

6-3-2020

## Coordinated Simulation of EMG Prosthetic Hand Based on MATLAB and ADAMS

You Bo

*1. College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; ;*

Shoutong Tao

*1. College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; ;*

Huang Ling

*1. College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; ;*

Bojun Li

*1. College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; ;*

*See next page for additional authors*

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.

---

# Coordinated Simulation of EMG Prosthetic Hand Based on MATLAB and ADAMS

## Abstract

**Abstract:** In order to reduce the costs and expense during prosthetic hand research process, a simulation system of prosthetic hand was built by using the virtual technology. *Building the multi-DOF prototype model of prosthetic hand with virtual modeling software Pro/E, the model was imported into software ADAMS to verifying the feasibility of prosthetic hand kinematic simulation. Through the interface modular part (ADAMS /control) of MATLAB and ADAMS, using Simulink module of MATLAB software built the prosthetic hand model control system of EMG (electromyography), changing the model information of the corresponding hand movements into actual expected angel of prosthetic hand joints. The signal, which was collected by the EMG signal acquisition system, was handled based on the threshold decision of the mean absolute value, then extracted time domain feature of EMG signal and sent it into MATLAB, beginning coordinated simulation.* The research results show that the drive of EMG prosthetic hand is successfully implemented by simulation system of EMG prosthetic hand based on MATLAB and ADAMS. The feasibility of EMG prosthetic controlling scheme hand has been verified by using the real-time coordinated simulation.

## Keywords

prosthetic hand, sEMG, coordinated simulation, MATLAB, ADAMS

## Authors

You Bo, Shoutong Tao, Huang Ling, Bojun Li, and Hanqing Zhao

## Recommended Citation

You Bo, Tao Shoutong, Huang Ling, Li Bojun, Zhao Hanqing. Coordinated Simulation of EMG Prosthetic Hand Based on MATLAB and ADAMS[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(5): 957-964.

## 基于 MATLAB 和 ADAMS 的机电假手联合仿真

尤波<sup>1</sup>, 陶守通<sup>1</sup>, 黄玲<sup>1</sup>, 李勃君<sup>1</sup>, 赵汗青<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨理工大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 哈尔滨理工大学测控学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:** 为了减少假手研制过程中投入的大量成本和费用, 充分利用虚拟技术, 搭建假手的仿真系统。采用 Pro/E 虚拟建模软件, 搭建具有多自由度的假手样机模型; 将其导入到 ADAMS 中, 对假手进行运动学仿真, 验证其合理性。通过 ADAMS 与 MATLAB 的接口模块 ADAMS/Control, 利用 MATLAB/Simulink 模块搭建假手模型的控制系统, 将对应的手部动作模式信息转化为假手关节期望角度; 将肌电信号采集系统采集的信号, 采用基于绝对值均值的阈值决策法进行处理, 提取肌电信号的时域特征, 送入 MATLAB, 进行联合仿真。研究表明, 基于 MATLAB 和 ADAMS 的机电假手的仿真系统实现了对肌电假手的驱动, 验证了肌电假手控制方案的可行性。

**关键词:** 假手; 表面肌电信号; 联合仿真; MATLAB; ADAMS

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 05-0957-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201705004

## Coordinated Simulation of EMG Prosthetic Hand Based on MATLAB and ADAMS

You Bo<sup>1</sup>, Tao Shoutong<sup>1</sup>, Huang Ling<sup>1</sup>, Li Bojun<sup>1</sup>, Zhao Hanqing<sup>2</sup>

(1. College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. College of Measure-Control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** In order to reduce the costs and expense during prosthetic hand research process, a simulation system of prosthetic hand was built by using the virtual technology. Building the multi-DOF prototype model of prosthetic hand with virtual modeling software Pro/E, the model was imported into software ADAMS to verifying the feasibility of prosthetic hand kinematic simulation. Through the interface modular part (ADAMS/control) of MATLAB and ADAMS, using Simulink module of MATLAB software built the prosthetic hand model control system of EMG (electromyography), changing the model information of the corresponding hand movements into actual expected angel of prosthetic hand joints. The signal, which was collected by the EMG signal acquisition system, was handled based on the threshold decision of the mean absolute value, then extracted time domain feature of EMG signal and sent it into MATLAB, beginning coordinated simulation. The research results show that the drive of EMG prosthetic hand is successfully implemented by simulation system of EMG prosthetic hand based on MATLAB and ADAMS. The feasibility of EMG prosthetic controlling scheme hand has been verified by using the real-time coordinated simulation.

**Keywords:** prosthetic hand; sEMG; coordinated simulation; MATLAB; ADAMS

## 引言

为了满足上肢残疾人的日常生活需求, 提高其



收稿日期: 2015-06-29 修回日期: 2015-09-18;  
基金项目: 国家“863”重大项目(2009AA043803);  
作者简介: 尤波(1962-), 男, 黑龙江尚志, 博士, 教授, 博导, 研究方向为机器人控制; 陶守通(1986-), 男, 河南虞城, 硕士生, 研究方向为机电假手建模和仿真。

生活质量, 进行假手研制, 是必须的。目前的商业机电假手可实现的功能较为单一, 主要可实现抓握物体、开启瓶盖、端盘子等简单动作, 自由度少, 携带不便, 与自然手的外观有一定的差距<sup>[1]</sup>。因此进行机电假手的研制有着重要的科研价值和实用价值。

虚拟样机技术具有较低的研发成本、较短的研

发周期、较高的产品质量等特点,并且可以摆脱对物理样机的依赖,用以实现产品预判、可行性分析和节约成本的目的<sup>[2]</sup>,所以国内外的许多学者和机构围绕该技术的应用展开研究。Farzad Cheraghpour 等人采用虚拟样机技术搭建仿真平台,进行工业机器人的动力学分析,实现了 ADAMS 及 MATLAB 的动态链接<sup>[3]</sup>。美国国防部开发了一套虚拟环境系统,通过采用 SolidWorks 建立假手的 3D 模型,导入 Simulink 中生成 SimMechanics 模型,然后通过 Java 3D 开发仿真环境,最终实现假手运动学特性的仿真并验证了外部控制系统。马如奇等人设计出机械臂的虚拟样机控制系统,并通过 ADAMS 和 MATLAB 联合仿真,验证系统具有较好的动态响应特性及较好的轨迹跟踪能力<sup>[4]</sup>。杜志江等人利用虚拟样机技术建立机器人模型并成功的进行控制,为步态规划研究提供一种新的方法<sup>[5]</sup>。哈尔滨工业大学杨大鹏等人通过 Pro/E 建立机电假手的 3D 模型后,生成 VRML (Virtual Reality Modeling Language)文件,通过 VRML 可视化插件的修改,分别在 MATLAB 及 LABVIEW 平台实现了机电假手的实时控制,更直观的验证和优化机电假手的控制方案。可见,采用虚拟样机技术,既可以有效地缩短样机的开发周期和降低研制成本,又可以有效地提高其实际性能。

本文采用 Pro/E 建模软件设计建立机电假手的三维模型,保存为 Parasolid 格式,然后通过 Pro/E 和 ADAMS 接口将模型文件导入到 ADAMS 软件中,并向机电假手的各结构之间添加约束,形成系统的虚拟假手样机,通过 ADAMS/Control 接口模块,将在 ADAMS 中设置好的控制参数导入到 MATLAB,进行联合仿真,能够实现对复杂虚拟假手进行机电控制;而在 LABVIEW 仿真平台上实现机电控制虚拟假手运动,通过 Pro/E 建立机电假手的三维模型后,生成 VRML 文件,通过 VRML 可视化插件的修改,导入到 LABVIEW 软件里。由于欠驱动虚拟假手结构复杂,生成 VRML 文件会产生过多的平面,在 LABVIEW 仿真平台上实

现虚拟假手运动的连续性效果不佳,运动的平滑性不是很强,需对虚拟假手模型进行简化,实现机电控制简化虚拟假手,然而简化的虚拟假手与人自然手相差很大,不利于以后物理样机的开发。

本文利用三维造型软件 Pro/E、机械动力学仿真软件 ADAMS 和控制仿真软件 MATLAB/Simulink 建立机电假手的虚拟样机、搭建仿真控制系统,通过交互式联合仿真,验证机电假手的控制方案的可行性,为后续实际物理样机的研制提供技术依据。

## 1 机电假手原理

### 1.1 控制原理

人手在做不同的手势动作时,肌肉的收缩模式和强度是不同的,故采集到的肌电信号也是不同的<sup>[6]</sup>。因此根据采集不同手势的肌电信号,可以识别出相应的手势动作,从而通过各种手势动作的肌电信号控制虚拟假手复现该手势动作。

首先通过表面肌电电极募集人体表面肌电信号,当人体发生动作时,肌肉收缩产生肌电信号,产生的表面肌电信号经过采集电路的降噪和放大后,被转化为模拟量信号,再经由数据采集卡转化为计算机可识别处理的数字信号,通过特征值提取,模式分类最后转化为手部动作的编码,从而完成从表面肌电信号到动作指令的映射关系,然后再驱动机电假手实现相应的动作。

### 1.2 手势动作规划与识别

采用基于绝对值均值的阈值决策法,将采集到的三通道表面肌电信号通过数据采集卡传递到计算机中,通过 MATLAB 分析表面肌电信号数据,取此阶段的肌电信号绝对值均值。当绝对值均值大于所选阈值时,输出为 1,否则输出为 0,因此理论上可以识别 8 种手部动作,分别对应(111),(110),(101),(100),(011),(010),(001),(000)。这种阈值决策方法可靠性较高,响应快,适用于机电假手的实时联合仿真实验。

本文主要对握拳动作以及伸展动作进行讨论, 定义(011)为握拳动作, (100)为伸展动作。(111)表示三通道表面信号的峰值均大于所选阈值, (000)表示三通道均未能触发阈值, 分别对应(拇长展肌, 指总伸肌, 指深屈肌), 下面对 8 种手势动作进行规划<sup>[7]</sup>, 具体动作如图 1 所示。

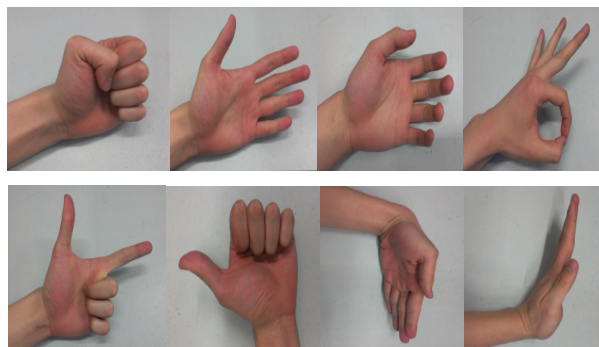


图 1 待识别手势动作  
Fig. 1 Gestures to be recognized

## 2 肌电假手的建模与分析

### 2.1 肌电假手模型设计

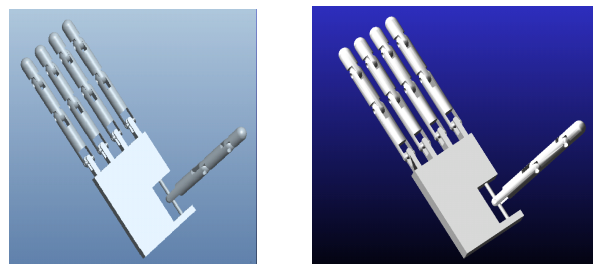
#### (1) 肌电假手手指机构

肌电假手可以视为一系列连接在一起的连杆所组成的机构。在考虑人手生理特性的基础上, 把自由度都集中在手指部件上, 将各个手指均定义为 4 个关节的机构。每个关节一个自由度, 除拇指外各个手指的关节 1, 2 实现下指节侧摆和屈曲运动, 关节 3, 4 实现中指节和上指节的屈曲运动。其中拇指 3, 4 关节轴线平行, 第 2 关节的轴线与 3, 4 关节的轴线呈  $45^\circ$ 。其余 4 指的关节 2, 3, 4 的轴线都相互平行。下指节长度为 40 mm, 中指节长度为 30 mm, 上指节长度为 20 mm, 手掌长度为 110 mm, 宽度为 55 mm, 厚度为 10 mm。

#### (2) Pro/E 模型创建

ADAMS 侧重于对机械系统的性能分析, 其建模功能不是很强, 因此它预留了可以兼容的模型文件格式。由于肌电假手结构相对复杂, 所以采用专业建模软件 Pro/E 来设计建立肌电假手的三维模型, 保存为兼容模式, 再通过 ADAMS 对其进行

相关的仿真分析<sup>[8]</sup>。该肌电假手的三维模型见图 2。



(a) Pro/E 模型 (b) 导入 ADAMS 后的模型

图 2 肌电假手的三维模型

Fig. 2 The 3D model of EMG prosthetic hand

设计的肌电假手模型是采用多连杆结构模式, 因此必须向肌电假手的各结构之间添加约束, 才能使得肌电假手各部分进行相对运动。在 ADAMS 中运动副起到模拟肌电假手关节的作用, 由于人手关节均为转动关节, 因此主要采用转动副定义肌电假手的各个关节运动。设计的肌电假手有 5 个手指, 每个手指有 4 个关节 4 个自由度, 其中各手指关节都是通过转动副相连的, 这些自由度决定了肌电假手的空间位置和姿态。同时将手掌部件通过固定副固定在大地上, 以保证肌电假手手指部分的稳定性。

### 2.2 肌电假手运动学分析

采用 D-H 法建立手指坐标系<sup>[9]</sup>, 如图 3 所示,  $x_0y_0z_0$  为定参考坐标系, 其他为动坐标系。各指节长度分别为  $a_1, a_2, a_3, a_4$ , 各关节转角分别为  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ , 侧摆轴与屈曲轴垂直, 夹角用  $\alpha$  表示, 指尖在手指定参考坐标系中的位置为  $(x, y, z)$ , 对应的 D-H 参数如表 1 所示。

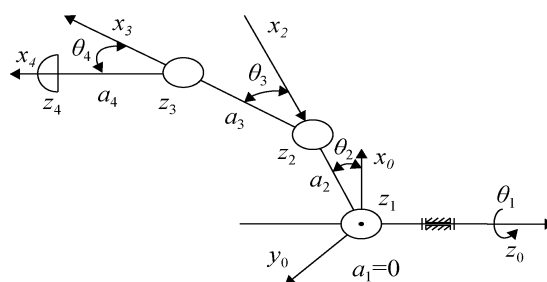


图 3 手指机构简图

Fig. 3 The mechanism diagram of the finger

表1 关节手指机构 D-H 参数

关节号	$\alpha_{i-1}/^\circ$	$a_i/mm$	$\theta_i/^\circ$
1	0	$a_1=0$	$\theta_1(-20\sim20)$
2	90	$a_2=40$	$\theta_2(0\sim90)$
3	0	$a_3=30$	$\theta_3(0\sim90)$
4	0	$a_4=20$	$\theta_4(0\sim90)$

肌电假手手指各坐标系间的变换矩阵分别为:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2^1 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_3c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & a_3s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_4^3 = \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & a_4c_4 \\ s_4 & c_4 & 0 & a_4s_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_4^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 =$$

$$\begin{bmatrix} c_1c_{234} & -c_1s_{234} & s_1 & (a_4c_{234} + a_3c_{23} + a_2c_2)c_1 \\ s_1c_{234} & -s_1s_{234} & -c_1 & (a_4c_{234} + a_3c_{23} + a_2c_2)s_1 \\ s_{234} & c_{234} & 0 & -(a_4s_{234} + a_3s_{23} + a_2s_2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $s_i = \sin \theta_i$ ,  $c_i = \cos \theta_i$ ,  $s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$ ,  $c_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$ ,  $s_{ijk} = \sin(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$ ,  $c_{ijk} = \cos(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$ ,  $i, j, k \in (1, 2, 3, 4)$ 。

式(3)中第4列前3个元素即为指尖在参考坐标系中的坐标(x, y, z), 因此有:

$$x = (a_4c_{234} + a_3c_{23} + a_2c_2)c_1 \quad (4)$$

$$y = (a_4c_{234} + a_3c_{23} + a_2c_2)s_1 \quad (5)$$

$$z = -(a_4s_{234} + a_3s_{23} + a_2s_2) \quad (6)$$

这样就建立了关节转角  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ , 求出各关节及指尖的空间位置的坐标。

### 2.3 肌电假手运动学仿真

在 ADAMS 中对其运动姿态进行仿真, 将设计的肌电假手模型转换为 Parasolid 格式, 通过 Pro/E 和 ADAMS 接口将模型文件导入到 ADAMS 软件中。把 Pro/E 模型中的食指的第一关节的坐标系定义为 ADAMS 中的肌电假手的全局坐标系, 全局坐标系的 Y 轴垂直掌面向下, ZX 平面平行于掌面, Z 轴方向为肌电假手伸展状态下的手指指向。

肌电假手手指关节进行旋转, 仿真得到肌电假手各个关节的位移、速度、加速度随时间变化的曲线。图 4~6 分别为肌电假手食指下指节、中指节、上指节相对于总坐标系在 Z 轴方向上的距离、速度、加速度曲线。在图中, 可以清楚地看到肌电假手手指的仿真曲线均为平稳曲线, 说明肌电假手的运动过程是平稳的。

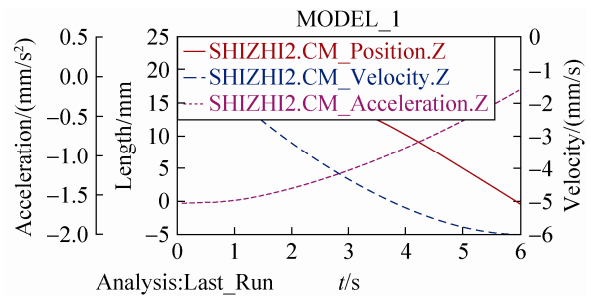


图4 食指下指节仿真曲线图

Fig. 4 The simulation curves of the second joint in index finger

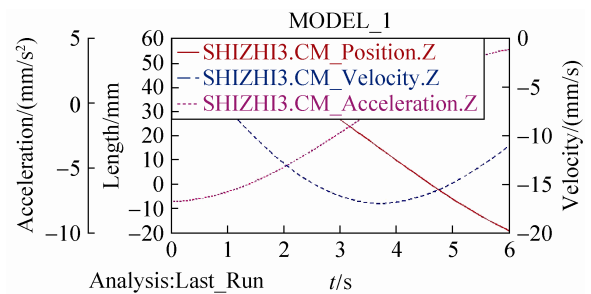


图5 食指中指节仿真曲线图

Fig. 5 The simulation curves of the third joint in index finger

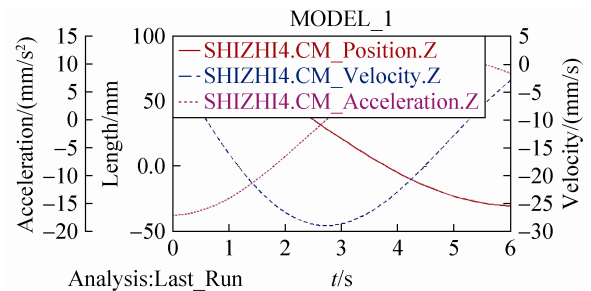


图6 食指上指节仿真曲线图

Fig. 6 The simulation curves of the fourth joint in index finger

经过仿真分析可以得出, 所设计的肌电假手模型满足设计需求, 并具备很好的仿生性, 可以作为后期肌电控制及联合仿真的模型, 并为肌电假手的实际物理样机开发打下了一定的基础。

### 3 联合仿真系统

#### 3.1 联合仿真系统原理

在 ADAMS/MATLAB 的联合仿真系统中, 肌电假手虚拟样机的运动学仿真分析由 ADAMS 负责完成, 而肌电假手的控制系统以及轨迹跟踪则由 MATLAB 完成。联合仿真的实现需要软件间的相互通信, MATLAB 控制系统的指令发送到 ADAMS 中, 驱动肌电假手模型, ADAMS 做出响应后把反馈传递回 MATLAB 中的肌电假手控制系统, 从而形成闭环控制系统<sup>[10]</sup>。

#### 3.2 控制器设计

联合仿真离不开数据的交互, 在本文肌电控制系统中, MATLAB 相当于肌电假手的控制器, ADAMS 相当于肌电假手的机械系统, MATLAB 的输出数据作为 ADAMS 的输入, ADAMS 的输出数据作为 MATLAB 的输入, 从而形成了一个闭环的系统。

本文设计的肌电假手从伸展到握拳一共有 14 个关节参与动作, 因此控制系统中应该至少具备 14 个控制变量, 选择关节转动速度作为控制系统输入变量, 关节转动角度作为输出变量, 以控制肌电假手的姿态。通过 ADAMS/Control 插件完成机械系统的导出, 在机械系统导出界面完成相关配置<sup>[11]</sup>。

完成配置后, 将所生成文件放到 MATLAB 的

工作路径中, 并在 MATLAB 中运行, 然后在 MATLAB 中键入 ADAMS\_sys 命令, MATLAB 将会生成联合仿真机械子系统的 Simulink 框图, 如图 7 所示。

由图 7 可以看到, 在通过 ADAMS/Control 控件导出的机械子系统中, 包含 14 个系统输入变量以及 14 个系统输出变量。

首先针对肌电假手的握拳动作, 给出肌电假手各个关节的期望转动角度, 并将 ADAMS 中肌电假手模型各关节的实际转动角度作为反馈传递给 MATLAB 中的控制系统, 当实际转动角度趋近于期望转动角度时, 控制肌电假手模型的转动速度, 达到柔性控制的目的。在 MATLAB 中编写控制器函数, 并在 Simulink 中搭建肌电假手的控制系统框图, 如图 8 所示。

#### 3.3 交互接口设计

先建立 MATLAB 与数据采集卡之间的联系, 选用串口作为采集与计算机之间的接口, 通过串口读取数据采集卡传递过来的肌电信号数据, 将串口的通信频率设置为 9 600 bit, 数据位设置为 8 位, 停止位设置为 1, 奇偶性设置为 none, 为了整个系统的实时性, 不对数据流做出限制。但要周期性清除串口缓存, 否则将会严重降低实时仿真系统的响应速度。需要对读取到的数据类型进行转换, 将其转换为双精度整形以便采用 MATLAB 对数据进行处理。

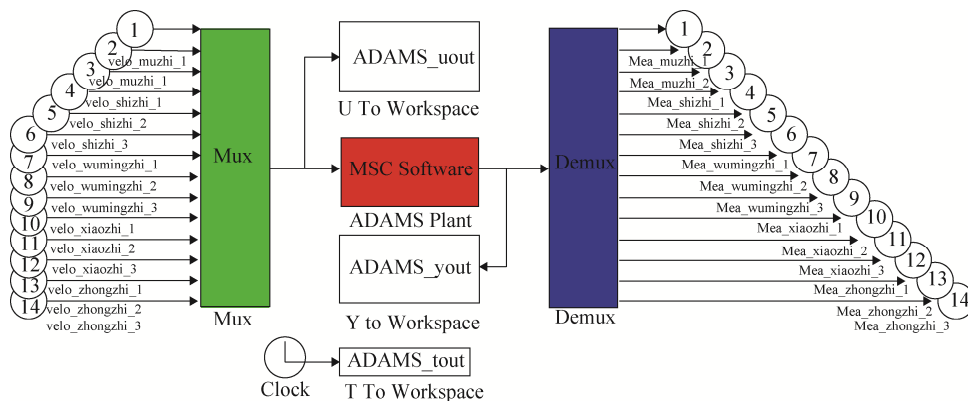


图 7 机械子系统的结构框图

Fig. 7 The structure diagram of the mechanical subsystem

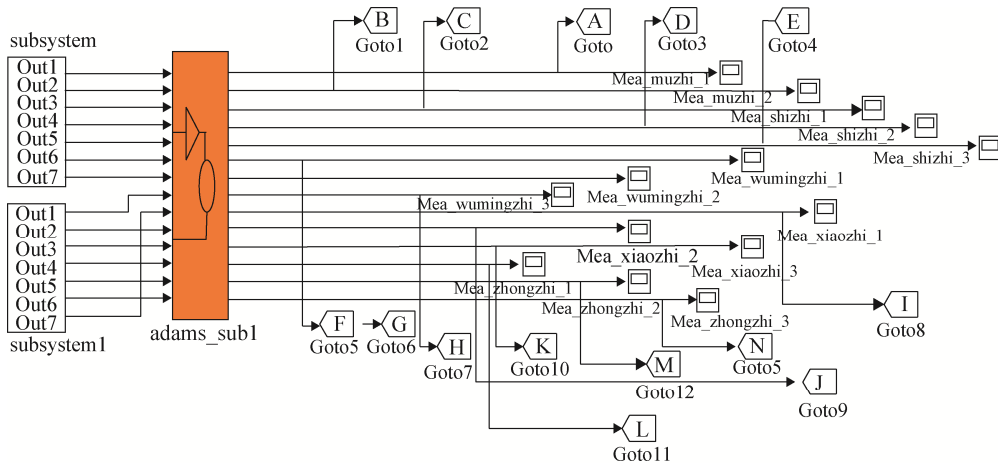


图 8 联合仿真控制系统框图

Fig. 8 The control system block diagram of the coordinated simulation

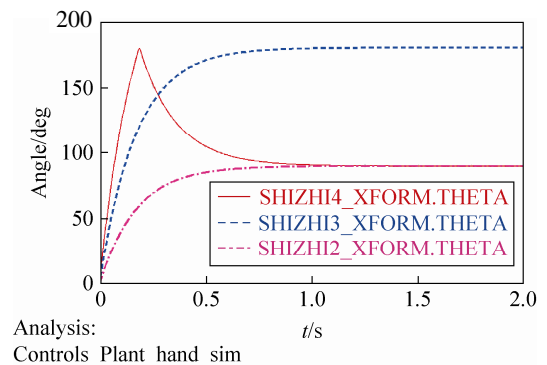
对所采集到的表面肌电信号数据做出处理, 采用基于绝对值均值的时域处理方式, 提取肌电信号的时域特征。在 MATLAB 中建立控制与数据采集卡之间的链接, 设置相关参数。通过采集 200 ms 内的表面肌电信号样本, 并计算此阶段的表面肌电信号的绝对值均值。由于所采集的表面肌电信号被映射在 5 V 电压的区间上, 并增加了直流偏置的表面肌电信号, 因此这里先减掉一个偏置, 偏置约为 1.5 V。当计算得到的表面肌电信号的绝对值均值大于所选阈值时, 输出 1, 否则输出 0, 每间隔 50 ms 重复以上步骤。

通过对人体前臂的动作模式分析, 我们选取拇长展肌, 指总伸肌, 指深屈肌作为被测肌肉, 分别对应第一、第二、第三通道。这里我们选取 1.8 V 作为第一通道的阈值, 2.0 V 作为第二第三通道的阈值, 这样握拳动作对应(011), 伸展动作对应(100), 将经过 MATLAB 处理后得到的手部动作模式信息传递给肌电假手的控制系统, 在控制系统中将手部动作模式信息转化为肌电假手相应动作的各关节期望角度值, 实现对假手的驱动, 从而完成表面肌电信号到控制信号的转化。

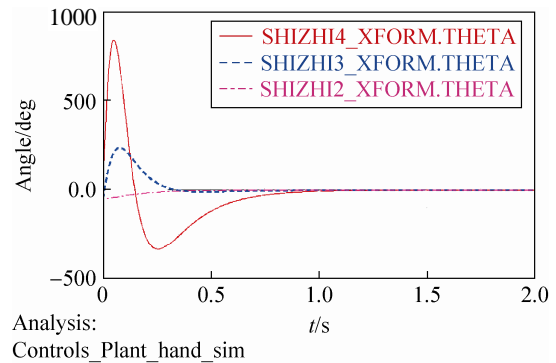
#### 4 联合仿真系统实验

加入表面肌电信号<sup>[12]</sup>, 进行握拳动作的实时联合仿真分析, 对肌电假手的其他 4 个手指的各个

关节添加相应的控制器, 通过握拳模式的手部动作编号(011)作为控制指令, 设定假手 14 个关节的期望角度, 这里握拳动作对应的关节期望角度为 90°。通过握拳的表面肌电信号驱动肌电假手实现握拳动作, 得到的拇指和食指的关节姿态角度和速度曲线如图 9 所示。



(a) 食指各个关节角度曲线图



(b) 食指各个速度曲线图

图 9 食指各个关节角度和速度曲线

Fig.9 The angle and speed curves of each joint in index finger



下面进行握拳-伸展动作的实时切换, 分析肌电假手进行动作切换时的性能指标, 得到动作跟踪的实时效果图如图 10 所示。

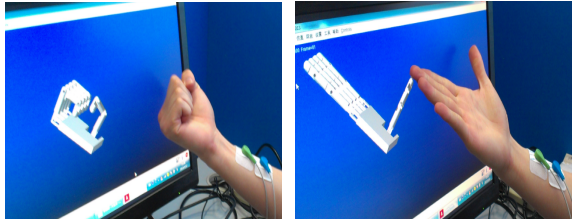


图 10 握拳-伸展动作跟踪效果图

Fig. 10 The effect graph of motion tracking for fist-stretch

从图 10 可以看出, 设计的肌电假手控制方案能够有效地驱动肌电假手虚拟样机, 肌电假手模型对手部动作的跟踪效果较好, 且实时性较高, 动作切换过程流畅, 说明已经成功将表面肌电信号转化为控制信号, 完成对肌电假手模型的驱动。本文所设计的仿真系统很好的模拟了多自由度肌电假手的动作切换, 考虑到 LABVIEW 与 Pro/E 连接的特点, 该自由度肌电假手很难在 LABVIEW 仿真平台上实现。

得到的食指下指节的仿真曲线如下: 图 11~13 为食指下指节进行从握拳到伸展的动作切换时的转动角度、角速度曲线以及力矩曲线。从图中可看出肌电假手动作切换时的响应速度快, 当趋近期望角度时, 角速度降低; 力矩在动作切换时产生波动, 当趋于期望角度时较为平稳, 肌电假手做出减速处理, 为后期肌电假手的抓取模式研究打下基础。

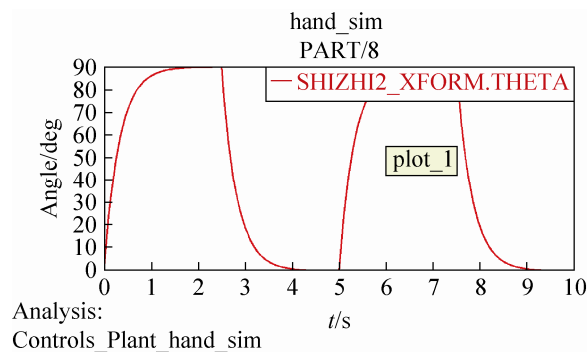


图 11 食指下指节动作切换的转动角度曲线

Fig. 11 The rotation angle curve of the second joint motion switching in index finger

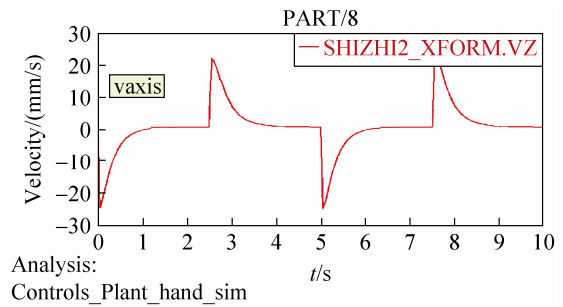


图 12 食指下指节动作切换的角速度曲线

Fig. 12 The angular velocity curve of the second joint motion switching in index finger

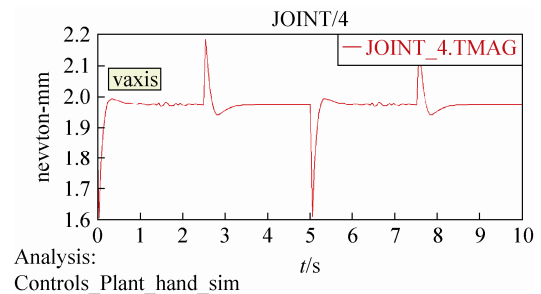


图 13 食指下指节的动作切换力矩曲线

Fig. 13 The torque curve of the second joint motion switching in index finger

## 5 结论

本文对手势动作进行规划, 并采用绝对值均值的阈值决策法来识别手部的动作, 选取握拳和伸展 2 个动作作为主要研究对象; 利用 Pro/E 软件建立了多自由度肌电假手的三维模型, 然后将模型导入到 ADAMS 软件中, 对其进行了虚拟运动学仿真, 从各个关节的位移、速度、加速度随时间变化的曲线可以看出, 所设计的肌电假手模型满足设计需求, 具有很好的仿生性; 通过 ADAMS 与 MATLAB 的接口模块 ADAMS/Control, 利用 MATLAB/Simulink 模块搭建了假手模型的控制系統, 进行了联合仿真, 验证了假手控制系统的可行性; 将肌电信号采集系统采集的信号, 送入 MATLAB, 通过联合仿真, 成功将表面肌电信号转化为控制信号, 实现对肌电假手的驱动, 为后期进行肌电假手的抓取模式研究打下了基础, 仿真过程中得到的大量参数, 有助于物理样机的设计与研制。

下一步将增加肌电信号的采集通道, 从而增加可识别动作, 同时提出不同的模式识别算法, 对算

法的运行时间、可识别的动作进行对比研究,进一步完善肌电控制策略,提高肌电假手势动作的在线实时性,更好的实现肌电假手的仿生性。

### 参考文献:

- [1] 查理. 肌电假手的研究进展 [J]. 国防科技, 2007 (9): 6-13. (Charlie. The Study of the Myoelectric Prosthetic Hand Progress [J]. National Defense Science and Technology, 2007 (9): 6-13.)
- [2] 姜士湖, 闰相祯. 虚拟样机技术及其在国内的应用前景 [J]. 机械, 2003, 30(2): 4-6, 9. (Jiang Shihu, Yan Xiangzhen. Virtual Prototype Technology and It's Application Foreground in Our Country [J]. Machinery, 2003, 30(2): 4-6, 9.)
- [3] F Cheraghpour, M Vaezi, H E S Jazeh, et al. Dynamic Modeling and Kinematic Simulation of Stäubli® TX40 Robot Using MATLAB/ADAMS Co-simulation [C]// Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics. USA: IEEE, 2011: 386-391.
- [4] 马如奇, 郝双晖, 郑伟峰, 等. 基于 MATLAB 与 ADAMS 的机械臂联合仿真研究 [J]. 机械设计与制造, 2010 (4): 93-95. (Ma Ruqi, Hao Shuanghui, Zheng Weifeng, et al. Research on Coordinated Simulation of Robot Arm Based on MATLAB and ADAMS [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010 (4): 93-95.)
- [5] 杜志江, 张博, 孙立宁, 等. 基于虚拟样机的双足机器人运动仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(19): 4454-4456. (Du Zhijiang, Zhang Bo, Sun Lining, et al. Research on Motion Simulation of Biped Walking Robot Based on Virtual Prototype Technology [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2007, 19(19): 4454-4456.)
- [6] 尤波, 刘意, 赵汗青, 等. 人体肌电信号的生理层模型 [J]. 计算机仿真, 2015, 32(1): 367-371. (You Bo, Liu Yi, Zhao Hanqing, et al. A Model of Human EMG Generation [J]. Computer Simulation, 2015, 32(1): 367-371.)
- [7] 王焕灵, 尤波, 黄玲, 等. 基于肌电信号的手部动作模式识别新思路 [J]. 计算机工程及应用, 2011, 47(21): 166-169. (Wang Huanling, You Bo, Huang Ling, et al. New Thought in Hand Gestures Recognition Based on SEMG [J]. Computer Engineering and Application, 2011, 47(21): 166-169.)
- [8] Bojun Li, Ling Huang. Kinematics Simulation of the Anthropomorphic Manipulator Based on Pro/E and ADAMS [C]// ICMIC. Harbin, China. USA, IEEE, 2013, 2: 1086-1089.
- [9] Wei hui Z, Awad Mohammed I, Abouhossein Alireza, et al. Virtual prototyping of a semi-active transfemoral prosthetic leg [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine (S0954-4119), 2015, 229(5): 350-361.
- [10] 王涛, 张会明. 基于 ADAMS 和 MATLAB 的联合控制系统的仿真 [J]. 机械工程与自动化, 2005, 3(3): 79-82. (Wang Tao, Zhang Huiming. Study on Associated Control System Simulation Based on ADAMS and MATLAB Software [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2005, 3(3): 79-82.)
- [11] Yang Zhiming, Tian Yantao, Xu Zhuojun, et al. Co-simulation and Control Algorithm of Intelligent Bionic Hands with Multi-degree of Freedom [C]// IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. USA: IEEE, 2014: 639-644.
- [12] 杨宇, 陈香, 涂有强, 等. 基于表面肌电控制的虚拟人机交互系统 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22(3): 651-655. (Yang Yu, Chen Xiang, Tu Youqiang, et al. Human-machine Interaction System Based on Surface EMG Signals [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2010, 22(3): 651-655.)

(上接第 956 页)

- [4] 张平霞, 高利, 朱永强. 五轴汽车同相位程度对转向性能的影响分析 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(3): 627-633. (Zhang Pingxia, Gao Li, Zhu Yongqiang. Steering Performance Analysis of Five-axle Vehicle Based on In-phase Steering Extent [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2015, 27(3): 627-633.)
- [5] Ren Yuanyuan, Zheng Xuelian, Li Xiansheng. Handling Stability of Tractor Semitrailer Based on Handling Diagram [J]. Discrete Dynamics in Nature & Society (S1026-0226), 2012: 1887-1911.
- [6] Azadi S, A Jafari, M Samadian. Effect of parameters on roll dynamic response of an articulated vehicle carrying liquids [J]. Journal of Mechanical Science and Technology (S1738-494X), 2014, 28(3): 837-848.
- [7] Kayacan E, Kayacan E, Ramon H, et al. Nonlinear modeling and identification of an autonomous tractor-trailer system [J]. Computers & Electronics in Agriculture (S0168-1699), 2014, 106: 1-10.
- [8] Jae Young Kang, George Burkett Jr, Duane Bennett, et al. Nonlinear vehicle dynamics and trailer steering control of tow plow, a steerable articulated snow plowing vehicle system [J]. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control (S0022-0434), 2015, 137(8): 081005.
- [9] Hans B Pacejka, Egbert Bakker. The Magic Formula Tyre Model [J]. Vehicle System Dynamics (S0021-8936), 1993, 21(S1):1-18.

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