

雷达目标特性仿真 VV&A 方法研究

李艳艳^{1,2}, 陈岩^{1,2}, 邵学辉^{1,2}, 王亚辉^{1,2}, 李全运^{1,2}

(1. 北京航天自动控制研究所, 北京 100854;
2. 宇航智能控制技术国家级重点实验室, 北京 100854)

摘要: 仿真系统的校核、验证和确认 (VV&A) 是建模仿真可信度评估工作的基础, 直接决定了仿真结果的有效性, 必须应用于建模仿真的全周期内。详细分析了目前国内外 VV&A 在目标特性建模仿真中的研究进展, 分别介绍了 VV&A 在雷达目标特性仿真中的应用研究和 VV&A 对于提高雷达目标特性仿真可信度的思路及方法, 对后续雷达目标特性仿真 VV&A 研究具有指导意义。

关键词: VV&A; 建模仿真; 雷达目标特性

中图分类号: N945.12

文献标识码: A

文章编号: 2096-4080 (2022) 01-0061-04

The Analysis of VV&A in Radar Target Characteristic Simulation

LI Yanyan^{1,2}, CHEN Yan^{1,2}, SHAO Xuehui^{1,2}, WANG Yahui^{1,2}, LI Quanyun^{1,2}

(1. Beijing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing 100854, China;

2. National Key Laboratory of Science and Technology on Aerospace Intelligence Control, Beijing 100854, China)

Abstract: The verification, validation and accreditation (VV&A) of the simulation system is the basis of the credibility assessment of modeling and simulation, which decides simulation data validity and must be applied in the full cycle. Current research progress of VV&A on target characteristic simulation is analyzed. This work introduces the application of VV&A on radar target characteristic simulation, and the methods of VV&A to improve the reliability of radar target characteristic simulation. It is of directive significance on VV&A research on radar target characteristic simulation.

Key words: VV&A; Modeling and simulation; Radar target characteristic

0 引言

近年来, 雷达、光学等多种传感器被广泛应用于多种平台的装备上, 复杂环境下的目标探测与识别能力很大程度上决定了现代装备实战化水平。目标特性与环境特性的研究是目标探测与识别、隐身与反隐身等方面研究的基础, 贯穿于装备的设计、验证和使用等各个环节, 受到了极大

的重视。雷达目标与环境特性的研究范畴主要包括目标的辐射及散射特性和复杂电磁环境下目标与场景的耦合特性, 具体研究内容为目标 (包括干扰) 及场景数据的获取、分析和应用。其中, 目标及场景数据的获取是基础, 而数据获取的手段包括实际测量和数学仿真, 实际测量需要消耗大量的资源, 且覆盖场景有限。随着仿真技术的发展, 同时得益于计算机技术的突飞猛进, 目标

收稿日期: 2021-10-27; 修订日期: 2022-01-04

基金项目: 自然科学基金 (62173302)

作者简介: 李艳艳 (1988-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为精确制导、雷达目标特性。

E-mail: liyanyan0418@126.com

特性仿真逐渐成为人们解决目标特性数据获取难题的重要手段。而仿真模型本质上是对现实世界的近似抽象,其可信度直接关系到仿真应用的成败。目前在仿真界已经形成了这样一个共识:没有经过验证的仿真模型没有任何价值,没有经过可信性评估的仿真系统没有任何价值。因此,目标特性仿真模型可信度成为目标及场景建模仿真普遍面临的问题。鉴于此,国内外研究人员逐步开展了针对目标与环境特性仿真评估的研究工作。

仿真模型可信度可以通过校核与验证加以测量,通过确认来正式地加以认证,确认其可以为某一特定的应用目的服务,这个过程就是仿真的校核、验证与确认,即 VV&A (Verification, Validation and Accreditation)^[1]。王子才院士^[2-3]曾指出:“仿真可信度能否达到要求,直接关系到仿真系统应用的成败”。VV&A 是保证仿真模型可信度最重要的手段,其应用应贯穿于仿真的全生命周期。作为数值计算领域的基础性研究方向, VV&A 已广泛应用于计算流体力学、计算空气动力学、计算力学、电磁计算等各个领域。VV&A 理论的研究与发展是一个从具体到抽象、从片面到全面的内容不断充实完善的过程。国外学者经历了 50 余年的理论及技术方法研究工作,现在已经获得丰富研究成果,不但有多个组织、机构进行多种标准规范的研究,而且其中的一些标准规范还随着研究工作进展得到全面“升级”,例如美国防部的 VV&A 建议指导规范现在已经发展为第三版^[4]。除了成熟的标准规范,国外一直结合理论研究进行着大量的 VV&A 理论的应用方法研究,并获得了丰富的经验,从而能够对已有标准规范做出进一步完善,实现 VV&A 理论结合实际应用的“双赢”效果。我国系统仿真可信度研究也日益得到重视,然而此方面的研究工作起步较晚,目前正处于快速发展阶段,尚未形成一套完整的 VV&A 标准体系。

本文介绍了 VV&A 理论在雷达目标与环境特性研究中的应用,结合图 1 所示 VV&A 与建模仿真的关系,分析了目前国内外关于 VV&A 在雷达目标特性仿真、电子对抗等方面的研究进展。

1 国内外关于雷达目标特性仿真中的 VV&A 方法研究

经过多年的研究与实践,仿真可信度评估与

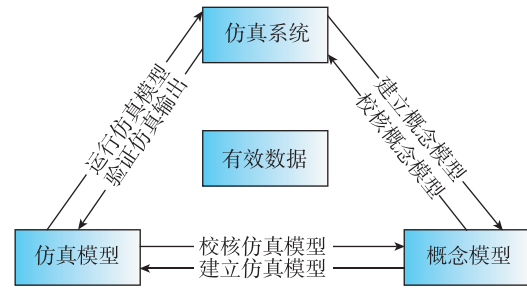


图 1 VV&A 与建模仿真的关系

Fig. 1 The relationship of VV&A, modeling and simulation

VV&A 工作取得了很大的发展,已成为国内外仿真领域的研究热点。随着雷达等多种探测制导武器研制过程中对目标特性数据应用需求和要求的提升,现有目标特性建模仿真暴露出仿真过程无规范参考、建模结果置信度说不清的问题。

国内外在提高数值仿真计算结果可靠性、精确性方面开展了大量的工作。但在雷达目标特性仿真研究及应用方面表现较为零散,在工程应用上虽有一定积累却并未形成规模。

随着 VV&A 技术的成熟,目前国外各项建模与仿真的项目均需进行 VV&A 过程的验证。在目标 RCS 建模仿真方面,1999 年美国学者 Duffy 等^[5]提出了特征选择验证方法模拟专家视觉的数据验证方法,经过不断的修正和完善,在 2008 年成为 IEEE 计算电磁学建模与仿真验证标准的核心内容。此后,该方法逐步应用于天线方向图数据、飞机在高强度辐射场下电磁强度分析等多个方向。近几年,IEEE 电磁兼容期刊 (IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility) 连续刊发了多篇 VV&A 相关的文章^[6],内容包含电磁学领域物理模型和计算模型误差分析、网格收敛性等 VV&A 相关工作,涉及目标特性、微波射频、电子对抗等方面的应用。国外在 VV&A 研究过程中非常重视研究的体系化,美国已经建立了一套完善的程序测试基准模型库。除了测试体系外,相关标准的制定工作也同步开展,相继突出了多个标准,为各领域建模仿真提供了标准规范。

近年来,国内相关单位通过内外场试验获取了大量目标、场景的雷达探测数据,对目标特性仿真软件和建模方法进行了系统的校核。此外,一些高校和研究机构已开展了仿真结果的部分验证工作,普遍采用均方根误差和相关系数对不同建模软件及不同电磁计算方法得到的雷达散射截面 (Radar Cross Section, RCS) 数据进行验证。

2014 年哈尔滨工业大学张刚^[7]提出了电磁仿真结果可信度 FSA 评估方法的关键问题,西安电子科技大学、西北核技术研究所、西安交通大学、电子科学研究院等单位先后发表 VV&A 相关文章,研究了计算电磁学、目标 RCS 仿真和电子对抗仿真中 VV&A 理论和技术方法^[8-9]。近年来,许多学者提出了将卷积神经网络等智能算法应用于仿真模型验证中,重点解决一些非同等输入条件下的仿真模型可信度验证,进一步促进 VV&A 在建模仿真中的应用。国内仿真专业相关机构也开始着手 VV&A 体系和标准制定,该工作对国内建模与仿真方面具有重要的意义。

综上所述,国外在雷达目标特性仿真可信度评估方面的研究起步早、积累多,在应用深度、广度和标准化等方面处于领先水平。但国内各大部分研究机构在雷达目标特性建模仿真的置信度评估方面,积累较少,缺乏系统的标准规范和技术支撑,在装备系统研制中发挥的作用有限。在仿真模型验证方面,针对目标、场景和干扰建模的逼真度问题,现有方法多数依赖内场缩比模型测试和有限的外场挂飞试验结果,对试验环境和测试方法的影响方面考虑较少,校核结果不够准确;仿真算法选择方面,对于复杂场景下目标及干扰特性的仿真,由于结构和电尺寸较大,普遍采用高频近似方法进行计算,而每种高频算法都有其局限性,对于部分特殊结构可能会存在计算精度差的问题。此外,通常在内外场测试中产生大量的数据,如何利用测试数据对仿真模型进行有效校核和优化,也是迫切需要研究的问题。因此,在雷达目标建模仿真评估方面需要大力加强 VV&A 方法的研究和应用,推动 VV&A 标准体系的制定,进一步提高目标特性仿真置信度评估能力。

2 VV&A 理论在雷达目标特性仿真中的应用分析

通过将 VV&A 理论与雷达目标特性仿真进行融合,通过 VV&A 提高雷达目标特性仿真的可信度,结合实际项目工作进行案例应用与分析,不但可以获得工程应用的经验积累,同时还可以对 VV&A 标准化研究提供可参考案例,对目标特性研究领域 VV&A 标准规范建立及应用研究意义深远。

雷达目标特性仿真包括目标的雷达散射截面 RCS 仿真和目标与场景的成像仿真等^[10]。其中,

RCS 表征雷达目标对于照射电磁波的散射能力,目标与场景的成像是目标高精度识别的主要手段之一。RCS 和成像仿真过程如图 2 所示,主要包括几何建模、材质属性设置、激励计观测角度设置、网格剖分、电磁计算和后处理等。每一个步骤实施过程中均存在方法及参数的选择问题,仿真过程中的校核和验证是整个仿真系统有效性的前提。

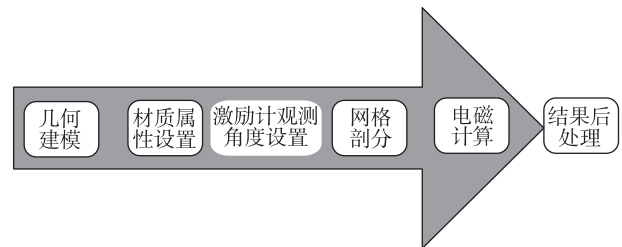


图 2 雷达目标特性仿真过程

Fig. 2 The process of radar target characteristic simulation

建立系统模型的过程是雷达目标特性仿真的前提,随着电子对抗愈演愈烈,目标的形状、材质和状态越来越复杂^[11]。在建模仿真过程中要综合考虑模型复杂度和硬件资源消耗,在计算资源能力范围内,尽可能地保证模型足够简化且不影响仿真结果正确性。因此需要对模型的细节进行敏感度分析,分析目标的各个部件在不同频段下的变化规律。建模过程中需要反复进行大量的模型校核与验证,研究人员还可以利用有限的实测数据验证数据、模型和方法有效性,对仿真模型进行迭代修正。

对于仿真算法的选择和模型网格剖分精度等,要依据目标的电尺寸和实际需求确定。网格剖分与算法选择密不可分,有些算法需要剖分为体网格,另外一些需要剖分为面网格,网格大小也需要具体情况而定。随着软件框架在数值模拟中地位的日益提升,基于结构化和非结构化网格剖分技术的软件框架开发已经成为数值模拟研究的一个重要方面,并且已经在雷达目标特性建模仿真中得到了广泛应用。

电磁计算是雷达目标特性仿真过程中最重要的部分,大量成熟的数值计算程序或软件在不断地研发和更新。商业软件和专业软件采用的电磁计算方法包括频域方法中的有限元方法、矩量法、高频方法(物理光学法、弹跳射线法等)等,以及时域方法中的时域有限差分法、时域有限元法、

时域积分方程法等^[12-13],如图3所示。通用电磁场计算软件包括 HFSS、CST、FEKO、HOBBIES,目标特性仿真软件包括 XPATCH、SE、RADAR-

BASE、FASTEM 等。在仿真中利用 VV&A 理论研究,可以不断提高计算结果的可靠性和精确性。

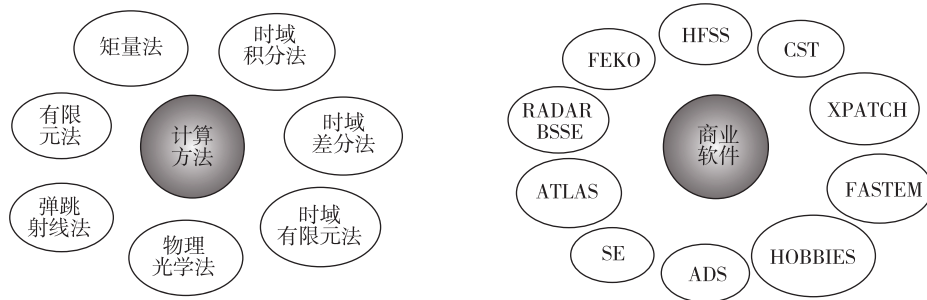


图3 通用电磁仿真算法和商业软件

Fig. 3 The common electromagnetic simulation algorithm and commercial software

实际测量和仿真在目标特性研究中是不可能割裂的,实际测量是验证仿真结果有效性最有说服力的方式,通过对比实测与仿真结果的一致性,指导测量方法和仿真建模的不断优化。另外,仿真过程中应充分考虑测量过程可能带入的其他影响因素。在仿真和测量的全过程均进行 VV&A 分析,提高仿真和实测的可信度,通过部分到整体的不断迭代完成全流程 VV&A 工作,最终实现雷达目标特性研究的高可靠性。同时,对建模仿真中的过程数据和文档进行及时整理和收集,作为评估仿真可信度的重要依据。

3 结论

本文详细调研了国内外 VV&A 理论在雷达目标与环境特性信息中的方法,详细分析了目前国内外 VV&A 理论及方法在雷达目标特性建模与仿真中的研究及应用情况,对后续雷达目标特性仿真验证评估方法的研究具有指导意义。

参考文献

[1] 吴晓燕,许素红,刘兴堂.仿真系统 VV&A 标准/规范研究的现状与军事需求分析[J].系统仿真学报,2003(8):1081-1084.
[2] 王子才,张冰,杨明.仿真系统的校核、验证与验收(VV&A):现状与未来[J].系统仿真学报,1999(5):321-325+340.

[3] 刘庆鸿,陈德源,王子才.建模与仿真校核、验证与确认综述[J].系统仿真学报,2003,15(7):925-930.
[4] 刘晓平,郑利平,路强,等.仿真 VV&A 标准和规范研究现状及分析[J].系统仿真学报,2007,19(2):456-460.
[5] Duffy A P, Martin A J M, Orlandi A, et al. Feature selective validation (FSV) for validation of computational electromagnetics (CEM). part i—the FSV method[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2006, 48(3):449-459.
[6] IEEE Std 1278. 4. IEEE trial-use recommended practice for distributed interactive simulation—verification, validation and accreditation[S].The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc,2002.
[7] 张刚.电磁仿真结果可信度 FSV 评估方法的关键技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
[8] 王琦琦.电子对抗仿真建模与评估技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2017.
[9] 肖舒文,李柏文,陈晓盼,等.面向目标 RCS 仿真数据验证的 FSV 改进方法[J].计算机仿真,2016,33(11):14-19+47.
[10] 黄辰,高斌.VV&A 在目标 RCS 仿真中的应用[J].信息技术,2014(1):68-71.
[11] 黄培康,殷红成,许小剑.雷达目标特性[M].北京:电子工业出版社,2005.
[12] 李勇,谢海燕,宣春,等.计算电磁学研究中的 V&V 方法概述[J].强激光与粒子束,2016,28(3):188-194.
[13] 黄辰.电磁仿真计算的 VV&A 技术方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2014.

引用格式:李艳艳,陈岩,邵学辉,等.雷达目标特性仿真 VV&A 方法研究[J].宇航总体技术,2022,6(1):61-64.

Citation: Li Y Y, Chen Y, Shao X H, et al. The analysis of VV&A in radar target characteristic simulation[J]. Astronautical Systems Engineering Technology, 2022, 6(1): 61-64.