



国防科技图书出版基金

Verification, Validation
and Accreditation
and Credibility Evaluation
for Warfare Simulation System

作战仿真系统校核、 验证与确认及可信度评估

唐见兵 查亚兵 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

作战仿真系统 校核、验证与确认 及可信度评估

Verification, Validation and Accreditation and
Credibility Evaluation for Warfare
Simulation System

唐见兵 查亚兵 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

作战仿真系统校核、验证与确认及可信度评估/唐见兵, 查亚兵著. —北京: 国防工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-118-08269-2

I. ①作… II. ①唐… ②查… III. ①作战模拟 - 计算机仿真 - 仿真系统 - 研究 IV. ①E83 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 186263 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京市海淀区四季青印刷厂

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 6½ 字数 178 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 69.80 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助

的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

仿真是一种基于模型的活动,在工程技术、社会科学、经济学、生命科学、军事学等各个领域得到越来越广泛的应用。作战仿真是研究作战最有效的手段之一,在各层次作战的分析、训练以及测试与评估中发挥着非常重要的作用。可信性是作战仿真的生命线,它既取决于作战模型的正确性与精度,又取决于模型实现的准确度。对作战仿真系统建设的全生命周期进行校核、验证与确认(Verification, Validation and Accreditation, VV&A)是确保和提高其可信性的重要途径,对作战仿真系统进行可信度评估可以获得其可信度,能够为系统的确认和重用提供数据支持。目前,国内在专门对作战仿真系统的 VV&A 及可信度评估展开系统研究的著作还比较缺乏。

本书针对作战仿真系统的特点,从 VV&A 的总体、形式化建模、主要 VV&A 过程以及可信度评估等方面展开研究,并将研究成果应用于“XX 作战仿真系统”的 VV&A 及可信度评估中,取得了良好效果,确保了该作战仿真系统具有足够的可信性。本书共 7 章,从内容与结构上可以分为以下四个部分,具体内容如下。

第一部分(第 1 章)介绍了本书的研究背景,总结了目前国内外 VV&A 及可信度评估研究现状,提出了 VV&A 及可信度评估研究的发展趋势。

第二部分(第 2 章)在阐述作战仿真 VV&A 及其相关概念的基础上,首先从宏观上提出了作战仿真 VV&A 研究的四层框架结构及指导作战仿真 VV&A 的综合集成、VV&A 立方体及 WSR 三种方法;其次针对作战仿真研究的实际,提出相应的 VV&A 原则与过程模型;最后从

人员机制和任务分解机制两个方面对作战仿真 VV&A 的机制展开研究。

第三部分(第3~6章)为作战仿真 VV&A 过程研究。其中,第3章对作战仿真 VV&A 过程进行形式化建模。首先基于统一建模语言 UML,对作战仿真 VV&A 过程分别从用例、静态结构、动态行为及交互等方面进行形式化建模;其次对 VV&A 过程管理分别进行用例、静态结构及动态行为建模,并建立包含活动代理的 VV&A 过程管理模型;最后基于功能建模定义语言 IDEF0,对 VV&A 过程进行形式化建模,并进行形式化描述。作为本书的重要内容,第4章与第5章分别对主要的 VV&A 过程进行研究,包括作战仿真系统需求校核、军事概念模型验证、数学模型校核与验证(V&V)及软件模型校核与验证。对于需求校核,提出了作战仿真系统需求校核的方法、策略和指标,并着重从语法和语义两个方面对需求的一致性进行校核;对于军事概念模型验证,提出军事概念模型验证的步骤、方法与指标,重点介绍军事概念模型验证的方法和验证指标;对于数学模型校核与验证,提出了数学模型的校核机制、方法与指标,并从数学模型的验证方法与指标两个方面对数学模型验证进行研究;对于软件模型校核与验证,分析了作战仿真系统软件模型的层次结构,研究软件模型的 V&V 方法与技术,从仿真软件单元、软件部件和仿真系统三个层面对软件模型的 V&V 过程进行了研究。第6章深入研究了作战仿真系统可信度评估问题,分析了作战仿真系统可信度评估的类型,并从信息论的角度,应用问题规约法提出并比较两种常用的可信度评估方式,建立了一套作战仿真系统可信度评估指标体系,提出主观综合评判法和灰色关联综合法两种实用的评估方法,并加以应用。

第四部分(第7章)结合工程实际,给出了作战仿真系统 VV&A 及可信度评估应用实例。首先介绍作战仿真系统的基本体系结构,接着对该仿真系统的 VV&A 进行总体设计,最后将本书的研究应用于该仿真系统 VV&A 工作中,并对每一个主要阶段都进行可信性评估。

总之,本书的研究可以丰富作战仿真系统 VV&A 的理论体系,开展的 VV&A 活动以及可信度评估工作对确保作战仿真系统的可信性具有十分重要的意义。

由于本书内容涉及面广,有些问题还在进一步深入研究之中,加之作者水平有限,错误与不足之处在所难免,敬请读者不吝批评指正。

作者

2012 年 1 月于国防科学技术大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 作战仿真概述	1
1.1.1 作战仿真	1
1.1.2 作战仿真 VV&A 及可信度评估	5
1.2 国内外研究的现状及发展趋势	8
1.2.1 国外研究的现状	8
1.2.2 国内研究的现状	15
1.2.3 发展趋势	18
1.3 本书概貌	19
1.3.1 主要内容	19
1.3.2 主要特点	21
第 2 章 作战仿真 VV&A 总体研究概述	24
2.1 作战仿真 VV&A 及其相关概念	24
2.2 作战仿真 VV&A 研究的框架结构	26
2.3 作战仿真 VV&A 研究的方法论	28
2.3.1 从定性到定量的综合集成方法	29
2.3.2 VV&A 立方体方法	31
2.3.3 VV&A 的物理—事理—人理 (WSR) 方法	32
2.4 作战仿真 VV&A 的原则与过程模型	33
2.4.1 作战仿真 VV&A 原则	34
2.4.2 作战仿真 VV&A 过程模型	35
2.5 作战仿真 VV&A 机制	37
2.5.1 作战仿真 VV&A 人员机制	38
2.5.2 作战仿真 VV&A 任务分解机制	43

第3章 作战仿真 VV&A 过程的形式化建模	45
3.1 引言	45
3.2 作战仿真 VV&A 过程形式化建模的必要性	45
3.3 基于 UML 的作战仿真 VV&A 过程建模	46
3.3.1 基于 UML 的 VV&A 过程用例建模	47
3.3.2 基于 UML 的 VV&A 过程静态建模	49
3.3.3 基于 UML 的 VV&A 过程行为建模	51
3.3.4 基于 UML 的 VV&A 过程交互建模	52
3.4 基于 UML 的作战仿真 VV&A 过程管理建模	53
3.4.1 VV&A 过程管理的用例建模	54
3.4.2 VV&A 过程管理的静态建模	55
3.4.3 VV&A 过程管理的动态建模	55
3.4.4 基于活动代理的 VV&A 过程管理建模	57
3.5 基于 IDEF0 的作战仿真 VV&A 过程建模	59
3.5.1 基于 IDEF0 的 VV&A 过程分析	60
3.5.2 基于 IDEF0 的 VV&A 过程建模	61
3.5.3 基于 IDEF0 的 VV&A 过程模型的形式化描述	62
第4章 作战仿真系统需求校核与军事概念模型验证	64
4.1 引言	64
4.2 作战仿真系统需求校核	65
4.2.1 作战仿真系统需求校核的重要性	65
4.2.2 作战仿真系统需求校核的方法与策略	66
4.2.3 作战仿真系统需求校核的指标	74
4.2.4 作战仿真系统需求一致性校核	76
4.3 作战仿真系统军事概念模型验证	80
4.3.1 军事概念模型验证的重要性	80
4.3.2 军事概念模型验证的形式化定义	82
4.3.3 军事概念模型验证步骤	83
4.3.4 军事概念模型验证方法	84
4.3.5 军事概念模型验证指标	88

第 5 章 作战仿真系统数学模型及软件模型校核与验证	93
5.1 引言	93
5.2 作战仿真系统数学模型校核与验证	94
5.2.1 数学模型校核与验证的重要性	94
5.2.2 作战仿真系统数学模型分类及其形式化描述	95
5.2.3 作战仿真系统数学模型校核	98
5.2.4 作战仿真系统数学模型验证	103
5.3 作战仿真系统软件模型校核与验证	109
5.3.1 作战仿真系统软件模型的层次结构	109
5.3.2 作战仿真系统软件模型校核与验证的 方法与技术	110
5.3.3 软件模型校核与验证	117
第 6 章 作战仿真系统可信度评估	133
6.1 引言	133
6.2 作战仿真系统可信度评估与 VV&A 的关系	133
6.3 作战仿真系统可信度评估的类型与方式	135
6.3.1 作战仿真系统可信度评估的类型	135
6.3.2 作战仿真系统可信度评估的方式	136
6.4 作战仿真系统可信度评估指标体系	139
6.5 作战仿真系统可信度评估方法	144
6.5.1 已有的可信度评估方法分析与比较	144
6.5.2 主观综合评判法	150
6.5.3 灰色关联综合法	154
第 7 章 作战仿真系统 VV&A 及可信度评估应用	159
7.1 概述	159
7.2 XX 作战仿真系统的 VV&A 总体设计	160
7.3 需求校核	162
7.3.1 执行需求校核	163
7.3.2 军事需求可信度评估	164
7.3.3 需求确认	166

7.4 军事概念模型验证	166
7.4.1 执行军事概念模型验证	167
7.4.2 军事概念模型评估	169
7.4.3 军事概念模型确认	169
7.5 数学模型校核与验证	169
7.5.1 执行数学模型校核与验证	169
7.5.2 数学模型评估	170
7.5.3 数学模型确认	171
7.6 软件模型校核与验证	171
7.6.1 仿真软件单元校核与验证	172
7.6.2 仿真软件部件校核与验证	174
7.6.3 仿真系统校核与验证	181
7.7 仿真系统确认	183
参考文献	185

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 The summary of warfare simulation	1
1.1.1 Warfare simulation	1
1.1.2 VV&A and credibility evaluation for warfare simulation	5
1.2 The actuality and progress in domestic and overseas research	8
1.2.1 The actuality in domestic research	8
1.2.2 The actuality in overseas research	15
1.2.3 The progress research for VV&A and credibility evaluation	18
1.3 The general picture for this book	19
1.3.1 Primary contents	19
1.3.2 Primary characteristics	21
Chapter 2 The summary of VV&A collectivity for warfare simulation	24
2.1 VV&A and its correlative conception	24
2.2 The research framework of VV&A	26
2.3 The methodology of VV&A	28
2.3.1 The methodology of meta – synthesis	29
2.3.2 The methodology of VV&A cube	31
2.3.3 The methodology of WSR	32
2.4 The principle and process model of VV&A for warfare simulation	33
2.4.1 The principle of VV&A	34

2.4.2	The process model of VV&A	35
2.5	The mechanism of VV&A for warfare simulation	37
2.5.1	The mechanism of personnel	38
2.5.2	The mechanism of task decomposition	43
Chapter 3	Modeling the formal models of VV&A process	45
3.1	Introduction	45
3.2	The necessary for modeling the formal models of VV&A process	45
3.3	VV&A process is modeled based on UML	46
3.3.1	The use case of VV&A process is modeled	47
3.3.2	The static construction of VV&A process is modeled	49
3.3.3	The dynamic activities of VV&A process is modeled	51
3.3.4	The dynamic interactions of VV&A process is modeled	52
3.4	VV&A process management is modeled based on UML	53
3.4.1	The use case of VV&A process management is modeled	54
3.4.2	The static VV&A process management is modeled	55
3.4.3	The dynamic VV&A process management is modeled	55
3.4.4	The VV&A process management is modeled based on activity agent	57
3.5	VV&A process is modeled based on IDEF0	59
3.5.1	The analysis of VV&A process	50
3.5.2	VV&A process is modeled	61
3.5.3	The formal definition of VV&A process	62
Chapter 4	Requirement verification and military conceptual model validation for warfare simulation system	64
4.1	Introduction	64
4.2	Requirement verification for warfare simulation system	65
4.2.1	The significance of requirement verification	65
4.2.2	The method and strategy of requirement verification	66
4.2.3	The index of requirement verification	74
4.2.4	The consistent verification of requirement verification	76

4.3	Military conceptual model validation for warfare simulation system	80
4.3.1	The significance of military conceptual model validation	80
4.3.2	The formal definition of military conceptual model validation	82
4.3.3	The steps of military conceptual model validation	83
4.3.4	The method of military conceptual model validation	84
4.3.5	The index of military conceptual model validation	88
Chapter 5	Mathematical and software model verification and validation for warfare simulation system	93
5.1	Introduction	93
5.2	Mathematical model verification and validation	94
5.2.1	The importance of mathematical model verification and validation	94
5.2.2	Mathematical model is classified and its formal discreption	95
5.2.3	Mathematical model verification	98
5.2.4	Mathematical model validation	103
5.3	Software model verification and validation	109
5.3.1	The hiberarchy of software model	109
5.3.2	The method and technique of software model verification and validation	110
5.3.3	Software model verification and validation	117
Chapter 6	Credibility evaluation for warfare simulation system ...	133
6.1	Introduction	133
6.2	The relation between credibility evaluation and VV&A ...	133
6.3	The style and manner of credibility evaluation	135
6.3.1	The style of credibility evaluation	135
6.3.2	The manner of credibility evaluation	136
6.4	The index system of credibility evaluation	139
6.5	The method of credibility evaluation	144

6.5.1	Aalysis and comparison with excisted evaluation methods	144
6.5.2	The method of subject integrate judgement	150
6.5.3	The method of grayr correlative synthetic evaluation	154
Chapter 7	A practice of VV&A and credibility evaluation	159
7.1	Summary	159
7.2	The overall design of VV&A for XX warfare simulation system	160
7.3	Requirement verification	162
7.3.1	Executing requirement verification	163
7.3.2	Credibility evaluation for military requirement	164
7.3.3	Military Requirement accreditation	166
7.4	Military conceptual model validation	166
7.4.1	Executing military conceptual model validation	167
7.4.2	Credibility evaluation for military conceptual model	169
7.4.3	Military conceptual model accreditation	169
7.5	Mathematical model verification and validation	169
7.5.1	Executing mathematical model verification and validation	169
7.5.2	Credibility evaluation for mathematical model	170
7.5.3	Mathematical model accreditation	171
7.6	Software model verification and validation	171
7.6.1	Software Unit verification and validation	172
7.6.2	Software component verification and validation	174
7.6.3	Simulation system verification and validation	181
7.7	Simulation system accreditation	183
References		185