

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.005

某型导弹虚拟样机验模与仿真

于翠

(中国空空导弹研究院总体部, 河南 洛阳 471009)

摘要: 为辅助导弹武器系统的研制, 采用虚拟样机技术对某型导弹系统建模并对模型进行验证。介绍某型导弹虚拟样机的总体结构, 提出对仿真模型进行校验的方法: 把模型校验作为一个过程, 采用分级验证, 由子模型到程控弹模型, 再到制导回路模型, 逐步进行校验。对该型导弹虚拟样机进行验模的结果表明: 经过校验的模型既能预测弹道的性能, 又能对试验中出现的问题进行复现和分析, 为后续的导弹系统仿真及性能评估奠定了基础。

关键词: 验模与仿真; 虚拟样机; 分级验证

中图分类号: TJ765.4⁺3 **文献标志码:** A

Simulation and Validation of Certain Type Missile Virtual Prototype Model

Yu Cui

(Dept. of General Design, China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: To assist development of missile weapon system, virtual prototype validation technique is used for modeling and simulation of certain type missile system. The paper introduces the framework of certain type missile virtual prototype, and puts forward the validation method: virtual prototype model validation can be graded as a process stage by stage, from sub model, control model to control and guide system. The validation result indicates, which has been validated by this way, the model not only forecast the missile performance, but also analyzes the testing problem. All these give a foundation of missile simulation and evaluation.

Key words: simulation and validation; virtual prototype; validation by stage

0 引言

虚拟样机是将实际的物理系统抽象成一个结构复杂、数据量庞大的数字模型系统, 使其能反映某些关键特性。通过这些模型, 可开展相应的仿真测试、分析评估和优化设计等工作^[1]。与传统的数值计算和仿真相比, 虚拟样机要求模型及仿真结果具有真实性, 不仅能反映产品的不同组成部分和不同分系统的性能, 也能反映产品在不同使用环境下的性能。虚拟样机是十分庞大和复杂的系统, 其中建模与仿真是虚拟样机研究的基础, 而模型校验是虚拟样机应用的前提。在确认模型正确有效的基础上进行应用, 可以指导不同阶段的型号研制工作; 因此, 笔者对某型弹道虚拟样机验模与仿真进行研究。

1 某型导弹虚拟样机模型总体结构

某型导弹虚拟样模型是以真实导弹的物理结构为背景, 以已有的导弹型号数学模型为基础, 在此基础上对模型进行层次化、模块化、标准化处理, 形成一套结构严谨, 输入输出关系明确的模块, 使设计人员在研制早期就能清晰地看到系统各部分之间的相互作用情况。笔者所研究的某型导弹虚拟样

机具备以下主要功能:

- 1) 能够真实地模拟实弹飞行时导引头、飞行控制系统、舵机等部组件的工作性能;
- 2) 能进行制导系统数学仿真, 以检验系统的精度以及各分系统的指标;
- 3) 可用来对导引头性能进行评估, 以及对制导控制系统的精度进行评估, 在条件具备的情况下还可开展对分系统的评估;
- 4) 能够对不同研制阶段导弹的试验条件进行仿真分析;
- 5) 尽可能对实际产品出现的问题进行仿真分析、复现, 以期能够解决试验中出现的实际问题。

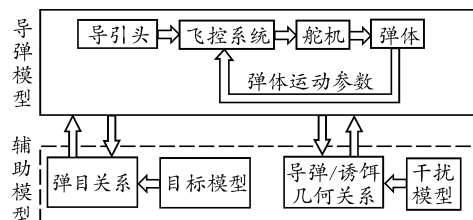


图1 某型导弹虚拟样机模型框图

如图1, 某型导弹虚拟样机模型包括导引头模型、控制系统模型和舵机模型等, 除此之外, 还包

收稿日期: 2012-05-01; 修回日期: 2012-06-14

作者简介: 于翠(1982—), 女, 陕西人, 硕士, 工程师, 从事空空导弹总体设计与仿真研究。

括一些外围的辅助模型：如目标模型、干扰模型、以及弹目关系模型和导弹/诱饵几何关系模型^[2]。

2 虚拟样机的验模方法

2.1 建模与验模的关系

利用虚拟样机技术来辅助导弹武器系统的研制已经成为一种发展趋势。在实际建模时，对复杂系统模型的正确性进行评估是一项很关键的工作。因此，需要对所建立的虚拟样机模型进行校验，以确定所建立的模型是否可信，在多大程度上可信，以及最终能否实现预期的应用目的。

仿真模型的有效性研究分为模型确认和模型验证 2 个部分，可统称为模型校验。模型确认是指通过比较在相同输入条件和运行环境下，模型与实际控制系统输出之间的一致性，评价模型的可信度或可用性，仿真模型只有经过可信性研究才有使用价值^[3]。而模型验证是判断模型的计算机实现是否正确。根据经验，如果在建模过程中系统地对模型进行校验和测试，就能够逐步发现模型中存在的问题，保证所建立的数字仿真模型是可靠的。

2.2 模型校验

2.2.1 模型校验的方法

仿真模型校验的方法很多，笔者在导弹虚拟样机验模过程中使用的方法主要包括：

1) 主观有效性确认法：对模型在典型输入条件下(特别是对外场试验靶式条件)的输出结果进行专家评审；

2) 历史数据法：利用历史数据的一部分建立模型，而用另一部分来验证模型的正确性；

3) 参数有效性验证：通过主动改变模型的内部参数值和输入值，观察这种变化对模型输出结果的影响，并判断这种影响是否与真实系统一致；

4) 极端条件测试法：采用极端条件或对不同层次的影响因素进行特殊组合，看模型的输出结果是否合理；虚拟样机模型不仅要求能够反映产品在正常工作状态下的特性，同时还应能反映在非正常的故障状态的工作情况。通过主动调整一些参数或输入条件，可以对模型的一些非常规状态有所反映。这点在试验出现故障后的仿真分析中尤为有用；

5) 曲线法：通过对相同输入条件下的仿真结果与实际靶试输出的关键参数进行曲线比对，可以方便、直观地对模型的准确性进行检验。该方法在进行模型检验中经常使用。

2.2.2 模型校验的基本步骤

好的模型校验方法可以在发现问题、透彻地解释问题方面起到重要的、关键的作用。一套完整的确认过程是保证模型具有高置信水平的有效途径。因此，可以综合各种模型确认的方法，把模型校验作为一个过程来处理，通常分为以下几个阶段：

1) 专家对模型的观点。即对模型在一些典型输入条件下的输出结果进行专家评审。

2) 子模型计算结果(或性能)的校验。导弹系统的仿真模型非常复杂，各分子模型相互耦合、相互影响。只有将各个子系统模型分开进行检验，才容易发现出现问题的是导弹模型的哪个部分^[4]。笔者主要对导引头子模型和舵机子模型分别进行性能校验。

3) 子系统仿真模型与实测数据的比较。笔者对飞控与舵机相结合的子系统进行了程控弹道的仿真，并与实际导弹靶式遥测数据进行比较来验证模型的有效性。

4) 对整个系统进行仿真以及半实物仿真验证。在子模型正确有效的基础上，集成整个制导回路，对典型飞行试验条件进行仿真，并进行半实物仿真的验证。

5) 在相同的输入条件下，将靶试试验结果与仿真结果进行对比分析，进一步验证模型的有效性并对模型进行修正。由于模型确认过程采用分级验证，这样可提高模型的置信水平。同时，为最终与飞行试验数据比较确认打下了良好的基础，使验证结果所反映的信息更可信、更有指导意义。

3 某型导弹虚拟样机模型的校验

3.1 导引头子模型与舵机子模型验模

导引头虚拟样机应具有和真实导引头尽可能相近的工作状态，能最大程度地反映导引头的性能(随动、搜索、跟踪)。为达到上述目的，必须对导引头模型进行验模，就需要从导引头的主要总体性能指标出发，利用实测数据对导引头模型进行验模。另一方面，由于导引头模型包含的模块比较多，要对模型进行全方面校验，就必须先对每一个子模块进行验证。

验证步骤如下：如图 2 所示，首先，对导引头内部的每个子模型进行数字仿真，例如输入参数 A，获得其数字仿真输出的数据，然后对实际系统进行实物仿真试验，即将同一输入参数 A 加到实际导引

头上,对输出结果进行采样,将 2 种结果进行比较,对结果中的不同点进行分析,找出数学模型中对该不同点影响最大的环节进行修改,并记录修改过程和方法;然后重复上述过程,直到 2 种结果的差异在仿真误差允许范围内。之后集成导引头系统模型后,仿真输出所关心的主要性能指标:例如导引头的视场、搜索场、跟踪场、跟踪能力、随动能力、系统去耦能力等,然后对实际导引头系统进行测试获得这些性能指标数据,通过两者相比较,验证导引头虚拟样机系统模型与实际产品性能的一致性,证明模型的正确性,同时,在仿真验模的过程中,通过发现的问题,对模型进行修正与测试,使得模型更进一步接近了真实状态。

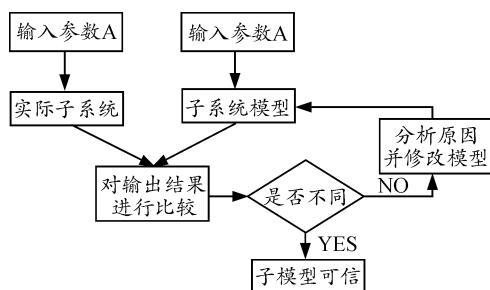


图 2 验证导引头子系统模型思路

同样地,应用以上的方法和步骤对舵机模型进行了校验,分别在空载条件测试和加载条件测试,将模型对于典型信号的响应与实际系统对于典型信号的响应对比来验证。

3.2 控制系统校验

控制系统主要是对飞控软件的校验,比较好的方法是将建立的控制系统模型与已验证过的舵机模型、弹体模型相结合进行弹道仿真,并将仿真结果与程控弹靶的实际靶试遥测数据进行对比。通过建立程控弹靶式的弹体模型,使用靶试中所用的飞控算法,舵机模型采用对比验证后的模型,这样,模型的状态就最大程度接近程控弹的靶式状态。通过对程控弹靶式弹道进行仿真,进而验证模型的拟真度,并对模型进行校验和修订。对比的参数主要包括:导弹位置、导弹飞行速度、弹体过载响应、舵控指令、导弹角速度等信号。

3.3 制导回路仿真与半实物仿真验证

分别对子模型都进行校验后,集成导弹制导回路模型,并可以初步利用系统模型对典型的飞行试

验条件进行仿真,来预测导弹的性能,但仅仅这些还不够,虚拟样机模型的仿真结果需要通过半实物仿真来验证。

半实物仿真用导弹制导系统中的硬件(比如导引头、舵机等)取代仿真中的模型,更详细有效地描述了系统的性能。因此,一方面,在飞行试验前,为了保证系统制导控制性能的良好性,降低飞行试验风险,提高成功概率,需要通过半实物仿真来预测导弹制导系统的性能,包括制导、跟踪、信号处理、飞行控制等性能;另一方面,半实物仿真也是系统模型校验的有效手段,根据导弹飞行试验的光测和遥测数据,在地面半实物仿真试验中可反复修改和校验系统数学模型的算法和参数。

3.4 靶试数据结果对比验证

仿真模型是否可信需要从多个角度进行分析。众所周知,在相同输入(试验)条件下比较仿真试验结果和飞行试验结果之间的一致性,是验证导弹仿真系统可信性最有说服力的途径之一。在具备条件的前提下,需要利用实际靶试试验的结果对制导系统的总体性能、弹体动态特性和过载输出能力等方面进行系统验模仿真工作。

4 结论

笔者通过提出的虚拟样机模型验模方法,得到确认有效的导弹模型,既可以用来预测导弹的性能,又可以对试验中出现的问题进行复现和分析,帮助解决型号研制中出现的问题。因此,应该通过摸索,逐步形成一套虚拟样机系统模型校验的方法,在导弹的研制过程中不断建立、验证、修改与完善系统模型,最终提供一套具有高置信度的导弹模型,最大限度地发挥仿真的作用,更好地为型号研制服务。

参考文献:

- [1] 孙玉宝,赵广宁,陶震鹏.基于虚拟仪器的导弹测试自动记录仪设计[J].四川兵工学报,2010,31(5):43.
- [2] 赵华超.空空导弹总体设计计算机仿真应建立的模型[J].航空兵器,1999(1):18-21.
- [3] 王维平,朱一凡,等.仿真模型有效性确认与验证[M].北京:国防科技大学出版社,1998:6.
- [4] 王建华,符文星,阎洁.空空导弹系统仿真模型验证平台[J].系统仿真学报,2003,15(6):791-792.