

【综述与评论】

虚拟样机软件技术及其在军事领域中的应用*

胡明枢^{1,2}, 郭朝勇¹, 罗 闯²

(1. 军械工程学院 基础部, 石家庄 050003; 2. 75120 部队装备部, 广西 桂林 541004)

摘要:介绍了虚拟样机软件 ADAMS 基本建模和求解内核技术. 对虚拟样机软件技术在国防军事领域中的应用进行了研究, 尤其是对美军 STP、微型军队城市机器人、“T-1” ODV 等当前新型装备在研制过程中嵌入虚拟样机软件 ADAMS 技术进行了详细研究, 从 4 个方面概述了国内 ADAMS 软件技术在国防军事中的应用.

关键词:虚拟样机; ADAMS; 军事应用

中图分类号: TP391.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2008)04-0077-02

虚拟样机技术^[1](virtual prototype technology)是当前设计制造领域的一门新技术, 涉及到机械工程、计算方法与软件工程等学科, 融合了信息、先进制造和先进仿真等技术. 从国外对虚拟样机技术的研究可以看出, 虚拟样机和虚拟样机环境的概念还处在发展阶段, 在不同应用领域中存在不同的定义. 美国国防部将虚拟样机(Virtual Prototyping)定义为利用计算机仿真技术建立与物理样机相似的模型, 并对该模型进行评估和测试, 从而获取关于候选的物理模型设计方案的特性.

1 虚拟样机软件技术

虚拟样机技术最早源于对多刚体系统动力学理论的研究. 目前, 国外虚拟样机相关技术的软件化过程已经完成, 比较有影响的有美国的 ADAMS 和 DADS、德国航天局的 SIMPACK, 其中又以 ADAMS 最具代表性和广泛性. MSC.ADAMS(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems)是美国原 MDI 公司开发的著名虚拟样机开发仿真分析软件, 目前已成为业界最优秀、使用范围最广的机械系统仿真 MSS 软件.

ADAMS 的技术核心是多体系统动力学, 包括多刚体系统动力学和多柔体系统动力学. ADAMS 软件建模与求解的方法是拉格朗日方程分析力学方法, 这种方法以系统中每个物体为单元, 建立固结在刚体上的坐标系, 其位置坐标统一为以刚体坐标系为基点的笛卡尔坐标与坐标系的方位坐标, 再根据约束和动力学原理建立系统的数学模型, 并基于 Gear 的刚性积分算法, 采用稀疏矩阵技术来进行求解.

在虚拟模型建立时, ADAMS 也可利用 IGES, STEP, STL,

DWG/DXF 等数据交换库的标准文件格式完成与其他 CAD/CAM/CAE 软件之间的数据双向传输, 从而实现同一数据的无缝连接.

2 ADAMS 在国防军事中应用

虚拟样机技术作为 21 世纪先进制造和敏捷制造关键技术之一, 已成为各国研究的热点. 由于采用“数字化功能样机 FDP(Functional Digital Prototyping)”技术, ADAMS 已经运用到航天、舰船、飞机、弹箭、新型智能机器人等国防军事的众多领域. 在这方面, 美、德、英等发达国家研究起步较早, 比较有名的成果例子有美国喷气推进试验室(JPL)运用虚拟样机软件对 Mars Pathfinder 实施着陆模拟以改变着陆方案. 不过目前而言, 美国利用虚拟样机软件技术在军事应用中仍是最前沿和广泛的. 下面就介绍美军的虚拟样机软件技术在国防军事中的一些应用.

美国加州爱德华空军基地实验室提出设计一种新型的用于飞行器的太阳热推进器 STP(Solar thermal propulsion)^[2]. 聚热中心控制系统是用于追踪太阳轨迹和集中热量, 是推进器的核心部件. 研究人员利用 ADAMS 和 MATRiX 技术对模型进行虚拟建立和验证, 通过对闭环控制系统仿真, 证明了该 3-D 模型在概念上的可行性. 美军第 4 代战机 F22 在研制开发中利用虚拟样机软件技术代替现实中的风洞试验, 取得了很好的效果, 经费也节省为原试验的一半.

虚拟样机软件 ADAMS 建立的样机模型, 能够反映或预测武器系统等装备的运动学和动力学特性, 美军大量借助这项技术, 在计算机中建立智能机器人样机, 模拟在真实环境下机器人的运动和动力特性, 为机器人系统研制提

* 收稿日期: 2008-04-28

基金项目: 总装资助课题.

作者简介: 胡明枢(1983—), 男, 四川资阳人, 硕士研究生, 主要从事虚拟样机技术及仿真研究.

供设计参数或优化数据.美国喷气推进实验所 JPL (Jet Propulsion Laboratory) 和陆军研究实验室 ARL (U. S. Army Research Laboratory) 等共同开发的微型军队城市机器人 (Military Urban Robot)^[3], 主要用于侦察城市建筑物中的军事目标, 搜寻设施中的人员及完成其他军事任务. ARL 研究人员在研制过程中, 利用 ADAMS 技术建立机器人样机模型, 并对样机模型进行了爬升楼梯 5 个步骤(接近、蹲下、推进滑行、展开折叠、提升)的模拟. 通过动力学仿真, 验证了微型机器人能静态顺序地爬升楼梯, 具有一定的越障能力和控制能力.

美军研制的“T-1” omnidirectional vehicle (ODV) 是另一种新型轻型机器人^[4], 该机器人能在危险地带完成某些特定军事任务(比如侦察和运送补给), 因此要求对机器人在非道路面(off-road)的机动运行能力进行评估. 为此研究人员在 ADAMS/CAR 下建立机器人的虚拟样机模型, 设定外部控制器、传感器、激励等变量, 通过 ADAMS/Controls 与 Matlab/Simulink 联合仿真, 实现了样机的直线大角度转弯、斜坡行使能力等虚拟试验, 并且研究和预测了“T-2” ODV 的动力特性.

除了以上领域, 美军在其他武器系统开发中也广泛运用虚拟样机软件技术. 比如美国国防部高级研究计划署 (DARPA) 在制定无人地面战斗车辆 UGCV (unmanned ground combat vehicle) 方案时^[5], 也拟采用 ADAMS 技术来模拟车辆的动力性.

我国虚拟样机 ADAMS 软件技术起步于 20 世纪 90 年代中期, 主要是基础理论研究和武器系统论证, 在虚拟环境、虚拟现实、训练模拟器、箭弹设计等方面有所涉及^[6,9]. 进入 21 世纪, 我国《制造与自动化领域“十五”计划及 2015 年远景规划》中将虚拟技术应用列为今后攻关和推广的重点方向和关键技术之一. 《国家自然科学基金“十一五”优先发展领域》“计算机挑战性应用关键技术”中指出将虚拟样机技术应用到设计、构建及分析、评测中, 以进一步节约成本和提升生产力.

基于以上背景, 国内各研究所各高校也纷纷展开虚拟样机软件 ADAMS 技术应用于军事武器研究. 由于有的项目目前在研或涉及到秘密问题, 这部分仅对其军事研究做概略介绍. 主要有以下几方面: 一是对常规武器系统及其附属部件的设计或优化改进. 利用虚拟样机软件 ADAMS, 实现对武器样机的模拟仿真, 提出新型武器的方案方法, 或提高改进现役装备的某方面性能, 比如建立多管火箭炮样机模型^[10-11], 以不同发射角度、发射顺序、间隔时间等多种情况进行发射姿态模拟, 获取系统的发射模态参数, 通过对起始扰动分析, 得到最优的发射间隔范围. 除了武器系统整体研究, 在局部结构性能也进行改进和创新, 比如利用 ADAMS 软件建立舰炮供弹机构驱动系统模型^[12-13], 与 pro/E 建立的实体模型结合仿真, 考察零件间的作用力, 检验零件间存在的冲击, 评估设计合理性, 最终提出一套完整的敏捷供弹系统设计方案. 笔者也在利用 ADAMS 软件平台设计一套模拟弹药运输振动系统, 对传统跑车试验进行补充和完善. 二是对空间飞行器或发射器等

进行研究^[14-15]. 这方面研究主要是借助 ADAMS 软件优秀的动力学仿真技术, 实现空间环境下箭星分离、空间机构的展开对接等动作, 对太空车登陆行走进行模拟, 为下步研制设计阶段提供各种参数等依据. 三是仿生机器人研究^[16-17], 主要是在 ADAMS 环境下, 对蛇形、类人猿、壁虎、袋鼠等各种仿生机器人进行研究, 实现行走爬行跳跃转向等各种运动方式, 不过专用于军事上的还很少. 四是对装备故障评估以及虚拟维修研究^[18,20]. 核心思想是通过虚拟样机软件 ADAMS 建立样机的仿真平台, 对装备进行质量状况检测、可靠性评估和寿命预测, 或者进行装备故障进行动态仿真试验, 预报故障问题, 提出有效解决方案.

3 结束语

虚拟样机软件技术 ADAMS 在国防军事上有很大的发展运用空间, 其中包括技术自身的内核开发和模块化使用. 从目前应用研究来看, 我国在这方面虽然取得长足进步, 但与美军等先进水平相比, 还有较大的一段差距, 主要体现在改进较多, 研发较少, 借用国外经验方法较多, 实践运用较少. 因此加大和利用虚拟样机技术在军事中的应用开发、提高科技创新性, 是我们下一步的主要研究工作.

参考文献:

- [1] LI Bohu, CHAI Xudong, XIONG Guangleng, et al. Research and primary practice on virtual prototyping engineering of complex product [J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(3): 55.
- [2] Wassom S R. Focus Control System for Solar Thermal Propulsion [R]. Thiokol Propulsion Brigham City, UT, 2003.
- [3] Haug B T, Timothy T. Modeling and Simulation of a Military Urban Robot Using Working Model [R]. Weapons and Materials Research Directorate, ARL, 1998.
- [4] Adamczyk P G, Gorsich D J. Lightweight robotic mobility: template-based modeling for dynamics and controls using ADAMS/car and MATLAB [R]. Unmanned Ground Vehicle Technology V, 2003.
- [5] Thornhill L D, Walls A. Design of an agile unmanned combat vehicle: a product of the DARPA UGCV program [R]. Unmanned Ground Vehicle Technology V, 2003.
- [6] 李伯虎, 柴旭东, 孙家广, 等. 复杂产品协同制造支撑环境技术的研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(8): 691-694.
- [7] 赵雯, 王维平, 朱一凡. 武器系统虚拟样机技术研究 [J]. 国防科技大学学报, 1999, 1(21): 58-61.
- [8] 赵岗, 马大为, 方帆. 使用多领域协同仿真的火箭炮高低机建模与分析 [J]. 机械科学与技术, 2007, 26(5): 668-671.

(下转第 114 页)

需要,设计了系统采用4片PIC16F877单片机作为本系统的控制芯片,采用多路分组采集,经由温度补偿放大芯片后,经由多路转换开关到A/D转换芯片,最后送入CPU处理,处理后的数据由串口通讯接口传出的信号采集方案,经试验验证,满足了混合动力系统电池温度场测试和分析的需要。

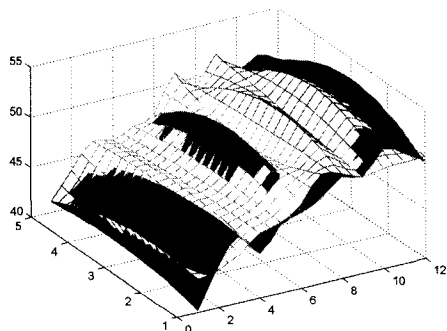


图5 电池温度场分布

参考文献:

- [1] 焦洪杰. 并联式混合动力汽车用镍氢电池冷却装置的研制[J]. 汽车技术, 2003(1): 23-25.
- [2] 陶明大, 叶德龙, 王金国, 等. 电动汽车用镍氢蓄电池充电发热问题的研究[J]. 汽车电器, 2001(4): 7-9.
- [3] 付正阳, 林成涛, 陈全世. 电动汽车电池组热管理系统的关键技术[J]. 公路交通科技, 2005, 22(3): 119-123.
- [4] Ahmad A Pesaran, Andreas Vlahinos, Steven D Burch. Thermal Performance of EV and HEV Battery Modules and Packs [J]. Proceedings of EVS-14, 1997(1): 32-36.
- [5] Noboru Sato, Kazuhiko Yagi. Thermal behavior analysis of nickel metal hydride batteries of electric vehicles [J]. JSAE Review, 2000, 21: 208-209.
- [9] 宋兰伟, 张正涛. 某大口径重机枪自动机动力学的虚拟样机技术研究[J]. 四川兵工学报, 2006(6): 42-43.
- [10] 张胜三, 郭卫东. 多管火箭弹出管姿态仿真[J]. 导弹与航天运载技术, 2003(2): 16-19.
- [11] 张胜三, 王心谦. 多管火箭发射车动力学仿真研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2001(6): 47-51.
- [12] 罗阿妮, 刘贺平, 吕金丽, 等. 敏捷供弹系统虚拟样机技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 1(1): 81-85.
- [13] 葛杨, 肖海燕, 舒海生, 等. 新型舰炮供弹系统仿真设计研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005, 6(3): 327-328.
- [14] 张兵, 岑拯. 多星分离的ADAMS仿真[J]. 导弹与航天运载技术, 2004(2): 1-4.
- [15] 刘志全, 嵇景全. 载人航天器电动兼手动舱门的研究[J]. 中国空间科学技术, 2005(4): 1-5.
- [16] 章旭君. 仿壁虎机器人的机构设计与仿真[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
- [17] 詹望. 仿袋鼠跳跃机器人多刚体动力学研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [18] 伍永昌, 杨宇航. 基于计算机技术的导弹维修仿真演示系统[J]. 计算机仿真, 2003(9): 29-31.
- [19] 丛楠. 军用工程机械疲劳试验研究[D]. 北京: 国防科学技术大学, 2006.
- [20] 黄景德. 虚拟环境下机械装备故障预测理论与技术研究进展[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(6): 701-704.