

现代电子信息工程理论与技术丛书

Modelling and Simulation
of Radar Systems

雷达系统建模与仿真

Modelling and Simulation
of Radar Systems

杨万海 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

现代电子信息工程理论与技术丛书

雷达系统建模与仿真

杨万海 编著

西安电子科技大学出版社

· 2007

内 容 简 介

本书从雷达系统研究与设计的角度,介绍了雷达系统仿真的基本概念、基本原理和基本方法与技术。

全书共分9章,第1章介绍了系统仿真概述,第2~9章分别介绍了随机事件仿真基础——均匀分布随机数的产生与检验,统计试验法概述,目标与杂波模型,随机变量的仿真,相关雷达杂波的仿真,雷达系统模型,重要抽样技术,基于 Simulink 的雷达仿真。

本书是为从事雷达研究与设计领域的工程技术人员编写的,也可作为电子信息类专业雷达仿真方面的教材和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

雷达系统建模与仿真/杨万海编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2007.1
(现代电子信息工程理论与技术丛书)

ISBN 7 - 5606 - 1728 - X

I. 雷… II. 杨… III. ① 雷达—系统建模 ② 雷达—系统仿真 IV. TN955
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 116526 号

策 划 臧延新

责任编辑 杨宗周

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2007年1月第1版 2007年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 17.625

字 数 411千字

印 数 1~4000册

定 价 26.00元

ISBN 7 - 5606 - 1728 - X/TN · 0348

XDUP 2020001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

欢迎选购西安电子科技大学出版社工程应用类图书

程序员考试辅导	40.00	TCP/IP 协议与网络编程	30.00
网络管理员考试辅导	30.00	网络技术	25.00
软件设计师考试辅导	45.00	网络原理与开发	27.00
数据库系统工程师考试辅导	50.00	SDH 网络管理系统维护基础	30.00
网络工程师考试辅导	35.00	PC 计算机测控技术及应用	21.00
网络工程师考试试题分类详解	37.00	FPGA 设计及应用 (含光盘)	30.00
软件设计师考试试题分类详解	40.00	基于 FPGA 的嵌入式系统设计	35.00
多媒体应用设计师考试辅导	40.00	MPC860/850 嵌入式系统开发入门与指导	33.00
程序员考试历年试题分析与解答	22.00	Cold Fire 嵌入式系统设计	27.00
网络管理员考试历年试题分析与解答	20.00	ARM 嵌入式系统设计与实践	25.00
软件设计师考试历年试题分析与解答	26.00	Linux 操作系统结构分析	40.00
网络工程师考试历年试题分析与解答	23.00	微型计算机嵌入式系统设计	34.00
数字 IC 系统设计	22.00	NiosII 嵌入式处理器亚太区设计赛	
系统安全工程能力成熟度模型		2005 年优秀作品精选集	32.00
(SSE-CMM) 及其应用	18.00	SOPC 设计基础与实践 (含光盘)	39.00
C/C++ 语言硬件程序设计		TMS320 5000 系列 DSP 汇编语言程序设计	30.00
——基于 TM320C5000 系列 DSPs	22.00	TMS320 C54X DSP 原理及应用	29.00
模糊聚类分析及其应用	21.00	USB 接口技术	25.00
集成稳压器使用指南与应用电路	35.00	USB 接口开发技术	30.00
新型集成电路使用手册及应用实例	43.50	Verilog HDL 数字系统设计及其应用	25.00
新型集成电路简明手册及典型应用 (上)	55.00	VHDL 与复杂数字系统设计	29.00
新型集成电路简明手册及典型应用 (下)	52.00	基于 Verilog 的 FPGA 设计基础	35.00
专用集成电路设计基础	29.00	VHDL 硬件描述语言	
电路设计与制版——Protel DXP 实用教程	27.00	与数字逻辑电路设计 (修订版)	20.00
DC/DC 变换器集成电路及应用		CPLD 技术及应用	25.00
——降压式 DC/DC 变换器	38.00	PCI 局部总线及其应用	29.00
DC/DC 变换器集成电路及应用		实时信号处理系统设计	25.00
——升压式 DC/DC 变换器	39.00	高性能 DSP 与高速实时信号处理 (第二版)	35.00
现代电子电路应用基础	32.00	DSP 接口电路设计与编程	24.00
电子标签原理与应用 (含光盘)	36.00	DSP 程序开发	
弱电系统综合布线	18.00	——MATLAB 调试及直接目标代码生成	37.00
综合布线系统方案设计	30.00	IEEE-1394 (Fire Wire) 系统原理与应用技术	22.00
基于现场总线 Device Net		IEEE 1394 协议及接口设计	45.00
的智能设备开发指南	22.00	IC 设计基础	32.00
工程电磁兼容性	19.00	IP 电话终端设备——原理、电路及应用	22.00
无线局域网 (WLAN)		Multisim 2001 与电子技术仿真实验	20.00
——原理、技术与应用	55.00	数字水印技术	20.00

高性能 SoC 模拟信号处理单片机		用 ISP 器件设计现代电路与系统	26.00
MSC1210 原理与开发应用	21.00	PLD 与数字系统设计	25.00
新型单片机接口器件与技术	34.00	EDA 技术入门与提高	25.00
单片机系统设计及工程应用	26.00	OPNET Modeller 网络建模与仿真	30.00
单片机数据通信技术从入门到精通	27.00	Pro/ENGINEER 建模实例及快速成型技术	25.00
流行单片机实用子程序及应用实例	18.00	现代测试技术及应用	33.00
单片机原理及实用技术:		短信与 BREW 开发技术及实践 (含光盘)	42.00
凌阳 16 位单片机原理及应用	30.00	OrCAD/Pspice 9 实用教程	31.00
电子电路 CAD 技术		语音编码	24.00
(基于 ORCAD9.2 版, 含光盘)	29.00	变速率语音编码	34.00
PWM 控制与驱动器使用指南及应用电路		地理信息系统及其应用 (含光盘)	32.00
——单端控制与驱动器部分	28.00	知识元挖掘	25.00
——双端控制与驱动器部分	30.00	MATLAB 基础与编程入门	23.00
——SPWM、PPC 和 IGB 控制与驱动器部分	39.00	MATLAB7.X 程序设计语言 (第二版)	30.00
开关稳压电源		MATLAB 外部接口编程	20.00
——原理设计及实用电路 (修订版)	19.00	MATLAB 应用程序集成与发布	30.00
数据采集与分析技术	30.00	MATLAB 辅助模糊系统设计	22.00
组态软件设计与开发	28.00	Simulink 建模与仿真	24.00
软件质量工程	18.00	Simulink 动态系统建模与仿真基础	26.00
便携式电子设备电源管理技术	39.00	MATLAB 遗传算法工具箱及应用	26.00
智能传感器系统	35.00	MATLAB 辅助现代工程数学信号处理	24.00
传感器与检测技术	45.00	MATLAB 应用图象处理	22.00
传感器简明手册及应用电路		MATLAB 小波分析高级技术	26.00
——温度传感器分册 (上册)	36.00	MATLAB 及其在理工课程中的应用指南	
——温度传感器分册 (下册)	35.00	(第二版)	20.00
网络对抗原理	42.00	基于 MATLAB6.X 的系统分析与设计	
天线理论与技术	30.00	——神经网络 (第二版)	20.00
无线电抗干扰通信原理及应用	32.00	——时频分析	20.00
通信光缆线路工程与维护	30.00	基于 MATLAB7.X 的系统分析与设计	
图像通信	36.00	——信号处理 (第二版)	34.00
卫星光通信导论	13.00	——控制系统 (第二版)	22.00
电磁场并行计算	22.00	基于 MATLAB 的系统分析与设计	
数据压缩	30.00	——小波分析 (第二版)	27.00
智能仪器与数据采集系统中的新器件及应用	26.00	——模糊系统	14.00

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 汇款单上务必写清收书人姓名、地址、邮编、电话。款到后我社将挂号发书, 加收5元包装邮寄费 (一次购书30元以上者可免收邮费)。

通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部 邮 编: 710071

电 话: (029) 88201467 传 真: (029) 88213675

主 页: <http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfbx@pub.xaonline.com

序

西安电子科技大学出版社一直把视角的焦点放在电子信息领域的最新发展和对于生产的应用方面。针对当前新经济时代,信息化水平已成为衡量我国现代化程度和综合国力的主要标志,现在出版“现代电子信息工程理论与技术丛书”,显然是一个十分恰当的时机。这套丛书的主要对象是从事电子信息领域研究和开发的科技工作者、工程师、在读的研究生,以及希望了解该领域发展的各类相关人员。因此本套丛书的重点不在于艰深的理论探讨,而是力求理论联系实际,揭示新应用,发展新领域。总之,我们希望通过这套丛书能帮助读者对电子信息领域的总体、全貌和发展趋势有所了解。

西安电子科技大学出版社一直以电子信息领域的热心读者作为自己的服务对象。这套丛书的好与坏,起的作用大与小都要靠每一位读者来检验。因此在成立编委会和着手编辑这套丛书的时候,我们对读者的对象、读者的需求和读者的兴趣做了多方面的设想。为了使多方面的读者都有所收获,我们力求把每本书每个章节都做到简单明了、深入浅出;每本书都是读者了解电子信息领域的忠实“导游”;每本书都是作者与读者交换思想和促膝谈心的最佳机会。

西安电子科技大学出版社一直有着广泛且相对联系紧密的作者群,他们大多是熟悉电子信息领域发展的一线专家,其中不乏是该领域的知名学者、教授,正是由于这么一个群体,使我们有信心把这套丛书的学术水平和实用价值提到一个新的水平。

尽管如此,这套丛书的编撰还是新的尝试,作者和编辑们缺乏经验,加之本领域发展十分迅速,使我们难于全面把握。衷心希望每一位读者都作为这套丛书的实践检验者,你们的每一条意见,将是丛书提高的重要依据。

丛书编委会

现代电子信息工程理论与技术丛书编委会

主 任：保 铮

副主任：梁昌洪 杨万海 焦李成

委 员：（以姓氏笔画排序）

史小卫	孙肖子	许录平	刘贵忠
李玉山	杨绍全	吴顺君	赵亦工
赵国庆	赵荣椿	姬红兵	殷勤业
龚书喜	黄建国	焦永昌	谢维信
褚庆昕	廖桂生	樊来耀	

前言

系统仿真是一门伴随着科学技术,特别是电子数字计算机的发展而发展起来的新兴技术,它推动了很多学科的发展。对那些非常庞大而又非常复杂的系统或难于求出数学解的诸多领域,系统仿真技术具有良好的应用前景。

过去,我们说对一个系统进行研究,首先想到的是系统分析、系统综合与设计。我们知道,系统分析是在已知系统结构、参数的情况下,研究系统本身的特性及其对系统输出的影响。而系统综合与设计正好和系统分析相反,它是在给定系统特性的情况下,寻求系统结构及其参数,甚至包括系统寻优。对雷达系统也是如此,首先是理论上的设计,然后用硬件实现,可能要经过多次反复、修改,才能定型,人力、物力花费很大。当前,在雷达系统的研究与设计方面又增加了一种新的手段,这就是雷达系统仿真。通过系统仿真既可以对雷达系统进行系统分析,也可以对其进行综合与设计。实际上,在20世纪80年代以后,世界上某些科学技术比较发达的国家已经利用仿真技术对雷达系统进行研究与设计。

雷达仿真技术在雷达系统的研制中有着非常重要的地位。在雷达系统的研究与开发中,利用仿真技术可以确定系统设计方案;对给定的雷达系统进行性能评估;寻求新的雷达体制;寻求最佳雷达波形;寻求更好的信号处理技术;寻求抗各种有源和无源干扰的方法等等。以上这些都可以通过仿真得到验证。应当说,雷达仿真技术是一种能够节约大量人力和物力资源,缩短研制周期,解决设计中的某些难题和推动雷达技术发展的非常有效的方法与手段。

本书注重仿真的基本理论、基本技术和基本方法的介绍,所给出的例子尽管比较简单,但易于举一反三。本书注重知识的系统性,力图使读者建立一个完整的全新的雷达系统研究与设计概念。本书以雷达物理系统为核心,将内容基本分为三个部分,其一是雷达系统的输入,除了有用信号之外,还包括具有不同分布特性的雷达噪声、杂波、干扰及其产生方法,其中包括独立的、相关的,相干的和非相干的各种杂波环境。其二是雷达系统本身,即它的分机和电路模型,以搜索雷达为主线,建立了由高频到视频模型,以便于读者的使用和参考。其三是雷达系统输出为信源对雷达系统的主要性能作出评价。

本书着重介绍了电子信息系统中雷达系统仿真的关键技术和方法,不管对军用雷达还是对民用雷达的研究与设计,都具有应用价值。作者希望本书能对通信、导航、信息对抗等系统的研究与设计有一定的参考价值。

实际上,雷达仿真领域所包含的内容是很丰富的,本书不可能全面介绍,如雷达功能仿真,各种成像雷达的仿真等等,如果本书能够起到一点普及和推广雷达仿真技术的作用,也就达到了作者的目的。

西安电子科技大学史林教授审阅了本书的全文,对本书的修改提出了许多宝贵意见,编者在此对史林教授表示衷心的感谢。编者对西安电子科技大学出版社的领导、负责本书

策划和编辑工作的臧延新和杨宗周同志表示衷心的感谢。最后还要感谢我的诸多学生，是他(她)们为本书提供了部分仿真数据。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望读者多加批评和指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

第 1 章 系统仿真概述	1
1.1 系统仿真的一般概念	1
1.2 系统仿真方法的分类	3
1.3 系统的数学描述及仿真	4
1.4 雷达系统仿真所包含的主要内容	10
1.4.1 系统输入	10
1.4.2 物理系统	11
1.4.3 系统性能评估的主要内容	13
1.4.4 电子系统输出信号的统计特性的估计	15
第 2 章 均匀分布随机数的产生与检验	20
2.1 均匀分布随机数的产生	20
2.1.1 平方取中法	21
2.1.2 乘同余法	22
2.1.3 混合同余法	23
2.2 伪随机数的统计检验	23
2.2.1 频率检验	24
2.2.2 参数检验	25
2.2.3 独立性检验	26
第 3 章 统计试验法概述	28
3.1 蒲丰问题	29
3.2 报童问题	33
3.3 蒙特卡罗法在解定积分中的应用	35
3.3.1 概率平均法	36
3.3.2 随机投点法	37
3.4 利用蒙特卡罗法计算 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 的快速算法	40
3.4.1 选舍抽样法 I	40
3.4.2 选舍抽样法 II	41
3.5 统计试验法的精度	42
3.5.1 统计试验法的总精度	42
3.5.2 确定数学期望时的精度	43
3.5.3 计算均方根值时的精度	44
3.5.4 计算事件概率时的精度	44
3.6 试验次数的确定	44
3.7 统计仿真的特点	46

第4章 目标与杂波模型	48
4.1 雷达杂波功率谱模型	48
4.1.1 高斯模型	49
4.1.2 马尔柯夫模型	49
4.1.3 全极点模型	50
4.2 雷达杂波幅度分布模型	51
4.2.1 高斯杂波模型	52
4.2.2 莱斯杂波模型	53
4.2.3 对数—正态杂波模型	53
4.2.4 混合—正态杂波模型	55
4.2.5 韦布尔杂波模型	55
4.2.6 复合k分布杂波模型	56
4.2.7 球不变随机矢量杂波模型	59
4.2.8 箔条杂波模型	65
4.2.9 拉普拉斯杂波模型	68
4.3 雷达目标模型	68
4.3.1 雷达信号模型	69
4.3.2 经典目标模型	70
4.3.3 现代目标模型	72
第5章 随机变量的仿真	74
5.1 随机变量的抽样方法	74
5.1.1 直接抽样	74
5.1.2 近似抽样	80
5.1.3 变换抽样	83
5.1.4 查表法	87
5.1.5 选舍抽样	89
5.2 噪声加恒值信号抽样的产生	93
5.3 某些随机变量的产生方法	97
第6章 相关雷达杂波的仿真	107
6.1 相关高斯杂波的仿真	107
6.1.1 三角变换法	108
6.1.2 非递归滤波法	110
6.1.3 递归滤波法	114
6.2 产生相关随机变量的一般方法	122
6.3 非高斯相关杂波的仿真	123
6.3.1 非相干相关韦布尔杂波的仿真	125
6.3.2 非相干相关对数—正态杂波的仿真	133
6.3.3 相干相关韦布尔杂波的仿真	135
6.3.4 球不变杂波的仿真	139

第 7 章 雷达系统模型	149
7.1 雷达波形	151
7.1.1 相参脉冲串波形	151
7.1.2 线性调频波形	151
7.1.3 步进频率波形	152
7.1.4 相位编码波形	152
7.1.5 m 序列码波形	153
7.1.6 巴克码波形	155
7.1.7 线性 FMCW 波形	156
7.2 方向图函数	157
7.2.1 高斯方向图函数	157
7.2.2 单向余弦方向图函数	157
7.2.3 双向余弦方向图函数	157
7.2.4 单向辛克形方向图函数	157
7.2.5 双向辛克形方向图函数	157
7.2.6 相控阵天线方向图函数	158
7.3 调制器与频率变换器	158
7.3.1 振幅调制	158
7.3.2 相位调制	158
7.3.3 变载波中心频率的窄带滤波器	159
7.4 检波器模型	159
7.4.1 正交双通道线性检波器	159
7.4.2 正交双通道平方律检波器	160
7.4.3 单通道输出的相干检波器模型	160
7.4.4 双通道输出的相干检波器模型	161
7.4.5 取模模型算法	162
7.5 窗函数模型	162
7.5.1 矩形窗(Box-Car)	163
7.5.2 Parzen-2 窗	163
7.5.3 Cosine-lip 窗	163
7.5.4 $\sin x/x$ 窗	163
7.5.5 Bartlett(+)窗	164
7.5.6 Hann(Raised-Cosine) 窗	164
7.5.7 Hamming 窗	164
7.5.8 Papoulis(+)窗	164
7.5.9 Blackman 窗	165
7.5.10 Parzen-1(+)窗	165
7.5.11 Tukey 窗	165
7.5.12 Kaiser 窗	165
7.5.13 修正的 Kaiser 窗	166
7.5.14 3-Coef 窗	166
7.5.15 Dolph-Chebyshev 窗	166

7.6 信号处理器模型	168
7.6.1 非递归型一次对消器	168
7.6.2 非递归型二次对消器	168
7.6.3 非递归型三次对消器	169
7.6.4 非递归型 N 次对消器	169
7.6.5 递归型一次对消器	170
7.6.6 递归型二次对消器	170
7.6.7 递归型三次对消器	171
7.6.8 自适应一次对消器	173
7.6.9 自适应二次对消器	173
7.6.10 A/D 变换器模型	175
7.6.11 限幅器模型	175
7.6.12 硬限幅器模型	176
7.6.13 根据脉冲响应对中频放大器进行仿真模型	177
7.6.14 灵敏度时间控制(STC)模型	178
7.6.15 自动增益控制(AGC)模型	178
7.6.16 线性调频脉冲压缩模型	179
7.6.17 离散付里叶变换对	180
7.6.18 I 、 Q 通道幅相不一致对改善因子 I_{db} 的限制	181
7.7 恒虚警(CFAR)处理器模型	182
7.7.1 雷达对数接收机输出特性	182
7.7.2 杂波图恒虚警处理器	183
7.7.3 普通单元平均恒虚警处理器	184
7.7.4 普通对数单元平均恒虚警处理器	184
7.7.5 选大输出普通单元平均恒虚警处理器	185
7.7.6 选大输出对数单元平均恒虚警处理器	186
7.7.7 对数—正态/韦布尔分布恒虚警处理器	187
7.7.8 慢门限恒虚警处理器	187
7.8 检测器模型	188
7.8.1 单极点非相干积累器	188
7.8.2 双极点非相干积累器	189
7.8.3 大滑窗检测器	191
7.8.4 小滑窗检测器	192
7.8.5 指向型非相干积累器	192
7.8.6 非参量秩和检测器	193
7.8.7 低速目标检测器	194
7.9 数据处理模型	195
7.9.1 点迹过滤器	195
7.9.2 向量卡尔曼滤波器	196
7.9.3 向量卡尔曼预测器	197
7.9.4 扩展卡尔曼滤波器	197
7.9.5 滤波器的启动	199
7.9.6 自适应卡尔曼滤波器	200

7.9.7 α - β 和 α - β - γ 滤波器	202
7.9.8 自适应 α - β 滤波器	204
第 8 章 重要抽样技术	206
8.1 估计概率密度函数的一般方法	206
8.2 重要抽样基本原理	208
8.3 重要抽样在雷达中的应用	210
8.3.1 重要抽样在雷达中的应用 I	211
8.3.2 重要抽样在雷达中的应用 II	221
8.4 重要抽样中畸变函数的选择	224
8.5 估计分布函数的一些重要结果	230
第 9 章 基于 Simulink 的雷达仿真	234
9.1 Simulink 概述	234
9.2 脉冲多普勒雷达系统仿真	239
9.2.1 脉冲多普勒雷达工作原理	240
9.2.2 机载 PD 雷达杂波环境建模	241
9.2.3 脉冲多普勒雷达系统基本结构	245
9.2.4 PD 雷达仿真模块介绍	247
9.3 脉冲压缩雷达的仿真	255
9.3.1 线性调频脉冲压缩基本原理	255
9.3.2 线性调频脉冲压缩雷达系统仿真	257
9.3.3 脉冲压缩后的信号及其频谱	257
9.3.4 脉冲压缩雷达仿真系统的几个模块介绍	258
名词与缩略语	261
参考文献	267

第1章 系统仿真概述

1.1 系统仿真的一般概念

系统仿真是一门伴随着科学技术,特别是电子数字计算机技术的发展而发展起来的新兴技术,它推动了很多学科的发展。对那些非常庞大而又非常复杂的系统或难于求出数学解的诸多领域,系统仿真技术显露出了魔幻般的身手。

所谓系统,就是由许多元、部件或单元有机地组合在一起,并且能完成特定任务的统一体。它又可能是另一个更大系统的组成部分,而它的部件或单元又可成为子系统。如雷达系统、通信系统、导航系统、电子对抗系统等,它们又可能成为C³I系统的组成部分。从电子信息系统仿真的角度说,我们所说的“系统”不仅包含物理系统本身,还包含具有各种不同特性的输入信号、在系统输出端得到的输出信号以及对系统的性能评价,可以认为它是一个广义系统。为了不使涉及的面太宽,本书着重介绍电子信息系统中雷达系统仿真的某些关键技术。

对一个电子信息系统中重要的子系统,即雷达系统的仿真,首先是指对雷达系统的各种输入信号的建模和仿真,也就是电磁环境的仿真。在信号模型确定之后,按模型要求生成系统的各种输入信号,如有用信号、噪声、杂波和干扰,其中包括有源干扰和无源干扰等。然后对一个将要研究或设计的实际的物理系统进行建模,用计算机语言将其变成一个“软系统”,再根据在计算机上所产生的各种输入信号送入“软化”的物理系统,得到系统的各种输出信号,结合系统的战术技术参数,最后对系统的性能进行评估,使得所设计的系统能在给定的电磁环境下完成给定的任务。从这里我们不难看出,系统仿真是各种雷达系统研究、设计和性能评估的有力的辅助工具。雷达系统的仿真在内容上可以概括为三个部分,即电磁环境的建模与仿真、雷达系统本身的建模与仿真和系统的性能评价。

通常,我们说对一个系统进行研究,主要包括系统分析、系统综合与设计和系统仿真几部分内容。

系统分析是在已知系统结构、参数的情况下,研究系统本身的特性及其对系统输出的影响。例如,给定一个数字滤波器,我们可以将它看做是一个最简单的系统,找出其传递函数、脉冲响应以及在给定一个输入信号及其参数的情况下,求出它的输出信号及其特征等,均属于系统分析之列;而系统综合与设计正好和系统分析相反,它是在给定系统特性的情况下,寻求系统结构及其参数,甚至包括系统寻优。例如,要求设计一个频带为 Δf 的数字系统,当然它可以是一个数字滤波器,要求综合设计一个具有给定特性的滤波器,包括确定滤波器的阶数、结构及具体的滤波器参数等。

要进行系统分析必须保证系统能被客观地描述,而且能从描述的关系中求出系统的输出。

根据一个给定的数字系统,可以写出一个或一组差分方程,即差分方程能客观地描述数字系统,这是第一点;在给定输入信号的情况下,解差分方程,可求出系统的输出信号,它是根据系统本身的特性,脉冲响应或传递函数等求出的,这是其二;如果给定的是一个模拟系统,可以写出一组描述它的微分方程,在给定输入信号的情况下,解微分方程,可求出系统的输出信号,它也是根据系统本身的特性,脉冲响应或传递函数等求出的。当然,我们也可直接由给定的系统响应与输入信号求输出,也可反推出其差分方程或微分方程。

在进行系统的综合与设计时首先要明确地给出系统的响应特性;其次利用所选定的方法,求出满足给定特性的系统元、部件及参数,并给出元、部件的连接方式或结构。

例如,要求综合与设计一个具有通带为 Δf 的 MTI 数字对消器,我们就可以选择利用付里叶级数展开法进行综合与设计,一直到确定对消器的阶数和系数为止。

上边所举的例子都是比较简单的,并且也都是能用数学工具进行综合和分析的。随着科学技术的飞速发展,各种复杂的系统相继出现,对这些系统的性能评估、预测及系统设计等越来越显得重要,往往这些系统又都是由许多数字系统组成的,它们又可能是更大的系统的组成部分。例如一个现代雷达系统,不仅是由许多部件组成的,而且它的输入信号也是非常复杂的,不仅包括确定信号,也包括随机信号,并且还有人为的和天然的各种干扰,所以对这样复杂的系统进行研究,只靠系统分析和系统综合的方法是难于完成的。随着电子技术的发展和计算机技术的广泛应用,这就出现了另一种进行系统研究的手段,即系统仿真或模拟技术,它不同程度地解决了各种复杂系统的研究与设计中的一系列问题,即系统分析、系统综合和系统性能评估问题,而且在某些方面还优于数学方法,如研究众多的随机因素对系统的性能影响等。可以说,系统仿真或系统模拟技术的出现是系统研究方面的一个非常重要的进展,甚至于突破。

所谓系统仿真,就是在计算机上用软件或单独使用硬件或软、硬件相结合地对给定系统进行模仿。通常它用某种实体或数学模型来代替实际系统,以实现对实际系统进行研究,如图 1-1 所示。在仿真过程中,实际上就是用一个系统模型代替实际系统对实际系统进行分析、规划、评价、寻优和设计的。实际上,雷达系统仿真不仅仅只是对实际的物理系统进行仿真,也包括对非常复杂的电磁环境的仿真,在实验室里复现电磁环境。我们知道,雷达系统的输入信号,不仅包括有用信号,还有噪声、杂波和干扰等。在图 1-1 中,仿真系统的输入和输出信号分别用 $x'_1, x'_2, \dots, x'_N$ 和 $y'_1, y'_2, \dots, y'_N$ 表示,以示与实际系统的区别。

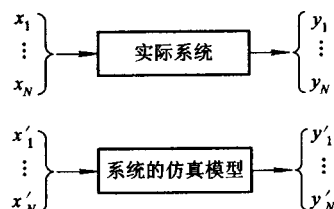


图 1-1 实际系统与仿真模型的关系

系统仿真步骤如下：

(1) 首先确定研究的对象及要解决的问题，然后根据要解决的问题提出系统仿真所要达到的目的和要求。

(2) 根据所研究的问题和目的，确定合理的系统模型，并给出数学表达式，这一步是仿真成败的关键。一般要求模型尽量简化，但又保持与原型的一致，使其不产生太大的误差。如果一个具体模型选择得非常复杂，则要涉及两个问题，一个是能否在计算机上实现的问题；另一个是计算时间的问题。

(3) 确定具体的系统结构、描述方法和参数。例如要对一个由阻容网络构成的低频放大器进行仿真，首先就要选择网络结构，并给出描述系统的方程和参数，使它的频率特性与所研究的对象保持一致。

(4) 画出程序流程图，用通用语言或专门用于仿真的某种语言编制程序。

(5) 确定仿真次数，根据目的要求，进行仿真试验，打印出仿真结果或直接绘制出曲线显示在显示器上。

(6) 最后对结果进行分析、判断，看是否达到了仿真的目的和要求。如果没有达到，则提出修改模型或修改试验参数的意见，然后修改程序，继续进行试验。这一步包括发现试验中由于模型不完善或不合理地近似，或由元、器件的非线性因素等所造成的错误，这是进行复杂系统仿真时必须要注意的问题。如果试验满足要求，则结束程序，将以上步骤画成流程图，示于图 1-2。

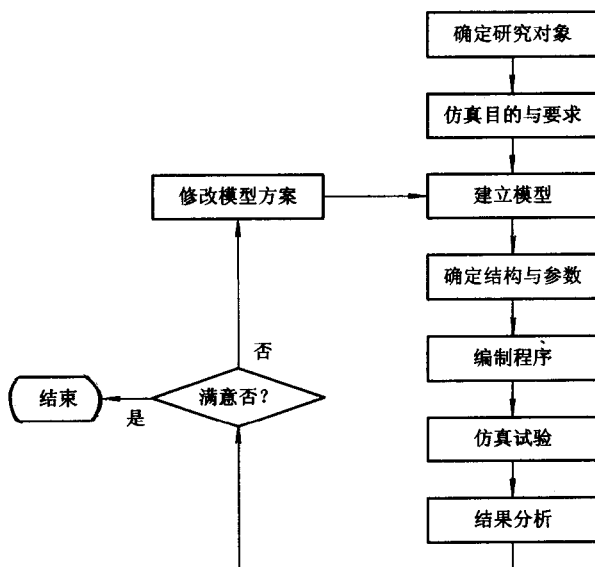


图 1-2 系统仿真试验流程图

1.2 系统仿真方法的分类

由于“系统”涉及各行各业，不同的系统之间也千差万别，因此所采用的分类方法也是各种各样的。从建立数学模型的角度看，应主要以数据形式进行分类，这样就可以把它大