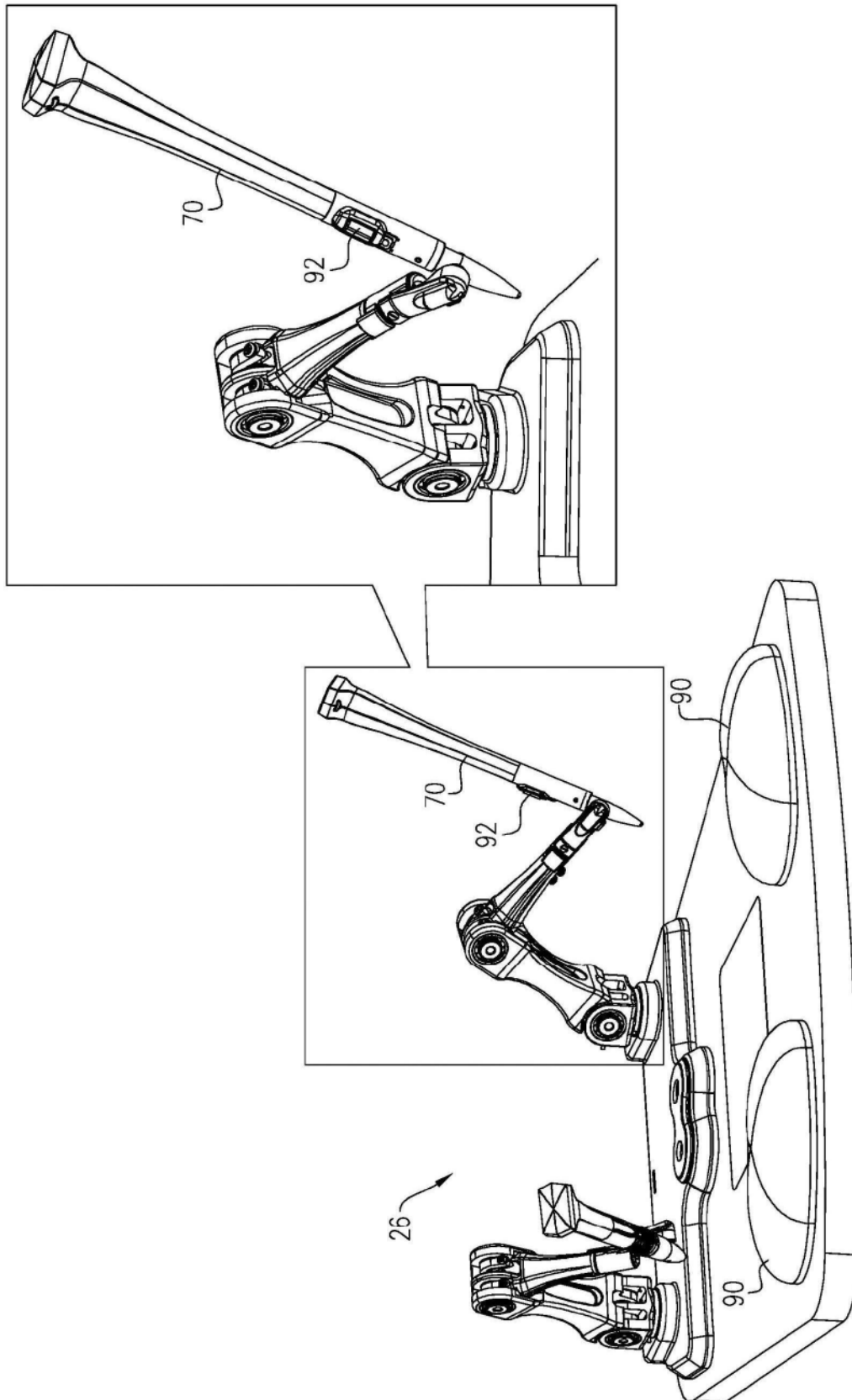


图8

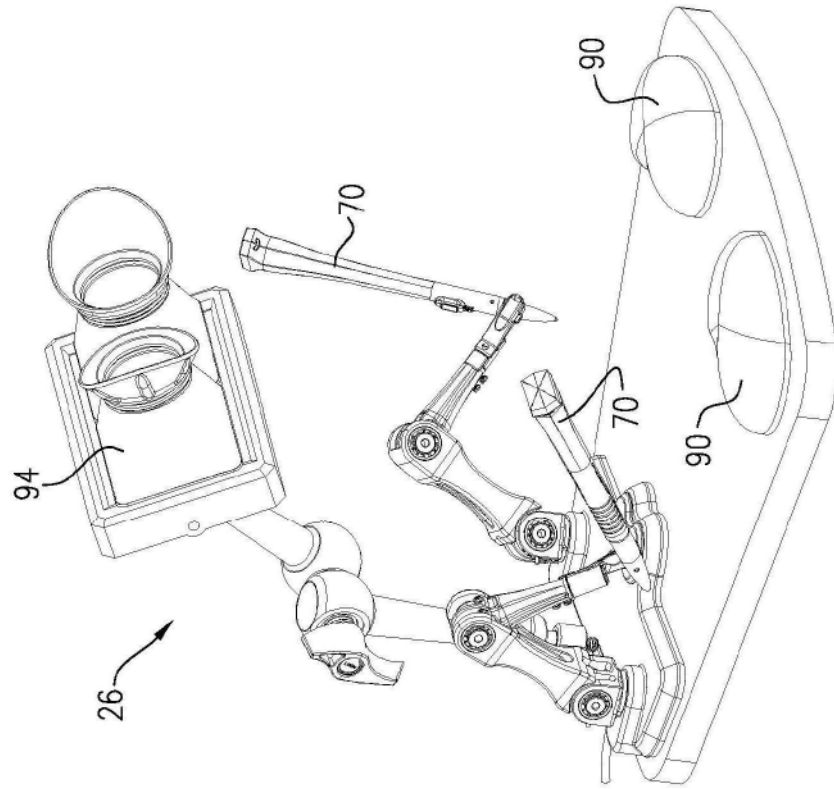


图9A

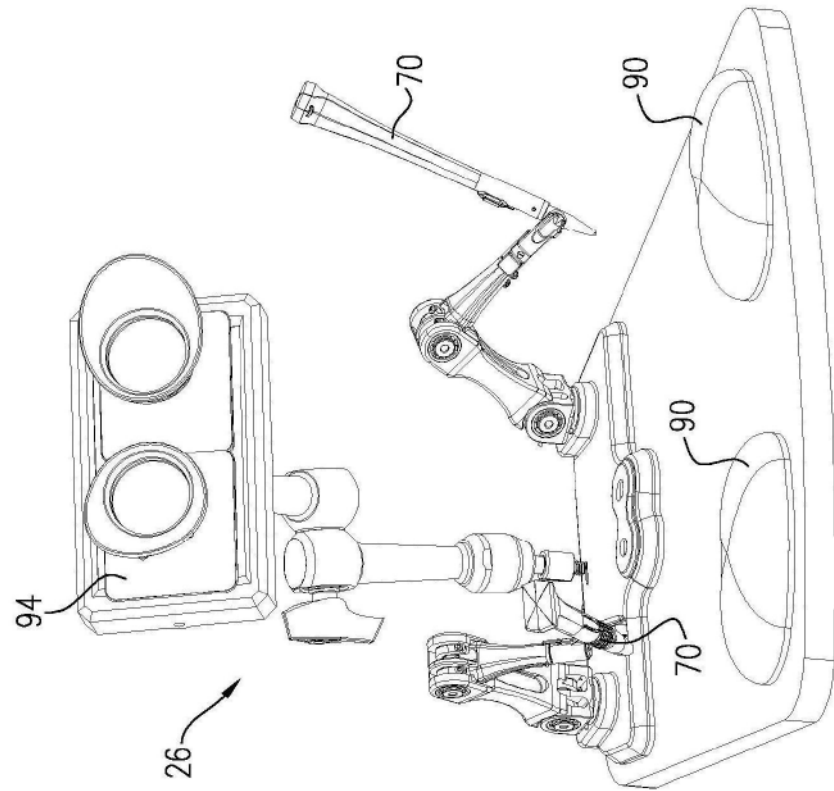


图9B

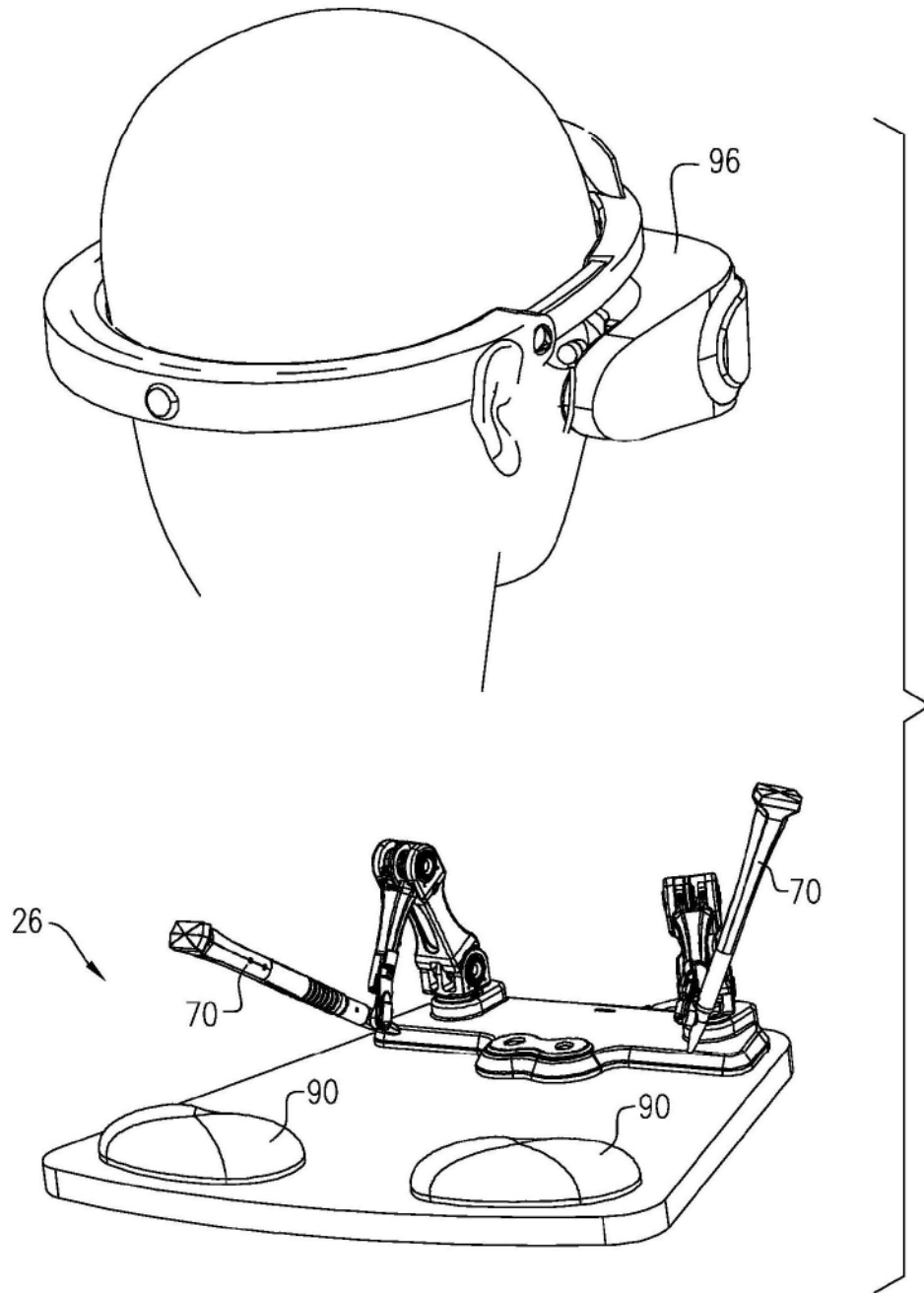


图10