

王国玉 肖顺平 汪连栋

电子系统建模 仿真与评估



国防科技大学出版社

P391.9

W20

457529

电子系统建模仿真与评估

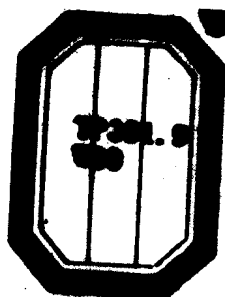
王国玉 肖顺平 汪连栋 编著



5



00457529



国防科技大学出版社

· 湖南长沙 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

JS/33/06

电子系统建模仿真与评估/王国玉等编著. —长沙: 国防科技大学出版社, 1999. 9

ISBN 7-81024-569-4

I. 电… I. 王… II. ①系统仿真②系统仿真—评估
N. TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 32593 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4555681 邮政编码: 410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑: 卢天颢 责任校对: 张 静

新华书店总店北京发行所经销

湖南大学印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张: 11 字数: 276 千

1999 年 9 月第 1 版 2000 年 4 月第 2 次印刷 印数: 1001—3000 册

*

定价: 17.00 元

内容简介

本书介绍了系统仿真的基本概念以及电子系统建模、仿真与评估的基本原理、内容和方法。主要包括：系统仿真基本概念，蒙特卡罗方法，连续系统与离散事件仿真，电子侦察系统建模仿真，雷达与雷达对抗系统功能仿真与视频信号仿真以及雷达与雷达对抗系统干扰/抗干扰性能评估等。

书中结合作者应用研究，给出了电子系统建模仿真的主要方法、仿真模型和部分仿真试验结果。

本书可作为本科生和研究生进行有关课题研究或课程学习时的参考书，也可供电子系统分析研究、研制与试验评估以及系统仿真等领域的科研试验人员和工程技术人员参阅。

前 言

系统仿真就是利用系统模型做试验，通过仿真模型的建立与试验，对已存在或正在设计的系统的本质特性进行分析研究，可获得极大的技术效果和经济效益。40多年来，伴随着现代计算机技术的迅猛发展，利用计算机作为仿真建模与仿真试验工具的计算机仿真技术在科学研究领域和工程技术领域得到了广泛的普及与应用。

在国防科技领域，计算机仿真技术已成为军用电子系统、导弹武器系统、航空航天工程等研制与试验中的先导技术，没有仿真技术的支持，重大国防工程和武器装备的发展就不可能像今天这样如此迅速。仿真技术已是追求“投资少、效率高、技术好”这一理想目标的重要手段，它使军事装备的研制、试验、训练与使用方法产生了巨大的变革。

随着科学技术的飞跃发展，系统仿真已逐渐成为内容十分丰富的既独立于理论研究、实验研究又与各相关领域基本理论与技术紧密相联的基本的科学活动。

本书根据国防科技大学通信与电子系统专业研究生选修课程“电子系统建模、仿真与评估”的教学大纲、教学计划，在有关讲义和教案的基础上编写而成。

本书介绍了系统仿真的基本概念以及电子系统建模、仿真与评估的基本原理、内容和方法。主要内容包括：系统仿真基本概念，蒙特卡罗方法，连续系统与离散事件仿真，电子侦察系统建模仿真，雷达与雷达对抗系统功能仿真与视频信号仿真以及雷达与雷达对抗系统干扰/抗干扰性能评估等。

书中结合作者的应用研究,给出了电子系统建模仿真的主要方法、仿真模型和部分仿真试验结果。

本书分三部分,共七章。

第一、二、三章为第一部分。主要介绍系统仿真基本概念、内容与方法。第一章主要介绍系统、系统模型与系统仿真的基本概念以及计算机仿真技术的应用与发展。第二章介绍了蒙特卡罗方法、随机数的产生与检验、随机变量的产生和概率密度函数的估计。第三章介绍连续系统仿真和离散事件仿真的基本概念、内容与方法。

第四、五、六章为第二部分。主要介绍几种典型的电子系统仿真建模方法、仿真模型和部分仿真结果。第四章介绍空间电磁环境、电子侦察系统信号处理及干涉被动定位系统精度的建模仿真研究与分析方法。第五章介绍雷达与雷达对抗系统功能仿真的概念与方法,并以多功能相控阵雷达为例全面介绍干扰/抗干扰功能仿真的模型,同时给出了部分仿真试验结果,本章还介绍了同类雷达组网系统分布式检测性能的功能仿真方法、模型与部分仿真计算结果。第六章主要介绍雷达与雷达对抗系统视频信号仿真的原理与方法,同样以多功能相控阵雷达为例全面介绍了各种仿真模型及部分仿真试验结果。

第七章为第三部分。主要介绍对雷达的压制性干扰和欺骗性干扰的干扰效果评估准则与方法,以及雷达抗压制性干扰和欺骗性干扰的抗干扰效果评估准则与方法。

本书计划学时为 50 学时,也可根据情况选讲。重点是概念、方法与应用,特别是将系统仿真的基本方法运用到各有关研究课题的分析研究中,开拓思路、举一反三。

王国玉同志统编了全书共七章的内容,肖顺平、汪连栋同志分别对全书的内容进行增删、修改、整理和校对。

本书第一、二、三章中引用了参考文献 [1] ~ [13] 中部分

段节、图表与例子。第四章引用了吕晓雯同志和周一宇同志的研究成果。第七章中引用了参考文献 [50] ~ [63] 中的部分研究成果。蒋兴才、刘佳琪、陆伟宁、聂孝亮、杨锁昌、马剑武等同志参加了部分数学模型的研讨、编程调试和结果分析等工作，鲜明、李晓辉、李彦朋等同志参加了整理、校对工作，编者在此一致致谢。

由于本书内容涉及面广，有些问题尚待进一步深入研究，作者旨在抛砖引玉，书中定有错漏之处，恳请读者批评指正。

编者

1999 年 6 月 16 日于洛阳

目 录

第一章 系统仿真概论

§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 系统、系统模型与系统仿真	(2)
1.2.1 系统	(2)
1.2.2 系统模型	(5)
1.2.3 系统仿真	(10)
§ 1.3 计算机仿真技术的应用与发展	(19)
1.3.1 计算机仿真技术的应用	(19)
1.3.2 军用计算机仿真技术的应用	(21)
1.3.3 计算机仿真的局限性	(25)
1.3.4 计算机仿真技术的发展	(26)

第二章 蒙特卡罗方法和随机变量的产生

§ 2.1 蒙特卡罗方法	(32)
2.1.1 蒙特卡罗方法的基本思想	(32)
2.1.2 蒙特卡罗方法的概率收敛性	(36)
2.1.3 仿真与蒙特卡罗仿真	(37)
2.1.4 用蒙特卡罗方法求定积分	(37)
2.1.5 雷达检测的蒙特卡罗仿真	(42)
2.1.6 蒙特卡罗方法与计算机仿真的比较	(46)
§ 2.2 随机数的产生和检验	(47)

2.2.1	随机数性质及其产生方法	(47)
2.2.2	随机数检验	(54)
§ 2.3	随机变量的产生	(65)
2.3.1	逆变换法	(65)
2.3.2	组合法	(72)
2.3.3	剔除法	(77)
2.3.4	函数变换法	(81)
2.3.5	近似法	(85)
§ 2.4	相关随机变量的产生	(86)
2.4.1	逆变换法	(86)
2.4.2	正态相关序列的产生	(89)
2.4.3	通过滤波产生相关序列的方法	(91)
§ 2.5	概率密度函数的估计	(95)
2.5.1	点统计量估计	(96)
2.5.2	直方图估计法	(97)
2.5.3	曲线拟合法	(101)

第三章 连续系统仿真与离散事件系统仿真

§ 3.1	连续系统仿真	(105)
3.1.1	概述	(105)
3.1.2	连续系统的数学模型	(106)
3.1.3	数值积分法连续系统仿真	(115)
3.1.4	连续系统离散化仿真	(133)
§ 3.2	离散事件系统仿真	(143)
3.2.1	概述	(143)
3.2.2	典型的离散事件系统——排队系统	(148)
3.2.3	离散事件系统分析——一个简单例子	(156)

第四章 空间电子侦察定位系统建模仿真

§ 4.1 空间电磁环境计算机仿真	(168)
4.1.1 地面雷达数据库的建立	(168)
4.1.2 部分仿真模型	(171)
4.1.3 仿真软件模块结构及模块功能说明	(172)
4.1.4 部分仿真试验研究结果	(174)
§ 4.2 电子侦察系统信号处理能力建模仿真	(177)
4.2.1 引言	(177)
4.2.2 仿真方法及建模	(177)
4.2.3 雷达侦察系统方案仿真举例	(182)
§ 4.3 星载相位干涉仪对辐射源的定位精度分析仿真 ...	(187)
4.3.1 引言	(187)
4.3.2 定位误差分析原理	(187)
4.3.3 定位分析几何模型	(188)
4.3.4 定位误差分析	(190)
4.3.5 仿真与计算结果	(194)
4.3.6 结论	(195)

第五章 雷达与雷达对抗系统功能仿真

§ 5.1 引言	(196)
§ 5.2 多功能相控阵雷达干扰/抗干扰功能仿真	(199)
§ 5.3 多功能相控阵雷达干扰/抗干扰功能仿真 主要数学模型	(200)
5.3.1 雷达回波信号功率	(200)
5.3.2 噪声和干扰功率	(202)
5.3.3 杂波功率	(211)
5.3.4 综合信噪比	(215)

5.3.5	几种抗干扰措施的考虑	(215)
5.3.6	大气损耗	(219)
§ 5.4	仿真程序设计及部分仿真运行结果简析	(225)
5.4.1	仿真程序设计	(225)
5.4.2	部分仿真运行结果简析	(225)
§ 5.5	组网雷达系统分布式检测性能的功能仿真	(230)
5.5.1	引言	(230)
5.5.2	雷达组网技术及布站方式	(230)
5.5.3	系统结构模型及性能分析	(231)
5.5.4	雷达网分布式检测数学模型	(236)
5.5.5	功能仿真计算结果及结果简析	(243)

第六章 雷达与雷达对抗系统相干视频信号仿真

§ 6.1	相干视频信号仿真	(248)
§ 6.2	电子战条件下雷达接收信号模型	(253)
6.2.1	雷达发射信号模型	(253)
6.2.2	雷达接收信号模型	(254)
6.2.3	目标回波信号模型	(254)
6.2.4	杂波信号模型	(255)
6.2.5	干扰信号模型	(256)
6.2.6	噪声信号模型	(262)
§ 6.3	多功能相控阵雷达的相控阵天线仿真模型	(263)
6.3.1	平面相控阵天线方向图	(263)
6.3.2	平面相控阵天线的阵因子	(264)
6.3.3	相控阵天线波束控制仿真数学模型	(266)
§ 6.4	雷达搜索跟踪与信号处理模型	(268)
6.4.1	搜索通道仿真等效处理模块	(269)
6.4.2	初始跟踪处理	(270)

6.4.3	精确跟踪(跟踪保持)处理	(271)
6.4.4	目标失踪处理	(277)
§ 6.5	电子干扰与多功能相控阵雷达对抗/反对抗相干视频 仿真试验结果简析	(277)
6.5.1	仿真的条件和目的	(278)
6.5.2	无干扰条件下雷达搜索检测和捕获跟踪性能的部分 仿真试验	(278)
6.5.3	宽带阻塞式干扰对雷达搜索检测和捕获跟踪性能 影响的部分仿真试验	(280)

第七章 雷达与雷达对抗系统干扰 /抗干扰性能评估

§ 7.1	引言	(287)
§ 7.2	雷达压制性干扰效果评估准则和方法	(288)
7.2.1	信息准则	(289)
7.2.2	功率准则	(290)
7.2.3	战术运用准则	(293)
7.2.4	隐身技术的效果度量	(299)
§ 7.3	雷达欺骗性干扰效果评估准则和方法	(300)
7.3.1	截获概率 P_{j1}	(301)
7.3.2	识别概率 P_{j2}	(302)
7.3.3	模拟概率 P_{j3}	(303)
7.3.4	雷达空域处理系统识别假信号的概率 P_{r1}	(304)
7.3.5	雷达射域处理系统识别假信号的概率 P_{r2}	(304)
7.3.6	雷达有效抗干扰的概率 P_{r3}	(305)
§ 7.4	雷达抗压制性干扰效果评估准则和方法	(307)
7.4.1	抗干扰改善因子	(307)

7.4.2	雷达相对烧穿距离	(310)
7.4.3	综合抗干扰能力的度量与评估	(312)
7.4.4	雷达抗干扰品质因素 Q_{ECCM}	(317)
§ 7.5	雷达抗欺骗效果评估方法	(320)
7.5.1	雷达抗欺骗性干扰概率	(320)
7.5.2	抗欺骗性干扰措施有效概率的估算	(321)
7.5.3	举例	(325)
主要参考文献		(328)
附表		(333)

第一章 系统仿真概论

§ 1.1 引言

系统仿真,简言之,就是进行模型试验,它是指通过系统模型的试验去研究一个已经存在的或正在设计中的系统的过程。

要实现仿真,首先要寻找一个实际系统的“替身”,这个“替身”称为模型。它不是原型的复现,而是按研究的侧重面或实际需要系统,进行简化提炼,以利于研究者抓住问题的本质或主要矛盾。

这种建立在模型系统上的试验技术称为仿真技术或称之为模拟技术。

系统仿真是近 30 年发展起来的一门综合性很强的新兴技术学科,它涉及到各相关专业理论与技术诸如系统分析、控制理论、计算方法和计算机技术等。当在实际系统上进行试验研究比较困难甚至无法实现时,仿真技术就成了十分重要,甚至是必不可少的工具,它在现代科研、生产和教育训练等方面发挥了重大作用,应用十分广阔。

随着数字计算机硬件与软件的发展,从 20 世纪 70 年代开始,数字计算机仿真也迅速发展起来。数字计算机仿真的特点是精度高、重复性好、通用性强、价格便宜。至今已发展了许多计算机仿真程序包和仿真语言,使用起来特别方便。因此,仿真技术在生产管理、工程技术、军事研究、科学试验、国民经济、重大决策以及在社会学和自然科学等领域内得到了广泛的应用,其效果是十分显著的,特别是在重大国防武器系统研制或关键技术研究,仿真技

技术水平的高低直接关系到它们的先进性、研制周期、经费开销,甚至关系到所研系统的成败。

在计算机出现以前,人们只采用物理仿真,那时的仿真技术附属在其它有关学科之中。随着计算机的发展,在仿真领域中提出了大量共同性的理论、方法和技术问题,致使仿真逐渐形成一门独立的学科。

本章主要说明有关系统、系统模型、系统仿真的一些基本概念以及系统仿真的基本步骤,以使读者对系统仿真有一个基本的了解。

§ 1.2 系统、系统模型与系统仿真

1.2.1 系 统

一、系统的概念

“系统”一词含义广泛,很难用简明扼要的文字准确地定义,它泛指自然界的一切现象和过程。一个系统是指自然界存在着的由若干个相互作用和依赖的事物组合而成的具有特定功能并按一定规律运动着的整体。

系统的范围很广,可谓包罗万象,大地、山川、河流、海洋、森林和生物组成了一个相互依存、制约且不断运动又保持平衡状态的整体,这就是自然系统。又如图 1-1 所示简单 RLC 电路系统,它由电容、电感、电阻和激励组成,是一个简单而又典型的电路系统。

上述两个例子中,前一个系统是自然系统,它是人类在长期的生产劳动和社会实践中逐渐认识世界而形成的,又称为非工程系统;而图 1-1 所示的系统是人们根据某种需要,实现预定功能而构成的系统,这类系统称为人造系统,又称之为工程系统。本书侧重于工程系统。

任何系统都存在三个方面需要研究的内容,即实体、属性和活动。

实体——组成系统的具体对象;

属性——实体所具有的每一种有效特性(状态和参数);

活动——系统内对象随时间推移而发生的状态变化。

例如,图1-1中系统的实体是:电阻 R ,电感 L ,电容 C 和激励 $e(t)$ 。

系统属性是:电荷 q ,电流 $\frac{dq}{dt}$,激励 $e(t)$, $L, R, \frac{1}{C}$ 的量。

系统活动是:电振荡(随时间变化)。

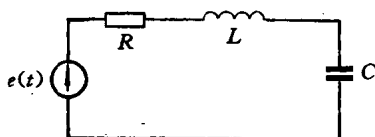


图1-1 RLC电路系统

二、系统的特性

1. 系统是实体的集合

一个工程系统一般应由两个或两个以上的有效环节组成。系统的各个组成部分既具有一定的相对独立性,又相互联系构成一个整体,如图1-1所示的简单电路系统就是由一些独立元器件按一定规律连接起来的系统。

2. 组成系统的实体相互关联

要使一个系统有效地按照预定目标完成任务,它的各环节或者各子系统之间就必须相互联系、相互作用。这种联系和作用可能表现为某一个子系统从其它子系统接受输入,从而产生有用的输出作用,该子系统的输出又可能是另一子系统或环节的输入。系统的关联性表现为每个环节之间的信息流动和信息反馈作用,图1-1所示的简单电路系统可以清楚地表明这一点。

3. 系统要按预定的目的运行

设计或者综合一个系统,是为了实现预定的目的,也就是系统

具有目的性,一个系统的目的性表现为两个方面:一是系统要完成特定的功能;二是在完成基本功能的同时要使系统达到最优化。

三、系统的边界和环境

系统并不是孤立的,总是在某一个环境中工作。而环境的变化有可能影响系统的性能,系统也会产生一些作用,使系统之外的物体发生变化。因此明确地识别系统的边界和环境是很重要的。

系统的边界包围了所研究对象的所有部件。位于系统边界(可能是物理的或概念的)以外的那些部件以及能够在系统特性上施加某些重要影响的因素(但不能从系统内部控制这些影响)构成了系统的环境。系统边界的确定,需要根据所研究的目标才能确定哪些属于系统的内部因素,哪些属于系统的外界环境。例如,工厂系统,如果所研究的目标是用户订货量、原材料供应量以及工厂输出产品之间的关系,那么该系统只要包含管理部门、原材料仓库、生产车间等组成部分就可以了。如果研究目标要增加,比如还要包括产品销售这一环节,那么系统就需要相应地扩大到包括商店的仓库、销售部门。因此,系统的边界并不是固定不变的,它要根据所研究的目标来确定。

根据研究的对象与目的的不同,系统可大、可小。系统本身是由相互作用的子系统构成的,子系统又可由更低一级的子系统构成,这就是所谓的系统等级结构。

四、系统类型

系统的分类方法很多,分类的实质是从不同的角度判定系统所属类型。现将几种常用系统分类概述如下。

1. 静态和动态系统

静态系统是被视为相对不变的,如处于平衡状态下的一根梁,若无外界的干扰,则其平衡力是一个静态系统。系统的状态可改变时称之为动态系统。如一个处于工作运行状态的计算机系统可以看成为一个系统,它的硬件由处理机、存储器、接口电路、外围设备