



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113283116 A

(43) 申请公布日 2021. 08. 20

(21) 申请号 202110665443.2

(22) 申请日 2021.06.16

(71) 申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72) 发明人 陈学超 翁奕成 余张国 黄强 齐皓祥

(74) 专利代理机构 南京智造力知识产权代理有限公司 32382

代理人 张明明

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

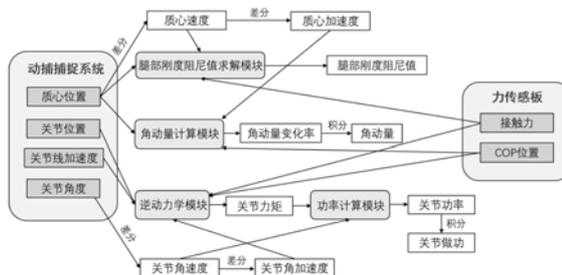
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

多信息融合的人体运动分析方法和装置

(57) 摘要

本发明提供了一种多信息融合的人体运动分析方法和装置,属于人体运动分析技术领域。本发明的人体运动分析装置包括动作捕捉系统、测力平台和PC上位机,动作捕捉系统采集实验员运动时的关节位置、关节角度、关节线加速度和质心位置,测力平台采集实验员足底竖直方向上的接触力以及压力中心位置,PC上位机根据动作捕捉系统和测力平台采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值。本发明结合人体运动运动学分析和力学分析,避免了从单一领域分析人体运动的局限性。



1. 多信息融合的人体运动分析装置,其特征在于,包括:
动作捕捉系统,用于采集实验员运动时的关节位置、关节角度、关节线加速度和质心位置;

测力平台,用于采集实验员足底竖直方向上的接触力以及压力中心位置;

PC上位机,接收动作捕捉系统和测力平台采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值。

2. 根据权利要求1所述的人体运动分析装置,其特征在于,所述动作捕捉系统包括动作捕捉服和动作追踪器,动作追踪器设置在动作捕捉服对应的人体各关节处。

3. 根据权利要求1所述的人体运动分析装置,其特征在于,所述测力平台设置有力传感板。

4. 根据权利要求1所述的人体运动分析装置,其特征在于,所述PC上位机中设有腿部刚度阻尼值求解模块、角动量计算模块和功率计算模块。

5. 一种根据权利要求1-4任一项所述的人体运动分析装置的人体运动分析方法,其特征在于,PC上位机根据动作捕捉系统和测力平台采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值;

所述关节力矩的获取过程为:根据关节角加速度、关节位置、关节线加速度、足底竖直方向上的接触力以及压力中心位置,通过逆动力学计算关节力矩;

所述关节功/功率的获取过程为:功率计算模块由关节角速度和关节力矩,计算得到关节功率,关节功率积分后,得到关节做功;

所述绕质心角动量的获取过程为:角动量计算模块根据质心位置、质心加速度和压力中心位置,得到绕质心X轴方向的角动量;

所述腿部等效刚度值及阻尼值的获取过程为:由足底竖直方向上的接触力、质心速度、质心位置以及腿部刚度值和阻尼值之间的关系,设定最小二乘法中残差函数,使残差函数最小,解算出刚度值和阻尼值。

6. 根据权利要求5所述的人体运动分析方法,其特征在于,以人体平面模型,所述关节力矩的计算公式为:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{lk} = M_F + M_g + M_a + M_\alpha \\ M_F = -(r_{cop} - r_{lk}) \times F_{cop} \\ M_g = -\sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i g] \\ M_a = \sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i a_i] \\ M_\alpha = \sum_{i=1}^k \frac{d}{dt} (I_i \omega_i) \end{array} \right.$$

其中, $0 < l < n_{link}$, 且 $k = l + 1$, n_{link} 为人体部件总数; M_{lk} 是第1部分和第k部分之间关节的关节力矩, M_F 是补偿接触力项, M_g 是补偿重力项, M_a 是补偿质心线加速度项, M_α 是补偿角加速度项, r_{cop} 是世界坐标系下压力中心的位置向量, r_{lk} 是世界坐标系下第1部分和第k部分之间关

节的位置向量, F_{cop} 为接触力向量, r_i 、 m_i 、 a_i 、 I_i 、 w_i 分别是第 i 部分质心的位置向量、质量、质心加速度、转动惯量和角速度, g 为重力加速度向量。

7. 根据权利要求5所述的人体运动分析方法, 其特征在于, 关节功率瞬时值的公式为:

$$p(t) = M(i) * w(i)$$

其中: $M(t)$ 是该关节的力矩, $w(t)$ 是该关节的角速度。

8. 根据权利要求5所述的人体运动分析方法, 其特征在于, 所述绕质心 X 轴方向的角动量计算公式为:

$$L_x = \int [my_c(\ddot{z}_c + g) - my_{\text{COP}}(\ddot{z}_c + g) - mz_c\ddot{y}_c] dt$$

其中, y_c 、 z_c 为质心位置, \ddot{y}_c 、 \ddot{z}_c 为质心加速度, m 为模型整体质量, g 为重力加速度, y_{COP} 为压力中心位置在 y 方向上的坐标值。

9. 根据权利要求5所述的人体运动分析方法, 其特征在于, 设定最小二乘法中残差函数为:

$$L = \sum_{i=1}^t [F_i - k(x_0 - x_{m_i}) - d(-\dot{x}_{m_i})]^2$$

其中, t 表示总时间, F_i 、 x_{m_i} 、 \dot{x}_{m_i} 是各时间点的接触力值、质心高度、质心速度, k 、 d 分别为弹簧阻尼模型中弹簧的刚度值和阻尼器的阻尼值。

多信息融合的人体运动分析方法和装置

技术领域

[0001] 本发明属于人体运动分析技术领域,具体涉及多信息融合的人体运动分析方法和装置。

背景技术

[0002] 人体接收自大脑中枢神经的指令,完成一系列复杂的运动。作为一个高度智能化和精密化的系统,对于人体运动的分析有利于人们了解人体在多种运动中的规律,诸如人体对自身姿态的控制,完成运动的肌肉关节发力过程等等。更进一步地,认识人体的运动规律能够对生物力学、仿人机器人等多个领域提供生物学依据。

[0003] 现有的人体运动分析装置大都利用光学摄像机或者加速度传感器等捕捉人体运动,从运动学层面分析运动,缺少力学层面和运动学层面的融合分析,对于人体运动中的关节发力等规律缺乏研究。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在不足,本发明提供了一种多信息融合的人体运动分析方法和装置,获取人体在进行多种高动态运动时的关节力矩、关节功/功率、角动量、腿部等效刚度值及阻尼值,为仿人机器人的设计和控制提供仿生学依据。

[0005] 本发明是通过以下技术手段实现上述技术目的的。

[0006] 多信息融合的人体运动分析装置,包括:

[0007] 动作捕捉系统,用于采集实验员运动时的关节位置、关节角度、关节线加速度和质心位置;

[0008] 测力平台,用于采集实验员足底竖直方向上的接触力以及压力中心位置;

[0009] PC上位机,接收动作捕捉系统和测力平台采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值。

[0010] 上述技术方案中,所述动作捕捉系统包括动作捕捉服和动作追踪器,动作追踪器设置在动作捕捉服对应的人体各关节处。

[0011] 上述技术方案中,所述测力平台设置有力传感板。

[0012] 上述技术方案中,所述PC上位机中设有腿部刚度阻尼值求解模块、角动量计算模块和功率计算模块。

[0013] 多信息融合的人体运动分析方法,PC上位机根据动作捕捉系统和测力平台采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值;

[0014] 所述关节力矩的获取过程为:根据关节角加速度、关节位置、关节线加速度、足底竖直方向上的接触力以及压力中心位置,通过逆动力学计算关节力矩;

[0015] 所述关节功/功率的获取过程为:功率计算模块由关节角速度和关节力矩,计算得到关节功率,关节功率积分后,得到关节做功;

[0016] 所述绕质心角动量的获取过程为:角动量计算模块根据质心位置、质心加速度和

压力中心位置,得到绕质心X轴方向的角动量;

[0017] 所述腿部等效刚度值及阻尼值的获取过程为:由足底竖直方向上的接触力、质心速度、质心位置以及腿部刚度值和阻尼值之间的关系,设定最小二乘法中残差函数,使残差函数最小,解算出刚度值和阻尼值。

[0018] 进一步地,以人体平面模型,所述关节力矩的计算公式为:

$$[0019] \quad \begin{cases} M_{lk} = M_F + M_g + M_a + M_\alpha \\ M_F = -(r_{cop} - r_{lk}) \times F_{cop} \\ M_g = -\sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i g] \\ M_a = \sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i a_i] \\ M_\alpha = \sum_{i=1}^k \frac{d}{dt} (I_i w_i) \end{cases}$$

[0020] 其中, $0 < l < n_{link}$,且 $k = l + 1$, n_{link} 为人体部件总数; M_{lk} 是第l部分和第k部分之间关节的关节力矩, M_F 是补偿接触力项, M_g 是补偿重力项, M_a 是补偿质心线加速度项, M_α 是补偿角加速度项, r_{cop} 是世界坐标系下压力中心的位置向量, r_{lk} 是世界坐标系下第l部分和第k部分之间关节的位置向量, F_{cop} 为接触力向量, r_i 、 m_i 、 a_i 、 I_i 、 w_i 分别是第i部分质心的位置向量、质量、质心加速度、转动惯量和角速度, g 为重力加速度向量。

[0021] 进一步地,关节功率瞬时值的公式为:

$$[0022] \quad p(t) = M(i) * w(i)$$

[0023] 其中: $M(t)$ 是该关节的力矩, $w(t)$ 是该关节的角速度。

[0024] 进一步地,所述绕质心X轴方向的角动量计算公式为:

$$[0025] \quad L_x = \int [m y_c (\ddot{z}_c + g) - m y_{cop} (\ddot{z}_c + g) - m z_c \ddot{y}_c] dt$$

[0026] 其中, y_c 、 z_c 为质心位置, \ddot{y}_c 、 \ddot{z}_c 为质心加速度, m 为模型整体质量, g 为重力加速度, y_{cop} 为压力中心位置在y方向上的坐标值。

[0027] 进一步地,设定最小二乘法中残差函数为:

$$[0028] \quad L = \sum_{i=1}^t [F_i - k(x_0 - x_{m_i}) - d(-\dot{x}_{m_i})]^2$$

[0029] 其中, t 表示总时间, F_i 、 x_{m_i} 、 \dot{x}_{m_i} 是各时间点的接触力值、质心高度、质心速度, k 、 d 分别为弹簧阻尼模型中弹簧的刚度值和阻尼器的阻尼值。

[0030] 本发明的有益效果为:本发明通过动作捕捉捕系统直接采集关节位置、关节角度、关节线加速度和质心位置,避免了光学摄像机测量系统的复杂计算过程,结合力传感板采集的足底竖直方向上的接触力以及压力中心(COP)位置,人体模型获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量、腿部等效刚度值及阻尼值,实现了运动学分析和力学分析的结合,避免从单一领域分析人体运动的局限性,同时为仿人机器人的设计和控制提供仿生学依据。

附图说明

- [0031] 图1为本发明所述多信息融合的人体运动分析装置组成示意图；
 [0032] 图2为本发明所述多信息融合的人体运动分析方法示意图；
 [0033] 图3为本发明所述人体平面模型示意图；
 [0034] 图4为本发明所述弹簧阻尼模型示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明,但本发明的保护范围并不限于此。

[0036] 如图1所示,多信息融合的人体运动分析装置,包括动作捕捉系统、测力平台和PC上位机。

[0037] 动作捕捉系统包括动作捕捉服和动作追踪器,动作追踪器设置在动作捕捉服对应的人体各关节(肩关节、肘关节、腕关节、髌关节、膝关节和踝关节)处;测力平台设置有力传感板。实际操作时,实验员穿着动作捕捉服站立于力传感板上,并进行多种运动,动作追踪器采集关节位置、关节角度、关节线加速度和质心位置,同时力传感板采集实验员足底竖直方向上的接触力以及压力中心(COP)位置,均发送给PC上位机,PC上位机内部根据事先标定的人体各部件(躯干、大臂、小臂、大腿、小腿等)的长度、质量、惯量等构建人体模型(为现有技术),根据动作追踪器和力传感板采集的数据,获取关节力矩、关节功/功率、绕质心角动量(当分析人体腿部时,还需计算腿部等效刚度值及阻尼值)。

[0038] 如图2所示,PC上位机中设有腿部刚度阻尼值求解模块、角动量计算模块和功率计算模块;PC上位机根据动作追踪器和力传感板采集的数据经过建模、计算人运动时的各种物理量,包括:

[0039] (1) 关节力矩

[0040] 根据关节角加速度(由关节角度差分获取关节角速度,关节角速度差分获取关节角加速度)、关节位置、关节线加速度、足底竖直方向上的接触力以及压力中心(COP)位置,通过逆动力学计算人体关节力矩,本实施例以人体平面模型(图3)为例,计算各关节(包括肩关节、肘关节、腕关节、髌关节、膝关节和踝关节)X轴方向上的力矩,计算关节力矩的公式如下:

$$[0041] \left\{ \begin{array}{l} M_{lk} = M_F + M_g + M_a + M_\alpha \\ M_F = -(r_{\text{cop}} - r_{lk}) \times F_{\text{cop}} \\ M_g = -\sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i g] \\ M_a = \sum_{i=1}^k [(r_i - r_{lk}) \times m_i a_i] \\ M_\alpha = \sum_{i=1}^k \frac{d}{dt} (I_i \omega_i) \end{array} \right. \quad (0 < l < n_{\text{link}}, k = l + 1)$$

[0042] 将人体的部件编号为1, 2, ..., n_{link} (n_{link} 为部件总数,本实施例中为7,包括脚部、小

腿、大腿、躯干、大臂、小臂和手部), M_{1k} 是第1部分和第k部分之间关节的关节力矩, M_F 是补偿接触力项, M_g 是补偿重力项, M_a 是补偿质心线加速度项, M_α 是补偿角加速度项, r_{cOP} 是世界坐标系下压力中心(COP点)的位置向量, r_{1k} 是世界坐标系下第1部分和第k部分之间关节的位置向量, F_{cOP} 为接触力向量, r_i 、 m_i 、 a_i 、 I_i 、 ω_i 分别是第i部分质心的位置向量、质量、质心加速度、转动惯量和角速度, g 为重力加速度向量。

[0043] 人体平面模型的力矩计算适用于人体的对称性运动(如双脚跳高、双脚跳远等), 如需分析非对称性运动, 或需计算其他方向上的关节力矩, 则将建模空间由平面扩展至三维空间即可。

[0044] (2) 关节功/功率

[0045] 由动作追踪器获取的关节角度, 进行差分, 得到关节角速度, 由关节角速度和关节力矩, 通过功率计算模块, 计算得到关节功率, 关节功率积分后, 得到关节做功。

[0046] 计算关节功率瞬时值的公式为:

[0047] $p(t) = M(i) * w(i)$

[0048] 其中: $M(t)$ 是该关节的力矩, $w(t)$ 是该关节的角速度, 乘积 $p(t)$ 为该关节的瞬时功率。

[0049] 对关节功率积分, 得到一段时间 ($t_1 - t_2$) 内关节做功的总值:

[0050] $W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$

[0051] (3) 绕质心角动量

[0052] 由质心位置, 通过两次差分, 得到质心加速度, 结合力传感板获取的COP点位置, 由角动量计算模块计算绕质心X轴方向(坐标系设置同(1)中人体平面模型)的角动量, 公式为:

[0053] $L_x = \int [m y_c (\ddot{z}_c + g) - m y_{COP} (\ddot{z}_c + g) - m z_c \ddot{y}_c] dt$

[0054] 其中, y_c 、 z_c 为质心位置, \ddot{y}_c 、 \ddot{z}_c 为质心加速度, m 为模型整体质量, g 为重力加速度, y_{COP} 为COP点在y方向上的坐标值。

[0055] (4) 腿部等效刚度值及阻尼值

[0056] 在人体由腾空向下落接触地面至稳定的时间段内, 可以将质心到足底的身体部分等效为弹簧阻尼模型(如图4所示), 具有对地缓冲的作用。

[0057] 将足底竖直方向上的接触力、质心速度(质心位置差分得到)、质心位置以及腿部刚度值和阻尼值之间的关系表示为:

[0058] $F = k(x_0 - x_m) + d(-\dot{x}_m)$

[0059] 其中, F 为足底竖直方向上的接触力, k 、 d 分别为弹簧阻尼模型中弹簧的刚度值和阻尼器的阻尼值, x_0 是弹簧原长(本实施例取接触地面时的质心高度), x_m 、 \dot{x}_m 是质心离地面的高度以及质心的速度, 取向上为正方向。

[0060] 设定最小二乘法中残差函数 L 的表示式为:

[0061] $L = \sum_{i=1}^l [F_i - k(x_0 - x_{m_i}) - d(-\dot{x}_{m_i})]^2$

[0062] 其中, t 表示总时间, F_i 、 x_{m_i} 、 \dot{x}_{m_i} 是各时间点的接触力值、质心高度、质心速度。

[0063] 使残差函数 L 最小,解算出 k 、 d 的值。

[0064] 基于以上内容,本发明对仿人机器人的设计和控制提供仿生学依据,主要体现在:

[0065] (1) 在不对关节或肌肉进行直接力测量的情况下完成了对关节力矩、关节做功的计算,关节力矩有利于了解人体运动过程中各关节协同发力的过程;关节角度和关节力矩数据对仿人机器人的轨迹规划和力控制算法的设计提供了仿生学依据,也能够对机器人的关节设计合理性进行校核。

[0066] (2) 在有明显腾空期的运动(跳高、跳远等)中,由于在空中机器人角动量守恒,因此需要对腾空前的机器人角动量进行规划,本发明得到的人体绕质心角动量数据,为仿人机器人的角动量规划提供了蓝本。

[0067] (3) 本发明获取人体在落地时腿部等效弹簧阻尼模型的刚度值和阻尼值,体现了人体对冲击的吸收和维持自身平衡的过程,对于仿人机器人落地减震控制器的设计有着指导作用。

[0068] 所述实施例为本发明的优选的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的前提下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

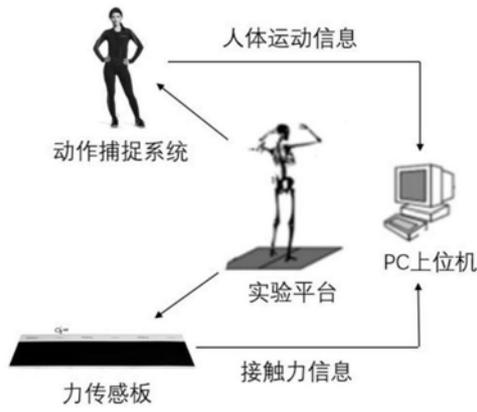


图1

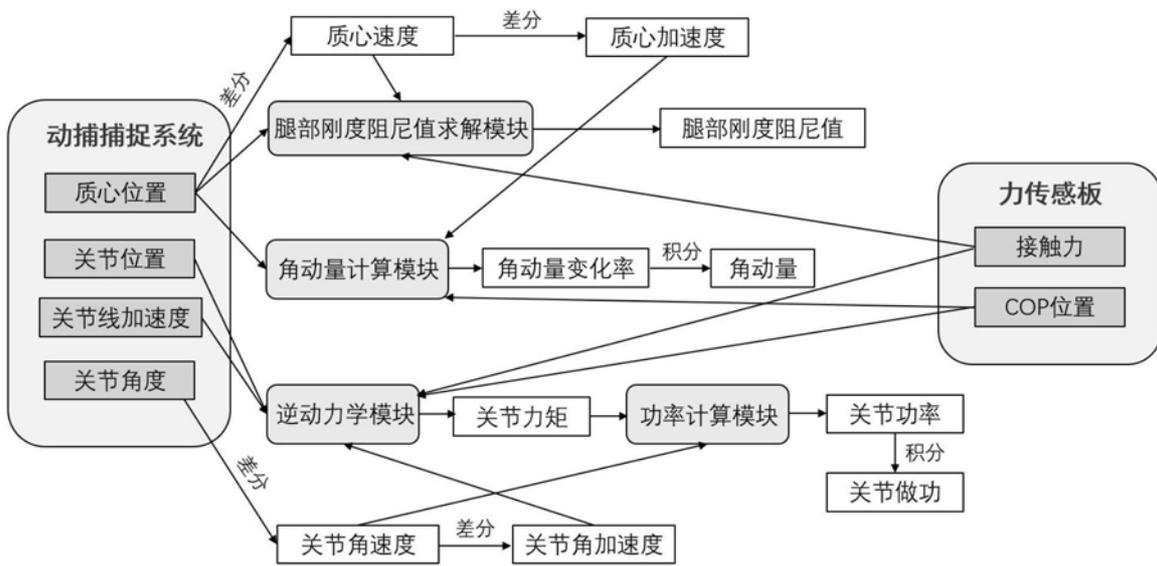


图2

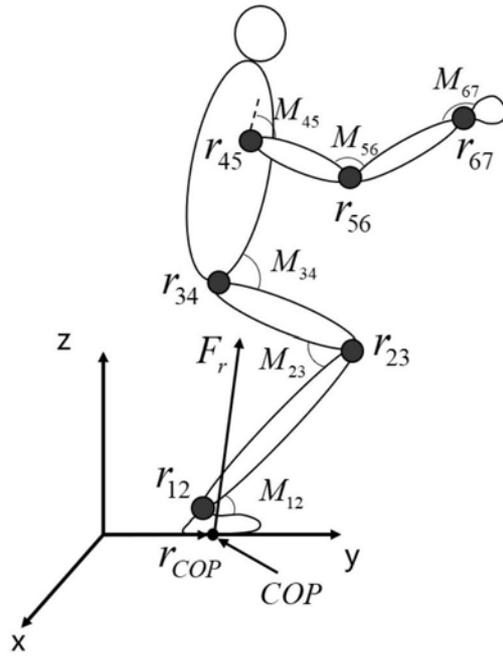


图3

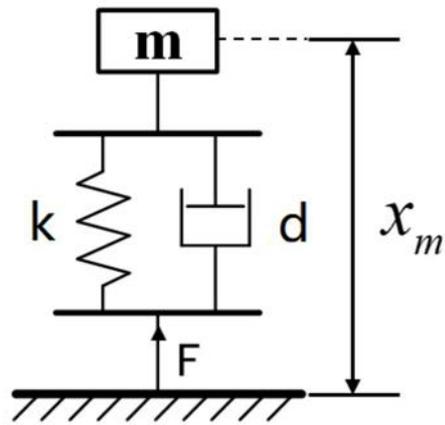


图4