

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.009

## 基于 ADAMS 和 MATLAB 的遥控武器站机电联合仿真

毛保全<sup>1</sup>, 刘新亮<sup>1</sup>, 汪凡<sup>2</sup>, 卢皓<sup>1</sup>

(1. 装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072; 2. 中国人民解放军 68302 部队, 陕西 渭南 714000)

**摘要:** 为克服传统机电系统仿真只侧重于机械或电气的缺点, 对跨平台的机电系统联合仿真进行研究。在分析遥控武器站机电联合仿真流程和遥控武器站伺服系统工作原理的基础上, 运用动力学软件 ADAMS 和控制仿真软件 MATLAB/Simulink, 建立遥控武器站的机械动力学模型和机电联合仿真模型, 并对遥控武器站伺服系统的控制动态特性进行分析。仿真分析结果表明: 控制系统动态特性与设计要求基本符合, 能为物理样机的研制提供理论依据。

**关键词:** 遥控武器站; 伺服系统; 机电联合仿真

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Mechanical-Electronic Co-Simulation for Remote Weapon Station Based on ADAMS and MATLAB

Mao Baoquan<sup>1</sup>, Liu xinliang<sup>1</sup>, Wang Fan<sup>2</sup>, Lu Hao<sup>1</sup>

(1. Dept. of Arms Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;  
2. No. 68302 Unit of PLA, Weinan 714000, China)

**Abstract:** In order to overcome the the shortcomings of traditional mechanical and electrical system simulation that only focused on electrical or mechanical, the joint simulation of the cross-platform was studied. On the basis of analyzing the mechanical-electronic co-simulation's process of the remote weapon station and the work of the remote weapon station servo system, the mechanical dynamic model and the mechanical-electronic co-simulation platform of remote weapon station were built by the mechanical dynamic analysis software ADAMS and control simulation software MATLAB/Simulink. And the servo system of remote weapon station's dynamic characteristics was analyzed. The analytical results have been applied to evaluating the model as well as the simulated model, which will provide the theoretical references for the development of the robot weapon station.

**Keywords:** remote weapon station; servo system; mechanical-electronic co-simulation

### 0 引言

遥控武器站伺服系统主要由电机及驱动器、高低机、方向机、平衡机、托架和摇架等组成, 是一个典型的复杂机电系统。传统的设计与制造过程, 首先是概念设计和方案论证, 然后进行产品设计, 必须等机械和电子控制部分都设计完成, 并制作出物理样机以后, 才能对产品进行整体测试, 有时这些试验甚至是破坏性的。当通过试验发现缺陷时, 又要回头修改设计并再用样机验证<sup>[1]</sup>。由于只有通过周而复始的“设计—实验—设计”过程, 产品才能达到要求的性能, 致使设计周期过长, 而且样机的制造增加了试验成本, 如果在样机完成后才发现产品概念设计方面的问题, 势必要进行反复设计, 代价很大。

利用现代计算机仿真技术缩短研制周期和节约经费是有目共睹的, 但在具体的工程实践中, 一个项目的研制往往是多人的团队合作, 在团队中一般有专业分工, 比如机械、电气等, 甚至更细。机械方面的仿真往往偏重于结构、刚度等, 而电气方

面则偏重于控制算法、逻辑等, 它们之间的仿真工作没有太多的结合, 所使用的软件也大致如此<sup>[2]</sup>。比如使用 MATLAB 进行控制系统仿真时, 往往将机械部分等效成相同转动惯量的飞轮盘, 作为定量输入。但在实际情况中这些参数是实时变化的, 比如在车载条件下的一个方向、高低的二维随动系统, 随高低的运动、方向的转动惯量也将发生变化, 随车辆的摇摆、由重力引起的不平衡力矩及相应轴系的摩擦力矩也在发生变化, 相对独立的机、电仿真没有把这些条件考虑进去, 其仿真结果也势必会有较大的误差。因此, 仿真软件各有所侧重, 单纯靠一个软件是不现实的, 而利用现有仿真软件的接口, 开展跨平台的机电系统联合仿真研究, 可以很好地解决上面的问题。

笔者主要利用 SolidWorks, ADAMS 和 MATLAB 软件, 分别建立双枪遥控武器站的三维模型、动力学虚拟样机仿真模型和机电联合仿真平台模型, 并对遥控武器站伺服系统单位斜波信号响应进行仿真。

收稿日期: 2011-04-25; 修回日期: 2011-05-31

作者简介: 毛保全(1965—), 男, 山西人, 博士后, 教授, 从事车载武器系统仿真分析与评估研究。

### 1 机电联合仿真总体流程

遥控武器站机电联合仿真总体思路是由 SolidWorks 建立高射机枪系统三维实体模型，利用 Prarsolid 转入 ADAMS 软件，在模型简化和假设的基础上，添加约束和载荷构建系统虚拟样机；由 ADAMS 输出描述状态方程的相关参数，在 MATLAB 控制程序中读入 ADAMS 输出的信息并建立起控制方案，在计算过程中 ADAMS 虚拟样机与 MATLAB 控制程序进行数据交换，由 ADAMS 的求解器求解系统方程，由 MATLAB 求解控制方程，共同完成整个系统的联合仿真计算，其仿真总体流程如图 1<sup>[3]</sup>。

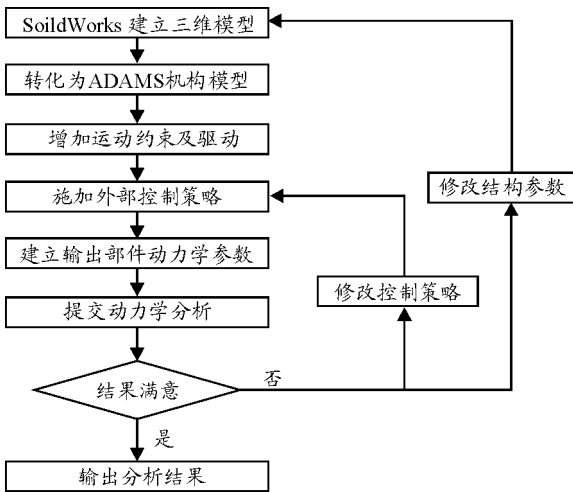


图 1 机电联合仿真总体流程

### 2 遥控武器站虚拟样机模型

#### 2.1 遥控武器站伺服系统工作原理

双枪遥控武器站伺服系统工作时，首先对目标位置进行计算，得到目标运动方向、速度等数据。由光电瞄准装置计算出高低伺服系统和方位伺服系统的提前量，从而控制高低和方位伺服系统运动，将遥控武器站调到预定的位置上，其方位和高低俯仰伺服系统结构基本相同，都是典型的速度和位置双回路单输入单输出位置随动系统<sup>[4]</sup>。以高低向为例，其结构框图如图 2。

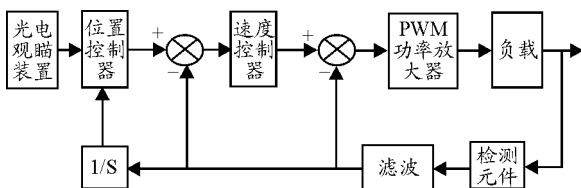


图 2 高低向伺服系统结构图

### 2.2 实体建模

参考系统设计总体方案和其他已经研制出的武器站资料，使用 SolidWorks 软件作为建模平台建立双枪遥控武器站三维实体模型。建立系统的三维模型主要是为其虚拟样机建立实体，三维模型的精确程度直接影响到虚拟样机仿真的精度，所以在建立实体模型过程中，严格按照设计方案按等比例绘制草图，力求与实物一致。装配过程中将各零件按照系统结构关系组成装配体，然后按照装配关系进行组装。图 3 为双枪遥控武器站三维模型图。

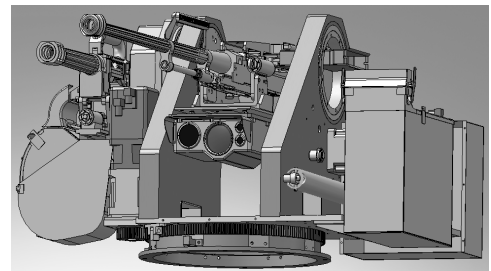


图 3 双枪遥控武器站三维模型图

### 2.3 动力学建模

将 Solidworks 根据实际情况进行装配并进行简化后保存为后缀中建立的三维模型，名为 .x\_t 的文件，将上述文件导入 ADAMS 中，定义材料属性，添加约束和运动。笔者根据需要各部分均定义成钢，并添加了 5 个旋转副，2 个碰撞，1 个固定副，如表 1。设置 1 个拉压弹簧来表示平衡机模型，假设系统初始位置武器系统处于水平状态，从而建立了遥控武器站伺服传动机构的虚拟样机，如图 4。

表 1 模型中的约束

部件名	部件名	约束类型	约束自由度
摇架	左耳轴	旋转副	5
摇架	右耳轴	旋转副	5
托架	底座	旋转副	5
高低电机齿轮	高低电机轴	旋转副	5
方位电机齿轮	方位电机轴	旋转副	5
底座	大地	固定副	6

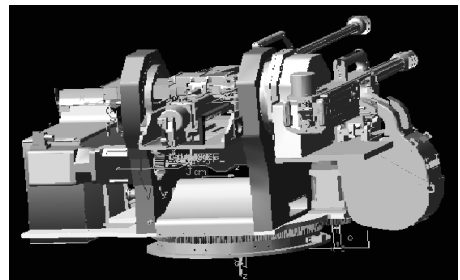


图 4 ADAMS 环境下的虚拟样机仿真模型

### 3 自适应控制器 Simulink 仿真模型的建立

笔者采用典型的 PID 控制系统，在

Matlab/Simulink 图形化建模环境下, 利用仿真模块 建立模糊自适应 PID 系统仿真模型<sup>[5]</sup>, 如图 5。

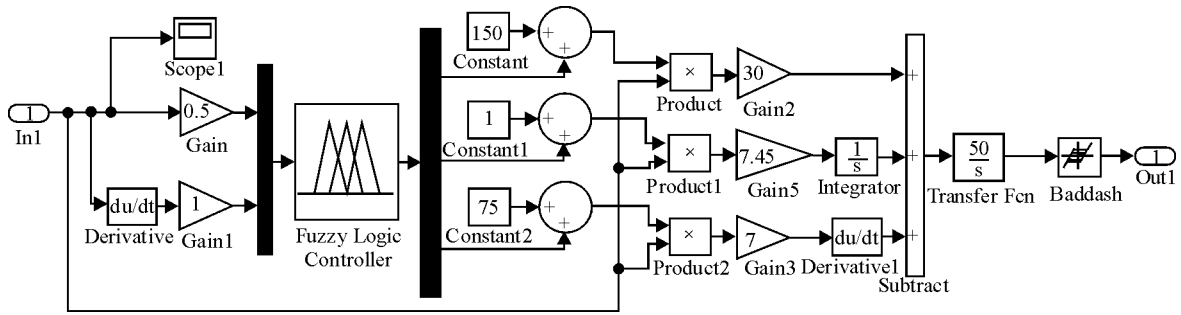


图 5 模糊自适应 PID 控制系统仿真模型

双击 Fuzzy 加载模糊控制模块, 在 Parameters 中输入上面所建立的 fuzzypid .fis 文件名, 在 MATLAB 令窗口中输入以命令:

```
fuzzypid=readfis(' fuzzypid');
```

把 fis 文件读到 workspace 里面, 实现 Simulink 与 fls 文件的连接, 为系统仿真作准备。

### 4 联合仿真分析

#### 4.1 ADAMS/MATLAB 联合仿真步骤

控制系统建模的目的是建立一个机械和控制一体化的样机模型, 通过向 MATLAB/Simulink 方框图中添加控制环节, 实现控制系统的建模<sup>[6]</sup>。其主要的步骤如下:

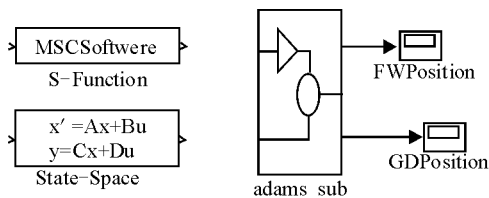


图 6 adams\_sys 模块

在 MATLAB 命令窗口中输入 rcws, 待 MATLAB 返回相应的结果后在命令行处继续输入 adams\_sys, 显示 adams\_sys 模块内容如图 6。

将图 6 中的 adams\_sub 模块拖到新建的空白窗口中, 双击 adams\_sub 模块, 打开 adams\_sys 模块子系统如图 7, 双击 Mechanical Dynamics 模块, 设置仿真分析模式为 continuous, 在动画显示栏选择 batch, 这样在仿真过程中不会启动 ADAMS/View 动态显示仿真结果, 将 Interprocess 设置为 PIPE (DDE), 同时设置仿真交换步长, 之后就可以进行仿真。

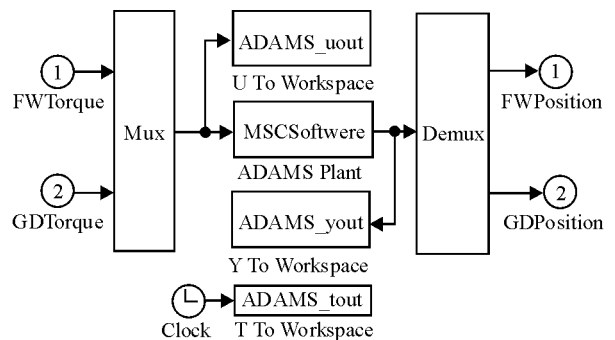


图 7 adams\_sys 模块子系统

#### 1) 在 MATLAB 程序中输入 ADAMS 模块

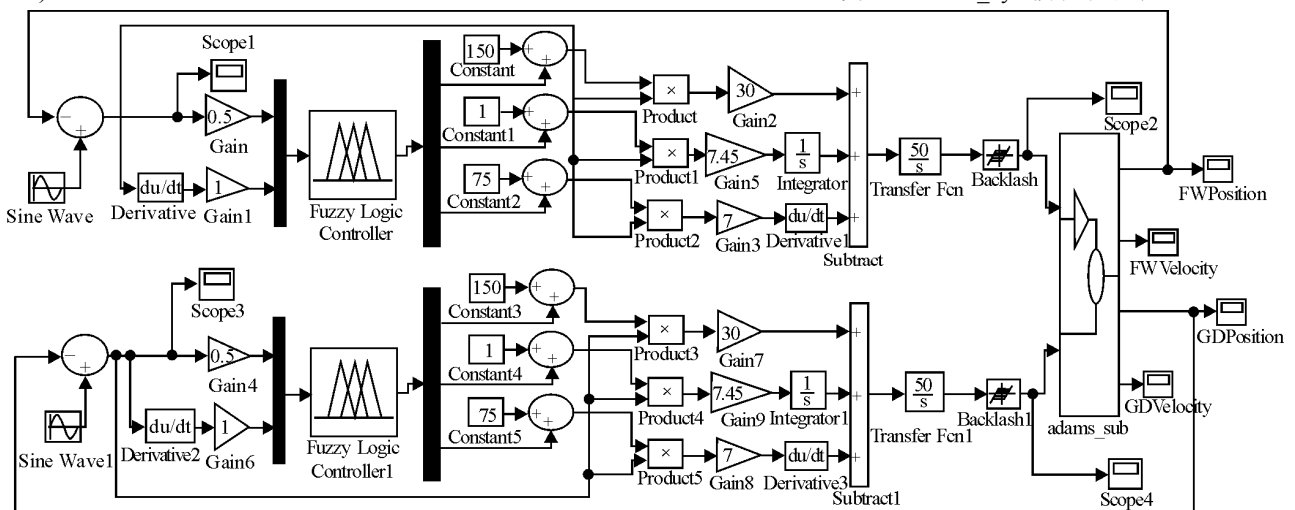


图 8 系统机电联合仿真模型

2) 在 Simulink 模块中打开已经建好的模糊控 制器模型, 将 Adams\_sys 模块拖入其中, 代替被控

对象模型，就可以完成联合仿真模型的构建，最终得到的机电联合仿真模型如图 8。

### 4.2 联合仿真结果分析

联合仿真模型建立之后，在 Simulink 中设置仿真参数就可以进行仿真。笔者根据模型实际情况选择仿真模式为 Fixed-step，为保证求解精度，求解算法选择 ode4(Runge-Kutta)，设置仿真步长为 0.000 1 s。

斜波信号也称为等速信号，主要用于考察伺服系统的静态性能，它体现了系统以固定速度跟踪目标的能力。

图 9 为系统单位斜波响应曲线，位置伺服系统在跟踪斜波信号时，其特性与调速系统类似。由图 9 可知系统能够很好地响应斜波信号，说明模糊控制器也具有较好的调速特性。图 10 为系统斜波响应误差曲线，其稳定误差小于  $0.01^\circ \approx 0.17$  密位，优于国内遥控武器站基本指标。图 11 为系统斜波响应时减速机输出力矩，其大小一直在 0 上下浮动，比较平稳，但是瞬时力矩可达到  $300 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，主要是传动结构之间的间隙导致输出力矩会发生突然变化。

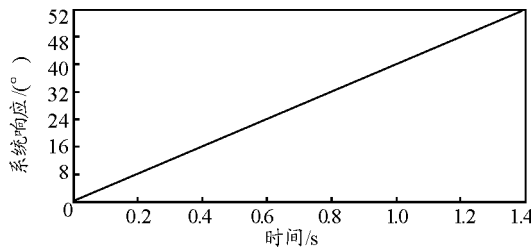


图 9 方位向斜波响应曲线图

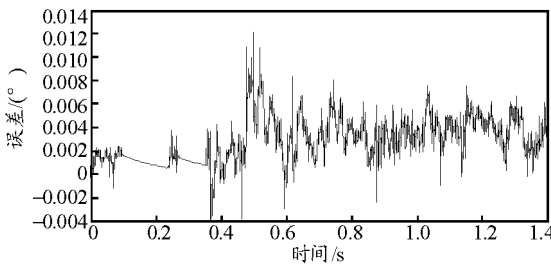


图 10 方位向斜波响应误差曲线

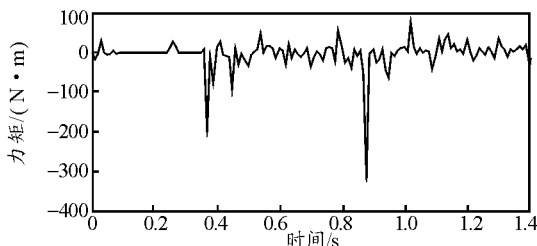


图 11 方位向斜波响应减速机输出力矩

以上是对遥控武器站单位斜波信号响应分析得

出的仿真曲线，可以根据仿真的结果，修改不同的控制参数所带来的影响，也可以修改机械结构中的几何参数和负载参数。

### 5 结束语

仿真结果表明：仿真结果与设计要求基本符合。通过对所建模型进行分析评价，可为下一步研制物理样机提供理论参考。

### 参考文献：

[1] 刘伟超, 宋亚萍. 高精度随动系统机电联合仿真[J]. 舰船科学技术, 2006, 29(5): 140-145.

[2] 侯建, 樊龙龙, 可学为. 基于 ADAMS 和 Matlab 的大口径舰炮发射系统仿真[J]. 海军工程大学学报, 2009, 21(6): 62-65.

[3] 毛保全, 汪凡, 徐礼, 等. 基于模糊神经网络的遥控武器站伺服系统 PID 控制器[J]. 兵工自动化, 2010, 29(9): 75-78.

[4] Javier U. Integration of multi-body systems in mechatronic simulation environments of any kind [J]. International Journal of vehicle design (S873L-D068), 2002, 28(1/2/3): 57-66.

[5] 刘金钊. 先进 PID 控制[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[6] 范栋. 机枪车内操控系统机电联合仿真平台研究[D]. 北京: 装甲兵工程学院硕士学位论文, 2007.

\*\*\*\*\*

(上接第 6 页)

各线程间的协作关系如图 3。

### 4 应用前景和展望

某型号卫星模拟器仿真软件主要针对东三平台的卫星进行了通用化设计，以其为基础实现了东三平台卫星、东四平台卫星、多目标卫星等一系列型号卫星的仿真。要实现全型号的通用化仿真，还需针对以下几个方面进行研究：1) 针对遥控控发模式的遥控故障仿真研究。2) 针对立即执行类卫星的遥控数据仿真研究。3) 针对 AOS 体系分包遥测数据仿真研究。该类卫星采用高级在轨系统遥测体制，需开展进一步的仿真技术研究。

### 参考文献：

[1] 简仕龙. 航天测量船海上测控技术概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

[2] 高月芳, 王栋. 通用软件体系架构的设计与应用[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(2): 348-350.

[3] Frank Buschmann. 面向模式的软件体系结构卷1: 模式系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.