

计算机 仿真技术平话

何江华 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

TP391.37



计算机 仿真技术平话

何江华 编著



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

计算机仿真技术平话 / 何江华编著. —北京: 国防工业出版社, 2005. 1

ISBN 7-118-03688-9

I. 计... II. 何... III. 计算机仿真—普及读物
IV. TP391.9-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 124544 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)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6½ 120 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 10.00 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

普及仿真技术 促进科技发展

周光召

二〇〇四年六月

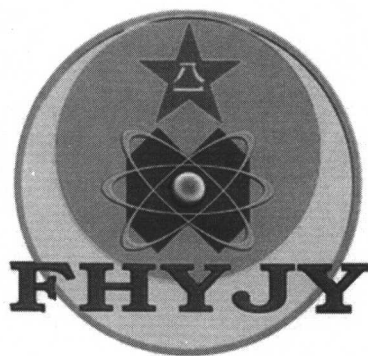
著名科学家、中国科协主席周光召专门为本书题词



中国科协科普专项资助

2003年中国首个“全国科普行动日”启动，中国科协确定6月29日为“全国科普行动日”。2002年6月29日，世界上第一部科普法规——《中华人民共和国科学技术普及法》颁布实施，它是提高中国公民科学素质的重要法律保障。为纪念科普领域这一里程碑性的日子，中国科协决定将每年的6月29日定为“全国科普行动日”。

本书得到中国科协2003年度科普专项资助。



中国人民解放军防化研究院院徽

本书得到中国人民解放军总装备部防化研究院人才培养基金
资助,谨以此书向中国人民解放军防化研究院建院 50 周年献礼!

序 言

了解或研究系统仿真,首先须弄清楚系统仿真学科、仿真系统技术、计算机仿真系统的涵义。1989 年中国系统仿真学会在筹备工作报告中曾明确:“系统仿真学科是建立在相似理论、控制理论、系统科学、计算技术基础上的一门综合性和试验性学科”。仿真系统技术是:“应用数学模型、相应的实用模型的装置、计算机系统、部分实物的仿真系统,对某一给定系统进行数学模拟、半实物模拟、实物模拟,以便分析、设计、研究这种给定系统;或者利用这种仿真训练给定系统的专业人员”。雷诺于 1966 年对仿真(此处意指数学仿真或计算机仿真)的定义为:“仿真是在数字计算机上进行实验的数字化技术,它包括数字或逻辑模型的某些形式,这些模型描述某一事件或经济系统在持续若干周期的特征。”

用仿真系统进行试验,具有经济、安全、不受气候、场地、时间的限制的特殊功效,因此受到各国的重视。例如,美国在 1992 年度提出的 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;由此可看出它的重要性。

各国对科普工作都非常重视,因为它是提高全民素质的一个重要环节,对新兴的仿真系统技术进行科普宣传尤为重要。在中

国系统仿真创建初期,我国大多数人对仿真系统技术了解较少,甚至有人认为仿真是由于将防震误写作仿真的错别字;近来还有人认为仿真是制造假象,现在正强调打假、反假冒伪劣产品,为什么还要提倡仿真系统技术?显然这是一种毋须解释的误会,这正说明对仿真系统技术进行科普宣传的必要性。在系统仿真学报网站上播出的《仿真技术平话》正是这类及时雨式的科普教材,点击率比较高,说明它受到群众的欢迎。同时,本书的出版得到中国科协2003年度科普专项基金的资助,这令科普著作读者极为高兴。

何江华同志对计算机仿真技术造诣深、见识广,其专著《计算机仿真导论》(科学出版社2001年出版)名列畅销榜,2002年参加中国科技期刊图书香港博览会展览,2003年获得中国人民解放军总装备部军事训练优秀教材奖,2004年被全国计算机仿真大奖赛列为首选参考书目(教育部高教司、中国自动化学会、中国计算机用户协会、计算机仿真杂志社等举办,评审委员会主任宋健,电视直播),该同志写一本《计算机仿真技术平话》这样深入浅出、意趣横生的科普读物,自然是水到渠成的事。

《计算机仿真技术平话》是一本深入浅出、开卷有益的科普著作,它的出版必将促进计算机仿真技术的广为传播,并受到读者的欢迎,特别是高等院校学生的欢迎。

文传源

2004年6月6日

前 言

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实验的典型例子;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。”我们在科学研究时也常说“理论理论、实验实验、仿真仿真”。

据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,虚拟现实(Virtual Reality, VR)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、企业等生产第一线发展。随着我国两弹一星、载人航天等高精尖技术的发展,我国已进入世界上少数几个拥有此类技术的国家行列,我国也有望成为世界上仿真技术大国。因此宣传、普及计算机仿真技术是非常必要的。

科学技术的普及与传播是提高全民科学文化素质的重要手段,是国家可持续发展、提高国家综合国力和生产力发展水平的重要保障。为了让公众了解、喜欢仿真技术,让仿真技术走进千家万户,提高公众科技素质,中国人民解放军防化研究院和国防工业出版社合作申请 2003 年度中国科协科普专项基金,并获得批准出版《计算机仿真技术平话》。作者认真听取广大读者和网友的反馈意见

见,并就一些热点难点问题与仿真界的许多专家学者面对面地商讨,根据最新研究进展修改补充,撰写成本书。

特别感谢著名科学家、中国科协周光召主席在百忙之中专门为本书题词“普及仿真技术 促进科技发展”;中国系统仿真学会及系统仿真学报创始人之一、北京航空航天大学文传源教授认真审查书稿并作序;我所毛用泽院士亲自筹划、指导、推荐本书;中国人民解放军总装备部科技委常任委员、防化研究院院长曹保榆少将关心、支持、指导写作。

书中不妥之处,请读者批评指正。

作 者

2004 年 7 月于北京西北郊石鹰头

目 录

第一篇	计算机仿真发展历史	1
第二篇	仿真的定义和分类	5
第三篇	需求牵引、技术推动	12
第四篇	仿真计算机	15
第五篇	仿真软件	23
第六篇	仿真的实现	60
第七篇	仿真系统的作用和意义	65
第八篇	计算机仿真技术的基本理论	70
第九篇	计算机仿真技术的支撑技术	74
第十篇	计算机仿真技术的应用	77
第十一篇	虚拟现实技术	119
第十二篇	进一步学习	140
结 束 语		189
参考文献		191
后 记		192

第一篇 计算机仿真发展历史

仿真模拟方法可以追溯到 1773 年,法国科学家用仿真模拟方法做物理实验。

据最新的统计资料表明,计算机仿真技术是当前应用最广泛的实用技术之一,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。

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。

仿真又称作蒙特卡罗方法,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罗方法使用者是 W. S. Gosset。他在 1908 年以“Student”为笔名发表论文时,使用了蒙特卡罗方法来证明他的 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。尽管蒙特卡罗方



法起源于 1876 年,但是直到约 75 年之后 S. Ulam 和 J. Von Neumann 才将它命名为蒙特卡罗方法。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罗方法所要求的。

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 10 年之后,即约 1965 年才出现。如今被大众称作为仿真的蒙特卡罗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。

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”，计划在 2004 年之前研制出 5 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 名机器的总性能为每秒 16.33 万亿次浮点运算，是 2002 年(每秒 4.6 万亿次浮点运算)的 3.55 倍；第一名机器的 Linpack 性能为每秒 4.148 万亿次浮点运算，是 2002 年(每秒 1.046 万亿次浮点运算)的 3.97 倍；有 10 套系统的峰值达到了每秒 1 万亿次浮点运算以上(2002 年只有 1 套)，并有两套机器的 Linpack 性能达到了每秒 1 万亿次浮点运算以上(2002 年是 1 套) 本届排行榜中机器的平均 Linpack 性能为每秒 196.8 千亿次浮点运算，是 2002 年(每秒 92.07 千亿次浮点运算)的 2.13 倍。

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 10 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



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。或者通过更为广泛的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。

第二篇 仿真的定义和分类

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。

雷诺(T. H. Naylor)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。”

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试验,并借助于专家经验知识、统计数据和信息资料对试验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合性的和试验性的学科。

系统仿真可分为连续系统仿真及离散事件系统仿真。

系统仿真又可分为物理仿真、数学仿真及物理-数学仿真(又称