



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105769343 B

(45)授权公告日 2018.05.18

(21)申请号 201610266715.0

(56)对比文件

(22)申请日 2016.04.26

EP 0970661 A3, 2000.04.19, 全文.

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 203825921 U, 2014.09.10, 全文.

申请公布号 CN 105769343 A

CN 103251419 A, 2013.08.21, 全文.

(43)申请公布日 2016.07.20

CN 103280145 A, 2013.09.04, 全文.

(73)专利权人 中国科学院自动化研究所

WO 9810387 A3, 1998.07.09, 全文.

地址 100190 北京市海淀区中关村东路95
号

CN 104778746 A, 2015.07.15, 全文.

审查员 胡波

(72)发明人 边桂彬 侯增广 周小虎 谢晓亮
奉振球 郝剑龙 王莉 高占杰

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 钟文芳

(51)Int.Cl.

A61B 34/32(2016.01)

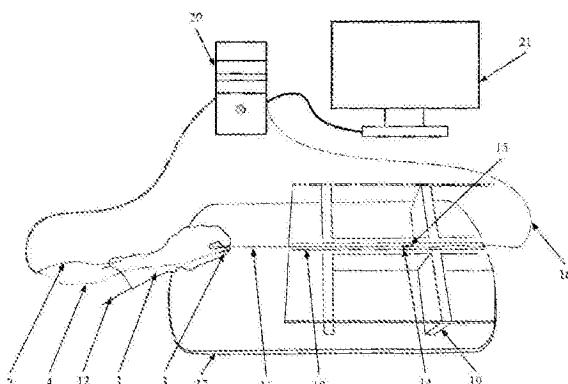
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种血管介入手术操作采集装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集装置和方法。该装置包括：操作导丝周向旋转采集模块，用于采集操作者在旋转导丝时手指弯曲曲率信息，操作导丝轴向推进采集模块，用于采集操作者在推送或回撤导丝时手部运动信息；支撑辅助模块，所述支撑辅助模块，用于支撑模拟的血管环境，使导丝前端处于电磁定位系统的有效磁场发射区域；数据处理模块，用于处理、分析、转化采集到的数据。本发明能够对操作过程的手部和手指运动进行建模分析，该方法可以跟踪血管介入手术中导丝的运动，使操作者能更有效地控制导丝的推进和旋转运动，提高手术精度，缩短患者的康复周期。



1. 一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集装置，其特征在于，该装置包括：操作导丝周向旋转采集模块、操作导丝轴向推进采集模块、支撑辅助模块和数据处理模块，其中：

所述操作导丝周向旋转采集模块，其基于光纤数据手套和电磁定位系统，用于采集操作者在旋转导丝时手指弯曲曲率信息以及导丝在周向旋转时的旋转角度信息；

所述操作导丝轴向推进采集模块，其基于电磁定位系统和第一六自由度位置/方位电磁传感器，用于采集操作者在推送或回撤导丝时手部运动信息和导丝前端的运动数据；

所述支撑辅助模块，用于支撑模拟的血管环境，使导丝前端处于电磁定位系统的有效磁场发射区域；

所述数据处理模块，用于根据采集到操作者在旋转导丝时手指弯曲曲率信息以及导丝在周向旋转时的旋转角度信息得到操作者手指屈伸运动与导丝周向旋转角度的关系，并根据操作者在推送或回撤导丝时手部运动信息和导丝前端的运动数据得到手部的运动信息与导丝轴向推送的运动位移的关系。

2. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述光纤数据手套上安装有第二六自由度位置/方位电磁传感器，使得光纤数据手套具有跟踪定位导丝运动的功能。

3. 根据权利要求2所述的装置，其特征在于，所述第二六自由度位置/方位电磁传感器安装在光纤数据手套的拇指指端内侧。

4. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，在导丝与第一六自由度位置/方位电磁传感器之间，用一段导管连接，保证两者能够同轴旋转。

5. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，支撑辅助模块中的模拟一维血管由玻璃制成，所述模拟一维血管中空且透明，便于操作和观察。

6. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，支撑辅助模块中的支撑架材质为亚克力板，所述支撑架透明且硬度高，不易变形。

7. 一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集方法，其特征在于，该方法包括：操作导丝周向旋转采集，操作导丝轴向推进采集，其中：

操作导丝周向旋转采集方法包括以下步骤：

步骤1，配戴上改进的光纤数据手套，测量手指处于某一初始位置时的屈伸角度 β_0 和此时光纤数据手套输出的食指弯曲曲率 k_0 ；

步骤2，食指指间关节由初始位置屈伸至另一屈伸角度 β 后，光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变为 k_β ；记录此过程中的屈伸角度变化量 $\Delta \beta$ 和光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变化量 Δk ；

步骤3，在步骤2的基础上继续弯曲食指，重复N次步骤2，N为大于等于1的整数；记录屈伸角度为 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$ ，光纤数据手套输出的食指弯曲曲率 $k = \{k_{\beta_1}, k_{\beta_2}, \dots, k_{\beta_N}\}$ ，并求出 $\Delta \beta$ 与 Δk ；

步骤4，拟合步骤3中的 $\Delta \beta$ 与 Δk ，得到两者的拟合函数关系：

$$\Delta \beta = f(\Delta k)$$

步骤5，根据手指各关节位置和方位以及各指体的运动关系，求出操作者手指屈伸运动与导丝周向旋转角度的关系，

同样地,该方法采集操作者操作导丝轴向推进包括以下步骤:

步骤1,配戴上改进的光纤数据手套,操作者拇指与食指夹持住导丝尾端,向前推送;

步骤2,利用安装在光纤数据手套的六自由度位置/方位电磁传感器,记录此过程中手部的运动位移数据;

步骤3,利用安装在导丝前端的六自由度位置/方位电磁传感器,记录此过程中导丝前端的运动数据;

步骤4,根据两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据,分别将两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据与初始位置数据作差,得到手部的运动位移数据 s_h 与导丝轴向位移数据 s_g ,拟合 s_h 与 s_g ,得到两者的函数关系:

$$s_g = \lambda_s s_h$$

其中, λ_s 为拟合系数;

步骤5,根据上述公式,即可根据手部的运动位移数据计算出导丝轴向位移数据。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,跟踪定位导丝周向旋转的角度使用以下模型获得:

$$\theta = \frac{2\lambda_a L}{R \sin \alpha} \{ \sin[f(k_1 - k_0)] - \sin[f(k_2 - k_0)] \}$$

其中, θ 为导丝周向旋转角度, α 为运动角, k_0 为数据手套食指初始状态输出曲率, k_1 为数据手套的搓捻前的输出曲率, k_2 为搓捻后的输出曲率, R 为导丝的直径, L 为搓捻长度, λ_a 为所述导丝周向旋转滑动系数。

9. 根据权利要求8所述的方法,所述运动角 α 为指间关节运动轨迹的延长线与拇指的夹角。

10. 根据权利要求8所述的方法,所述搓捻长度 L 是食指指间关节与食指末端之间的指体长度。

11. 根据权利要求8所述的方法,所述 λ_a 为所述导丝周向旋转滑动系数,其作用为补偿理论旋转角度与实际旋转角度的偏差,其值由理论旋转角度与实际旋转角度两者拟合而得。

一种血管介入手术操作采集装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及医疗器械技术领域,尤其涉及一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集装置及方法。

背景技术

[0002] 目前,血管介入手术机器人已成为辅助医生治疗心脑血管疾病的重要工具。机器人辅助血管介入手术是指医生在数字减影血管造影成像(DSA)系统的导引下,操控操纵杆或操作手柄控制机器人推送导丝(一种带有刚性的软丝)在人体血管内运动,对病灶进行治疗,达到栓塞畸形血管、溶解血栓、扩张狭窄血管等目的。通过主从控制,血管介入手术机器人可以大幅度地减少医生受到的X射线辐射剂量。

[0003] 然而,在整个介入手术过程中,机器人被动地执行着医生的操作,对机器人来说不是一个主动手术的过程。而相对于医生来说,需要通过操纵杆或操作手柄来控制机器人进行手术,这彻底改变了传统介入手术的自然操作方式。经过长时期的机器人辅助介入手术,医生的自然操作方式很可能被遗忘。

[0004] 针对上述问题,于2010年7月14日公开的中国发明专利CN101773400 A,公开了一种微创外科手术机器人主控数据手套,用于采集人手指及手臂的动作信号,可用于控制微创外科手术机器人进行机器人外科手术。于2015年4月29日公开的中国发明专利CN 10455224 A公开了一种检测人手手指关节运动角度和状态的数据手套,设计了一种依附在人手外部检测关节运动的装置。于2014年1月1日公开的中国发明专利CN103487011 A,公开了一种数据手套的姿态角检测方法,根据三轴陀螺仪采集的角速率信息计算数据手套的实时姿态角。于2015年7月15日公开的中国发明专利CN 104778746 A一种基于数据手套使用自然手势进行精确三维建模的方法,能够使计算机读懂人体自然语言。

[0005] 然而,这些装置只是用数据手套采集了操作者手部的运动信息,而没有将数据手套与血管介入手术中医生的自然操作经验联系起来,现有技术并未考虑到这一点。

发明内容

[0006] 为了解决上述现有技术中存在的问题,用数据手套采集医生在血管介入手术中的自然操作经验,本发明提供了一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集装置及方法。血管介入手术过程中,医生操作导丝或导管时主要包括搓捻和推送两种动作。搓捻导丝时,医生用食指与拇指捏住导丝,两手指相对滑动,在摩擦力的驱动下,导丝发生旋转并寻找到最佳的分岔血管入口。这个过程中,手指的屈伸角度变化直接影响导丝旋转的角度。推送导丝时,医生用同样的方式夹持住导丝,整个手部往前推送或往后回撤,实现了导丝的轴向运动。这个过程中,手部的空间位置及方位则是决定导丝推送距离的关键因素。

[0007] 为了达到上述目的,根据本发明的一方面,提出

[0008] 一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集装置,其特征在于,该装置包括:操作导丝周向旋转采集模块、操作导丝轴向推进采集模块、支撑辅助模块和数据处

理模块，其中：

[0009] 所述操作导丝周向旋转采集模块，其基于光纤数据手套和电磁定位系统，用于采集操作者在旋转导丝时手指弯曲曲率信息以及导丝在周向旋转时的旋转角度信息；

[0010] 所述操作导丝轴向推进采集模块，其基于电磁定位系统和第一六自由度位置/方位电磁传感器，用于采集操作者在推送或回撤导丝时手部运动信息和导丝前端的运动数据；

[0011] 所述支撑辅助模块，用于支撑模拟的血管环境，使导丝前端处于电磁定位系统有效磁场发射区域；

[0012] 所述数据处理模块，用于根据采集到操作者在旋转导丝时手指弯曲曲率信息以及导丝在周向旋转时的旋转角度信息得到操作者手指屈伸运动与导丝周向旋转角度的关系，并根据操作者在推送或回撤导丝时手部运动信息和导丝前端的运动数据得到手部的运动信息与导丝轴向推送的运动位移的关系。

[0013] 根据本发明的另一方面，提出了一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集方法，其特征在于，该方法包括：操作导丝周向旋转采集，操作导丝轴向推进采集其中：

[0014] 操作导丝周向旋转采集方法包括以下步骤：

[0015] 步骤1，配戴上改进的光纤数据手套，测量手指处于某一初始位置时的屈伸角度 β_0 和此时光纤数据手套的输出的食指弯曲曲率 k_0 ；

[0016] 步骤2，食指指间关节由初始位置屈伸至另一屈伸角度 β 后，光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变为 k_β ；记录此过程中的屈伸角度变化量 $\Delta \beta$ 和光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变化量 Δk ；

[0017] 步骤3，在步骤2的基础上继续弯曲食指，重复N次步骤2，N为大于等于1的整数；记录屈伸角度为 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$ ，光纤数据手套输出的食指弯曲曲率 $k = \{k_{\beta_1}, k_{\beta_2}, \dots, k_{\beta_N}\}$ ，并求出 $\Delta \beta$ 与 Δk ；

[0018] 步骤4，拟合步骤3中的 $\Delta \beta$ 与 Δk ，得到两者的拟合函数关系：

[0019] $\Delta \beta = f(\Delta k)$

[0020] 步骤5，根据手指各关节位置和方位以及各指体的运动关系，求出操作者手指屈伸运动与导丝周向旋转角度的关系。

[0021] 同样地，该方法采集操作者操作导丝轴向推送包括以下步骤：

[0022] 步骤1，配戴上改进的光纤数据手套，操作者拇指与食指夹住导丝尾端，向前推送；

[0023] 步骤2，利用安装在光纤数据手套的六自由度位置/方位电磁传感器，记录此过程中手部的运动位移数据；

[0024] 步骤3，利用安装在导丝前端的六自由度位置/方位电磁传感器，记录此过程中导丝前端的运动数据；

[0025] 步骤4，根据两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据，分别将两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据与初始位置数据作差，得到手部的运动位移数据 s_h 与导丝轴向位移数据 s_g ，拟合 s_h 与 s_g ，得到两者的函数关系：

[0026] $s_g = \lambda_s s_h$

- [0027] 其中, λ_s 为拟合系数;
- [0028] 步骤5,根据上述公式,即可根据手部的运动数据计算出导丝轴向推送的运动位移。
- [0029] 与现有技术相比,本发明取得的有益效果是:通过获取医生在介入手术过程中的手部动作,包括食指搓捻导丝时关节曲率的变化数据和整个手部在推送或回撤导丝时的位移变化数据。这两种数据很好地体现了医生在介入手术中自然手术操作的经验。通过分析这两种数据,即可评估医生操作经验的优劣,进一步可将医生自然操作经验运用于送管机器人系统中,实现机器人的自动手术。

附图说明

- [0030] 图1是根据本发明一实施例的改进的光纤数据手套的结构示意图;
- [0031] 图2是根据本发明一实施例的操作导丝周向旋转采集模型简化图;
- [0032] 图3是根据本发明一实施例的导丝与六自由度位置/方位电磁传感器同轴安装示意图;
- [0033] 图4是根据本发明一实施例的血管介入手术自然手术操作采集装置结构示意图。

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[0035] 图1是根据本发明一实施例的改进的光纤数据手套示意图,如图1所示,所述改进的光纤数据手套包括光纤数据手套1、连接线2、六自由度位置/方位电磁传感器3、连接线4。其中:

[0036] 光纤数据手套1能够测量手指的屈伸Flexure和收展Abduction度,每个手指上安装有一个光纤传感器,指体屈伸时光纤传感器也随着指体屈伸,同时处理单元接收到的光强会随着传感器的屈伸而发生改变,经过处理单元处理,数据手套最终输出手指屈伸时各关节弯曲曲率的平均值。其材质为弹性纤维材料,方便不同大小的手配戴与操作。测量精度为8位A/D采样,漂移扰动小,最高采样频率可达200Hz。

[0037] 六自由度位置/方位传感器3整体为细长形状,具有灵活的工作形式,传感器直径仅为1.2mm,连接线4长2m,可工作在细小狭长的空间中,且工作距离较大。此外,该传感器可重复使用,易于消毒,并能承受多次弯折。该传感器依托电磁定位系统,可以用于检测手部所处的空间位置和方位信息。六自由度位置/方位电磁传感器3与光纤数据手套1的结合,使得经过改进的光纤数据手套1具有了定位跟踪功能。

[0038] 六自由度位置/方位电磁传感器3固定在光纤数据手套1拇指处,如指尖里侧,使传感器更贴近拇指,从而可以将传感器的运动视作是拇指的运动。光纤数据手套1为露指式手套,操作者手指的远指骨露在外面,用于搓捻或推送导丝。

[0039] 光纤数据手套的数据接口与每个手指上的光纤传感器相连,数据手套1通过连接线2与计算机20连接。六自由度位置/方位电磁传感器3通过连接线4通过连接线2与计算机20连接。

[0040] 图2是根据本发明一实施例的操作导丝周向旋转采集模型简化图,经过大量实验

观察,采集模型简化过程中,提出了以下假设:

- [0041] 1.因为搓捻的幅度非常小,在手指屈伸运动中,指间关节9弯曲幅度最大,故可忽略其它关节屈伸对光纤数据手套1的输出曲率变化的影响;
- [0042] 2.搓捻过程中,近指骨10绕指掌关节11旋转,指间关节9的运动轨迹近似为直线;
- [0043] 3.近似认为远节指骨6不会绕指端关节7旋转,指间关节6至食指末端的中节指骨8和远节指骨6为连接在一起的直线刚体;
- [0044] 4.搓捻过程中,拇指5保持静止。

[0045] 如图2简化模型所示,0AB为搓捻前的食指,其中:0为指掌关节11,A为指间关节9,B为食指末端;OA'B'为搓捻后的食指,搓捻后,指掌关节11位置保持不变,指间关节9运动到A'点,食指末端运动到B'点;搓捻过程中,拇指0'CB'B 5保持静止。定义参数如下:

- [0046] 运动角 $\alpha = \angle BCA$,搓捻角 $\beta_1 = \angle CAB$, $\beta_2 = \angle CA'B'$,搓捻长度 $AB = A'B' = L$
- [0047] 由于手套材质具有极其强的柔韧性,导致手套每次穿戴时光纤传感器的位置会略微不同。而光纤数据手套1的输出范围与光纤传感器的位置有关,所以很难保证两次不同实验中数据手套具有相同的输出范围。
- [0048] 因此,本发明中采用光纤数据手套1的输出变化来衡量操作者手指搓捻角的变化。
- [0049] 导丝周向旋转角度 θ 与光纤数据手套1的搓捻前的输出 k_1 与搓捻后的输出 k_2 关系如下:

$$[0050] \theta = \frac{2\lambda_a L}{R \sin \alpha} \{ \sin[f(k_1 - k_0)] - \sin[f(k_2 - k_0)] \}$$

[0051] 在本发明一实施例中,所述运动角 α 为指间关节9运动轨迹AA'的延长线与拇指0'CB'B 5的夹角;,其中,f是 $\Delta \beta$ 与 Δk 两者的拟合函数, k_0 是数据手套食指在初始位置时的输出曲率。

- [0052] 所述搓捻角 β_1 , β_2 是指间关节9运动轨迹AA'与食指指体AB和A'B'的夹角;
- [0053] 所述搓捻长度AB,A'B'是食指指间关节9与食指末端之间的指体长度。
- [0054] 所述R为导丝的直径;
- [0055] 所述 λ_a 为所述导丝周向旋转滑动系数,其作用为补偿理论旋转角度与实际旋转角度的偏差,其值由理论旋转角度与实际旋转角度两者拟合而得。

[0056] 图3是根据本发明一实施例的导丝与六自由度位置/方位电磁传感器同轴安装示意图,其中:导丝13、导管14、六自由度位置/方位电磁传感器15和连接线16,导丝13直径为0.36mm,导丝13与导管14之间、导管14套在所述六自由度位置/方位电磁传感器15外面,且与六自由度位置/方位电磁传感器15之间的缝隙均用热熔胶填充,保证导丝与电磁传感器能够同轴旋转,六自由度位置/方位电磁传感器15通过连接线16与计算机20连接。所述六自由度位置/方位电磁传感器15用于定位其空间位置和方位。

[0057] 图4是根据本发明一实施例的血管介入手术自然手术操作采集装置结构示意图,该采集装置包括:光纤数据手套1、连接线2、六自由度位置/方位电磁传感器3、连接线4、导丝13、导管14、六自由度位置/方位电磁传感器15,连接线16,电磁定位系统17、一维模拟血管18、支撑架19、计算机20、显示器21。

[0058] 其中,光纤数据手套1用于获取操作者手指搓捻导丝13时的弯曲数据,输出为手指弯曲的平均曲率;

[0059] 六自由度位置/方位电磁传感器3固定在光纤数据手套拇指指尖内侧,用于检测操作者推送或回撤导丝13时手部的运动数据。

[0060] 六自由度位置/方位电磁传感器15固定在导丝前端,用于检测导丝13推送或回撤时头部的运动数据,导丝13头部运动可近似认为是导丝13的运动。

[0061] 电磁定位系统17用于获取改进的光纤数据手套1以及导丝13前端的六自由度位置/方位电磁传感器15的三维位置和方位信息,是一种应用磁性变换技术进行测量的装置,能在电磁发射器上方600×420×480mm区域内产生电磁场。

[0062] 一维模拟血管18由玻璃制成,内部中空且透明,便于观察,长度60cm,内径4mm,外径7mm,沿电磁定位系统17的Y轴固定在亚克力支撑架19上;

[0063] 支撑架19为亚克力材质,尺寸大小为600×420×480mm,主要作用是将模拟血管18支撑在电磁定位系统17的有效磁场区域内。

[0064] 计算机20处理器为Intel i7-2600, RAM 4.00GB; 显示器21为22inch宽屏。

[0065] 如图4所示,操作者在电磁定位系统上方旋转或推送导丝13,导丝13则相应地在一维模拟血管18中运动。为了能让光纤数据手套1上的六自由度位置/方位电磁传感器3正常工作,操作者手部必须位于电磁定位系统17的有效磁场区域。电磁定位系统的电磁场发射器包含多个可生成电磁场的正交可变线圈,这些线圈在通过电流时可发射低频、交变电磁场,建立跟踪空间。将与发射器构成相同的传感器放入电磁场时,电磁场发射器发出的交变电磁场在电磁传感器内部产生电流,电流的强度取决于传感器所处位置的磁场,而磁场则又取决于传感器与发射器之间的距离与角度。因此,通过分析计算电流信号的特性可以得到定位线圈与磁场发生器之间的位置和方位。

[0066] 本发明提出了一种基于改进的光纤数据手套的血管介入手术操作采集方法,该方法包括:操作导丝周向旋转采集,操作导丝轴向推进采集其中:

[0067] 操作导丝周向旋转采集方法包括以下步骤:

[0068] 步骤1,配戴上改进的光纤数据手套,测量手指处于某一初始位置时的屈伸角度 β_0 和此时光纤数据手套的输出的食指弯曲曲率 k_0 ;

[0069] 步骤2,食指指间关节由初始位置屈伸至另一屈伸角度 β 后,光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变为 k_β ;记录此过程中的屈伸角度变化量 $\Delta \beta$ 和光纤数据手套输出的食指弯曲曲率变化量 Δk ;

[0070] 步骤3,在步骤2的基础上继续弯曲食指,重复N次步骤2,N为大于等于1的整数;记录屈伸角度为 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$,光纤数据手套输出的食指弯曲曲率 $k = \{k_{\beta_1}, k_{\beta_2}, \dots, k_{\beta_N}\}$,并求出 $\Delta \beta$ 与 Δk ;

[0071] 步骤4,拟合步骤3中的 $\Delta \beta$ 与 Δk ,得到两者的拟合函数关系:

[0072] $\Delta \beta = f(\Delta k)$

[0073] 步骤5,根据手指各关节位置和方位以及各指体的运动关系,求出操作者手指屈伸运动与导丝周向旋转角度的关系。

[0074] 同样地,该方法采集操作者操作导丝轴向推送包括以下步骤:

[0075] 步骤1,配戴上改进的光纤数据手套,操作者拇指与食指夹住导丝尾端,向前推送;

[0076] 步骤2,利用安装在光纤数据手套的六自由度位置/方位电磁传感器,记录此过程

中手部的运动位移数据；

[0077] 步骤3，利用安装在导丝前端的六自由度位置/方位电磁传感器，记录此过程中导丝前端的运动数据；

[0078] 步骤4，根据两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据，分别将两个六自由度位置/方位电磁传感器的位置数据与初始位置数据作差，得到手部的运动位移数据 s_h 与导丝轴向位移数据 s_g ，拟合 s_h 与 s_g ，得到两者的函数关系：

$$[0079] s_g = \lambda_s s_h$$

[0080] 其中， λ_s 为拟合系数；

[0081] 步骤5，根据上述公式，即可根据手部的运动数据计算出导丝轴向推送的运动位移。

[0082] 其中，跟踪定位导丝周向旋转的角度使用以下模型获得：

$$[0083] \theta = \frac{2\lambda_a L}{R \sin \alpha} \{ \sin[f(k_1 - k_0)] - \sin[f(k_2 - k_0)] \}$$

[0084] 其中， θ 为导丝周向旋转角度， α 为运动角， k_0 为数据手套食指初始状态输出曲率， k_1 为数据手套的搓捻前的输出曲率， k_2 为搓捻后的输出曲率， R 为导丝的直径， L 为搓捻长度， λ_a 所述导丝周向旋转滑动系数；

[0085] 所述运动角 α 为指间关节运动轨迹的延长线与拇指的夹角，可根据简化模型及手指指体长度，再由平面几何余弦定理求出；

[0086] 所述搓捻长度 L 是食指指间关节与食指末端之间的指体长度。

[0087] 所述 λ_a 为所述导丝周向旋转滑动系数，其作用为补偿理论旋转角度与实际旋转角度的偏差，其值由理论旋转角度与实际旋转角度两者拟合而得。

[0088] 以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

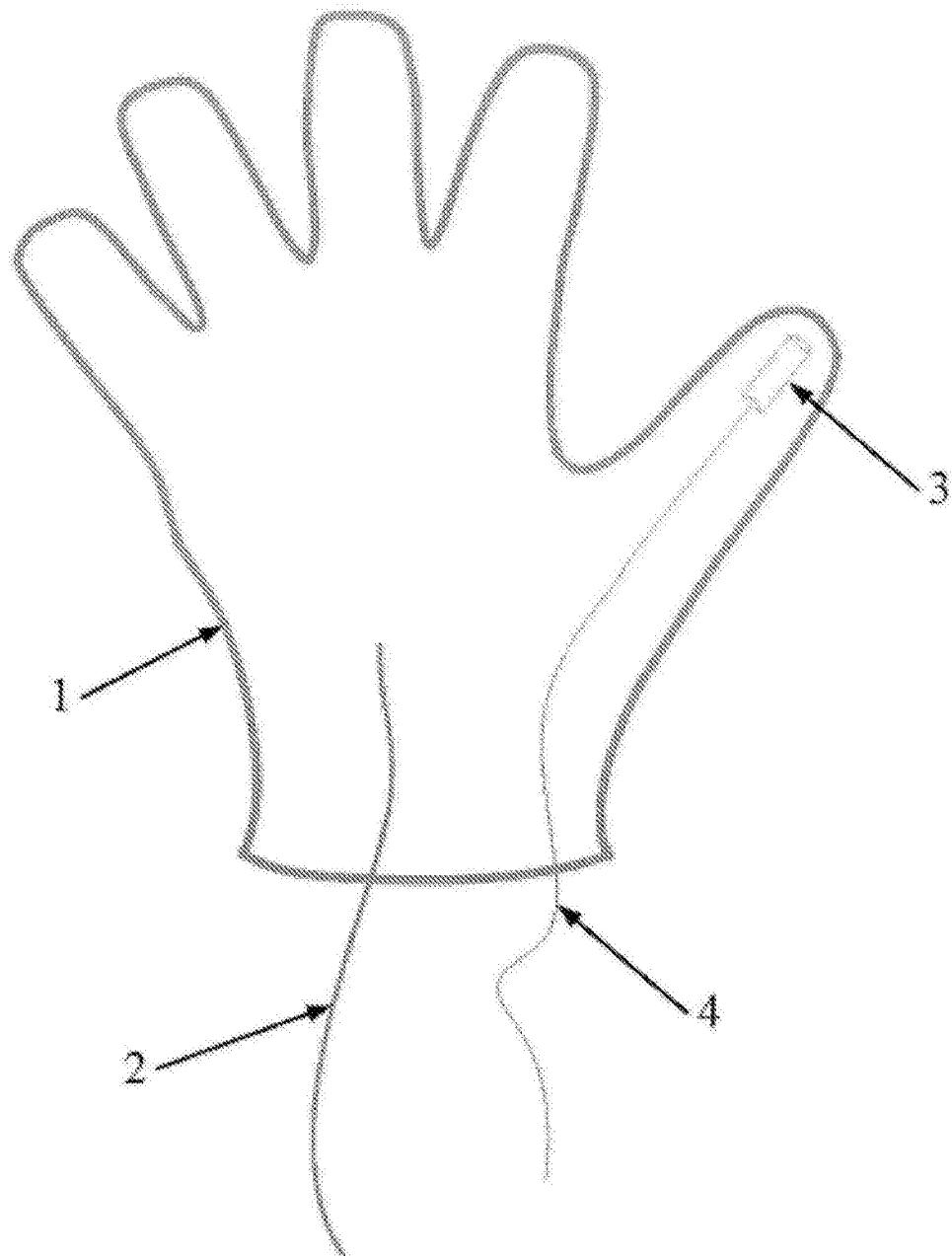


图1

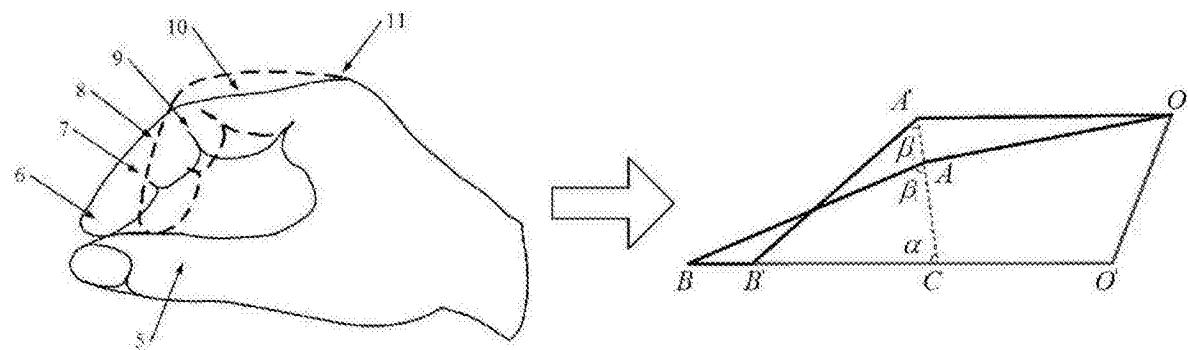


图2

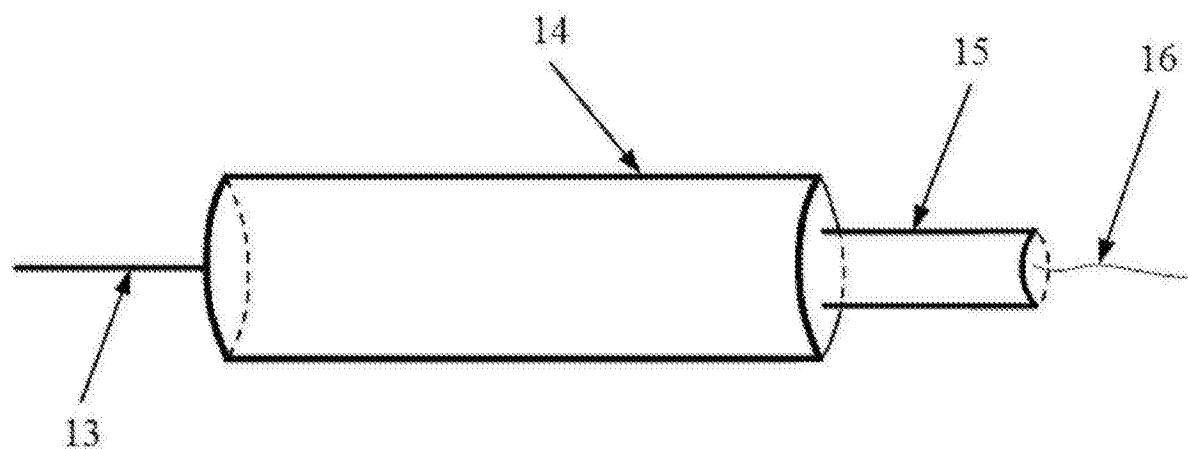


图3

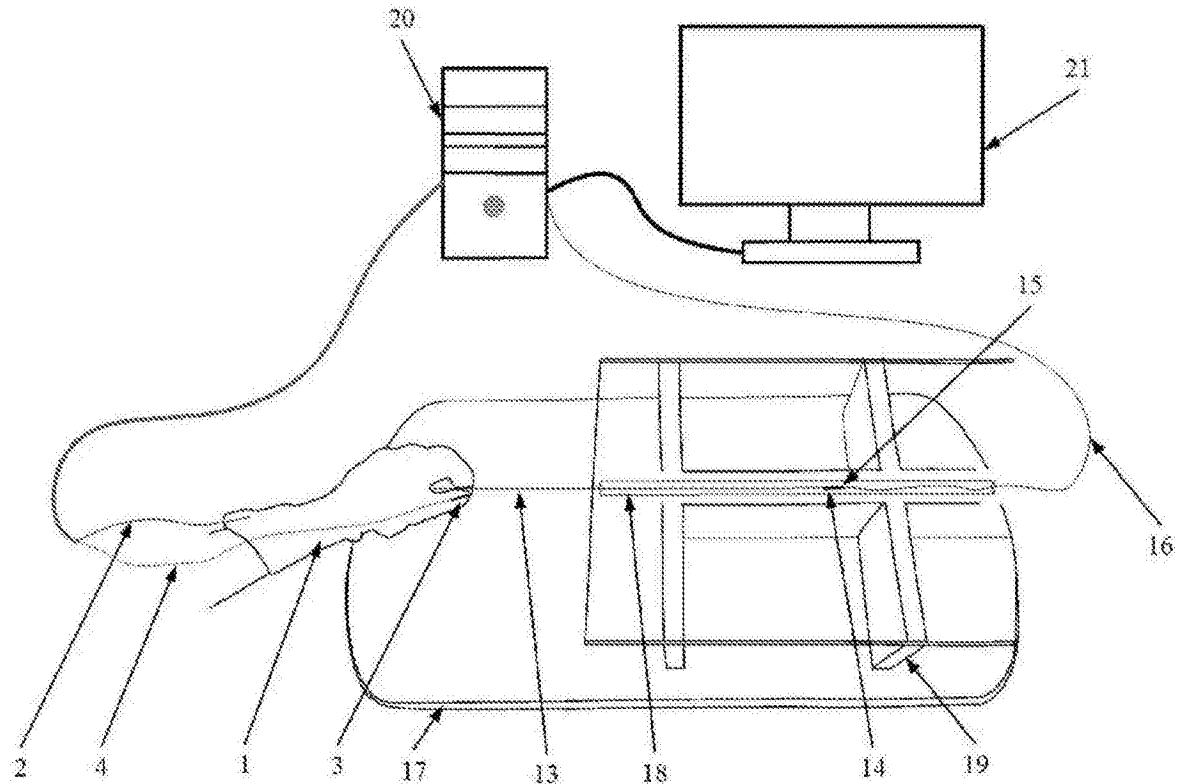


图4