

优 化 与 决 策

计算机模拟 与决策支持

——从火箭发射问题谈起

赵 玮 著

上海科学技术出版社

优 化 与 决 策

计算机模拟 与决策支持

——从火箭发射问题谈起

赵 玮 著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机模拟与决策支持:从火箭发射问题谈起/赵玮著.
—上海:上海科学技术出版社,2007.10
ISBN 978-7-5323-9028-1

I. 计... II. 赵... III. ①火箭发射—计算机模拟—研究
②火箭发射—决策支持系统—研究 IV. V554-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 110536 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/32 印张 4.625

字数 92 000

2007 年 10 月第 1 版

2007 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

定价:15.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂调换

《优化与决策》丛书编委会

名誉主编 吴文俊 谷超豪

主 编 胡毓达

编 委 (以姓氏笔画为序)

王长钰 王兴华 王则柯 方伟武

石钟慈 史树中 刘源张 李 端

汪寿阳 张连生 陈光亚 茆诗松

姚恩瑜 袁亚湘 顾基发 徐利治

唐国春 章祥荪 越民义 韩继业

管梅谷 魏权龄

序



“人尽其能，物尽其用”，是人类进步的重要标志和社会发展的根本动力。

在现代社会中，小至个人事务的处理，大到国家政策的制定，无不需要人们进行关于“人”和“物”的择优抉择，以求取好的结果。在科技日新月异和经济快速发展的 21 世纪，人们要日益面临各种愈来愈复杂的决策问题，因此，现代优化思想和科学决策知识，已是当今人们普遍需要具备的基本素养。

现代教育提倡对学生进行创新精神和综合能力的素质培养。在我国大中学教育中，让学生们了解某些现代优化方法和进行决策能力培养，也正是素质教育的重要内容。

为了向广大读者普及最优化和科学决策的思想和方法，在中国运筹学会及其决策科学分会、数学规划分会和排序分会，中国系统工程学会，中国数学会计算数学分会以及上海运筹学会的倡议和支持下，我们邀请了在相应领域卓有成就的有关专家，撰写了这套《优化与决策》系列丛书。

这套丛书具有以下特点：

选题实用求新 本丛书的重要特色是内容的实用性。各选题在扩大知识的同时，均注重联系实际结合应用展开讨论。不论是定量或定性的决策问题，进行择优建模和效益分析一般要归为用数量刻画和作数值计算，因此，数学是这套丛书各选题的基本工具。但是，与以往作为中学数学教科书内容补充的科普性数学读

物或抽象的数学专著不同,本丛书强调综合运用数学和有关知识去解决现实中的应用问题。另外,从书的选题既考虑其内容是具代表性的,同时也注意对新领域和某些发展中问题的介绍。

表述浅出深入 本丛书着力于用通俗易懂的方式引导读者掌握现代优化和决策知识。书中特配置了形象的图画以帮助加深读者对内容的理解。我们计划,具有高中数学基础的读者,即可读懂其中的基本内容。但是,为了每一选题的系统性和完整性,也不放弃对一些最基本和著名理论结果的介绍。因此,主要想了解思想方法和借鉴应用手段的读者,阅读时可以略去其中某些理论和证明部分,而不会影响对主要内容的理解。然而,对于具相当数学素养并对理论结果同样有兴趣者,这些较深入的内容对他们是有价值的,其中有些结果即使对于同行学者也将具有重要的参考意义。因此,不同层次的读者,阅读本丛书后均会有所得益。

这套丛书的读者面是多层次和极广泛的,它既适用于各行业管理者,各级行政公务员,广大科技工作者,以及各专业大学生、研究生和教师们阅读,同时也可作为大专和高中学生的选读材料或课外读物。

写作这套既具科普性又基于一定理论分析的现代应用丛书,对于丛书作者是一种新的尝试。本丛书从酝酿组织、确定选题,直至现在与读者见面,曾经历了较长的时间。许国志院士和俞文鰲

教授生前曾积极参与出版本丛书的策划,并热情承担了写作任务,可惜未及如愿。值得一提的是,各位作者对分担撰写选题的内容都进行了精心选择和安排。特别是,许多作者专业造诣精深,但写作科普著作则是第一次,因此在可读性方面曾倾注了许多心血。对于他们的这种认真和奉献精神,谨致以衷心感谢和崇高的敬意!鉴于著述这套丛书对多数作者是一件新的工作,其中难免或有不足之处,期待读者们不吝指正。

最后,我们对吴文俊院士和谷超豪院士关心和支持本丛书的出版,并乐于担任名誉主编致以诚挚的谢忱!同时,感谢上海科学技术出版社对出版这套丛书所作的一系列努力。

胡毓达

2006年9月19日

前言

决策是人类的一种基本活动,科学正确的决策对于任何一个国家、地区、企业及个人都是至关重要的。理性的决策方法通常分为两类,一类是确定性的解析法或数值方法如线性规划、非线性规划、动态规划、多目标最优化、组合优化的方法等;另一类是随机性的方法,如排队论、博弈论、随机规划、随机搜索论的方法等。然而,当代社会的市场竞争日趋激烈,军事对抗日益频繁,且这种竞争和对抗的规模愈来愈大,系统结构愈来愈复杂,竞争与对抗的结局瞬息万变。在这种日趋复杂的环境中,要作出正确有效的决策,若仍然仅仅想依靠以上的理性决策方法将愈来愈困难。于是,一种综合了系统工程、运筹学与计算机科学的新型决策方法与决策工具——计算机模拟与决策支持系统应运而生。

计算机模拟(Computer Simulation, 简记为 CS)又称计算机仿真,是以计算机为工具,对所研究的客观复杂系统的结构和行为进行动态模拟,从而以安全和经济的手段来获取客观复杂系统的有关动态信息,进而通过对这些信息的综合分析来为决策者提供决策支持的一种方法。

由于计算机模拟能够为待考察的实际系统的“运行”提供了一个虚拟的“实验场所”,使得一些实验无法付诸实施或代价昂贵甚至有风险的一些决策问题的研究得到了解决,因而其应用领域不断得到拓展。目前,计算机模拟不仅在工程技术、科学实验、军事

作战方面得到了大量的应用,而且在财政金融甚至社会科学中也得到了广泛的应用。在工程系统中,计算机模拟是系统规划、设计、分析和评价的有力工具。在社会经济分析中,计算机模拟被用来作国民经济预测,经济结构分析,人口、人才、能源的需求预测和规划。在企业管理中,计算机模拟被用来作产品需求预测、确定最优库存量、安排生产计划和拟定发展战略。在军事作战中,计算机模拟则被用来研究陆海空多兵种协同作战对抗中的战略、战术方案的规划和评价以及作战训练。

所谓决策支持系统(Decision Support System, 简称 DSS),就其实质来看,是把各种数据、信息、知识和模型与计算机技术相结合,把决策理论与决策者的经验、主观愿望等结合起来,从而达到决策支持的一种基于计算机的应用系统。它在宏观经济分析、企业管理决策以及工程设计方案生成等领域同样有着广泛应用。

基于计算机模拟与决策支持系统的上述优点,世界各国政府和国防系统都对其给予高度的重视。自 1992 年以来,美国总统办公室和国防部每年所修订和发布的国家关键技术和国防关键技术实施规划中,“计算机模拟(仿真)与建模”和“决策支持系统”一直列入优先发展的“先进技术”之列。在美国,几乎所有的重大科技计划和军事作战,如“阿波罗登月计划”、“星球大战计划”、“海湾战争与伊拉克战争”等,都无一例外地使用了上述技术。现在,中国

政府及各级部门同样给予了高度重视。不仅将其列入优先发展项目之列,而且在航空航天、电子、能源和化工等领域,均已广泛使用了该技术。尤其在运载火箭与洲际导弹发射、宇宙飞船与绕月工程中,都采用了这两项技术。

本书以较为浅显的方式,介绍了计算机模拟和决策支持系统这两个决策科学分支的基本概念、基础理论和一些方法。内容包括:在计算机模拟实施过程中的仿真时钟步进机制,随机事件、随机变量、齐次泊松流的仿真算法,系统仿真概念模型与实验模型的建立方法,以及决策支持系统的分析与设计方法。本书将以应用案例为主线展开,案例涉及火箭发射、库存管理、公园射击游戏、机器看管、建设项目规模设计、企业发展战略等。通过这些学习,读者容易进入计算机模拟和决策支持系统的广阔天地,从而为进一步的学习和应用打下基础。

目 录

前言…… I

1. 火箭发射问题与

计算机模拟……1

2. 动态系统模拟与决策支持……17

3. 生产组织优化决策与模拟……41

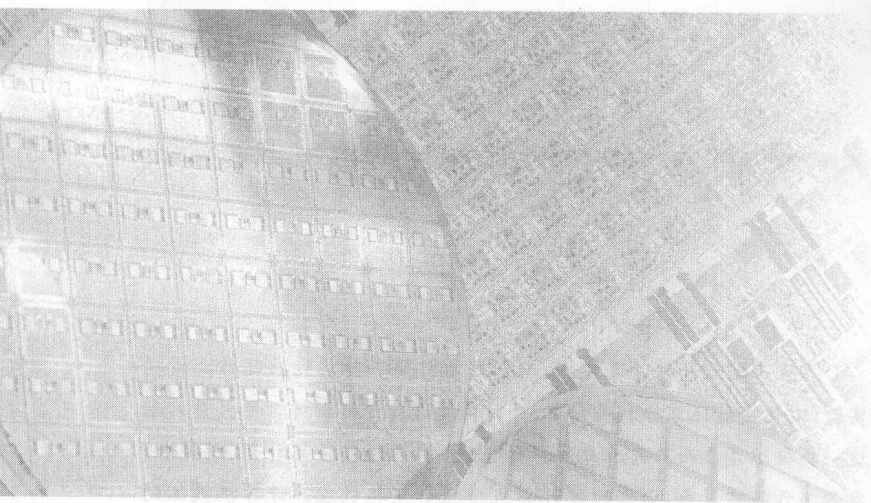
4. 建设项目最优规模设计与模拟……65

5. 企业经营战略的决策支持系统……95

6. 计算机模拟技术展望……121

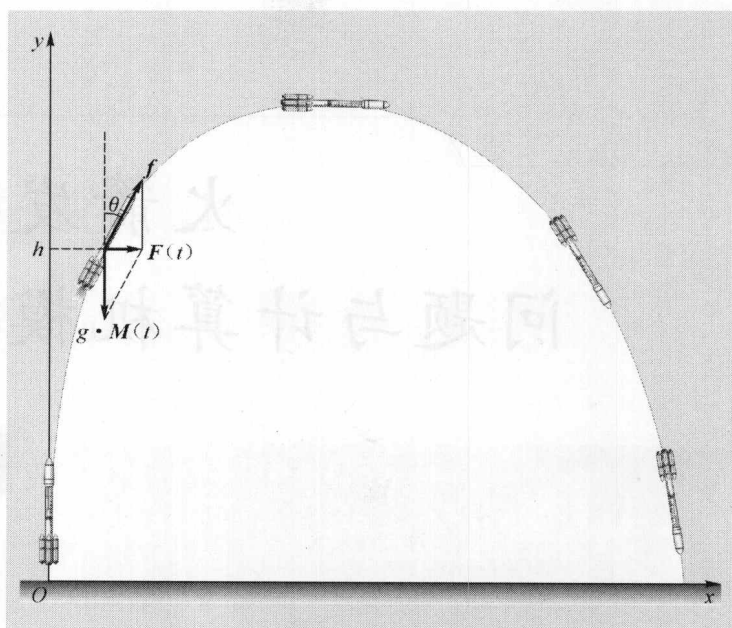
参考文献……131

火箭发射 问题与计算机模拟



同二台各站接收一台计算机管理, 软件由总厂及分厂共同开发, 其功能
能对全厂的生产计划、物料、能源、设备进行控制, 实现生产、

控制



在生产实践和科学研究中,人们经常需要针对实际系统作大量的实验,以便更好地掌握相关知识,并对技能进行严格训练。像火箭发射这一类极端复杂而且具有危险性的系统,相关的训练耗费大、周期长,准备工作非常复杂,更需通过计算机模拟研究其机理。计算机模拟的关键是,通过建模将火箭发射升空、飞行和回归这一全过程各要素之间的相互关系、相互作用、特征和变化规律,转化为计算机能接受的逻辑模型。

建立一个优良的火箭发射的系统模型,需要同时兼顾精确性和简
要性,既要充分反映火箭运行过程的基本特征,同时又要略去次要
部分,集中反映其最值得关注的功能要求。

采用计算机模拟技术对火箭发射事件进行研究,具有良好的
可控性、无破坏性、灵活性、可重复性和经济性等特点,因此可作为
实体发射前的“预演习”。通过成千上万次这样的“预演习”的分析
与经验总结,可为以后的真实发射奠定成功的基础。

火箭发射问题 设有一火箭其质量为 $m_A = 5\,000$ 公斤,燃料
质量 $m_B = 5\,000$ 公斤,起飞总重量 $M = m_A + m_B = 10\,000$ 公斤,
初始时刻竖立在发射台上,点火起飞后垂直向上飞行。燃料消耗
率为 $r = 50$ 公斤/秒,所产生的推动力 $f = 400\,000$ 米·公斤/秒²。
火箭垂直向上飞行 $t_0 = 10$ 秒后,以与铅垂线成夹角 θ 的方向偏转
航向,并继续飞行和消耗燃料。直到燃料耗尽,此时由于推力下降
到 0 而使火箭在地心引力的作用下重返地面。试对此火箭发射方
案中的重要参数 θ 作出设计,以使该火箭在重返地面后,其在水平
线上的发射距离达到预定目标 $S_0 = 1\,800$ 公里。

考虑到计算机模拟是一种实验技术,其本质是对一个复杂动
态系统创造一种在计算机上可以运行的“实验环境”,以便模拟系

统的运行过程,观察系统的状态变量随时间变化的动态规律性,从而推断和估计系统的未知(待决策)的参数和性能测度。针对本问题,可以设计如下一个实验方案:

(1) 对于每一个给定的偏转航向角 θ , 在计算机上进行一次模拟运行实验,并在此实验中每隔一个时间间隔 Δt (称为一个时间长度)来观察和计算火箭的各状态变量的变化,如发射累计路程、加速度、速度、燃料消耗率,直到火箭重返地面为止。然后,求得一个在给定 θ 的前提下的发射距离 $S(\theta)$ 。

(2) 根据人们的直观认识,上述系统在起飞总重量、燃料消耗率、推动力和偏转开始时刻不变的前提下,随着偏转航向角 θ 的不同,发射距离应该有所不同。为此可用经验确定一个 θ 的范围 $\Delta = (\underline{\theta}, \bar{\theta})$ (也可用实验的方法来获得 $\underline{\theta}$ 和 $\bar{\theta}$ 的数值),然后对于每一个给定的 $\theta \in \Delta$, 让其在计算机环境下模拟实验一次,并在 Δ 范围内不断变动 θ 直到满足发射距离 $S(\theta)$ 与预定目标 S_0 的差距达到预定精度 ϵ 为止,即使其满足不等式 $|S(\theta) - S_0| < \epsilon = 10^{-3}$ 公里。显然,这样的穷举实验,在真实情况下是不可能做到的,因为每一个火箭的生产不仅价值昂贵,而且将耗费大量的人力、物力和时间。但是,在计算机的环境下,这样的模拟实验则是易于完成的。

(3) 根据决策问题的描述得知:在每一次计算机环境下的模拟实验中,火箭系统的状态通常分成三个阶段:第一阶段为点火后垂直向上飞行,第二阶段为偏转航向 θ 角后继续在推力作用下飞行,第三阶段为燃料耗尽,火箭失去向前推力,受地心引力作用重返地面的抛物线飞行。而在每一个阶段内其系统的状态变化是类同的。在每一次模拟实验飞行中,也可以将其系统的状态变化过程分成三个阶段来分别加以考察。

系统仿真的概念模型和实验模型 为了描述真实的火箭发射

过程中每个“动作”的功能内涵及其相互关联,常用一系列的“方框”构成的逻辑流程图来表达。其中,每一方框内均用文字来描述该方框对应“动作”的基本内容,而各方框之间则用一些箭头衔接起来以表述各个“动作”的先后执行顺序。这样的“方框逻辑流程图”在计算机科学中常称为系统仿真的概念模型。

由此可知,所谓系统仿真的概念模型,实质上是人们对真实系统结构、功能和活动的一种粗略认识和定性描述。根据上述系统分析中对火箭发射过程中的三个阶段的划分,容易建立火箭发射系统决策问题的系统仿真概念模型 I (如图 1.1)。模型 I 虽然用逻辑流程图的形式较为准确地定性描述了该火箭系统的发射过程及其状态特性,但从程序设计的角度来看,它表述得不够简洁,尚有一些“重复动作”。例如图 1.1 中的框 2、框 14、框 15 描述的是同一功能:“时间前进一个步长单位”,而框 3、框 6、框 9 中也反映了同一功能内容:“分析计算火箭的飞行速度、加速度、累计飞行路程和燃料消耗变化”。因此,在模型 I 的基础上加以适当修改,以使模型中的多次重复的功能内容删除掉,从而得到了如图 1.2 所示的仿真概念模型 II。然而,这样的模型仍然无法在计算机上作模拟运行实验,这是由于模型中的每一个“动作”(由一个方框构成)的内涵是用文字来表述,而数字计算机只能作数值计算和逻辑运算。基于上述原因,为使这一问题获得求解,还必须将仿真概念模型中的每一“动作”的文字描述转换成代数表达式和逻辑判断式,这就是由仿真概念模型转换成仿真实验模型的过程。

所谓系统仿真的实验模型,也是由一系列方框和箭头构成的逻辑流程图来描述的框图。不同的是每一方框中的“动作”不是用文字描述,而是用具有工程经济含义的一些决策变量、中间变量间的代数表达式与逻辑判断式组成。为解决图 1.2 中各“动作”的转

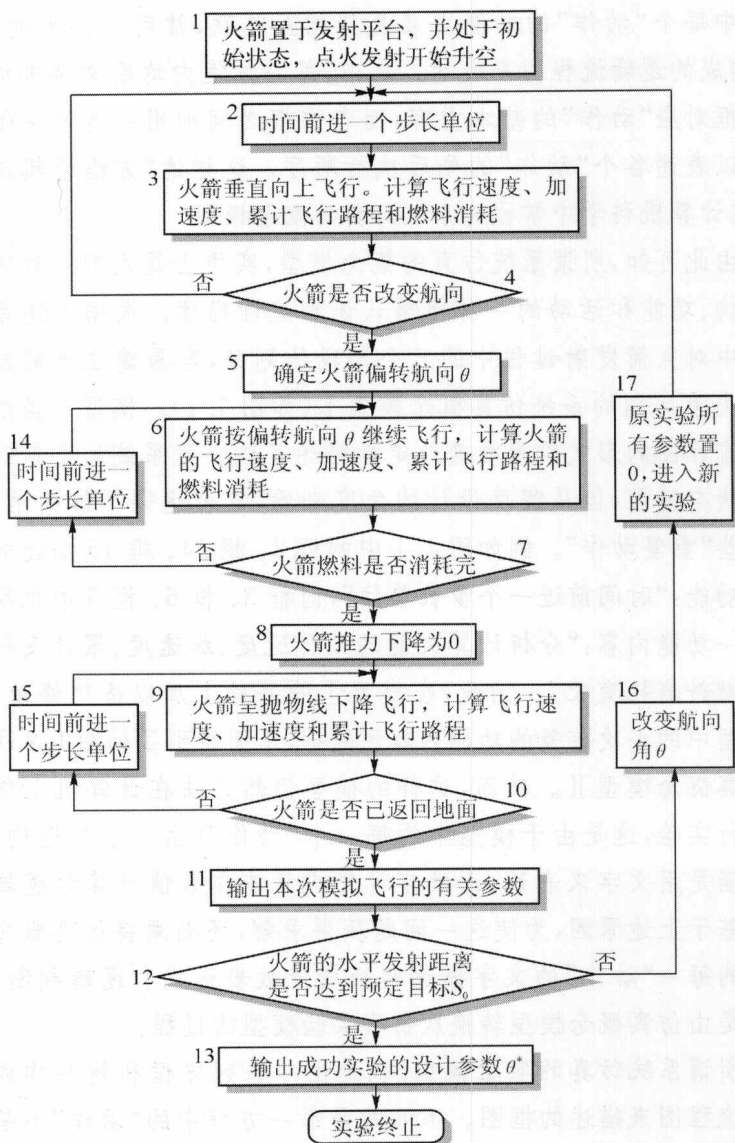


图 1.1 仿真概念模型 I