

1-15-2021

Co-simulation of Intelligent Lower Limb Assist Device Virtual Prototype

Zhenze Liu

College of Communicatio Engineering, Jlin University, Changchun 130000, China;

Fengming Wang

College of Communicatio Engineering, Jlin University, Changchun 130000, China;

Xuange Zhang

College of Communicatio Engineering, Jlin University, Changchun 130000, China;

Cangqiong Yin

College of Communicatio Engineering, Jlin University, Changchun 130000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Co-simulation of Intelligent Lower Limb Assist Device Virtual Prototype

Abstract

Abstract: A virtual prototype model of power assist device for lower extremity was established to improve the efficiency and reliability of the power assist device design. The mechanical model using software CATIA was introduced to ADAMS to establish the virtual model, so as to carry out the kinematics and dynamics simulations, and combined the previous model established by ADAMS with the control model established in MATLAB/Simulink *to realize the co simulation of the system*. According to the characteristics of human gait data, PID control algorithm was used to control lower limb power system. The simulation results demonstrate that the control system has a good response characteristic and a good ability of trajectory tracking, nevertheless, the result discovers the shortcomings and deficiencies of the devices, and provides a reference for the design and the selection of the motor of the power equipment, what is more, and it provides an important theoretical basis for studying of assist robot.

Keywords

lower limb powerassisted device, dynamic model, ADAMSUMATLAB, virtual prototype model, co-simulation

Recommended Citation

Liu Zhenze, Wang Fengming, Zhang Xuange, Yin Cangqiong. Co-simulation of Intelligent Lower Limb Assist Device Virtual Prototype[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(6): 1247-1254.

智能下肢助力装置虚拟样机的联合仿真

刘振泽, 王峰明, 张轩阁, 尹苍穹

(吉林大学通信工程学院, 长春 130000)

摘要: 尝试建立一种全新的智能助力装置虚拟样机模型, 旨在提高下肢助力装置设计的效率与可靠性。将 CATIA 建立的机械模型导入 ADAMS 建立装置的三维虚拟样机模型, 对助力装置的运动学及动力学进行了仿真验证, 将虚拟样机模型与 MATLAB/simulink 结合, 对助力装置动力学方程及搭建的控制系统进行联合仿真。根据人体的步态数据, 采用 PID 控制算法对下肢助力系统进行控制。仿真结果表明, 下肢助力控制系统有较好的动态响应特性和轨迹跟踪能力。研究结果能及时发发现装置存在的缺点与不足, 为助力装置样机研制和电机选型提供了参考, 也为实现装置的助力提供了重要的理论依据。

关键词: 下肢助力装置; 动力学模型; ADAMS\MATLAB; 虚拟样机模型; 联合仿真

中图分类号: TP242 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2015)06-1247-08
DOI:10.16182/j.cnki.joss.2015.06.014

Co-simulation of Intelligent Lower Limb Assist Device Virtual Prototype

Liu Zhenze, Wang Fengming, Zhang Xuange, Yin Cangqiong

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: A virtual prototype model of power assist device for lower extremity was established to improve the efficiency and reliability of the power assist device design. The mechanical model using software CATIA was introduced to ADAMS to establish the virtual model, so as to carry out the kinematics and dynamics simulations, and combined the previous model established by ADAMS with the control model established in MATLAB/Simulink to realize the co-simulation of the system. According to the characteristics of human gait data, PID control algorithm was used to control lower limb power system. The simulation results demonstrate that the control system has a good response characteristic and a good ability of trajectory tracking, nevertheless, the result discovers the shortcomings and deficiencies of the devices, and provides a reference for the design and the selection of the motor of the power equipment, what is more, and it provides an important theoretical basis for studying of assist robot.

Keywords: lower limb power-assisted device; dynamic model; ADAMS\MATLAB; virtual prototype model; co-simulation

引言

可穿戴下肢助力机器人是一种与人体下肢结构类似的拟人化装置, 穿戴在人体下肢外侧与人腿保持平行, 通过实时的获取人的运动信息, 与人的

步态协调一致, 进而达到助力的目的。利用机构上的驱动装置, 在恰当的时机施加助力, 机器人就能够增强人的下肢力量, 能够增大人的负载能力及降低长时间行走的疲劳程度, 并且能够帮助下肢有残疾的患者进行康复训练或矫形, 恢复正常行走功能。下肢助力机器人作为具有增强人类机能和医疗康复功能的机构, 已经成为国际机器人领域的一个研究热点, 这项研究的现实意义和理论意义都十分重要。

目前, 国外从事可穿戴助力机器人研究较为先



收稿日期: 2014-06-12 修回日期: 2014-11-04;
作者简介: 刘振泽(1978-), 男, 吉林长春, 博士, 副教授, 研究方向为欠驱动机器人、康复助力机器人;
王峰明(1989-), 男, 山东潍坊, 硕士生, 研究方向为下肢助力机器人。

<http://www.china-simulation.com>

• 1247 •

进的是美国和日本,如图 1 所示。美国的伯克利分校研究的下肢助力机器人 BLEEX (Berkeley lower extremity exoskeleton),由金属腿、液压驱动系统以及背包外架组成,如图 1(a)所示,这套装置主要用于美国士兵,能够提高负重能力和行军速度,适用于长距离复杂地形的作战环境,大大提高了单兵作战能力^[1]。该装置采用混合控制方法^[2],在站立相采用位置控制,在摆动相采用灵敏度放大控制,分别建立不同相的模型,通过脚底压力传感器判断所处状态采用相应控制策略,保证了下肢助力系统的鲁棒性。美国麻省理工学院(MIT)也研制了一款助力机器人^[3-4],该助力装置每条腿有 5 个自由度,通过束带装置与人腿缚在一起,如图 1(b)。该助力机器人建立了一个欠驱动模型,利用状态机进行控制,在个自由度加入了被动元件,根据踝关节和髌关节的运动特性,利用安装在这两个关节的弹簧,不断地储能放能,达到助力省力的目的。它的膝关节是一个变阻尼装置,在步态周期的不同阶段通过调节阻尼大小,适应人腿的运动特性,如在支撑阶段,阻尼就会达到最大来支撑身体的负重。日本筑波大学研制的助力腿 HAL(Hybrid assistive limb),图 1(c)所示,该装置通过贴在人皮肤上的肌电传感器测得肌电信号,采用 CAC 与 CVC 两种不同的控制方法,对下肢助力装置达到了精确地控制,从而辅助人腿部的运动^[5-7]。此装置不仅可以为正常人行走助力,也能够辅助下肢有残疾的人正常行走。但是穿戴者体质不尽相同,表面肌电信号比较微弱,且受外界因素干扰较大,要达到精确控制的目的比较困难。日本本田公司的助力装置(Stride Management Assist Device)利用薄型电机和臀部的角度传感器通过控制系统帮助穿戴者行走,其控制原理借鉴了目前最为先进的双足步态机器人 ASIMO 的控制方法,改善步行速度,基本能完成正常人所做的动作,而且整个装置才 2.5 Kg。该装置不仅可以用于辅助正常人行走,也能够帮助步态不正常或者行动不便的老年人轻松的行走,如图 1(d)所示。另外,以色列阿密特·戈夫尔为残疾人研发的“Rewalk”,新加

坡南阳理工学院罗锦发教授研发的增强人体机能的助力机器人,以及美国雷神(Raytheon Sarcos)用于军事的 XOS 外骨骼,都是较为先进的下肢助力机器人^[8]。这些助力装置的共同特点是都需要建立精确的机器人模型,进行复杂的推导,本文试图利用一种简单有效且直观的方法为下肢助力装置的控制提供依据。

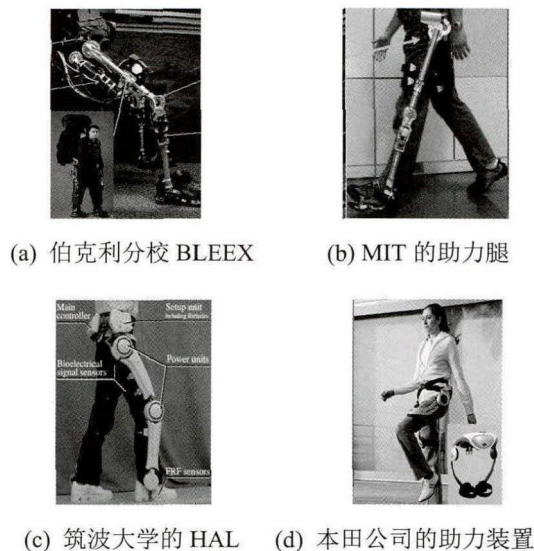


图 1 助力机器人

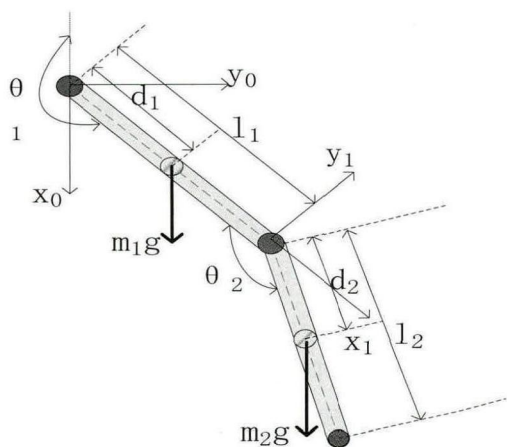
本研究拟设计一款质量轻盈,穿戴方便,为人类行走提供助力的下肢助力装置,本文通过对助力装置模型的建立与仿真,为研究提供了理论依据。该装置能利用自身的感知系统实时接收并分析人的运动意图,以此作为控制器的触发信号,助力装置实时做出响应,达到行走助力的目的。下肢助力装置最终实现省力助力的功能,前提是能够与人的运动协调一致,根据实验测得的人的步态数据,利用联合仿真控制系统,使助力装置按照人的步态轨迹运动。文中利用 CATIA 软件设计出下肢助力装置的三维模型^[9],将该模型导入到动力学仿真软 ADAMS 中^[10],进行运动学以及动力学仿真,利用 MATLAB 建立控制系统模型,通过 Controls 接口模块将两个模型进行连接,实现联合仿真。应用拉格朗日法推导装置动力学模型,用 MATLAB 编程求得力矩与 ADAMS 仿真中的力矩比较,验证了

建立模型的正确性, 助力腿模型如图 2 所示。控制系统中以关节力矩和角度及角速度为变量, 采用传统的 PID 控制, 最终实现下肢助力装置跟踪正常人步态, 与人运动协调一致的目的。通过虚拟样机仿真和联合仿真, 不但验证下肢助力装置的机械模型合理性, 也有效提高机械装置的性能, 为物理样机的研制与装置的助力提供很好的依据^[11-12]。

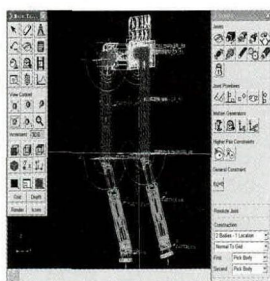
1 建立装置模型

1.1 动力学模型的建立

从能量的角度考虑, 利用拉格朗日法对下肢助力装置动力学模型进行推导^[13], 假设两腿之间没有干涉, 因此只对一条助力腿建模, 以髋关节作为基坐标系。其中 m_1, m_2 分别为大小腿的质量, d_1, d_2 分别为髋关节膝关节到其质心的距离, θ_1, θ_2 分别为连杆的关节角度, 两连杆模型如图 2(a)所示。



(a) 动力学模型



(b) CATIA 中的三维模型 (c) ADAMS 中的虚拟样机模型

图 2 助力腿的模型

拉格朗日方程的表达式为 $L = E_k - E_p$ 系统的动力学方程为:

$$T = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (1)$$

其中, E_k, E_p 分别表示助力装置总的动能和势能, T 为各个关节所需要的驱动力矩。上式中各量的求解过程如下所示:

$$E_p = -m_1 g d_1 \cos \theta_1 - m_2 g l_1 \cos \theta_1 + m_2 g d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 d_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 [l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + d_2^2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) - 2l_1 d_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2] \quad (3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -m_1 g d_1 \sin \theta_1 - m_2 g l_1 \sin \theta_1 + m_2 g d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = m_2 l_1 d_2 \dot{\theta}_1 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin \theta_2 + m_2 g d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = m_1 d_1^2 \dot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + m_2 l_1^2 \dot{\theta}_1 - m_2 l_1 d_2 (2\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 d_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) - m_2 l_1 d_2 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \quad (5)$$

将式(2)(3)(4)(5)中的量带入式(1)中, 就可得到各关节的所需要的驱动力矩

$$T = M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) \quad (6)$$

其中, M 为转动惯量矩阵, C 为离心力和科氏力相关项矩阵, G 为重力列矩阵, 驱动力矩的具体表达形式如下:

$$T_1 = (m_1 d_1^2 + m_2 l_1^2 + m_2 d_2^2 - 2m_2 l_1 d_2 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_1 + (m_2 d_2^2 - m_2 l_1 d_2 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_2 + m_2 l_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2^2 + 2m_2 l_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + [(m_1 g d_1 \sin \theta_1 + m_2 g l_1 \sin \theta_1 - m_2 g d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2))] \quad (7)$$

$$T_2 = (m_2 d_2^2 - m_2 l_1 d_2 \cos \theta_2) \ddot{\theta}_1 + m_2 d_2^2 \ddot{\theta}_2 - m_2 l_1 d_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1^2 - m_2 g d_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (8)$$

助力腿各部分质心的位置、惯量等很容易的在软件 ADAMS 中得到, 通过对助力腿的动力学方程的推导, 为以后动力学编程提供数据, 同时求出的各关节力矩也可作与仿真结果比较, 验证所建立的虚拟样机模型的正确性。

1.2 建立三维物理模型

文中对下肢助力腿进行三维模型设计的软件是 CATIA, 虽然 ADAMS 也可以建立简单的助力腿的机械模型, 但是建立的模型没有 CATIA 建立的模型精确。三维助力腿模型是模仿人类下肢的结构进行设计, 髋关节有 3 个自由度, 膝关节 1 个自由度, 在自由度数量方面保证了机械腿能够做人类各种基本动作。根据人类步态特点, 在髋关节和膝关节的屈伸自由度加驱动, 可以最大程度的辅助人类行走。如图 2(b), 是 CATIA 中的下肢助力装置的三维模型。模型的设计中, 需要考虑到机械结构的设计要求^[14], 髋关节和膝关节的屈伸自由度添加了限位装置, 最大程度保护穿戴者的安全; 大腿、小腿与腰部也设置长度调节装置, 使装置能够适应不同的穿戴人群, 具体参数范围需在实验中逐渐优化得到。

1.3 建立虚拟样机模型

1.3.1 模型的导入

建立的机械腿模型要进行运动学和动力学仿真需要在 ADAMS 中, 因此需要将 CATIA 中的模型导入到 ADAMS 中。这两个软件之间有相同的保存格式, 如 *.igs、*.stp、*.stl 等, 但是将 CATIA 中的模型另存为其中一个格式, 用 ADAMS 打开时, 模型是一个整体, 无法进行编辑。由于软件 Solidworks 与软件 ADAMS 之间的导入比较成熟, 而且导入后的模型可以进行各种编辑, 这个软件与 CATIA 之间的模型能够通用, 因此, 选用软件 Solidworks 作为模型导入的过渡软件。将 CATIA 中的三维模型另存为 *.x_t 格式的文件, 用

Solidworks 另存为 parasolid 格式的文件, 然后利用 ADAMS 选择导入该格式的文件, 就能够成功的将模型导入到 ADAMS 中。

1.3.2 模型在 ADAMS 中的编辑

为方便操作和辨别, 导入到 ADAMS 的模型需进行编辑, 将不同 Part 部件修改名称, 并设置不同的颜色。为了尽可能使助力机构轻便且坚固, 选择硬质铝作为大部分机械结构的原材料, 根据密度对每部分进行质量和惯量的修改。另外, 还需要根据人体运动特点以及模型的具体状况, 对各个自由度添加约束, 在髋、膝关节处的屈伸自由度, 添加旋转约束, 并添加驱动; 在相对固定的各部件之间添加固定约束, 在长度可调的各部分之间选定合适长度后, 添加固定副进行固定。目前要实现的基本功能是需要机械腿的每个关节都能达到预定的运动效果, 因此, 文中将助力腿的腰部固定, 分析助力腿的运动状态, 并改进。如图 2(c) 是在软件 ADAMS 中的添加约束和驱动后的模型图。

1.4 助力腿的动力学仿真

为了使整个系统更易操作, 对模型进行必要的简化。完成对模型的编辑和约束添加后, 应用软件的模型自检功能, 确认机械系统没有冗余的自由度和冗余的约束, 进行动力仿真。为了验证建立的虚拟助力腿模型的正确性, 以左腿的髋关节和膝关节为例, 分别加入已知的驱动函数, $F(\text{time}) = 40d * \sin(2 * \text{time})$, $F(\text{time}) = 50d * \sin(2 * \text{time})$, 选择仿真时间 t 为 10 s, 仿真步数 step 为 1000, 进行仿真。在后处理模块中, 如图 3 所示, 为左大腿和小腿围绕 Z 坐标轴旋转的角速度。对仿真结果进行分析, 说明建立的机械模型能够按照给定的驱动形式进行运动, 验证了该模型的可靠性。

根据人在行走时的步态特点, 以及运行时各个关节的运动范围, 编写下肢助力腿各关节的驱动函数, 使助力腿能够按照人的步态进行运动。依据人在步行过程中各个关节角度的变化情况, 选择用 STEP 控制函数进行驱动, STEP 函数能够实现现在

特定时间段内角度的变化, 是一个三次多项式逼近阶梯函数, 其格式为: $STEP(x, x_0, h_0, x_1, h_1)$ 。其中, x 为自变量, 本文中自变量是时间 t , x_0 , x_1 是自变量的起点与终点, h_0, h_1 是在自变量变化时响应的值。

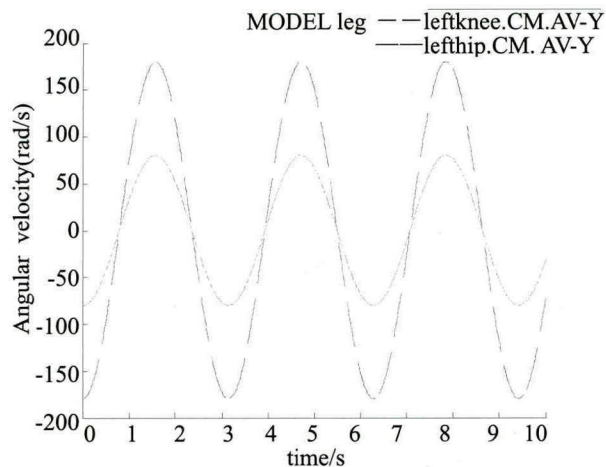


图 3 动力学仿真曲线

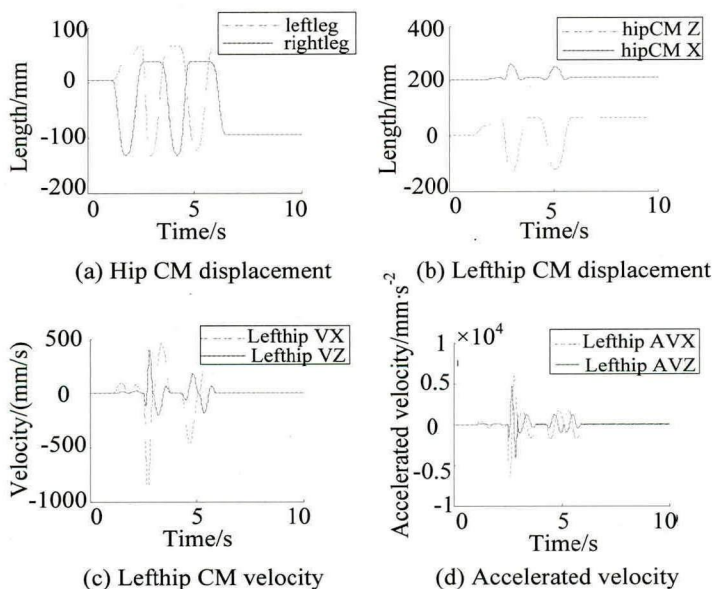


图 4 关节质心位移、速度及加速度变化曲线

另外, 分析仿真结果可以看出, 输入角度是由人给出, 但是不能排除输入出错情况的发生, 一旦输入出错, 机械装置就会相应的出现差错, 就可能给穿戴者造成伤害, 因此, 根据人的步态在关键自由度设置了限位开关, 保护穿戴者。对不同穿戴者的仿真, 需要设置不同的大小腿长度, 现实中要使

按照上边的形式, 给助力装置的关节添加驱动函数, 选择仿真时间为 10 s, 仿真步数为 1000, 进行仿真, 后处理模块得到各部分质心变化曲线, 以及速度、加速度变化曲线, 为了曲线更加清晰便于分析, 以左腿髋关节为主进行分析, 如图 4 所示。

根据输入驱动函数的形式, 对曲线 4 的仿真结果分析, 机械结构的大小腿质心位置的变化情况符合正常步态的要求, 左右大腿质心在 X 轴上有相同的变化趋势, 只是相距一定的时间差, 大腿运动平稳。大腿的质心在 X, Z 轴方向位移以及在 X, Z 轴方向的速度变化趋势相反, 速度曲线的变化趋势与预测一致。而且速度与加速度的曲线较为平顺, 没有大的波动, 说明助力腿的机械结构设计能够符合实际要求。

助力装置适应更多的穿戴者, 需要设置可调装置。在设计初期物理样机都考虑了这些条件, 在无驱动穿戴的情况下, 与人的运动无干涉, 达到了基本的运动要求。

由仿真得到的各个驱动关节处的力矩曲线, 如图 5 是绕 Y 轴的各关节力矩曲线, 可以看出髋关

节的力矩明显大于膝关节力矩,与正常步态运动情况相符,同时,可以得到力矩的最大值,结合我们得到的速度的变化情况,对电机和传动机构的选择也提供了重要的理论依据。各关节的力矩变化趋势基本符合预期要求,建立的虚拟样机模型能够应用于联合仿真系统中。

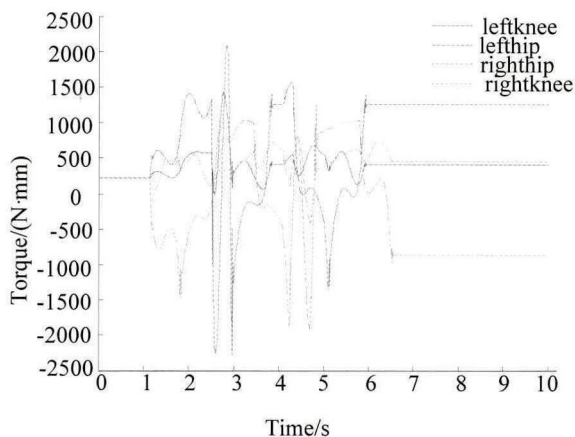


图 5 关节的力矩曲线

2 控制系统模型建立

2.1 控制方案

下肢助力装置系统是一个非线性多变量耦合系统,为了便于控制,将该系统简化为线性多变量解耦系统。根据下肢各个关节的运动特性,对每个关节分别进行控制。为了加快系统的响应速度,减小误差,加入了比例控制;消除系统的稳态误差,提高系统的无差度,加入了积分控制;另外,为了减小超调量,减少调节时间,可以加入微分环节,因此,本文的控制系统中采用是传统 PID 控制策略。

$$\tau = k_p (\theta_{期望} - \theta) + k_d \dot{\theta} + k_i \int (\theta_{期望} - \theta) dt \quad (9)$$

其中, $\theta_{期望}$ 是助力机械腿各关节的期望角度值, θ 、 $\dot{\theta}$ 是 ADAMS 中输出的各关节的角度值及角速度值, τ 表示关节的驱动力矩, K_p 、 K_i 、 K_d 分别代表比例增益、微分增益和积分增益。

2.2 联合仿真系统的建立

在 ADAMS 中将助力腿虚拟样机模型的驱动

motion 删除,并添加单分量力矩,设置力矩为 0。定义状态变量与单分量力矩相连,并定义为输入变量,将定义的状态变量分别设置为机械腿角度值和角速度值,并将其设置为输出量。利用 ADAMS 的 Controls 模块产生一个有四个输入和八个输出的机械系统,导入到 MATLAB 中。在 MATLAB 中打开已建立的系统,通过命令 ADAMS_sys,即可产生一个 sub 子系统。

将生成的子系统模块作为 MATLAB/simulink 的一个模块,根据控制方案搭建了联合仿真系统控制框图,如图 6 所示。针对下肢的各个关节,采用传统的 PID 控制方法进行控制,以给定的正常人的额步态数据作为控制系统的输入,经控制器以关节力矩作为模块的输入,以各关节的运动信息作为输出反馈。仿真时, MATLAB 与 ADAMS 之间数据的实时传输依靠 ADAMS 的 Controls 模块。ADAMS 通过自身的函数将联合仿真中的转矩变量调用作为在 ADAMS 中样机各关节运动所需要的驱动力矩,当驱动各关节运动的同时,各个关节变量的角度值和速度值也会实时的调用到联合仿真系统中,通过变量值的反馈,构成了一个闭环控制系统。

2.3 仿真参数调节及结果分析

由于助力装置大腿和小腿之间存在强耦合关系,对每个关节单独调节很难达到最优的控制效果,单独调节每个关节时,另一个关节运动的不可控性,也会对系统的性能造成影响。为了减小两条腿之间相互影响的不可控性,对一条腿的两个关节参数同时进行调节,更容易达到稳定状态。根据 ADAMS 中各部分坐标系的不同,从静平衡状态开始仿真,在静平衡位置时大腿角度为 -180° ,小腿角度 180° ,设置仿真时间 5 s,时间间隔 0.001 s,仿真过程中,根据仿真的结果,不断调节优化系统增益,最终使系统达到理想状态。输入髋关节角度为 -150° ,膝关节角度为 220° ,仿真结果如图 7 所示。

由图 7 的仿真结果可以看出, 在设定输入角度后, 系统相应的关节能够迅速做出响应, 达到预定的目标

值, 并保持不变, 且基本无振荡, 通过 ADAMS 也可以清楚的看到样机的动画演示, 效果较为理想。

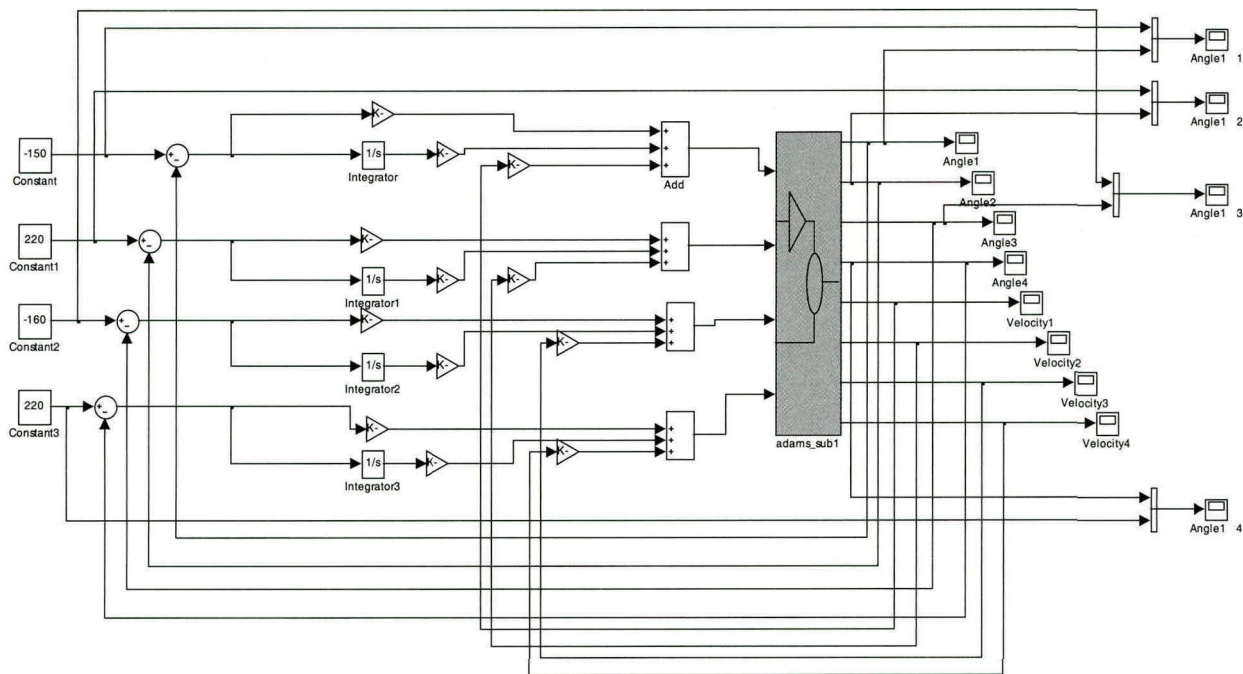


图 6 搭建的控制系统框图

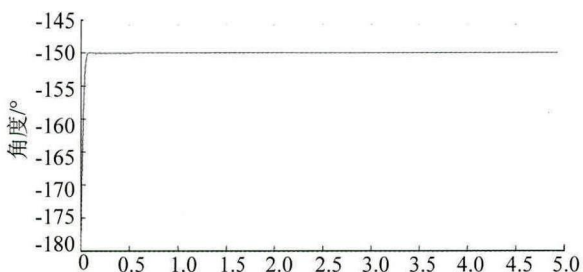


图 7 髌关节仿真曲线

3 与人步态一致性仿真

根据试验测得的人体步态数据, 把各个关节的角度变化曲线作为该控制系统的输入, 使输入的数据初始值与仿真时模型的静平衡状态的初始值相同。另外, 设置输入的步态数据采样频率与联合仿真控制中频率一致。将步态数据的关节角度数据, 通过 Form Workspace 模块输入到系统中, 进行联合仿真, 仿真结果如图 8 所示。

从联合控制的仿真结果可以看出, 开始仿真的 0.1 s 左右, 系统的仿真曲线出现一个小的振荡。可能是由于机械模型刚性大所引起, 通过控制系统

的调节很快消失。人的步态曲线与助力装置的仿真曲线近似重合, 有较好的鲁棒性, 说明控制系统能够很好地完成跟踪人的步态轨迹的目标。

利用同样的方法, 在其它关节处输入相应的人的步态数据, 助力腿就能够与人的运动相一致, 并为人的行走起到助力的作用。

4 结论

本文将 CATIA, Solidworks, ADAMS 与 MATLAB 四个软件进行结合, 建立了下肢助力装置的三维机械模型、动力数学模型、虚拟样机模型以及控制系统模型, 虚拟样机模拟真实环境中的各种条件, 仿真结果符合预期的设计要求。

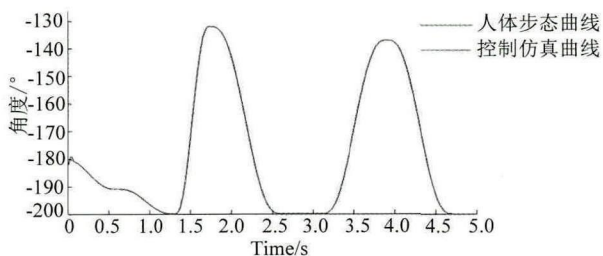


图 8 髌关节步态曲线与仿真曲线

采用虚拟样机的联合仿真控制,避免了繁琐的建模推导和计算过程,能够直观的看到控制系统的仿真效果,具有说服力,并可以提早发现设计中的问题与不足,大大节约了时间和成本,为样机的研发设计打下了很好的基础。充分利用 ADAMS 与 MATLAB 的优点进行了联合仿真,验证了整个控制系统的稳定性以及良好的跟踪特性,保证与人的运动相一致,为实现行走助力提供了科学的理论依据。

参考文献:

- [1] Chu A, Kazerooni H, Zoss A. On the Biomimetic Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX) [C]// IEEE International Conf. on Robotics and Automation, Barcelona, Spain. USA: IEEE, 2005: 4345-4352.
- [2] Kazerooni H, Ryan Steger, Huang Lihua. Hybrid Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX) [J]. The International Journal of Robotics Research (S0278-3649), 2006, 5(6): 561-573.
- [3] Conor James Walsh, Ken Endo, Hugh Herr. A Quasi-passive Leg Exoskeleton for Load-carrying Augmentation [J]. International Journal of Humanoid Robotics (S0219-8436), 2007, 4(3): 487-506.
- [4] K Endo, D Paluska, H Herr. A quasi-passive Model of Human Leg Function in Level Ground Walking [C]// IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS), Beijing, China. USA: IEEE, 2006: 4935-4939.
- [5] A Tsukahara, R Kawanishi, Y Hasegawa, Y Sankai. Sit-to-stand and Stand-to-sit Transfer Support for Complete Paraplegic Patients with Robot suit HAL [J]. Advanced Robotics (S0169-1864), 2010, 24(11): 1615-1638.
- [6] Atsushi Tsukahara, Yasuhisa Hasegawa, Yoshiyuki Sankai. Gait Support for Complete Spinal Cord Injury Patient by Synchronized Leg-swing with HAL [C]// International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA. USA: IEEE, 2011: 1737-1742.
- [7] K Suzuki. Intention-based Walking Support for Paraplegia Patients with Robot Suit HAL [J]. Advanced Robotics (S0169-1864), 2007, 21(12): 1441-1469.
- [8] A Dollar, H Herr. Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-art [J]. IEEE Transactions on Robotics (S1552-3098), 2008, 24(1): 144-158.
- [9] 丁仁亮. CATIA V5 基础教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [10] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [11] 王战中, 杨长建, 刘超颖, 等. 基于 MATLAB 和 ADAMS 的六自由度机器人联合仿真 [J]. 制造业自动化, 2013, 35(9): 30-33.
- [12] 马如奇, 郝双辉, 郑伟峰. 基于 MATLAB 与 ADAMS 的机械臂联合仿真研究 [J]. 机械设计与制造, 2010, 1(4): 93-95.
- [13] 陈愚, 付成龙. 仿人机器人理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [14] 曹恒, 牛思捷, 王瑜, 等. 基于 ADAMS 的助力机械腿结构设计与仿真 [J]. 工程设计学报, 2009, 16(5): 340-343.