



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118557183 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 30

(21) 申请号 202411041347.0

G06F 17/16 (2006.01)

(22) 申请日 2024.07.31

(71) 申请人 中国科学院深圳先进技术研究院

地址 518055 广东省深圳市南山区深圳大学  
学城学苑大道1068号(72) 发明人 彭德民 宁运琨 刁亚楠 赵国如  
周永强 陈桂兰 游子傲 胡睿(74) 专利代理机构 北京中巡通大知识产权代理  
有限公司 11703

专利代理师 张弘

(51) Int. Cl.

A61B 5/11 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

G16H 20/30 (2018.01)

G06F 17/11 (2006.01)

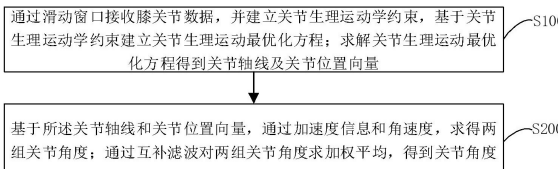
权利要求书2页 说明书13页 附图4页

## (54) 发明名称

一种关节角实时估计方法、系统、装置及相关设备

## (57) 摘要

本发明公开了一种关节角实时估计方法、系统、装置及相关设备,属于可穿戴设备数据采集技术领域。该方法包括:通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程;求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度;通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度。该方法解决了如何精确检测惯性传感可穿戴惯性节点测量过程中佩戴不稳或者被外界干扰导致的扰动问题,提高了可穿戴设备的测量准确性。



1. 一种膝关节的关节角估计方法,其特征在于,包括:

通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程;求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度;通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度。

2. 根据权利要求1所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程,包括:

采集若干个周期内的膝关节数据,包括加速度和角速度数据;

通过滑动窗口接收加膝关节数据,并建立关节生理运动学约束;

根据关节生理运动学约束,建立关节生理运动最优化方程。

3. 根据权利要求1所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量,是利用高斯-牛顿法优化所述关节生理运动最优化方程从而估算关节轴线及关节位置向量。

4. 根据权利要求1所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度,包括:

基于所述关节轴线和关节位置向量,利用角速度求积分计算得第一组关节角;

基于所述关节轴线和关节位置向量,利用加速度求得第二组关节角。

5. 根据权利要求1所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述通过滑动窗口接收膝关节数据之后还包括扰动判断步骤;所述扰动判断步骤包括:

对相隔时间窗口的膝关节数据采集后,进行扰动判断,如果扰动量大于阈值,则重新估算关节轴线及关节位置向量;

对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,并基于所述最优阈值更新实时阈值。

6. 根据权利要求5所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,包括:

得到第一窗口的加速度、角速度,关节角向量;

得到第二窗口的加速度、角速度,关节角向量;

计算关节角两次向量产生的变化,关节角变化  $\Delta j = J_2 - J_1$ 、加速度变化  $\Delta a = a_2 - a_1$ 、角速度变化  $\Delta w = w_2 - w_1$ ;

将多指标的变化结合产生最终变化,最终变化  $\Delta Q = d \times \text{关节角变化} + e \times \text{加速度变化} + f \times \text{角速度变化}$ ,扰动量  $\Delta \text{change} = \text{mean}(d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w)$ ,其中,mean代表平均值,d、e、f为满足  $d+e+f=1$  的随机数。

7. 根据权利要求6所述的膝关节的关节角估计方法,其特征在于,所述根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,包括:

取初始值:对d、e、f取随机数值;

在惯性节点绝对静止不加扰动的状态下用滑动窗口多次取得多组  $\Delta Q$ ,找到  $\Delta Q$  中的最小值a、最大值b,形成  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [a, b]$ ,  $\Delta Q_{\text{normal}}$  是不受外界扰动的正常值范围;在惯性节点

轻微扰动的情况下用滑动窗口多次取得多组  $\Delta Q$ , 找到  $\Delta Q$  中的最小值  $c$ 、最大值  $d$  形成  $\Delta Q_{\text{unnormal}} \in [c, d]$ ,  $\Delta Q_{\text{unnormal}}$  是受到外界扰动的非正常值范围;

对  $d$ 、 $e$ 、 $f$  取多种不同数值, 找到使得  $\Delta Q_{\text{normal}}$  与  $\Delta Q_{\text{unnormal}}$  取最大范围的取值。

8. 根据权利要求5所述的膝关节的关节角估计方法, 其特征在于, 所述基于所述最优阈值更新实时阈值, 包括:

根据不同的数学指标进行量化并计算变化值, 取变化值中最大值作为最优阈值, 用于更新实时阈值。

9. 一种膝关节的关节角估计装置, 其特征在于, 包括:

向量求解单元, 用于通过滑动窗口接收膝关节数据, 并建立关节生理运动学约束, 基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程; 求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

角度求解单元, 用于基于所述关节轴线和关节位置向量, 通过加速度信息和角速度, 求得两组关节角度; 通过互补滤波对两组关节角度求加权平均, 得到关节角度。

10. 根据权利要求9所述的膝关节的关节角估计装置, 其特征在于, 还包括:

扰动判断单元: 用于对相隔时间窗口的膝关节数据采集后, 进行扰动判断, 如果扰动量大于阈值, 则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量; 对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化, 根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值, 并基于所述最优阈值更新实时阈值。

11. 一种电子设备, 其特征在于, 包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1-8任一项所述膝关节的关节角估计方法。

12. 一种计算机可读存储介质, 其特征在于, 所述计算机可读存储介质存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1-8任一项所述膝关节的关节角估计方法。

13. 一种计算机程序产品, 所述计算机程序产品包括计算机指令, 其特征在于, 所述计算机指令指示计算机执行权利要求1-8任一项所述膝关节的关节角估计方法。

14. 一种可穿戴设备, 其特征在于, 包括: 两个嵌入式的可穿戴惯性节点, 每个可穿戴惯性节点均包含惯性传感模块、主控芯片模块、无线通讯模块及电源模块, 两个嵌入式的可穿戴惯性节点用于通过惯性传感模块实时接收惯性传感模块采集的膝关节数据, 再经过无线通讯模块通过滑动窗口发送膝关节数据; 所述膝关节数据用于权利要求1-8任一项所述的所述膝关节的关节角估计方法;

所述惯性传感模块包括三轴加速度、三轴陀螺仪、三轴角速度。

15. 一种膝关节的关节角估计系统, 其特征在于, 包括:

设备模块, 采用如权利要求14所述的可穿戴设备;

关节角计算模块, 采用如权利要求9所述的膝关节的关节角估计装置。

## 一种关节角实时估计方法、系统、装置及相关设备

### 技术领域

[0001] 本发明提出了一种关节角实时估计方法、系统、装置及相关设备,属于可穿戴设备数据采集技术领域。

### 背景技术

[0002] 在正常的日常活动中,监测和评估关键关节的机械和生理特征,可以为不同肌肉骨骼疾病的发生和发展提供有价值的判断。而在所有关节中,膝关节是人体活动能力最关键的关节,这是由于膝关节是体重的主要承载者,在活动能力方面起着至关重要的作用。膝关节的实时监测可以不间断的提供与膝关节健康和活动能力相关的重要信息,这些信息可用于健康评估、活动相关问题的早期诊断以及监测受伤或手术后的恢复情况,膝关节角度是膝关节实时监测的关键参数。

[0003] 在现有技术中使用惯性可穿戴惯性节点估计关节角度一般采取以下三个步骤:

首先,估计惯性可穿戴惯性节点的“绝对方向”来跟踪惯性可穿戴惯性节点坐标系和地球坐标系在身体运动过程中的相对方向关系。在实践中,惯性可穿戴惯性节点的姿态不能直接用于估计关节角度,因为IMU(Inertial Measurement Unit,惯性测量单元)坐标系与体段或关节的坐标系不对齐。这种错位将导致较大的估计误差,所以我们要执行校准程序,这些程序是将惯性可穿戴惯性节点坐标系与主体坐标系对齐。校准程序通过运动学约束来执行,使用运动学约束构造成本函数;

其次,利用求解出的关节轴线和关节位置向量,求得两个惯性可穿戴惯性节点的加速度和角速度,分别求得加速度和角速度计算得到两组关节角度,通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,求解出关节角度;

最后,对外界扰动进行处理。实时计算关节角算法的一个隐含假设是:在执行校准程序(即关节轴线的解算)后,惯性可穿戴惯性节点不会相对于其安装的人体肢体移动。但是,如果惯性可穿戴惯性节点在关节角实时测量期间由于一些偶发的碰撞或松动的附件产生的扰动而移动,则会产生较大的估计误差。对扰动的处理思路一般为通过滑动窗口实时获取当前一段时间和当前一段时间的下一段时间的数据,将不同滑动窗口接收的数据进行对比,将其差值的二范数与阈值对比,若不超过阈值,则判断为传感器未发生窜动,继续进行关节角度解算;若超过阈值,则判断传感器发生窜动,停止角度解算,重启关节轴线向量求解,更新关节轴线向量坐标。

[0004] 目前相近技术方案有:

论文文献:Seel, T.; Raisch, J.; Schauer, T. IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis. Sensors 2014, 14, 6891-6909., 该论文提出了一套新方法用于关节轴和位置识别,以及屈伸关节角度测量。特别是提出了只使用陀螺仪和加速度计不依赖于均质磁场的方法。这最终测量的结果膝关节屈伸度的均方根误差在假肢上小于1度,在人腿上约为3度。对于踝关节的跖屈/背伸,两者的偏差均约为1度。该论文为关节角的计算提供了最有利的理论依据,但是该论文只涉及到了惯性可穿戴惯性节点的矫正,没

有涉及到抗扰动的问题。

[0005] 专利文献1:一种可穿戴式惯性器件人体步态信息采集计算方法;申请号为201711408588.4;该发明公布了一种可穿戴式惯性器件人体步态信息采集计算方法,涉及外骨骼步态规律信息采集领域;包括如下步骤:步骤(一)、在人体腿部安装4个加速度计和2个IMU;步骤(二)、根据大腿俯仰角和小腿俯仰角,计算第一膝关节角度;步骤(三)、根据大腿倾斜角度和小腿倾斜角度,计算第二膝关节角度;步骤(四)、建立人体大腿第一IMU坐标系和小腿第二IMU坐标系;步骤(五)、建立第一膝关节角度和第二膝关节角度的关系方程;步骤(六)、进行卡尔曼滤波计算,得到膝关节角度误差并补偿后的膝关节角度;本发明实现了人体步态信息的实时非接触测量,获得准确的膝关节角度信息,结合开始采集的人体基本信息,解算人体步行过程中步长、步频和抬腿高度等信息。该专利存在两大缺点:首先是需要佩戴的设备过多,总共需要安装4个加速度计和2个IMU,安装过程过于繁杂,其次无法做到IMU的校准,需要人为的进行校准。

[0006] 专利文献2:一种无需标准矫正姿势的基于惯性传感器的人体动作采集方法;申请号为202010117861.3;该发明公开了一种无需标准矫正姿势的基于惯性传感器的人体动作采集方法。步骤1:安置IMU,并建立关节生理运动学约束;步骤2:利用步骤1的IMU,当IMU的采样点数超过100个时,根据关节生理运动学约束,运行优化程序,利用高斯-牛顿法估算关节轴线及关节位置向量;步骤3:利用求解出的关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度积分,分别求得两组关节角度;步骤4:通过互补滤波对步骤3中两组关节角度求加权平均,求解出的关节角度。本发明目的在于对人体下肢IMU信号进行解码,并根据人体下肢运动学模型实时解算下肢髋关节、膝关节以及踝关节角度。但是该专利无法对抗扰动产生有效的干预措施。

[0007] 专利文献3:一种基于惯性传感器的抗位置窜动关节角度解算实时方法;申请号为202010117558.3;该发明公开了一种基于惯性传感器的抗位置窜动关节角度解算实时方法。该发明其目的是解决应用惯性传感器估算人体关节角度过程中传感器相对于肢体发生窜动所导致的测量误差问题。但是该发明对于扰动的判断指标过于单一,且对于阈值的设定过于随意,完全由经验决定,对抗扰动的检测正确率不高。

## 发明内容

[0008] 为了解决现有技术关节角实时估计精度低问题,本发明提供一种关节角实时估计方法、系统、装置及相关设备,该方法解决了惯性传感可穿戴惯性节点测量过程中佩戴不稳或者被外界干扰导致的扰动问题,提高了可穿戴设备的测量准确性。

[0009] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:

第一方面,本发明提供一种膝关节的关节角估计方法,包括:

通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程;求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度;通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度。

[0010] 作为本发明进一步改进,所述通过滑动窗口接收膝关节数据之后还包括:扰动判

断步骤;所述扰动判断步骤包括:

对相隔时间窗口的膝关节数据采集后,进行扰动判断,如果扰动量大于阈值,则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量;

对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,并基于所述最优阈值更新实时阈值。

[0011] 作为本发明进一步改进,所述通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程,包括:

采集若干个周期内的膝关节数据,包括加速度和角速度数据;

通过滑动窗口接收加膝关节数据,并建立关节生理运动学约束;

根据关节生理运动学约束,建立关节生理运动最优化方程。

[0012] 具体地,采集若干个周期内的膝关节数据,包括加速度和角速度数据,通过滑动窗口接收加膝关节数据,并建立关节生理运动学约束:

$$\|g_1(t) \times j_1\|_2 - \|g_2(t) \times j_2\|_2 = 0 \quad \forall t$$

$$[0013] \quad \|a_1(t) - \Gamma_{g_1(t)}(o_1)\|_2 - \|a_2(t) - \Gamma_{g_2(t)}(o_2)\|_2 = 0 \quad \forall t$$

[0014] 式中, $g_1(t)$ 、 $g_2(t)$ 分别是第一惯性节点、第二惯性节点任意时间 $t$ 的角速度; $j_1$ 、 $j_2$ 分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块的关节轴向量, $a_1(t)$ 、 $a_2(t)$ 分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块任意时间 $t$ 的加速度, $o_1$ 、 $o_2$ 是绕关节中心旋转而产生的径向和切向加速度, $\Gamma$ 表示不同的关节中心, $\forall$ 为任意时间 $t$ , $\|$ 为矩阵/向量的二范数;

其中, $j_1$ 、 $j_2$ 在球坐标系中的坐标如下所示:

$$j_1 = (\cos(\phi_1) \cos(\theta_1), \cos(\phi_1) \sin(\theta_1), \sin(\phi_1))^T$$

$$j_2 = (\cos(\phi_2) \cos(\theta_2), \cos(\phi_2) \sin(\theta_2), \sin(\phi_2))^T$$

[0015] 式中, $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 是球坐标系下的方位角, $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 是球坐标系下的极角; $\cos(\cdot)$ 为余弦函数, $\sin(\cdot)$ 为正弦函数, $T$ 为向量的转置;

根据关节生理运动学约束,建立关节生理运动最优化方程:

$$\Psi(\phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2) := \sum_{i=1}^N e_i^2, \quad e_i = \|g_1(t_i) \times j_1\|_2 - \|g_2(t_i) \times j_2\|_2$$

$$[0016] \quad \tilde{\Psi}(o_1, o_2) := \sum_{i=1}^N e_i^2, \quad e_i = \|a_1(t) - \Gamma_{g_1(t)}(o_1)\|_2 - \|a_2(t) - \Gamma_{g_2(t)}(o_2)\|_2$$

[0017] 式中, $\Psi$ 是误差平方和; $e_i$ 是上下关节参数的误差。

[0018] 作为本发明进一步改进,所述求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量,是利用高斯-牛顿法优化所述关节生理运动最优化方程从而估算关节轴线及关节位置向量。

[0019] 作为本发明进一步改进,所述基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度,包括:

基于所述关节轴线和关节位置向量,利用角速度求积分计算得第一组关节角;

基于所述关节轴线和关节位置向量,利用加速度求得第二组关节角。

[0020] 具体地,所述基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度积分,求得两组关节角度,包括:

利用角速度求得关节角:

$$\alpha_{\text{gyr}}(t) = \int_0^t (g_1(\tau) \cdot j_1 - g_2(\tau) \cdot j_2) d\tau$$

[0021] 式中, $\alpha_{\text{gyr}}$ 是基于角速度计算的关节角, $g_1(\tau)$ 、 $g_2(\tau)$ 分别是第一惯性节点、第二惯性节点任意时间 $t$ 的角速度; $j_1$ 、 $j_2$ 分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块的关节轴向量, $d\tau$ 是单位时间;

利用加速度求得关节角:

$$\alpha_{\text{acc}}(t) = \angle_{2d} \left( \begin{bmatrix} \tilde{a}_1(t) \cdot x_1 \\ \tilde{a}_1(t) \cdot y_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \tilde{a}_2(t) \cdot x_2 \\ \tilde{a}_2(t) \cdot y_2 \end{bmatrix} \right)$$

[0022] 式中, $\alpha_{\text{acc}}$ 是基于加速度关节角, $\tilde{a}_1$ 、 $\tilde{a}_2$ 为加速度, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $y_1$ 、 $y_2$ 为关节平面轴, $\angle_{2d}$ 表示在 $R^2$ 二维下的角度。

[0023] 作为可选方案,所述通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度,包括:

$$\alpha_{\text{acc+gyr}}(t) = \lambda \alpha_{\text{acc}}(t) + (1 - \lambda) (\alpha_{\text{acc+gyr}}(t - \Delta t) + \alpha_{\text{gyr}}(t) - \alpha_{\text{gyr}}(t - \Delta t)), \quad \lambda \in [0, 1]$$

[0024] 式中, $\lambda$ 是互补滤波因素, $\alpha_{\text{acc+gyr}}(t)$ 是 $t$ 时刻的合关节角, $\alpha_{\text{acc+gyr}}(t - \Delta t)$ 是 $t - \Delta t$ 时刻的合关节角, $\alpha_{\text{gyr}}(t)$ 是基于角速度在 $t$ 时刻的关节角, $\alpha_{\text{gyr}}(t - \Delta t)$ 是基于角速度 $t - \Delta t$ 时刻的关节角。

[0025] 作为本发明进一步改进,所述通过滑动窗口接收膝关节数据之后还包括扰动判断步骤;所述扰动判断步骤包括:

对相隔时间窗口的膝关节数据采集后,进行扰动判断,如果扰动量大于阈值,则重新估算关节轴线及关节位置向量;

对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,并基于所述最优阈值更新实时阈值。

[0026] 作为本发明进一步改进,所述对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,包括:

得到第一窗口的加速度、角速度,关节角向量;

得到第二窗口的加速度、角速度,关节角向量;

计算关节角两次向量产生的变化,关节角变化 $\Delta j = J_2 - J_1$ 、加速度变化 $\Delta a = a_2 - a_1$ 、角速度变化 $\Delta w = w_2 - w_1$ ;

将多指标的变化结合产生最终变化,最终变化 $\Delta Q = d \times \text{关节角变化} + e \times \text{加速度变化} + f \times \text{角速度变化}$ ,扰动量 $\Delta \text{change} = \text{mean}(d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w)$ ,其中,mean代表平均值, $d$ 、 $e$ 、 $f$ 为满足 $d + e + f = 1$ 的随机数。

[0027] 作为本发明进一步改进,所述根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,包括:

取初始值:对 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 取随机数值;



在惯性节点绝对静止不加扰动的状态下用滑动窗口多次取得多组  $\Delta Q$ , 找到  $\Delta Q$  中的最小值  $a$ 、最大值  $b$ , 形成  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [a, b]$ ,  $\Delta Q_{\text{normal}}$  是不受外界扰动的正常值范围; 在惯性节点轻微扰动的情况下用滑动窗口多次取得多组  $\Delta Q$ , 找到  $\Delta Q$  中的最小值  $c$ 、最大值  $d$  形成  $\Delta Q_{\text{unnormal}} \in [c, d]$ ,  $\Delta Q_{\text{unnormal}}$  是受到外界扰动的非正常值范围;

对  $d$ 、 $e$ 、 $f$  取多种不同数值, 找到使得  $\Delta Q_{\text{normal}}$  与  $\Delta Q_{\text{unnormal}}$  取最大范围的取值。

[0028] 作为本发明进一步改进, 所述基于所述最优阈值更新实时阈值, 包括:

根据不同的数学指标进行量化并计算变化值, 取变化值中最大值作为最优阈值, 用于更新实时阈值。

[0029] 具体地, 在初始值的基础上进行实时判断与更新:

如果当前变化  $\Delta Q \in \Delta Q_{\text{normal}}$ , 则惯性模块正常的运动变化;

如果当前变化  $\Delta Q \in \Delta Q_{\text{unnormal}}$ , 则出现了扰动, 停止角度解算, 重启关节轴线向量求解, 更新关节轴线向量坐标;

如果当前变化  $\Delta Q \notin \Delta Q_{\text{normal}}$  且  $\Delta Q \notin \Delta Q_{\text{unnormal}}$ :

且, 若  $\Delta Q < a$  或者  $\Delta Q > d$ , 继续下一轮计算  $\Delta Q$ ,

如果  $|\Delta Q - b| > |\Delta Q - c|$ , 拓展  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [a, \Delta Q]$ , 如果  $|\Delta Q - b| < |\Delta Q - c|$ , 拓展  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [\Delta Q, d]$ 。

[0030] 第二方面, 本发明提供一种膝关节的关节角估计装置, 包括:

向量求解单元, 用于通过滑动窗口接收膝关节数据, 并建立关节生理运动学约束, 基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程; 求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

角度求解单元, 用于基于所述关节轴线和关节位置向量, 通过加速度信息和角速度, 求得两组关节角度; 通过互补滤波对两组关节角度求加权平均, 得到关节角度。

[0031] 作为进一步改进, 还包括: 扰动判断单元: 用于对相隔时间窗口的膝关节数据采集后, 进行扰动判断, 如果扰动量大于阈值, 则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量; 对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化, 根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值, 并基于所述最优阈值更新实时阈值。

[0032] 第三方面, 本发明提供一种电子设备, 包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现所述膝关节的关节角估计方法。

[0033] 第四方面, 本发明提供一种计算机可读存储介质, 所述计算机可读存储介质存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现所述膝关节的关节角估计方法。

[0034] 第五方面, 本发明提供一种计算机程序产品, 所述计算机程序产品包括计算机指令, 所述计算机指令指示计算机执行所述膝关节的关节角估计方法。

[0035] 第六方面, 本发明提供一种可穿戴设备, 包括: 两个嵌入式的可穿戴惯性节点, 每个可穿戴惯性节点均包含惯性传感模块、主控芯片模块、无线通讯模块及电源模块, 两个嵌入式的可穿戴惯性节点用于通过惯性传感模块实时接收惯性传感模块采集的膝关节数据, 再经过无线通讯模块通过滑动窗口发送膝关节数据; 所述惯性传感模块包括三轴加速度、三轴陀螺仪、三轴角速度。

[0036] 第七方面, 本发明提供一种膝关节的关节角估计系统, 包括:



设备模块,采用上述的可穿戴设备;

关节角计算模块,采用上述的膝关节的关节角估计装置。

[0037] 本发明相对于现有技术具备的有益效果为:

本发明通过融合关节轴,加速度和角速度来量化扰动的变化量,解决了惯性传感可穿戴惯性节点测量过程中佩戴不稳或者被外界干扰导致的扰动问题,且对扰动的判断有百分之九十以上的高精确度。

[0038] 进而通过基于数学指标进行量化的贪婪算法动态更新阈值,使得抗干扰的准确性大大上升。将关节角的实时计算算法和抗扰动结合,实现了高实时计算的同时,也能对外界扰动进行检测,并且该检测不会对实时性有较大干扰。

## 附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明实施例或者现有技术中的技术方案,下面对本发明实施例或者现有技术中的相关技术方案附图作以下介绍,应当理解的是,下面介绍中的附图仅仅为了方便清晰表述本发明的技术方案中的部分实施例,对于本领域的技术人员而言,在无需付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获取到其他附图。

[0040] 图1为本发明实施例提供的装置基本框架示意图;

图2为本发明实施例的惯性传感网原理图;

图3为本发明实施例的总体算法框架示意图;

图4为本发明实施例的贪婪阈值实时计算算法示意图;

图5为本发明实施例的实验成功率示意图;

图6为本发明给出的一种膝关节的关节角估计方法流程图;

图7为本发明提供的一种膝关节的关节角估计装置;

图8为本发明提供的一种电子设备示意图。

## 具体实施方式

[0041] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。对于以下实施例中的步骤编号,其仅为了便于阐述说明而设置,对步骤之间的顺序不做任何限定,实施例中的各步骤的执行顺序均可根据本领域技术人员的理解来进行适应性调整。

[0042] 本发明的描述中,除非另有明确的限定,设置、安装、连接等词语应做广义理解,所属技术领域技术人员可以结合技术方案的具体内容合理确定上述词语在本发明中的具体含义。

[0043] 基于背景技术的介绍,可以发现提高准确率的关键在于扰动指标和阈值这两者选择,具体原因是:

1. 在扰动指标的设定上,通常采用的指标是使用惯性可穿戴惯性节点的测量值,即线性加速度和角速率作为指标。但是这种方式会过于简单,除了惯性可穿戴惯性节点运动引起的变化外,导致滑动窗口之间的测量差异还包含由测量噪声引起的变化。这可能会使惯性可穿戴惯性节点运动引起的变化被惯性可穿戴惯性节点运动以外的因素引起的变

化所淹没。扰动指标对后续阈值的设定同样也存在影响,因此,应仔细设计使用惯性可穿戴惯性节点测量扰动的指标。

[0044] 2. 阈值的选择没有一个合适的方案,通常根据直觉进行随意的设定。而要使干扰检测既灵敏又稳健,选择的阈值需要平衡误检测的可能性和检测到的惯性可穿戴惯性节点运动的最小幅度之间的权衡。也就是说,应确定的所采用指标的最佳阈值,可以检测最小惯性可穿戴惯性节点运动并适应由其他因素如身体运动和测量噪声引起的指标变化。

[0045] 为此,如图6所示,本发明提供了一种膝关节的关节角估计方法,包括:

S100,通过滑动窗口接收膝关节数据,并建立关节生理运动学约束,基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程;求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

S200,基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度;通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度。

[0046] 其原理为:

滑动窗口接收膝关节数据:通过滑动窗口技术,该方法能够连续、实时地接收膝关节的传感器数据(如加速度、角速度等)。滑动窗口允许数据在一段时间内被处理和更新,有助于捕捉动态变化并减少噪声干扰。

[0047] 建立关节生理运动学约束:引入关节生理运动学约束是基于对人体膝关节解剖结构和运动规律的理解。这些约束包括关节的活动范围、运动轨迹、肌肉和韧带的力学特性等。这些约束有助于确保估计的关节角度符合人体生理实际。

[0048] 建立并求解关节生理运动最优化方程:基于关节生理运动学约束,构建最优化方程以求解关节轴线和关节位置向量。这一过程通过数学优化方法(如最小二乘法、梯度下降法等)来实现,目的是找到最优的关节参数,使估计结果最接近实际情况。

[0049] 加速度信息和角速度积分求关节角度:利用加速度传感器和角速度传感器(如IMU中的陀螺仪)的数据,通过积分运算可以得到两组关节角度。加速度数据可以反映重力加速度的方向变化,而角速度数据可以反映关节的旋转速率。

[0050] 互补滤波加权平均:互补滤波是一种将不同传感器数据融合的方法,通过加权平均来减少单一传感器数据的误差。在这里,将加速度积分得到的角度和角速度积分得到的角度进行互补滤波处理,得到更加准确、稳定的关节角度估计。

[0051] 其中,滑动窗口技术确保数据处理的实时性,同时基于生理运动学约束的优化求解和互补滤波加权平均提高了关节角度估计的准确性。引入生理运动学约束和多种传感器数据的融合处理,使得该方法对噪声和异常值具有较强的鲁棒性,能够在复杂环境下稳定工作。该方法不仅适用于膝关节,还可以扩展到其他关节的角度估计中,具有广泛的应用前景。

[0052] 在临床医学和康复治疗中,准确的关节角度估计对于评估治疗效果、制定康复计划具有重要意义。该方法为临床医生和康复师提供了有力的工具。该膝关节关节角估计方法通过综合运用多种技术和方法,实现了对膝关节角度的准确、实时和鲁棒估计,具有显著的临床和科研价值。

[0053] 作为可选方案,所述通过滑动窗口接收膝关节数据之后还包括:扰动判断步骤;所述扰动判断步骤包括:

对相隔时间窗口的膝关节数据采集后,进行扰动判断,如果扰动量大于阈值,则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量;

对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化,根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,并基于所述最优阈值更新实时阈值。

[0054] 下面将结合附图以及具体实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0055] 该发明的基本内容如图1所示,该发明由两部分构成:

1. 设备模块:创建了一套人体设备的惯性传感网系统,该系统由两个嵌入式的可穿戴惯性节点构成,每个可穿戴惯性节点包含一个惯性传感模块(三轴加速度、三轴陀螺仪、三轴角速度),一个主控芯片模块、一个无线通讯模块、一个电源模块,这两个惯性可穿戴惯性节点通过惯性传感模块实时接收九轴数据,再经过无线通讯模块发送给客户端的上位机。

[0056] 2. 关节角计算模块:该模块结合了基于贪婪的阈值算法和扰动量化算法以及传统的关节角实时计算算法,最终实现了可以根据惯性传感模块的现实情况,高精度的抵抗不可控的外界扰动,同时还能实时的计算当前的关节角,如果出现扰动,则立马重新计算关节轴线向量实现实时的矫正。

[0057] 本发明实施例提供了一种基于惯性传感器的简单、低功耗、低成本智能可穿戴设备来实时计算膝关节的关节角,这套设备由两个惯性可穿戴惯性节点构成,每个惯性可穿戴惯性节点由一个主控模块,一个九轴惯性传感器,一个无线通讯模块和一个电源模块构成。这套设备通过建立关节轴线从而对关节轴坐标进行识别,以此实现坐标系的矫正,在坐标系的矫正后通过互补滤波算法实时关节角度数的计算。本发明主要通过设定扰动指标和设计贪婪阈值算法解决了惯性传感可穿戴惯性节点测量过程中佩戴不稳或者被外界干扰导致的扰动问题,且对扰动的判断有百分之九十以上的高精确度。

[0058] 可穿戴惯性设备的惯性传感网的构成如图2所示:每个可穿戴惯性节点由一个型号为esp32s3的主控芯片和一个MPU (Microprocessor Unit,微处理器单元) 6500 (型号) 惯性传感器构成,MPU6500惯性传感器通过IIC (Inter-Integrated Circuit,是一种串行通信协议) 接口与主控进行数据传输,最后每个主控接收到的数据通过ESP-NOW (Espressif开发的一种无线通信协议) 协议传输给上位机。ESP-NOW协议能够在无路由器的情况下直接、快速、低功耗地控制智能设备,其本身是基于数据链路层的无线通信协议,它将网络协议中的上五层包含网络层、传输层、会话层、表示层、应用层精简为一层,数据传输时无需依次经过网络层、传输层、会话层、表示层、应用层等复杂的层级,也无需层层增加包头和解包,大大缓解了网络拥挤时因为丢包而导致的卡顿和延迟,拥有更高的响应速度。

[0059] 关节计算模块的总体算法框架如图3所示,该算法的总体步骤为:

1. 程序开始,采样超过200个采样点,利用这些采样点,根据关节生理运动学约束,利用高斯-牛顿法估算关节轴线及关节位置向量。

[0060] 2. 分别执行关节角实时计算算法和扰动检测算法,模块一为关节角实时计算算法,模块二和模块三结合起来为扰动检测算法。

[0061] 3. 在关节角实时计算算法中,利用求解出的关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,分别求得两组关节角度,通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,求解出关节角度

4.在扰动检测算法中,采集相隔时间窗口的数据后,首先进行扰动的判断,如果扰动量大于阈值,则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量。有了判断后接着对相隔时间窗口的数据变化采用数学指标进行量化,根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值,做到实时的阈值更新。

[0062] 以下对各个步骤进行详细说明:

模块一的关节角实时计算算法,包括如下步骤:

步骤一:采集若干个周期内的膝关节数据,包括加速度和角速度数据,通过滑动窗口接收加膝关节数据,并建立关节生理运动学约束:

$$\|g_1(t) \times j_1\|_2 - \|g_2(t) \times j_2\|_2 = 0 \quad \forall t$$

$$[0063] \quad \|a_1(t) - \Gamma_{g_1(t)}(o_1)\|_2 - \|a_2(t) - \Gamma_{g_2(t)}(o_2)\|_2 = 0 \quad \forall t$$

[0064] 式中,  $g_1(t)$ 、 $g_2(t)$  分别是第一惯性节点、第二惯性节点任意时间  $t$  的角速度;  $j_1$ 、 $j_2$  分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块的关节轴向量,  $a_1(t)$ 、 $a_2(t)$  分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块任意时间  $t$  的加速度,  $o_1$ 、 $o_2$  是绕关节中心旋转而产生的径向和切向加速度,  $\Gamma$  表示不同的关节中心,  $\forall$  为任意时间  $t$ ,  $\|$  为矩阵/向量的二范数;

其中,  $j_1$ 、 $j_2$  在球坐标系中的坐标如下所示:

$$j_1 = (\cos(\phi_1) \cos(\theta_1), \cos(\phi_1) \sin(\theta_1), \sin(\phi_1))^T$$

$$j_2 = (\cos(\phi_2) \cos(\theta_2), \cos(\phi_2) \sin(\theta_2), \sin(\phi_2))^T$$

[0065] 式中,  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  是球坐标系下的方位角,  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  是球坐标系下的极角;  $\cos(\cdot)$  为余弦函数,  $\sin(\cdot)$  为正弦函数,  $T$  为向量的转置;

根据关节生理运动学约束,建立关节生理运动最优化方程:

$$\Psi(\phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2) := \sum_{i=1}^N e_i^2, \quad e_i = \|g_1(t_i) \times j_1\|_2 - \|g_2(t_i) \times j_2\|_2$$

$$[0066] \quad \tilde{\Psi}(o_1, o_2) := \sum_{i=1}^N e_i^2, \quad e_i = \|a_1(t) - \Gamma_{g_1(t)}(o_1)\|_2 - \|a_2(t) - \Gamma_{g_2(t)}(o_2)\|_2$$

[0067] 式中,  $\Psi$  是误差平方和;  $e_i$  是上下关节参数的误差。

[0068] 求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量,包括:

利用高斯-牛顿法优化关节生理运动最优化方程从而估算关节轴线及关节位置向量。

[0069] 基于所述关节轴线和关节位置向量,通过加速度信息和角速度,求得两组关节角度,包括:

利用角速度求得关节角:

$$\alpha_{\text{gyr}}(t) = \int_0^t (g_1(\tau) \cdot j_1 - g_2(\tau) \cdot j_2) d\tau$$

[0070] 式中,  $\alpha_{\text{gyr}}$  是基于角速度计算的关节角,  $g_1(\tau)$ 、 $g_2(\tau)$  分别是第一惯性节点、第

二惯性节点任意时间 $t$ 的角速度; $j_1$ 、 $j_2$ 分别是第一惯性传感模块、第二惯性传感模块的关节轴向量, $d\tau$ 是单位时间;

利用加速度求得关节角:

$$\alpha_{acc}(t) = \angle_{2d} \left( \begin{bmatrix} \tilde{a}_1(t) \cdot x_1 \\ \tilde{a}_1(t) \cdot y_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \tilde{a}_2(t) \cdot x_2 \\ \tilde{a}_2(t) \cdot y_2 \end{bmatrix} \right)$$

[0071] 式中, $\alpha_{acc}$ 是基于加速度关节角, $\tilde{a}_1$ 、 $\tilde{a}_2$ 为加速度, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $y_1$ 、 $y_2$ 为关节平面轴, $\angle_{2d}$ 表示在 $R^2$ 二维下的角度。

[0072] 通过互补滤波对两组关节角度求加权平均,得到关节角度,包括:

$$\alpha_{acc+gyr}(t) = \lambda \alpha_{acc}(t) + (1 - \lambda) (\alpha_{acc+gyr}(t - \Delta t) + \alpha_{gyr}(t) - \alpha_{gyr}(t - \Delta t)), \quad \lambda \in [0, 1]$$

[0073] 式中, $\lambda$ 是互补滤波因素, $\alpha_{acc+gyr}(t)$ 是 $t$ 时刻的合关节角, $\alpha_{acc+gyr}(t - \Delta t)$ 是 $t - \Delta t$ 时刻的合关节角, $\alpha_{gyr}(t)$ 是基于角速度在 $t$ 时刻的关节角, $\alpha_{gyr}(t - \Delta t)$ 是基于角速度 $t - \Delta t$ 时刻的关节角。

[0074] 模块二的扰动量化算法包括如下步骤:

- 1、得到第一窗口的加速度、角速度,重新估算该关节角向量;
- 2、得到第二窗口的加速度、角速度,重新估算该关节角向量;
- 3、计算产生变化,关节角变化 $\Delta j = J_2 - J_1$ ,加速度变化 $\Delta a = a_2 - a_1$ 、角速度变化 $\Delta w =$

$w_2 - w_1$ ;

4、采用多指标融合的思想,将多指标的变化结合产生最终变化,最终变化 $\Delta Q = d \times$  关节角变化 $+e \times$  加速度变化 $+f \times$  角速度变化,故扰动量  $\Delta \text{change} = \text{mean}(d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w)$ ,其中, $d+e+f=1$ ,根据实际情况调配。

[0075] 其中,mean代表平均值, $d$ 、 $e$ 、 $f$ 为满足 $d+e+f=1$ 的随机数。

[0076] 其中,根据滑动窗量化变化:

$$\Delta j = J_{\text{window2}} - J_{\text{window1}}$$

$$\Delta a = A_{\text{window2}} - A_{\text{window1}}$$

$$\Delta w = W_{\text{window2}} - W_{\text{window1}}$$

$$\Delta Q = d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w \quad (d+e+f=1)$$

式中, $\Delta j$ 为关节角变化, $\Delta a$ 为加速度变化, $\Delta w$ 为角速度变化。

[0077] 模块三,如图4所示,实时的贪婪阈值计算算法包括如下步骤:

在用 $\Delta Q$ 量化变化后,对 $\Delta Q = d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w$ 进行判断。

[0078] 1.取初始值:

对 $\Delta Q = d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w$ 中的 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 取随机数值( $d+e+f=1$ )。

[0079] 某一种取值下,在惯性节点绝对静止不加扰动的状态下用滑动窗口多次取得多组 $\Delta Q$ ,找到这些 $\Delta Q$ 中的最小值 $a$ 、最大值 $b$ 形成 $\Delta Q_{\text{normal}} \in [a, b]$ ;在惯性节点轻微扰动的情况下用滑动窗口多次取得多组 $\Delta Q$ ,找到这些 $\Delta Q$ 中的最小值 $c$ 、最大值 $d$ 形成 $\Delta Q_{\text{unnormal}} \in [c, d]$ ;

对 $\Delta Q = d \times \Delta j + e \times \Delta a + f \times \Delta w$ 中的 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 取多种不同数值( $d+e+f=1$ ),找到使得 $\Delta Q_{\text{normal}}$ 与 $\Delta Q_{\text{unnormal}}$ 取最大范围的一种取值(贪婪算法)。

[0080] 其中, $\Delta Q_{\text{normal}}$ 是不受外界扰动的正常值范围; $\Delta Q_{\text{unnormal}}$ 是受到外界扰动的非正常

值范围。

[0081] 2. 在初始值的基础上进行实时判断与更新:

如果当前变化  $\Delta Q \in \Delta Q_{\text{normal}}$ , 则说明为惯性模块正常的运动变化, 继续下一轮计算  $\Delta Q$ ;

如果当前变化  $\Delta Q \in \Delta Q_{\text{unnormal}}$ , 则说明此时出现了扰动, 停止角度解算, 重启关节轴线向量求解, 更新关节轴线向量坐标;

如果当前变化  $\Delta Q \notin \Delta Q_{\text{normal}}$  且  $\Delta Q \notin \Delta Q_{\text{unnormal}}$ :

如果  $\Delta Q < a$  或者  $\Delta Q > d$ , 继续下一轮计算  $\Delta Q$ ;

如果  $|\Delta Q - b| > |\Delta Q - c|$ , 拓展  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [a, \Delta Q]$ , 如果  $|\Delta Q - b| < |\Delta Q - c|$ , 拓展  $\Delta Q_{\text{normal}} \in [\Delta Q, d]$ 。

[0082] 作为示例, 初始阈值的设定算法伪代码实现方法, 包括:

根据不同的数学指标进行量化计算多组变化值得到变化范围, 即包含正常情况下的变化范围和有扰动情况下的变化范围, 取最大变化范围作为初始的阈值设定;

对基于贪婪的阈值算法进行解释:

输入是对  $d, e, f$  取不同的值得到不同的量化标准, 输出是最大的阈值范围

通过对  $d, e, f$  取不同的值得到多组变化值, 找到变化值的最大值和最小值从而得到变化值的范围  $area$ , 取最大的范围作为初始范围。

[0083] 基于上述说明, 可以得到本实施例具体如下优点:

实时性高: 体现在通信协议可以实现毫秒级的控制延时, 实现比蓝牙传输更远的控制距离高精;

高精度的抗扰动: 既可以排除 IMU 自身正常测量值的变化, 从而避免误检; 也可以检测出由 IMU 运动引起的异常, 检测到最小的 IMU 运动扰动。

[0084] 如图5所示: 采取外界主动制造扰动的方式对正在运行的惯性可穿戴惯性节点进行扰动, 每次扰动1000次, 共进行6次实验, 可以看到对扰动的检测正确率在百分之九十左右。

[0085] 故, 本发明的方法总体可以在实时计算关节角的同时可以达到百分之九十以上的高精度的抗扰动效果。

[0086] 如图7所示, 本发明第二个目的是提供一种膝关节的关节角估计系统, 包括:

向量求解单元10, 用于通过滑动窗口接收膝关节数据, 并建立关节生理运动学约束, 基于关节生理运动学约束建立关节生理运动最优化方程; 求解关节生理运动最优化方程得到关节轴线及关节位置向量;

角度求解单元20, 用于基于所述关节轴线和关节位置向量, 通过加速度信息和角速度, 求得两组关节角度; 通过互补滤波对两组关节角度求加权平均, 得到关节角度。

[0087] 可选地, 该装置还包括:

扰动判断单元30: 用于对相隔时间窗口的膝关节数据采集后, 进行扰动判断, 如果扰动量大于阈值, 则根据最优化原理重新估算关节轴线及关节位置向量; 对相隔时间窗口的膝关节数据变化采用数学指标进行量化, 根据量化的指标使用贪婪算法得到最优阈值, 并基于所述最优阈值更新实时阈值。

[0088] 如图8所示, 本发明实施例的第三个目的是提供一种电子设备, 包括存储器301、处

理器302以及存储在所述存储器302中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述膝关节的关节角估计方法。其中,通讯接口303用于和外界交互,连接不同设备或系统进行通信的物理连接端口。

[0089] 本发明实施例的第四个目的是提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述膝关节的关节角估计方法。

[0090] 本发明实施例的第五个目的是提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括计算机指令,所述计算机指令指示计算机执行上述膝关节的关节角估计方法。

[0091] 第六个目的,本发明提供一种可穿戴设备,包括:两个嵌入式的可穿戴惯性节点,每个可穿戴惯性节点均包含惯性传感模块、主控芯片模块、无线通讯模块及电源模块,两个嵌入式的可穿戴惯性节点用于通过惯性传感模块实时接收惯性传感模块采集的膝关节数据,再经过无线通讯模块通过滑动窗口发送膝关节数据;所述惯性传感模块包括三轴加速度、三轴陀螺仪、三轴角速度。

[0092] 第七个目的,本发明提供一种膝关节的关节角估计系统,包括:

设备模块,采用上述的可穿戴设备;

关节角计算模块,采用上述的膝关节的关节角估计装置。

[0093] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0094] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0095] 本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、可读存储介质、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0096] 本发明是参照根据本发明实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0097] 显然,所描述的实施例仅仅是本发明的部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0098] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然



可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

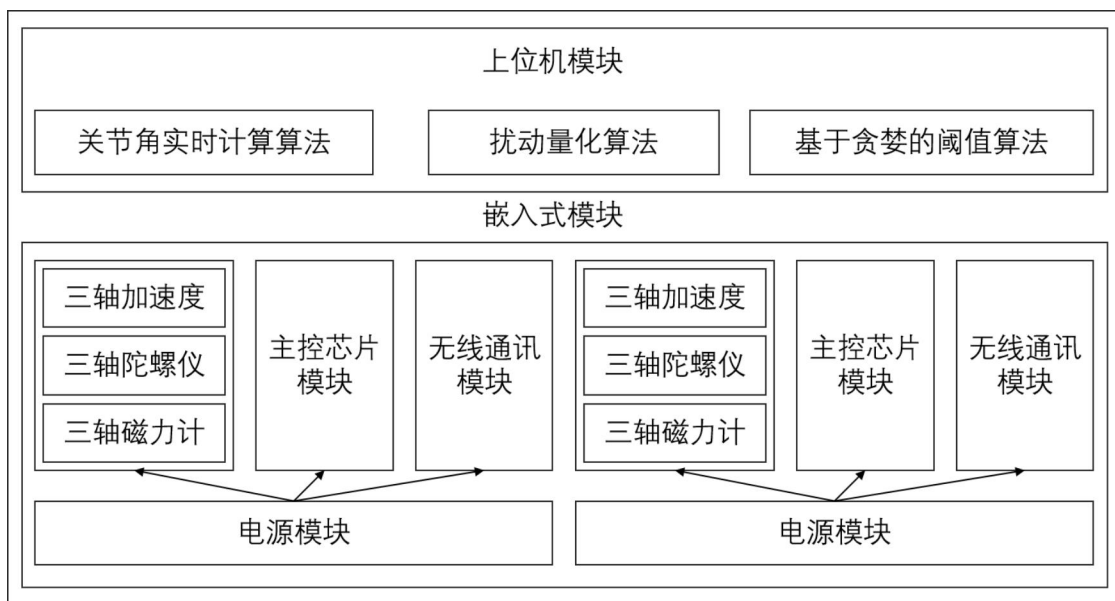


图1

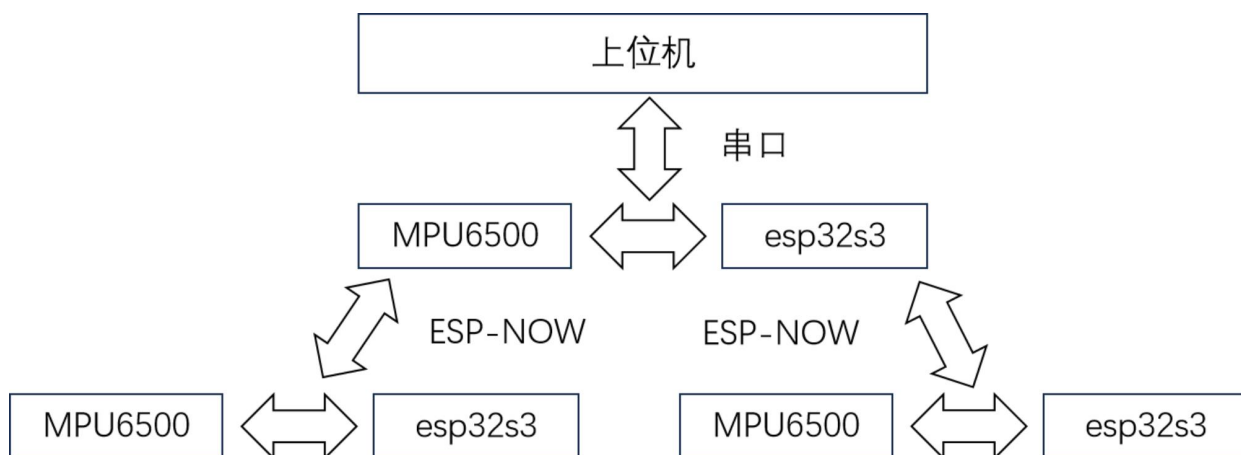


图2

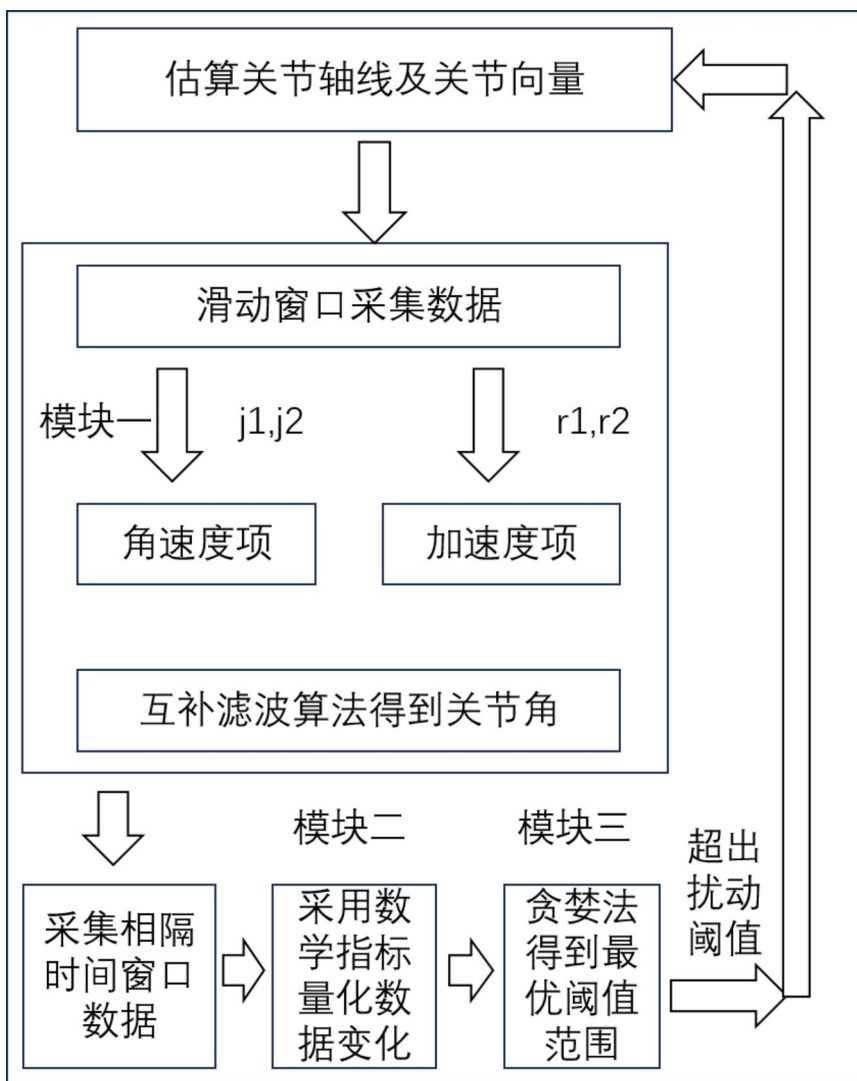


图3

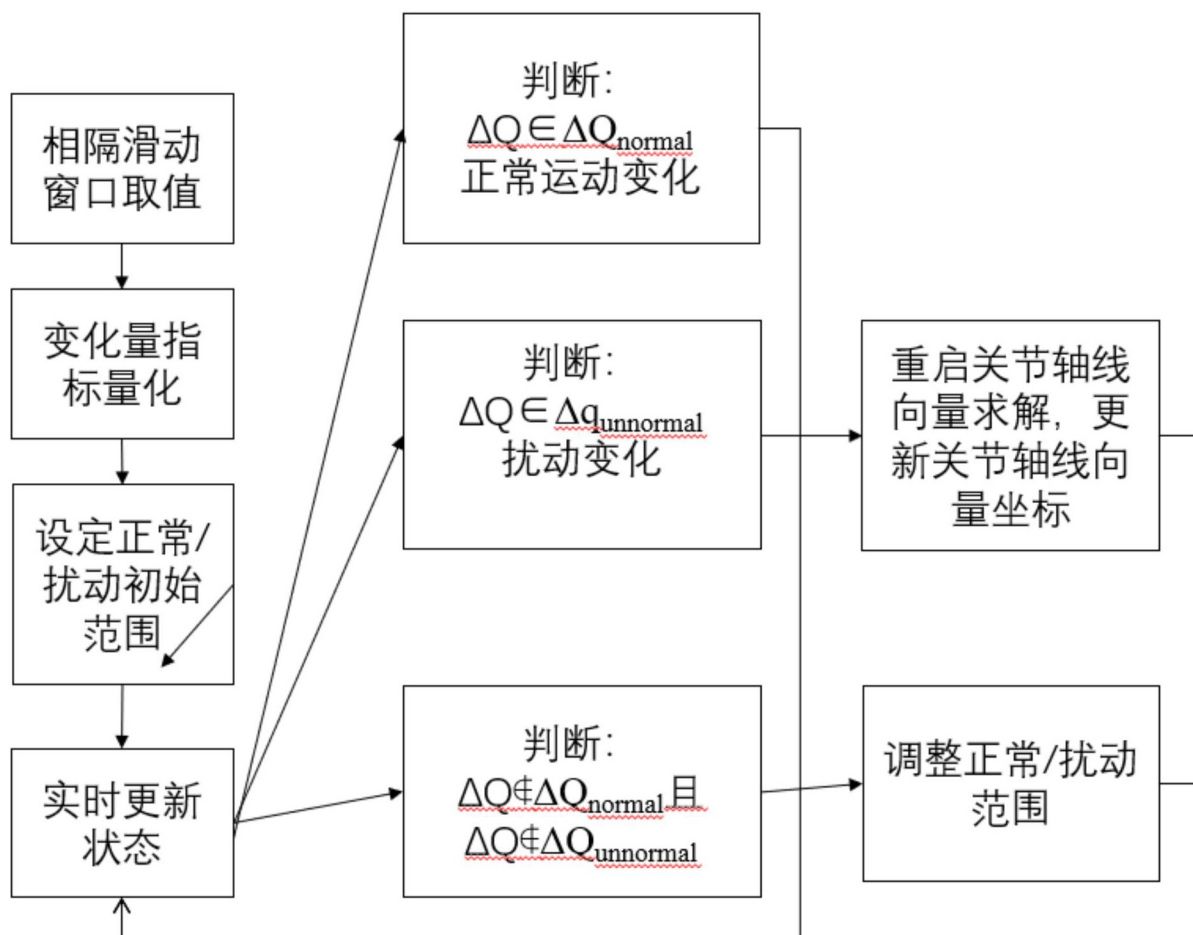


图4

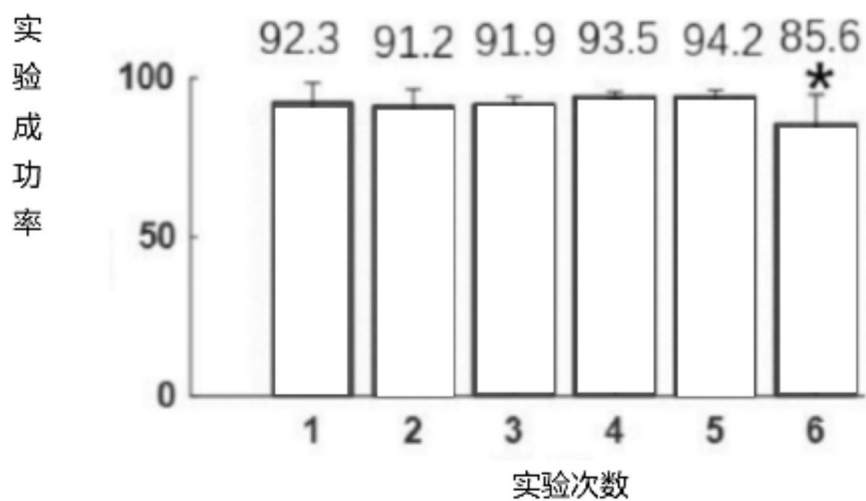


图5

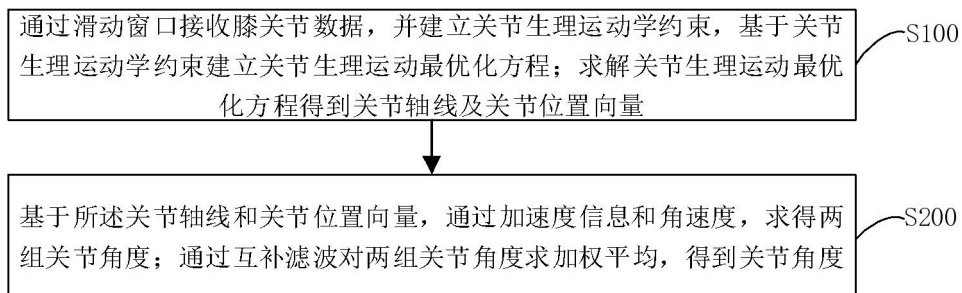


图6

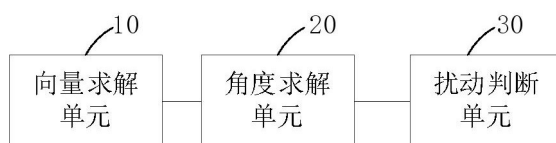


图7

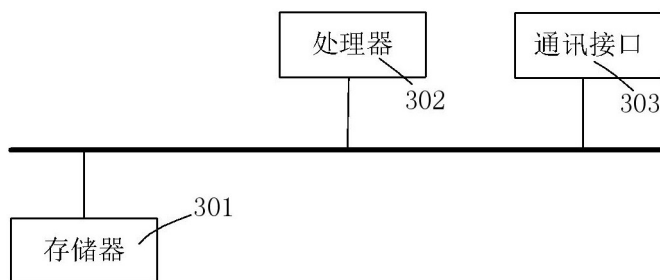


图8