计算机仿真与军事应用

何江华　郭果敢　著

国防工业出版社

·北京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

计算机仿真与军事应用 / 何江华，郭果敢著．—北京：国防工业出版社，2006.1

ISBN 7-118-04118-1

Ⅰ.**计**… Ⅱ.①**何**…②**郭**… Ⅲ.**计算机仿真－应用－军事** Ⅳ.E919

中国版本图书馆 CIP **数据核字**(2005)**第** 096518 **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** 100044）

滕飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 **印张** 20¾ 474 **千字**

2006 **年** 1 **月第** 1 **版** 2006 **年** 1 **月北京第** 1 **次印刷**

印数：1—3000 **册** **定价**：35.00 **元**

（**本书如有印装错误，我社负责调换**）

国防书店：(010)68428422 **发行邮购**：(010)68414474

发行传真：(010)68411535 **发行业务**：(010)68472764

本 书 获 得

总装备部“十五”国防预先研究项目

防化研究院人才培养基金

防化指挥工程学院

资　助

序　言

系统建模与仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及其应用领域的有关专业技术为基础，以计算机系统、与应用相关的物理效应设备及仿真器为工具，利用系统模型参与已有或设想的系统进行研究、分析、设计、加工生产、试验、运行、评估、维护和报废（全生命周期）活动的一门多学科的综合性技术。其中，计算机建模与仿真技术是其最为重要的组成部分。

半个多世纪来，建模与仿真技术在各类应用需求的牵引及有关学科技术的推动下，已经发展形成了较完整的专业技术体系，并迅速地发展为一项通用性、战略性技术。它已成功地应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、娱乐、生活服务等众多领域。人们认为，建模和仿真技术与高性能计算一起，正成为继理论研究和实验研究之后第三种认识、改造客观世界的重要手段。

本书是作者在防化研究院、防化指挥工程学院对计算机仿真多年研究、教学工作的基础上，综合国内外有关研究成果及其进展，花费了较长时间撰写而成的计算机仿真及其在（指挥）军事应用方面的专著。本书较系统地论述了计算机仿真技术有关的数学知识、计算机知识、计算机仿真模型、作战仿真模型及防化作战与防化装备仿真等内容。全书内容丰富，重视理论、技术与应用的结合。在讲述中还给以部分证明及实例说明，以便读者理解。

本书适用于军内外从事计算机建模与仿真领域的技术研究、开发与应用的工程技术人员，指挥作战仿真研究人员，以及相关专业研究生阅读。

本书的出版将积极推动我国计算机建模与仿真领域工作的进一步发展。

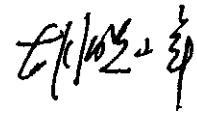


2004 年 7 月 28 日

李伯虎，中国工程院院士、中国系统仿真学会理事长、航天科工集团二院研究员。

序　言

计算机仿真技术是当前最为热门也是极为重要的新兴的信息技术之一。特别在军事应用领域，其作用就更加突出，受到广泛的关注。该书是作者在多年来从事计算机仿真的教学、研究工作的基础上，综合国内外最新研究成果，结合自己的经验，经长时间的努力才完成的关于计算机仿真技术的专著，具有很高的学术水平。与其它同类书相比，该书的特点主要体现在以下几个方面：一是突出了基础理论的介绍，将仿真中可能涉及到的基础理论逐一分章介绍，比较全面；二是实用性强，密切结合实际，给出了许多具体的实例和方法，有利于读者学以致用；三是军事特色突出，通过对军事领域有关研究的介绍，有利于读者应用于军事仿真、国防系统分析的研究。该书结构清晰，章节连贯，层次分明，内容衔接紧密，文字流畅，图表清晰，反映了作者具有较严谨的工作作风。该书如能正式出版，必将受到仿真界的欢迎。



2004 年 7 月 11 日

胡晓峰，国防大学信息作战与指挥训练教研部副主任、少将、教授。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

据最新统计资料显示，计算机仿真技术已成为当今世界最实用的技术之一，虚拟现实已成为最热门的话题之一。研究、应用计算机仿真技术已成为各行各业的一种时尚。“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家。”计算机仿真技术已经从航天航空、核工业等高新技术领域向国民经济各个领域发展，从军事、国防等部门向民用部门发展，从自然科学领域向社会科学领域发展，从高校、研究院所向厂矿等生产第一线发展。随着我国两弹一星、宇宙飞船等高精尖技术的发展，我国已进入世界上少数几个拥有仿真技术的国家行列，我国也有望成为世界上仿真技术大国。当我们衡量某种仿真手段是否先进时，都是以能否为系统分析、系统设计、系统研制和系统应用人员提供最有效的辅助作用为依据的。因此，以人为本、人和仿真系统的智能共增是未来计算机仿真技术的发展方向。

计算机仿真已受到世界各国的高度重视，其应用领域无所不在，无论是它的理论还是技术都获得了很大的发展。但目前能够全面反映其理论技术基础及其发展方向的著述却又很少，本书作者力图做好这方面的工作。

本书是在作者单位对计算机仿真多年科研、教学工作的基础上，综合国内外最新研究成果撰写的，其内容涵盖了计算机仿真的主要领域，着重论述了仿真的理论基础（应用数学方面的知识）、仿真的技术基础（计算机方面的技术）、计算机仿真对象（即要仿真的对象的相关专业知识），并注重这三者的有机结合。它是一本有关仿真建模基本理论和关键技术的专著，所涉及的相似理论、面向对象技术、图像技术等都是构建各类先进仿真系统的基石。十分重视把仿真的理论基础、技术基础和仿真应用的密切结合，体现了“需求牵引”和军事应用的特点。

本书描绘了计算机仿真的整体轮廓，共 18 章。既有理论基础，又有实践经验。第 1 章计算机仿真综述，第 2 章相似理论，第 3 章面向对象技术，第 4 章图像技术，第 5 章计算机仿真模型，第 6 章计算机仿真硬件，第 7 章计算机仿真软件，第 8 章虚拟现实，第 9 章计算机仿真模型构造方法，第 10 作战仿真，第 11 章军事建模基本原则与常用数值及解析方法，第 12 章马尔柯夫链模型，第 13 章蒙特卡洛法，第 14 章兰彻斯特作战模型，第 15 章层次分析法（AHP），第 16 章系统动力学方法（SD），第 17 章 HLA 仿真体系结构，第 18 章装备仿真与装备战损仿真求解。

本书是集体智慧的结晶，前人的工作为我们创造了条件，在撰写过程中得到防化系统三位院士、学科带头人、国内外同行知名教授、研究员和学者的指导以及年轻的博士后、博士、硕士加盟。本书申请策划撰写不是一蹴而就，仅撰写就长达三年多，列入两院科研、教学计划，并得到总装备部“十五”国防预先研究项目、防化研究院人才培养基金、防化指挥工程学院的资助。中国工程院院士、中国系统仿真学会理事长、航天科工集团二院李伯虎研究员，国防大学信息作战与指挥训练教研部副主任、少将胡晓峰教授在百忙之中，认真

审查了书稿，并作序。王良厚、王锋研究员和苻天保教授认真审批了书稿，并提出了很有价值的修改意见。国防工业出版社电子信息编辑室主任陈洁编审精心修改、严肃严谨编辑出版。在此表示衷心的感谢。

本书第 1～8 章由防化研究院何江华、郑毅、艾宪芸、肖无云、骆景豪、耿娜、范江兵、孙茂盛、谢利平、丁宇征、谢卫锋等撰写。第 9～18 章由防化指挥工程学院郭果敢、王德才、刘平、刘晓明、廖香齐、胡强、唐业军等撰写。全书由何江华、郭果敢统稿定稿。参加本书工作的还有宋立军、郭敦俊、钟鸣、李晓军、梅刚、李磊、肖凯涛、王玄玉、唐贤强、伍国良、钱大成、杨云、张良华、孙海峰、沙洪洲、余华鸿、陈华、苏杭等。

由于作者水平所限，错误在所难免，恳请批评指正。

作　者

于北京西北郊石鹰头

目　录

第 1 章　计算机仿真综述 …… 1
1.1　计算机仿真发展历史 …… 1
1.2　仿真的定义和分类 …… 3
1.3　国内外现状 …… 5
第 2 章　相似理论 …… 9
2.1　相似及其理论发展 …… 9
2.2　相似的概念及类型 …… 10
2.3　相似定理 …… 12
2.4　相似方法 …… 15
2.5　相似理论是科学实验的基础 …… 18
第 3 章　面向对象技术 …… 20
3.1　面向对象技术的基本原理 …… 20
3.2　面向对象的基本概念 …… 22
3.3　面向对象的建模技术 …… 28
3.4　面向对象的软件过程 …… 42
3.5　面向对象技术在现代仿真中的应用和发展 …… 45
第 4 章　图像技术 …… 49
4.1　图像类和图像包 …… 49
4.2　图像产生器和图像观察器 …… 50
4.3　获取和显示图像 …… 50
4.4　小应用程序和应用之间的区别 …… 52
4.5　等待装入图像 …… 53
4.6　逐行扫描绘制图像 …… 55
4.7　过滤图像 …… 59
4.8　gjt.image 褪色图像过滤器类 …… 63
第 5 章　计算机仿真模型 …… 74
5.1　概述 …… 74
5.2　数学模型及分类 …… 76
5.3　系统类型 …… 83
5.4　建模与仿真 …… 84
5.5　数学模型变换 …… 88
第 6 章　计算机仿真硬件 …… 108
6.1　仿真计算机 …… 108
6.2　跟踪系统 …… 111
6.3　图像生成系统 …… 112
6.4　音频系统 …… 113
6.5　可视化显示设备 …… 115
6.6　触觉系统 …… 118
第 7 章　计算机仿真软件 …… 121
7.1　概论 …… 121
7.2　仿真程序 CSS …… 125
7.3　连续事件系统仿真语言 DARE-P …… 128
7.4　离散事件系统仿真语言 GPSS …… 132
7.5　其它仿真语言简介 …… 139
第 8 章　虚拟现实 …… 146
8.1　计算机仿真 …… 146
8.2　虚拟现实基本概念 …… 148
8.3　计算机仿真与虚拟现实的关系 …… 153
8.4　计算机仿真与虚拟现实的展望 …… 157
第 9 章　计算机仿真模型构造方法 … 164
9.1　仿真模型的一般概念 …… 164
9.2　等步长法 …… 168
9.3　事件表法——事件步长法之一 …… 169

9.4 主导实体时钟值扫描法——事件步长法之二 …… 171
9.5 离散事件的仿真程序设计实例 …… 172
9.6 串联型排队系统的蒙特卡洛仿真与程序设计 …… 175
9.7 动态规划模型与程序设计 …… 181
第 10 章 作战仿真 …… 186
10.1 作战仿真概况 …… 186
10.2 战术仿真 …… 187
10.3 联合作战的计算机仿真 …… 202
第 11 章 军事建模基本原则与常用数值及解析方法 …… 205
11.1 军事建模基本原则 …… 205
11.2 统计方法 …… 207
11.3 概率方法 …… 208
11.4 最优化方法 …… 211
11.5 指数法与定量判断模型 …… 212
第 12 章 马尔柯夫链模型 …… 215
12.1 马尔柯夫链基本方程 …… 215
12.2 正则链 …… 217
12.3 吸收链 …… 219
12.4 连续马尔柯夫链模型 …… 223
第 13 章 蒙特卡洛法 …… 225
13.1 引例:多重积分的蒙特卡洛仿真求解 …… 225
13.2 蒙特卡洛方法概要 …… 227
第 14 章 兰彻斯特作战模型 …… 236
14.1 兰彻斯特线性率 …… 236
14.2 兰彻斯特平方律 …… 239
14.3 考虑战斗过程中人员武器自然损耗及火力支援的兰氏平方律 …… 241
14.4 威斯和彼得森的对数定律 …… 242
14.5 兰彻斯特方程的状态转移概率 …… 243
14.6 战斗取胜概率 …… 244
14.7 用于多兵种合成作战的兰彻斯特方程 …… 247
14.8 考虑指挥艺术的兰彻斯特方程 …… 248
14.9 损耗系数的计算 …… 248
第 15 章 层次分析法 …… 250
15.1 原理概述 …… 250
15.2 最大特征根与特征矢量的计算 …… 252
15.3 层次分析法的基本步骤 …… 254
15.4 AHP 用于核观测哨设置择优的探讨 …… 255
15.5 层次分析法辅助决策软件系统 …… 256
第 16 章 系统动力学方法 …… 262
16.1 概述 …… 262
16.2 SD 建模方法 …… 263
16.3 SD 基本原理 …… 266
16.4 系统动力学方法用于兰彻斯特模型研究 …… 273
第 17 章 HLA 仿真体系结构 …… 279
17.1 HLA 软件体系结构 …… 279
17.2 HLA 标准规范的组成 … 282
17.3 联邦开发与执行过程(FEDEP) …… 299
第 18 章 装备仿真与装备战损仿真求解 …… 302
18.1 概述 …… 302
18.2 防化装备仿真 …… 302
18.3 装备战损仿真求解 …… 302
参考文献 …… 317

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 1 章　计算机仿真综述

最新的统计资料表明，计算机仿真(Computer Simulation)技术是当前应用最广泛的实用技术之一。

根据国际标准化组织(ISO)标准中的《数据处理词汇》部分的名词解释，“模拟”(Simulation)与“仿真”(Emulation)两词含义分别为：“模拟”即选取一个物理的或抽象的系统的某些行为特征，用另一系统来表示它们的过程。“仿真”即用另一数据处理系统，主要是用硬件来全部或部分地模仿某一数据处理系统，以致于模仿的系统能像被模仿的系统一样接受同样的数据，执行同样的程序，获得同样的结果。鉴于目前实际上已将上述“模拟”和“仿真”两者所含的内容都统归于“仿真”的范畴，而且都用英文 Simulation 一词来代表，因此本书所讨论的仿真概念也就这样泛指。

计算机仿真技术综合集成了计算机、网络技术、图形图像技术、面向对象技术、多媒体、软件工程、信息处理、自动控制等多个高新技术领域的知识。

计算机仿真技术是以数学理论、相似原理、信息技术、系统技术及其应用领域有关的专业技术为基础，以计算机和各种物理效应设备为工具，利用系统模型对实际的或设想的系统进行试验研究的一门综合性技术。

计算机仿真技术的应用已不仅仅限于产品或系统生产集成后的性能测试试验，仿真技术已扩大为可应用于产品型号研制的全过程，包括方案论证、战术技术指标论证、设计分析、生产制造、试验、维护、训练等各个阶段。仿真技术不仅仅应用于简单的单个系统，也应用于由多个系统综合构成的复杂系统。

1.1　计算机仿真发展历史

仿真又称作蒙特卡洛方法，它是一种通过用随机数做实验来求解随机问题的技术。这种方法最早可以追溯到 1773 年法国自然学家 G. L. L. Buffon 为了估计 π 的值所进行的物理实验。然而，第一个利用这种方法做随机数实验的人也许是美国统计学家 E. L. De Forest，那是在 1876 年。比较早而且著名的蒙特卡洛方法使用者是 W. S. Gosset。他在 1908 年以“Student”为笔名发表论文时，使用了蒙特卡洛方法来证明他的 t 分布法；在这之前已经由“theory”发展了 t 分布法，当然还不是十分精确。尽管蒙特卡洛方法起源于 1876 年，但是直到约 75 年之后 S. Ulam 和 J. Von Newmann 才将它命名为蒙特卡洛方法。为什么这么多年过去了它才被命名呢？其原因是直到数字计算机出现之前，这种方法在许多重要问题上都不能被加以利用。从 1946 年到 1952 年间，数字计算机在一些科研机构得到发展。这些研究机构有：宾夕法尼亚大学、麻省理工学院、国家标准局和国际商用机器公司。现代化的具有程序储存功能的计算机使冗长的计算成为可

能，而这种计算正是蒙特卡洛方法所要求的。

与今天的计算机相比，早期的计算机运算速度慢而且几乎不能储存任何东西。比如，在 20 世纪 60 年代初期，利用计算机进行算术运算，每秒钟少于 1 万次，在 60 年代中期达到约 50 万次，到 70 年代初期达到 2000 万次，而如今的超级计算机每秒钟进行同样的计算可超过百亿次。现在可扩展并行计算机已成主流，如：美国能源部的“加速战略计算创新计划”，在 2004 年之前研制出五台万亿次量级的巨型计算机系统；俄罗斯新超级计算机每秒运算 2300 亿次；日本 NEC 的 4 万亿次(SX-4)，2000 年达到 32 万亿次；印度 1998 年推出 1000 亿次系统，2000 年以后升级到万亿次；中国已公开推出或将推出银河-III(百亿次)，曙光 2000(200 亿次)，曙光 2000-II(1000 亿次)，曙光 3000(3000 亿次)。

2003 年 11 月 8 日，中国软件行业协会数学软件分会公开发布了 2003 年中国高性能计算机性能 TOP100 排行榜。作为国内公开发布的第二届高性能计算机(HPC)性能排行榜，本次榜单不仅从数量上由 2002 年的 TOP50 飙升到 TOP100，计算性能也有了大幅提升。

本届排行榜前 50 名机器的总性能为 16.33 太次浮点运算/s，是 2002 年(4.6 太次浮点运算/s)的 3.55 倍；第一名机器的 Linpack 性能为 4.148 太次浮点运算/s，是 2002 年(1.046 太次浮点运算/s)的 3.97 倍；有 10 套系统的峰值达到了 1 太次浮点运算/s 以上(2002 年只有 1 套)，并有两套机器的 Linpack 性能达到了 1Tflops 以上(2002 年是 1 套)。本届排行榜中机器的平均 Linpack 性能为 196.8 吉次浮点运算/s，是 2002 年(92.07 吉次浮点运算/s)的 2.13 倍。

美国能源部劳伦斯·伯克利国家实验室 2004 年 6 月 21 日公布了最新的全球超级计算机 500 强名单，中国曙光计算机公司研制的超级计算机“曙光 4000A”排名第十。这是中国超级计算机首次跻身世界十强。

曙光公司为上海超级计算中心研制的“曙光 4000A”，采用了美国芯片制造商 AMD 制造的 2560 枚芯片，运算速度可达每秒 8.061 万亿次。这是此次 500 强排名中惟一跻身前十名的非美国和日本研发的超级计算机。

这次 500 强排名中，日本 NEC 公司为日本地球模拟中心制造的超级计算机“地球模拟器”仍居首位，其运算速度为每秒 35.86 万亿次，这已是它连续三年蝉联冠军。在前十名中，美国继续占据绝对优势，除了排名第一和第七的两台日本超级计算机和排名第十的中国超级计算机外，其余全部为美国产品。

自计算机诞生以来，性能的提高几乎是以每四五年提高 100 倍，每十年提高 1 万倍的速度持续发展着。

高性能计算机的出现为计算机仿真创造了条件，同时计算机仿真的需求又促进了高性能计算机的发展。在某种意义上说，计算机仿真发展历史就是计算机发展历史的一个重要组成部分。巨型机几乎都被用于模拟实验。现在，无论在科学现场还是在工程学现场，巨型机都成为不可缺少的工具。

科学的基本方式就是长久地观察、观测和实验。通过观察和观测得到数据，对这些数据进行归纳并从理论上进行分析，产生假说，然后再利用实验验证这种假说。或者通过更为广泛地观察和观测来确定没有能够反对这一假说的事实。这就是科学的基本程序。但是现在，计算机模拟实验正在作为第三种科学方法构筑十分牢固的基础。甚至可以说，这

几乎就是科学方法论上的革命。

总之，计算机模拟实验已经不单单是一个方便的研究手段，它已经成为发现新世界的新的认识手段，而且这个新世界是没有这个手段就无法发现的。

如今计算机仿真技术被广泛运用于众多的领域之中。进入 21 世纪，仿真模拟技术在高科技中所处的地位日益提高。一些发达国家非常重视仿真模拟技术的开发利用，在科学研究、工业、交通、军事、教育等领域得到大量应用。

另外，直到 1955 年，程序的运行还是在机器内部由汇编语言完成的，因为当时还没出现诸如 FORTRAN 之类的高级计算机语言；具有特殊目的的仿真语言也只是在约十年之后，即约 1965 年才出现。如今被大众称作为仿真的蒙特卡洛方法最初的运用主要是集中在编程技巧上，因为在进行仿真过程中，修改运行程序是最难的工作。早期计算机的局限性往往使得问题过于简化；因为如果不这样简化的话，就不可能在可行的计算时间内以可行的成本完成程序的运行。因此，许多重要的问题，诸如运行哪种程序及怎样分析程序输出等，就被忽略了。

如今计算机仿真技术被广泛运用于众多的领域之中。这些领域有：声学、航天、农业、食品和营养、空气质量、天文学和天文物理学、自动装置、发射学和军事应用、生物学、布朗运动、公共汽车系统、化工、化学、密码、气候学、气象学和太阳能利用、通信、计算机装置、计算机网络、相关作用、结晶学、剂量学、电子学、能量、平均信息量、发酵、金融、火力科学、渔业、林业、打猎、卫生系统、放牧管理、全息照相术、信息理论、保险、发明管理和政策、灌溉、就业、排队、维修、管理、计划和决策、生产和分配制度、医学课程、医药、微型计算机、迁徙、采矿、模型制造、分子学、蒙特卡洛方法、自然资源计划、航海、核物理学、光学、视力测定、纸张和纸浆、纺织、寄生物学、药物动力学、摄影学、警察巡逻学、政治与选举、多能湿度表、人口、人口生态与野生生物管理、动力系统与机械、精神病学、随机数字、随机数与心理研究、随机数发生、可靠性、机器人和自动化、科学发现、社会体制和公共政策、空间飞行、统计、交通工程、运输、肿瘤生长、交通工具设计等等。例如考古学应用，参见图 1.1 秦始皇兵马俑仿真。（引自《计算机科学技术百科全书》清华大学出版社．1998.）



图 1.1　秦始皇兵马俑仿真

1.2　仿真的定义和分类

1.2.1　系统仿真的定义

仿真界专家和学者对仿真下过不少定义。艾伦（A. Alan）在 1979 年 8 月出版的“仿真”期刊上对众多的定义进行了综述，其中内勒（T. H. Naylor）于 1966 年在其专著中对仿真作了如下定义：“仿真是在数字计算机上进行试验的数字化技术，它包括数字与逻辑模

型的某些模式，这些模型描述某一事件或经济系统（或者它们的某些部分）在若干周期内的特征。”其它一些定义只对仿真作一些概括的描述：仿真就是模仿真实系统；仿真就是利用模型来做实验等等。从这些有关仿真的定义中不难看出，要进行仿真实验，系统和系统模型是两个主要因素。同时由于对复杂系统的模型处理和模型求解离不开高性能的信息处理装置，而现代化的计算机又责无旁贷地充当了这一角色，所以系统仿真（尤其是数学仿真）实质上应该包括三个基本要素：系统、系统模型、计算机。而联系这三项要素的基本活动则是：模型建立、仿真模型建立和仿真实验。参见图 1.2。

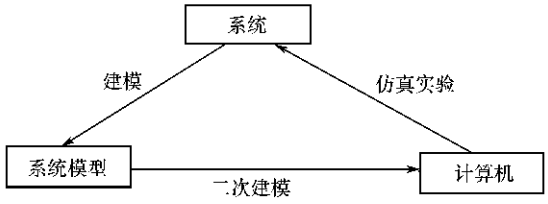


图 1.2　仿真三要素

系统仿真技术作为分析和研究系统运动行为、揭示系统动态过程和运动规律的一种重要的手段和方法，随着 20 世纪 40 年代第一台计算机的诞生而迅速发展。特别是近些年来，随着系统科学研究的深入，控制理论、计算技术、信息处理技术的发展，计算机软件、硬件技术的突破，以及各个领域对仿真技术的迫切需求，使得系统仿真技术有了许多突破性的进展，在理论研究、工程应用、仿真工程和工具开发环境等许多方面都取得了令人瞩目的成就，形成了一门独立发展的综合性科学。

综合国内外仿真界学者对系统仿真的定义，可对系统仿真作如下的定义：

系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等理论基础之上的，以计算机和其它专用物理效应设备为工具，利用系统模型对真实或假想的系统进行实验，并借助于专家经验知识、统计数据和信息资料对实验结果进行分析研究，进而作出决策的一门综合性的和试验性的学科。

上述定义中的计算技术，除了包含通常意义下的计算理论和技术，还应该包括现代运筹学的绝大部分内容。对信息理论、控制理论、运筹学等概念和术语，其它一些有关系统科学和系统工程的著作都给予了明确的解释。定义中模型可以是定量的，也可以是定性的；可以是物理的，也可以是数学的；或者是它们的综合。要对某一系统进行研究，其“白色”部分，可以建立定量的解析模型；“灰色”部分则可以通过实验、观测和归纳推理获得其模型结构，并根据专家经验和知识来辨识其参数；而对于“黑色”部分则只能借助于各种信息知识（感性的、理性的、经验的、意念的、行为的等）给予定性描述。

1.2.2　系统仿真的分类

依据不同的分类标准，可将系统仿真进行不同的分类。

1. 根据被研究系统的特征分

可分为两大类：连续系统仿真及离散事件系统仿真。

连续系统仿真是指对那些系统状态量随时间连续变化的系统的仿真研究，包括数据采集与处理系统的仿真。这类系统的数学模型包括连续模型（微分方程等），离散时间模

型(差分方程等)以及连续-离散混合模型。

离散事件系统仿真则是指对那些系统状态只在一些时间点上由于某种随机事件的驱动而发生变化的系统进行仿真实验。这类系统的状态量是由于事件的驱动而发生变化的,在两个事件之间状态量保持不变,因而是离散变化的,称之为离散事件系统。这类系统的数学模型通常用流程图或网络图来描述。

2. 按仿真实验中所取的时间标尺 τ(模型时间)与自然时间(原型)时间标尺 T 之间的比例关系分

可将仿真分为实时仿真和非实时仿真两大类。若 $\tau/T=1$,则称为实时仿真,否则称为非实时仿真。非实时仿真又分为超实时($\tau/T>1$)和亚实时($\tau/T<1$)两种。

3. 按照参与仿真的模型的种类不同分

系统仿真可分为物理仿真、数学仿真及物理-数学仿真(又称半物理仿真或半实物仿真)。

物理仿真,又称物理效应仿真,是指按照实际系统的物理性质构造系统的物理模型,并在物理模型上进行试验研究。物理仿真直观形象,逼真度高,但不如数学仿真方便;尽管不必采用昂贵的原型系统,但在某些情况下构造一套物理模型也需花费较大的投资,且周期也较长,此外在物理模型上做实验不易修改系统的结构和参数。

数学仿真是指首先建立系统的数学模型,并将数学模型转化成仿真计算模型,通过仿真模型的运行达到对系统运行的目的。现代数学仿真由仿真系统的软件/硬件环境,动画与图形显示、输入/输出等设备组成。数学仿真在系统分析与设计阶段是十分重要的,通过它可以检验理论设计的正确性与合理性。数学仿真具有经济性、灵活性和仿真模型通用性等特点,今后随着并行处理技术、集成化软件技术、图形技术、人工智能技术、先进的交互式建模和仿真软件硬件技术的发展,数学仿真必将获得飞速发展。

物理-数学仿真,又称为半实物仿真,准确称谓是硬件(实物)在回路中(Hardware In the Loop)的仿真。这种仿真将系统的一部分以数学模型描述,并把它转化为仿真计算模型;另一部分以实物(或物理模型)方式引入仿真回路。半实物仿真有以下几个特点:

① 原系统中的若干子系统或部件很难建立准确的数学模型,再加上各种难以实现的非线性因素和随机因素的影响,使得进行纯数学仿真十分困难或难以取得理想效果。在半实物仿真中,可将不易建模的部分以实物代之参与仿真实验,可以避免建模的困难。

② 利用半实物仿真可以进一步检验系统数学模型的正确性和数学仿真结果的准确性。

③ 利用半实物仿真可以检验构成真实系统的某些实物部件乃至整个系统的性能指标及可靠性,准确调整系统参数和控制规律。在航空航天、武器系统等研究领域,半实物仿真是不可缺少的重要手段。

1.3 国内外现状

计算机仿真技术是由系统工程、现代数学方法和计算机技术相结合的新兴学科。

计算机仿真是一种科学方法。科学研究通常有三种途径:理论推导、科学实验和仿真模拟。陈景润的哥德巴赫猜想就是一个理论推导的典型例子,世界上曾频频进行的各种

核试验就是科学试验的典型例子，吴文俊的数学机械化与自动推理平台、气象预报就是仿真模拟的典型例子。

中国科学院院士石钟慈认为，计算机时代的科学计算是第三种科学方法。中国工程院院士汪成为认为，虚拟现实是人类认识世界的帮手。美国阿尔·戈尔认为："在计算机出现之前，实验和理论这两种创造知识的方法一直受到限制。实验科学家面对的研究对象太困难，不是太大就是太小，不是太快就是太慢"，"另一方面纯理论不能预报如雷雨或飞机上空的空气流动之类复杂的自然现象。随着高速计算机的使用，我们才能仿真模拟那些不容易观察到的现象。正由于此，计算科学突破了实验和理论科学的局限性。"(摘自1998年1月31日美国副总统戈尔(Gore)在加利福尼亚科学中心演讲《数字地球——认识21世纪我们这颗星球》)

我们在科学研究时也常说，理论理论、实验实验、模拟模拟。

早期的系统科学研究是单输入单输出的系统，由于系统比较简单，常常可以借助于理论分析来解决问题，后来发展到多输入多输出系统，问题就变得复杂了，直至发展到大系统、巨系统乃至超巨系统，以及包括工程与非工程、宏观与微观、生物与非生物、系统与环境、思维与行为的综合系统，当然问题就变得更加复杂了。这时，单纯依靠理论分析和科学实验已经不可能了。仿真模拟就成为科学研究的途径之一。事实上，50多年前仿真模拟就已经存在，风洞试验就是空气动力模拟的典型例证。

国际上，仿真技术在高科技中所处的地位日益提高。在1992年度美国提出的22项国家关键技术中，仿真技术被列为第16项；在21项国防关键技术中，被列为第6项。甚至把仿真技术作为今后科技发展战略的关键推动力。北约在1989年制定的"欧几里得计划"中，把仿真技术作为11项优先合作发展的项目之一。至于仿真设备，早在1978年就推出了AD10数字模拟计算机，1985年又推出性能更强的AD100数字模拟计算机，在军事和非军事方面都得到了广泛应用。

在未来高技术条件下的局部战争中，武器装备系统是由多种武器平台、电子战装备、C^4KISR系统等有机构成的体系，单件武器系统作战效能的发挥，依赖于整个武器装备体系的正常运作。

20世纪80年代初，随着军事需求与技术的发展，单项武器系统的仿真已不能满足武器装备发展的需要。军事部门开始考虑将已建成的、分散在各地的单武器平台仿真系统或仿真实验室，通过信息互联构成多武器平台的仿真系统，进行武器系统作战效能的研究。1983年，美国国防高级研究计划局(DARPA)首先提出，并与陆军共同制定了一项合作研究计划——仿真组网(SIMNET)计划。该计划是将分散在各地的坦克仿真器同计算机网络联结起来，进行各种复杂作战任务的训练和演习。80年代末，SIMNET计划结束时，已形成了约260个地面装甲车辆仿真器以及通信网络、指挥所和数据处理设备等互联的网络，节点分布在美国和德国的11个城市。为了大幅度增加仿真器的数量，逐步发展了异构型网络互联的分布交互仿真(DIS)系统，美国在80年代末专设软件与仿真专委会，负责管理军用仿真。90年代，针对扩展防空体系概念，美国陆军战略防御司令部及陆军导弹司令部，合作进行了"扩展的防空仿真系统"(EADSIM)研制计划。EADSIM是一个能用于攻防体系对抗研究的作战仿真系统，它连接美国本土、北约、英国、以色列等地100多个军事、工业部门，可给用户提供一个逼真的环境，用以分析准备建立的战术导弹

防御系统，评估系统性能参数、作战过程及战术导弹防御系统的构成。海湾战争验证EADSIM是评估作战方案的一个有力工具，但EADSIM仍是一个纯数字仿真系统，为了更好地评估武器系统，在此基础上，现正在研制硬件与人在回路中的EADTB仿真系统。科索沃战争中各种现代化武器装备联结成一个有机体系，呈现出信息化、智能化、一体化的发展新趋势，战争形态、作战样式也随之在发生一系列新变化，如远程攻击能力大大增强，打击精度空前提高，杀伤力成倍增长。而其中，争夺信息优势，取得战争制信息权已成为现代作战的重心之一，利用计算机仿真技术研究和探索信息战的特点和规律，也成为人们关注的热点和焦点。

美国在总结成功经验的基础上，更加重视仿真，已将发展“合成仿真环境”作为国防科技发展的七大科技推动领域之一。所谓合成仿真环境，就是在广泛采用DIS及相关的计算机技术（如灵境技术）的基础上，创造一种进行武器系统研究和训练的人工合成环境，在新武器系统研制过程中，用仿真实验（虚拟样机）代替实际样机试验，使新技术、新概念、新方案在虚拟战场条件下反复进行演示验证和分析比较，从而确定最佳方案，选择最优技术途径。在此过程中，武器研制部门与武器的未来使用部门通过联网加强早期合作，即用户尽早介入“国防发展战略”，使新武器装备更适合军方的需求，并可提前制定作战使用方案，比原先的实际样机试验方案要省时、省力，大大节约经费。

我国计算机仿真技术的研究与应用开展较早，发展迅速。自20世纪50年代开始，在自动控制领域首先采用仿真技术，面向方程建模和采用模拟计算机的数据仿真获得较普遍的应用，同时采用自行研制的三轴模拟转台的自动飞行控制系统的半实物仿真实验已开始应用于飞机、导弹的工程型号研制中。60年代，在开展连续系统仿真的同时，已开始对离散事件系统（例如交通管理、企业管理）的仿真进行研究。70年代，我国训练仿真器获得迅速发展，我国自行设计的飞行模拟器、舰艇模拟器、火电机组培训仿真系统、化工过程培训仿真系统、机车培训仿真器、坦克模拟器、汽车模拟器等相继研制成功，并形成一定市场，在操作人员培训中起了很大作用。80年代，我国建设了一批水平高、规模大的半实物仿真系统，如射频制导导弹半实物仿真系统、红外制导导弹半实物仿真系统、歼击机工程飞行模拟器、歼击机半实物仿真系统、驱逐舰半实物仿真系统等，这些半实物仿真系统在武器型号研制中发挥了重大作用。90年代，我国开始对分布交互仿真、虚拟现实等先进仿真技术及其应用进行研究，开展了较大规模的复杂系统仿真，由单个武器平台的性能仿真发展为多武器平台在作战环境下的对抗仿真。

据我们掌握的资料，面临着核武器全面禁止试验和化学武器全面禁止试验的形势，美国、俄罗斯等军事强国都花费大量的人力财力从事计算机仿真技术的研究。他们认为，当在实际系统上进行试验比较危险或者难以实现时，计算机仿真技术就成了十分重要、甚至必不可少的工具。我国防化专家和领导、管理部门也极为重视计算机仿真技术在防化系统中的应用，它具有经济、可靠、安全、灵活、可多次重复使用等优点，已成为许多复杂系统（工程的、非工程的）分析、设计、试验、评估等不可缺少的重要手段。

目前，在武器系统研制过程中，用得最多的是数学仿真和半实物仿真技术。半实物仿真又称“数学-物理”仿真，是20世纪70年代在混合计算机和高速数字计算机技术蓬勃发展的环境下发展起来的。半实物仿真与全数学仿真相比较，有两个最大的优点：一个是可以通过可建造的目标/环境（包括背景与人工干扰）模拟器，逼真地生成实战空间的目标/

环境场景，提供给导弹的制导控制系统进行仿真试验；另一个是可以把导弹制导系统中某些非线性比较高的关键部件实物（如导弹头、自动驾驶仪等）引入仿真回路，这样就避免了全数学仿真中由于非线性部件建立数学模型的正确定性所带入的误差，从而可以大大提高仿真的可信度，这是全数学仿真所无法比拟的。

防空导弹制导控制系统的仿真技术发展在我国已有 30 多年的历史。起初，由于所用数字计算机的性能限制，尤其是计算速度的限制，一组描述防空导弹几十秒钟飞行控制过程的数学模型，求解时间往往需要几十分钟甚至更长。因此，根本无法把需要实时交换信息的有关制导控制系统装置接入仿真实验系统中去。此时的仿真称为数学仿真。

当然，当时也常用模拟计算机来进行仿真实验。模拟计算机用连续变化的模拟电压来表达变化过程中的物理量，用各种模拟电路来完成积分、乘法、加法等数学运算。由于模拟运算部件延迟时间很短（对于导弹飞行过程而言），所以制导控制系统中的实物，例如自动驾驶仪或舵机等就可接入仿真实验。这就是我们常称之为半实物仿真的试验状态。由于使用的是模拟计算机，而模拟电路精度不很高，稳定性较差，能表达的数学运算类型又有限，因此，这一类仿真有一定的局限性。

随着计算机技术以及精密机械、光电、无线电技术的飞速发展，在实验室条件下描述表达防空导弹制导控制过程的手段与物理方法渐趋完善，于是工程师们就可以建造比较复杂的仿真实验系统来满足新一代防空导弹研制发展的需要。航天工业总公司北京仿真中心的射频寻的仿真实验室与红外寻的仿真实验室就是我国防空导弹制导控制仿真实验室的典型代表。

需要全本请访问 www.ertongbook.com