



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107009363 A

(43)申请公布日 2017.08.04

(21)申请号 201710432983.X

(22)申请日 2017.06.09

(71)申请人 微创(上海)医疗机器人有限公司
地址 201203 上海市浦东新区张江高科技
园区牛顿路501号

(72)发明人 师云雷 何超 王家寅 朱祥
袁帅 姜逸之

(74)专利代理机构 上海思微知识产权代理事务
所(普通合伙) 31237

代理人 王仙子

(51)Int.Cl.
B25J 9/16(2006.01)

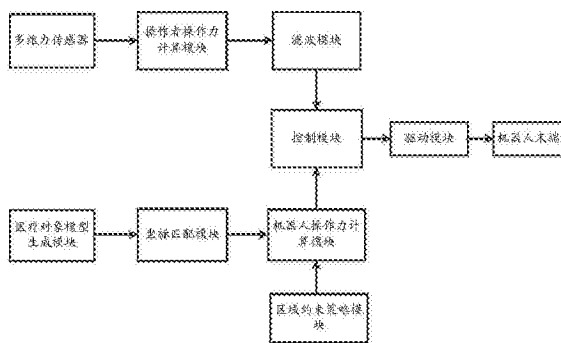
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

医疗机器人及其控制方法

(57)摘要

本发明提供一种医疗机器人及其控制方法,其通过操作者操作力与机器人操作力共同确定机器人末端的运动速度,在操作者操作机器人末端偏离了期望运动轨迹或是进入了危险程度高的区域时,机器人操作力便会产生以使机器人末端始终位于正确的轨迹及区域,该医疗机器人及其控制方法改变了现有技术中单纯的操作者-机器人主从模式控制,让操作者与机器人有了信息交互,大大提高了医疗机器人操作的安全性与精确性。



1. 一种医疗机器人,其特征在于,包括:
操作者操作力获取模块,其用于得到操作者操作力;
机器人操作力获取模块,其用于根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力;
控制模块,其用于通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的期望运动速度,并将所述运动速度的信息转换为控制指令;
驱动模块;
机器人末端;
其中,所述驱动模块根据接收所述控制指令,驱动机器人末端运动。
2. 根据权利要求1所述的医疗机器人,其特征在于,所述操作者操作力获取模块包括:
多维力传感器,用于采集操作者的输入力;
与所述力传感器电连接的操作者操作力计算模块,用于依据机器人力映射模型将力传感器中的所述输入力转换为笛卡尔空间中的所述操作者操作力。
3. 根据权利要求1所述的医疗机器人,其特征在于,还包括滤波模块,其用于对所述操作者操作力进行滤波,以滤除操作者操作时的抖动。
4. 根据权利要求1所述的医疗机器人,其特征在于,所述机器人操作力获取模块包括:
医疗对象模型生成模块,用以建立医疗对象模型,在所述医疗对象模型中按照危险程度划分区域,并针对不同区域设定不同的机器人操作力;
坐标匹配模块,获取所述机器人末端的坐标,将所述医疗对象模型与所述机器人末端的坐标相匹配,判断其所在区域,
区域约束策略模块,采用安全限制算法,根据不同危险程度产生不同的约束策略,
机器人操作力计算模块,结合坐标匹配模块和区域约束策略模块,得到对应的机器人操作力。
5. 根据权利要求4所述的医疗机器人,其特征在于,所述在所述医疗对象模型中按照危险程度划分区域具体包括:
将所述医疗对象模型中的区域划分为推荐运动区域、安全运动区域和禁止运动区域。
6. 根据权利要求5所述的医疗机器人,其特征在于,所述针对不同区域设定不同的机器人操作力具体包括:
在所述推荐运动区域不产生机器人操作力;
在所述安全运动区域产生与所述操作者操作力方向相反的阻尼力,降低机器人末端的运动速度;
在所述禁止运动区域产生远离所述禁止运动区域的机器人操作力。
7. 根据权利要求1至6任一项所述的医疗机器人,其特征在于,所述控制模块包括:
第一子模块,其根据所述操作者操作力和所述机器人操作力得到机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度;
第二子模块,其将所述机器人末端在笛卡尔空间的期望运动速度通过雅克比变换得到机器人关节空间的期望运动速度;
第三子模块,其利用机器人线性化解耦控制律对所述机器人关节空间的期望运动速度进行解耦,得到机器人关节的控制力矩,以完成对机器人的速度控制。

8. 根据权利要求7所述的医疗机器人,其特征在于,所述第一子模块得到所述机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度的公式为:

$$\dot{\bar{X}}_{des} = K_v (\bar{F}_h - \beta \bullet \bar{F}_b)$$

其中, \bar{F}_h 为操作者操作力, \bar{F}_b 为机器人操作力, K_v 为机器人末端在笛卡尔空间中力和速度的比例变换系数, $\dot{\bar{X}}_{des}$ 是机器人末端在笛卡尔空间中的期望速度。

9. 根据权利要求7所述的医疗机器人,其特征在于,所述第二子模块得到所述机器人关节空间的期望运动速度的公式为:

$$\dot{\theta}_d = J_{kms}^{-1} \bullet \dot{\bar{X}}_{des}$$

其中, J_{kms}^{-1} 是当前构型下的逆雅克比, $\dot{\theta}_d$ 是机器人关节空间的期望运动速度。

10. 根据权利要求7所述的医疗机器人,其特征在于,所述第三子模块实施的步骤包括:
建立完整的机器人控制模型;

将所述机器人控制模型分为基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分;

将基于模型的控制部分产生的力矩与伺服偏差控制部分产生的力矩相加,以得到对机器人关节的控制力矩。

11. 根据权利要求10所述的医疗机器人,其特征在于,所述完整的机器人控制模型为:

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

其中, $M(\theta)$ 是机器人操作臂惯量矩阵模型参数, $V(\theta, \dot{\theta})$ 是速度项模型参数, $G(\theta)$ 是重力项模型参数, $F(\theta, \dot{\theta})$ 是摩擦力项模型参数, τ 是 $n \times 1$ 机器人关节的控制力矩, n 为机器人操作臂关节的自由度。

12. 根据权利要求10所述的医疗机器人,其特征在于,所述基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分的公式为:

$$\tau = \alpha \tau' + \beta$$

$$\alpha = M(\theta)$$

$$\beta = V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

$$\tau' = \ddot{\theta}_d + K_v \dot{E}$$

$$E = \theta_d - \theta$$

其中, θ_d 为关节期望角度, θ 为关节实际角度, E 为期望角度与实际角度的偏差, \dot{E} 是期望速度与实际速度的偏差, τ' 为伺服偏差控制部分产生的力矩, β 为基于模型的部分产生的力矩。

13. 一种医疗机器人控制方法,其特征在于,包括:

得到操作者操作力;

根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力;

通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度。

医疗机器人及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及医疗设备设计领域,尤其涉及一种医疗机器人及其控制方法。

背景技术

[0002] 脊柱外科是以手术为主要方式处理脊柱脊髓疾患的临床学科,其核心操作包括置钉和切削两大操作,置钉强调进钉点和角度。传统徒手置钉方式需要术者通过手术经验选择进钉点,依赖于空间感觉和术中透视判断进钉角度;切削包括截骨和对软组织的切除,操作时对神经的不当刺激或损伤极易引起术后神经功能的不可逆损伤。传统切削方式常使用骨凿、磨钻或咬骨钳,在过程中需在狭小的空间内严格控制操作范围,操作的安全依赖于术者的空间感觉、灵敏的手感和精细操作能力。据统计,由医师徒手置钉导致的神经损伤的发生率约为3-55%;在切削过程中损伤神经的发生率为3.2-12.8%。如何利用新技术提高手术的精度,减少徒手操作的限制或人为失误造成的损失,是目前精准医疗环境下脊柱外科研究的发展方向。

[0003] 为解决定位置钉操作的精度问题,以色列研发了SpineAssist系统,该系统是目前国际唯一通过FDA和CFDA认证的脊柱定位置钉机器人,其核心控制技术为并联机械臂的精确位置指令控制,安全策略为术中透视与术前CT配准的导航技术。该系统能在减少透视次数的同时显著提高置钉操作的效率和安全性,误差在1mm以内。韩国汉阳大学开发的SPINEBOT系统同样针对定位置钉操作,在控制模式上采用串联机械臂的位置指令控制,安全策略为红外线光学定位与术前CT配准的导航技术,其误差在1-2mm。同样采用红外线导航和采用串联机械臂的位置指令控制的脊柱置钉机器人还有瑞士的Neuroglide系统和积水潭医院的TiRobot系统。

[0004] 目前上市的脊柱手术机器人的手术目标为定位置钉操作,主要采用机器人关节的直接位置指令控制或采用主从遥操作控制方式。尽管这些机器人在位置信息层面都可以达到较高的精确度,但使用场景十分局限,无法满足临床切削操作对于机器人辅助的需求。切削操作中术者需要实时感知操作位置和力的变化,根据情况随时调整动作。单纯的指令位置控制与主从控制模式机器人虽可以达到较高位置精度,但在实际使用中直接丧失了手术操作力的信息交互,完全依赖于操作者操作的精确度。而手术系统受到配准误差,特别是解剖结构非完全固定造成运动的影响,难以满足切磨操作的安全性及精确性的要求。

发明内容

[0005] 本发明提供一种医疗机器人及其控制方法,以提高医疗机器人操作的安全性与精确性。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供一种医疗机器人,其包括:

[0007] 操作者操作力获取模块,其用于得到操作者操作力;

[0008] 机器人操作力获取模块,其用于根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力;

- [0009] 控制模块,其用于通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度及运动方向,并将所述运动速度及运动方向的信息转换为控制指令;
- [0010] 驱动模块,其用于接收所述控制指令,并带动机器人末端运动;
- [0011] 机器人末端,其通过所述驱动模块带动,并按照所述运动速度进行运动。
- [0012] 可选的,所述操作者操作力获取模块得到操作者操作力的步骤包括:
- [0013] 通过力传感器采集操作者的输入力;
- [0014] 依据机器人力控制模型将力传感器中的所述输入力转换为笛卡尔空间中的所述操作者操作力。
- [0015] 可选的,所述操作者操作力获取模块得到操作者操作力的步骤包括:
- [0016] 检测得到机器人关节力矩;
- [0017] 通过力雅克比变换所述机器人关节力矩,得到所述操作者操作力。
- [0018] 进一步的,所述医疗机器人还包括滤波模块,其用于对所述操作者操作力进行滤波,以滤除操作者操作时的抖动。
- [0019] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力的步骤包括:
- [0020] 建立医疗对象模型;
- [0021] 在所述医疗对象模型中按照危险程度划分区域,并针对不同区域设定不同的机器人操作力系数;
- [0022] 将所述医疗对象模型与所述机器人末端的坐标相匹配;
- [0023] 获取所述机器人末端的坐标,判断其所在区域,以得到对应的机器人操作力。
- [0024] 进一步的,所述在所述医疗对象模型中按照危险程度划分区域具体包括:
- [0025] 将所述医疗对象模型中的区域划分为推荐运动区域、安全运动区域和禁止运动区域。
- [0026] 进一步的,所述针对不同区域设定不同的机器人操作力具体包括:
- [0027] 在所述推荐运动区域不产生机器人操作力;
- [0028] 在所述安全运动区域产生与所述操作者操作力方向相反的阻尼力,降低机器人末端的运动速度;
- [0029] 在所述禁止运动区域产生远离所述禁止运动区域的机器人操作力。
- [0030] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力的步骤还包括:
- [0031] 根据所述机器人末端坐标与所述医疗对象模型的匹配信息生成所述机器人末端的期望运动;
- [0032] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力的步骤还包括:
- [0033] 将所述机器人操作力反馈给操作者。
- [0034] 进一步的,所述控制模块通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度的步骤包括:
- [0035] 根据所述操作者操作力和所述机器人操作力得到机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度;

[0036] 所述机器人末端在笛卡尔空间的期望运动速度通过雅克比变换得到机器人关节空间的期望运动速度；

[0037] 利用机器人线性化解耦控制律对所述机器人关节空间的期望运动速度进行控制，得到机器人关节的控制力矩，最终完成对机器人的速度控制。

[0038] 进一步的，所述机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度公式为：

$$[0039] \quad \dot{\bar{X}}_{des} = K_V (\bar{F}_h - \beta \bullet \bar{F}_b)$$

[0040] 其中， \bar{F}_h 为操作者操作力， \bar{F}_b 为机器人操作力， K_V 为机器人末端在笛卡尔空间中力和速度的比例变换系数， $\dot{\bar{X}}_{des}$ 是机器人末端在笛卡尔空间中的期望速度。

[0041] 进一步的，所述机器人关节空间的期望运动速度公式为：

$$[0042] \quad \dot{\theta}_d = J_{kims}^{-1} \bullet \dot{\bar{X}}_{des}$$

[0043] 其中， J_{kims}^{-1} 是当前构型下的逆雅克比， $\dot{\theta}_d$ 是机器人关节空间的期望运动速度。

[0044] 进一步的，所述利用机器人线性化解耦控制律对所述机器人关节空间的期望运动速度进行控制，得到机器人关节的控制力矩，以完成对机器人的速度控制的步骤包括：

[0045] 建立完整的机器人控制模型；

[0046] 将所述机器人控制模型分为基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分；

[0047] 将基于模型的控制部分产生的力矩与伺服偏差控制部分产生的力矩相加，以得到对机器人关节的控制力矩。

[0048] 进一步的，所述完整的机器人控制模型为：

$$[0049] \quad \tau = M(\theta) \ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

[0050] 其中， $M(\theta)$ 是机器人操作臂惯量矩阵模型参数， $V(\theta, \dot{\theta})$ 是速度项模型参数， $G(\theta)$ 是重力项模型参数， $F(\theta, \dot{\theta})$ 是摩擦力项模型参数， τ 是 $n \times 1$ 机器人关节的控制力矩， n 为机器人操作臂关节的自由度。

[0051] 进一步的，所述基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分的公式为：

$$[0052] \quad \tau = \alpha \tau' + \beta$$

$$[0053] \quad \alpha = M(\theta)$$

$$[0054] \quad \beta = V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

$$[0055] \quad \tau' = \ddot{\theta}_d + K_V \dot{E}$$

$$[0056] \quad E = \theta_d - \theta$$

[0057] 其中， θ_d 为关节期望角度， θ 为关节实际角度， E 为期望角度与实际角度的偏差， \dot{E} 是期望速度与实际速度的偏差， τ' 为伺服偏差控制部分产生的力矩， β 为基于模型的部分产生的力矩。

[0058] 本发明还提供一种医疗机器人控制方法，其包括：

[0059] 得到操作者操作力；

- [0060] 根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力；
- [0061] 通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度。
- [0062] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:
- [0063] 本发明提供的医疗机器人及其控制方法通过操作者操作力与机器人操作力共同确定机器人末端的运动速度,在操作者操作机器人末端偏离了期望运动轨迹或是进入了危险程度高的区域时,机器人操作力便会产生,以使机器人末端始终位于正确的轨迹及区域,该医疗机器人及其控制方法改变了现有技术中单纯的操作者-机器人主从模式控制,让操作者与机器人有了信息交互,大大提高了医疗机器人操作的安全性与精确性。

附图说明

- [0064] 图1为本发明的一个实施方式提供的医疗机器人的结构示意图；
- [0065] 图2为本发明提供的一种医疗对象模型中的区域划分示意图；
- [0066] 图3为本发明提供的另一种医疗对象模型中的区域划分示意图；
- [0067] 图4为本发明提供的另一种医疗对象模型中的操作力策略示意图。

具体实施方式

- [0068] 以下结合附图对本发明提出的医疗机器人及其控制方法作进一步详细说明。根据下面说明和权利要求书,本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是,附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比率,仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施方式的目的。
- [0069] 本发明的核心思想在于,提供一种医疗机器人及其控制方法,其通过操作者操作力与机器人操作力共同确定机器人末端的运动速度,在操作者操作机器人末端偏离了期望运动轨迹或是进入了危险程度高的区域时,机器人操作力便会产生以使机器人末端始终位于正确的轨迹及区域,该医疗机器人及其控制方法改变了现有技术中单纯的操作者-机器人主从模式控制,让操作者与机器人有了信息交互,大大提高了医疗机器人操作的安全性与精确性。本文中所述“速度”为矢量,包括速率和方向。
- [0070] 请参考图1,图1为本发明提供的医疗机器人的结构示意图。
- [0071] 如图1所示,本发明提供一种医疗机器人,其包括:
- [0072] 操作者操作力获取模块,其用于得到操作者操作力;
- [0073] 机器人操作力获取模块,其用于根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力;
- [0074] 控制模块,其用于通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度,并将所述运动速度的信息转换为控制指令;
- [0075] 驱动模块,其用于接收所述控制指令,并带动机器人末端运动;
- [0076] 机器人末端,其通过所述驱动模块带动,并按照所述运动速度进行运动。
- [0077] 本发明提供的医疗机器人分别通过操作者操作力获取模块和机器人操作力获取模块获取操作者操作力与机器人操作力,并通过控制模块使两者共同确定机器人末端的运动速度,在操作者操作机器人末端偏离了期望的运动区域时,机器人操作力便会产生,以使机器人末端始终位于期望的运动区域或有向期望的运动区域运动的趋势。该医疗机器人及

其控制方法改变了现有技术中单纯的操作者-机器人主从模式控制,让操作者与机器人有了信息交互,大大提高了医疗机器人操作的安全性与精确性。

[0078] 在本实施方式中,所述操作者操作力获取模块、驱动模块和机器人末端集中设置,以实现该医疗机器人的控制策略。在其他实施方式中,以上模块和机器人末端也可以不集中设置。

[0079] 在本实施方式中,所述医疗机器人及其控制方法运用于外科手术中,以满足外科手术所需的操作精度及安全性要求。可以想到的是,本发明提供的医疗机器人及其控制方法还可以运用于其他需要高精度手动操作的领域中。

[0080] 在本实施方式中,所述操作者操作力获取模块,包括:

[0081] 位于机器人末端的六维力传感器,以获得六维传感器坐标系下的操作者操作力;

[0082] 所述六维力传感器与所述计算模块电连接,

[0083] 所述计算模块依据机器人力控制模型将六维传感器坐标系下的操作者操作力转换为笛卡尔空间中的所述操作者操作力。

[0084] 所述操作者操作力获取模块得到操作者操作力的步骤包括:

[0085] 通过位于机器人末端的六维力传感器采集六维传感器坐标系下的操作者的操作力;

[0086] 依据机器人力控制模型将六维传感器坐标系下的操作者的操作力转换为笛卡尔空间中的所述操作者操作力。

[0087] 可以想到的是,另一种可选的操作者操作力获取模块包括:

[0088] 机器人关节力矩检测模块,以检测所述机器人关节力矩;

[0089] 所述机器人关节力矩检测模块与计算模块电连接;

[0090] 所述计算模块通过动力学解耦所述机器人关节力矩,得到所述操作者操作力。

[0091] 具体的,所述机器人关节力矩检测模块可以为电流检测模块,也可以为其他用于检测机器人关节力矩的检测检测模块,如用于力矩检测的机械模块,故本发明均意图包含这些技术方案在内。

[0092] 相应的,所述另一种操作者操作力获取模块得到操作者操作力的步骤包括:

[0093] 检测得到机器人关节力矩;

[0094] 通过动力学解耦所述机器人关节力矩,得到所述操作者操作力。

[0095] 所述检测得到机器人关节力矩的方法可以为电流检测或其他能够检测机器人关节力矩的方法,只要能够实现机器人关节力矩的检测,本发明便意图将这些技术方案包含在内。

[0096] 进一步的,所述医疗机器人还包括滤波模块,其用于对采集到的所述操作者操作力进行滤波,以滤除操作者操作时的抖动。

[0097] 对采集到的操作者操作力进行滤波能够有效的滤除操作者操作时的手部抖动,结合机器人操作力共同确定机器人末端运动速度及运动方向,有效地提升机器人末端操作精度和效率。所述滤波处理方式可为低通滤波或者其他滤波方式处理,只要能滤去操作者操作时的抖动,本发明便意图包含这些技术方案在内。

[0098] 可以想到的是所述滤波模块可为低通滤波模块或其他滤波模块,只要能滤去操作者操作时的抖动,本发明便意图包含这些技术方案在内。

- [0099] 在本实施方式中,所述机器人操作力获取模块,包括:
- [0100] 医疗对象模型生成模块,用以建立医疗对象模型,所述对象模型配置有不同区域;
- [0101] 坐标匹配模块,获取所述机器人末端的坐标,将所述医疗对象模型与所述机器人末端的坐标相匹配,判断其所在区域;
- [0102] 区域约束策略模块,采用安全限制算法,根据不同危险程度产生不同的约束策略;
- [0103] 机器人操作力计算模块,结合坐标匹配模块和区域约束策略模块,得到对应的机器人操作力。
- [0104] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端的位置所在区域到机器人操作力的步骤包括:
- [0105] 建立医疗对象模型;
- [0106] 在所述医疗对象模型中划分区域,并针对不同区域设定不同的机器人操作力;
- [0107] 将所述医疗对象模型与所述机器人末端的坐标相匹配;
- [0108] 获取所述机器人末端的位置坐标,判断其所在区域,以得到对应的机器人操作力。
- [0109] 进一步的,所述在所述医疗对象模型中划分区域具体包括:
- [0110] 将所述医疗对象模型中的区域划分为推荐运动区域、安全运动区域和禁止运动区域。
- [0111] 例如,根据CT机或者MRI设备扫描采集到的医学图像,采用核磁成像技术建立二维或三维医学模型,根据医生经验和脏器位置规划手术路径并确定危险区域,针对不同手术操作及不同的危险区域设定不同的力反馈参数。
- [0112] 图2和图3描述了医疗对象模型中区域划分的两种例子。手术路径及危险区域确定方法如图2和图3所示,结合病灶图像与机器人构型,针对软组织切割、截骨等不同的手术任务,并依据工具本身姿态与轮廓,结合匹配的医学图像确定约束边界,并通过采用安全限制算法的区域约束策略模块保证机器人能够在安全区域运行。在图2中,禁止运动区域被推荐运动区域所包围,安全限制算法的目的是让操作者尽量远离禁止运动区域而在推荐运动区域中进行操作;在图4中,推荐运动区域被禁止运动区域所包围,在这种情况下,区域约束策略模块一般会规划指定的路径,并让操作者尽量在该指定路径所在的推荐运动区域进行操作,从而远离禁止运动区域。
- [0113] 可以想到的是,该医疗对象模型中的区域还可以其他方式进行划分,例如推荐运动区域与禁止运动区域不存在包围与被包围的划分方式,只要能够使机器人末端始终位于期望的运动区域或有向期望的运动区域运动的趋势,本发明便意图包含这些技术方案在内。
- [0114] 所述区域约束策略模块在“推荐运动区域”不会产生额外的机器人操作力,在“安全运动区域”会产生阻尼力来降低医生操作速度,在“禁止运动区域”会产生远离“禁止运动区域”的机器人操作力,从而辅助医生进行安全合理的操作。
- [0115] 进一步的,所述针对不同区域设定不同的机器人操作力具体包括:
- [0116] 在所述推荐运动区域,设定不产生机器人操作力;
- [0117] 在所述安全运动区域,设定产生与所述操作者操作力方向相反的阻尼力,降低机器人末端的运动速度;
- [0118] 在所述禁止运动区域,设定产生远离所述禁止运动区域的机器人操作力。

[0119] 可以想到的是,所述机器人操作力也可采用其他方法进行优化。比如,结合医学图像设定危险区域边界,根据距离边界限制距离设置不同的力反馈比例参数,从而给出医生(即操作者)不同量级的力反馈提示,最终实现分级力反馈策略。如图4所示的示范例中,机器人末端远离手术操作危险区域时,力反馈比例参数为 k_1 ;当接近手术操作危险区域时,力反馈比例参数为 k_1+k_2 ,其中 k_1, k_2 大于零。

[0120] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力的步骤还包括:

[0121] 根据所述机器人末端坐标与所述医疗对象模型的匹配信息生成所述机器人末端的期望运动方向,将所述机器人操作力反馈给操作者,以使操作者能够与机器人产生信息交互,让操作者将机器人末端操作始终保持在期望的运动区域。

[0122] 进一步的,所述机器人操作力获取模块根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力的步骤还可以包括:

[0123] 根据所述机器人末端坐标与所述医疗对象模型的匹配信息在屏幕等显示设备上生成所述机器人末端的期望运动轨迹,以指导操作者进行期望路线的机器人末端操作。

[0124] 进一步的,所述控制模块通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度的步骤包括:

[0125] 根据所述操作者操作力和所述机器人操作力得到机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度;

[0126] 所述机器人末端在笛卡尔空间的期望运动速度通过雅克比变换得到机器人关节空间的期望运动速度;

[0127] 利用机器人线性化解耦控制律对所述机器人关节空间的期望运动速度进行解耦,得到机器人关节的控制力矩,以完成对机器人的速度控制。

[0128] 进一步,基于医疗机器人构型进行运动学分析,得出机器人关节空间与笛卡尔空间之间运动的变换。例如,采用矢量法得到机器人的速度雅可比映射模型,通过对速度雅可比模型进行变换得到力雅可比映射模型,根据上述模型可以完成机器人任务空间与关节空间之间的变换。

[0129] 进一步的,所述机器人末端在笛卡尔空间中的期望运动速度公式为:

$$[0130] \quad \dot{\bar{X}}_{des} = K_v (\bar{F}_h - \lambda \cdot \bar{F}_b)$$

[0131] 其中, \bar{F}_h 为操作者操作力, \bar{F}_b 为机器人操作力, K_v 为机器人末端在笛卡尔空间中力和速度的比例变换系数, $\dot{\bar{X}}_{des}$ 是机器人末端在笛卡尔空间中的期望速度。

[0132] 进一步的,所述机器人关节空间的期望运动速度公式为:

$$[0133] \quad \dot{\theta}_d = J_{kins}^{-1} \cdot \dot{\bar{X}}_{des}$$

[0134] 其中, J_{kins}^{-1} 是当前的医疗机器人构型下的逆雅克比, $\dot{\theta}_d$ 是机器人关节空间的期望运动速度。

[0135] 进一步的,所述利用机器人线性化解耦控制律对所述机器人关节空间的期望运动速度进行解耦,得到机器人关节的控制力矩,以完成对机器人的速度控制的步骤包括:

[0136] 建立完整的机器人控制模型；

[0137] 将所述机器人控制模型分为基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分；

[0138] 将基于模型的控制部分产生的力矩与伺服偏差控制部分产生的力矩相加,以得到对机器人关节的控制力矩。

[0139] 进一步的,所述完整的机器人控制模型为:

$$[0140] \quad \tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

[0141] 其中, $M(\theta)$ 是机器人惯量矩阵模型参数, $V(\theta, \dot{\theta})$ 是速度项模型参数, $G(\theta)$ 是重力项模型参数, $F(\theta, \dot{\theta})$ 是摩擦力项模型参数, τ 是 $n \times 1$ 机器人关节的控制力矩, n 为机器人关节的自由度。

[0142] 进一步的,所述基于模型的控制部分和伺服偏差控制部分的公式为:

$$[0143] \quad \tau = \alpha\tau' + \beta$$

$$[0144] \quad \alpha = M(\theta)$$

$$[0145] \quad \beta = V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta})$$

$$[0146] \quad \dot{\tau}' = \ddot{\theta}_d + K_v \dot{E}$$

$$[0147] \quad E = \theta_d - \theta$$

[0148] 其中, θ_d 为关节期望角度, θ 为关节实际角度, E 为关节期望角度与关节实际角度的偏差, \dot{E} 是期望速度与实际速度的偏差, τ' 为伺服偏差控制部分产生的力矩, β 为基于模型的部分产生的力矩。

[0149] 如图1所示,本发明还提供一种医疗机器人控制方法,其包括:

[0150] 得到操作者操作力;

[0151] 根据机器人末端所在区域的危险程度得到机器人操作力;

[0152] 通过所述操作者操作力和所述机器人操作力共同确定所述机器人末端的运动速度。

[0153] 本发明提供的医疗机器人控制方法通过操作者操作力与机器人操作力共同确定机器人末端的运动速度,在操作者操作机器人末端偏离了期望运动轨迹或是进入了危险程度高的区域时,机器人操作力便会产生以使机器人末端始终位于正确的轨迹及区域,该医疗机器人及其控制方法改变了现有技术中单纯的操作者-机器人主从模式控制,让操作者与机器人有了信息交互,大大提高了医疗机器人操作的安全性与精确性。

[0154] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些改动和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

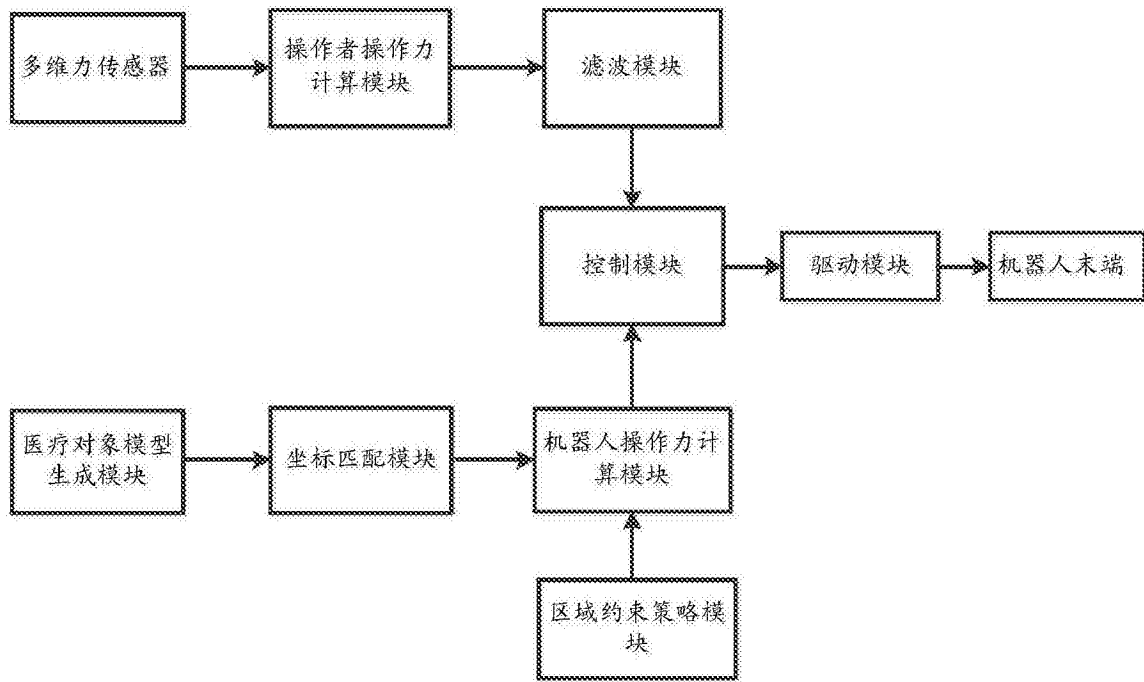


图1

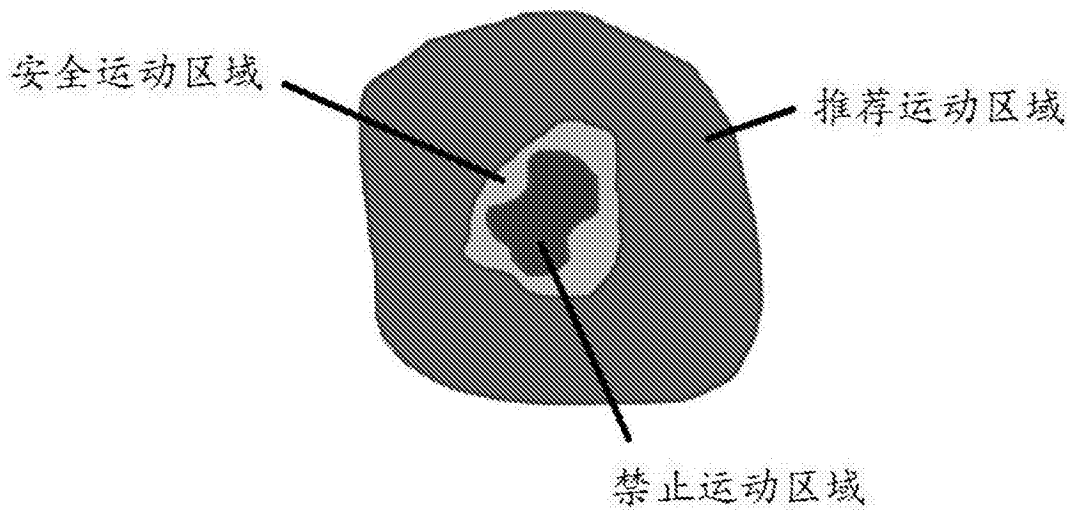


图2

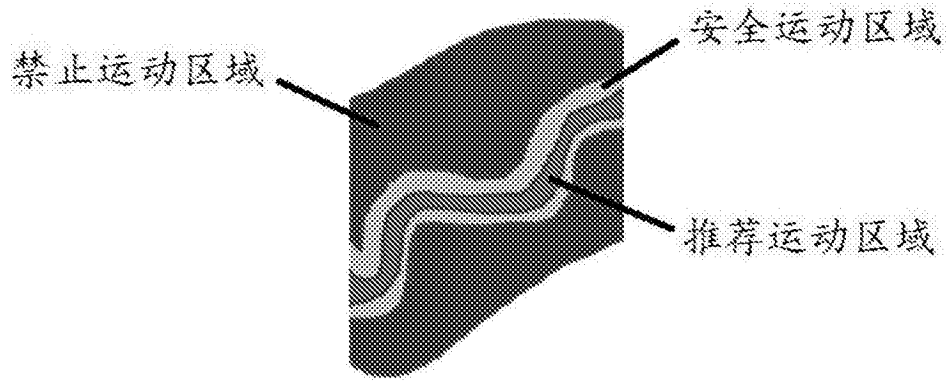


图3

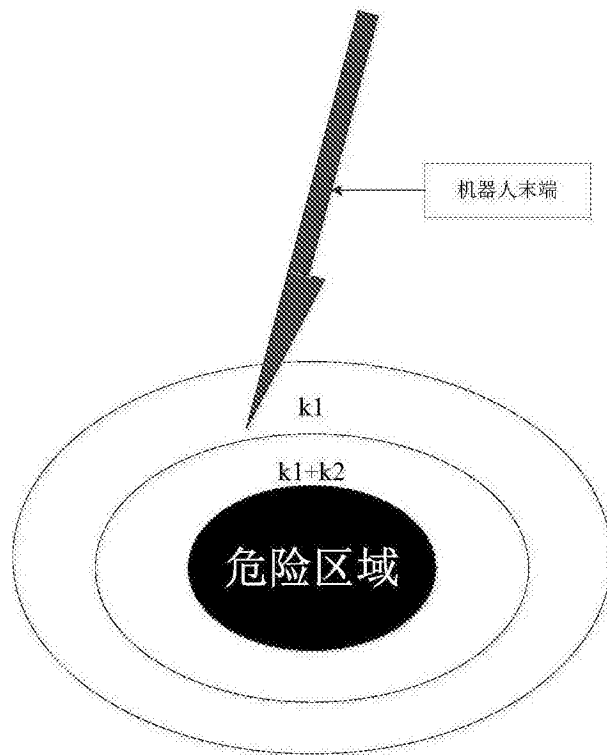


图4