

仿真技术与通信系统仿真

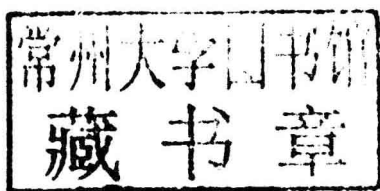
主编 杨国建 王立峰 张兴成



东北林业大学出版社

仿真技术与通信系统仿真

主编 杨国建 王立峰 张兴成



东北林业大学出版社

版权专有 侵权必究
举报电话:0451-82113295

图书在版编目(CIP)数据

仿真技术与通信系统仿真 / 杨国建, 王立峰, 张兴
成主编. -- 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-81131-199-0

I. ①仿… II. ①杨…②王…③张… III. ①通信系
统-系统仿真-研究 IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 043534 号

内容简介

本书分四大部分介绍了数字仿真技术和通信系统仿真的原理和方法。第一部分介绍仿真技术的基本理论和方法, 是本书的重点内容; 第二部分介绍通信系统仿真的具体方法和步骤, 并通过两个仿真实例, 体现了理论与工程实际相结合的思想; 第三部分介绍虚拟现实仿真技术; 第四部分根据仿真技术的原理知识和通信系统的功能模块设计了实验内容, 并在附录中提供了仿真软件程序。本书内容翔实, 概念清楚, 具有一定的工程实践性。

责任编辑: 王忠诚 董 美

封面设计: 刘长友

出版发行: 东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街6号 邮编: 150040)

印 装: 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 13.5

字 数: 240千字

版 别: 2012年3月第1版

版 次: 2012年3月第1次印刷

定 价: 27.00元

前 言

仿真技术是一门多学科综合的应用技术学科，随着近几年计算机技术、信息技术的迅猛发展，仿真技术已经发展成为一门综合性的专业技术体系，迅速成为一项通用性、战略性技术，并与高性能计算一起，成为继理论研究和实验研究之后第三种认识及改造客观世界的重要手段。目前，仿真技术广泛应用于国防、军事、能源、交通等工程与非工程领域。特别是随着通信技术的不断演进，通信系统的性能不断提高，系统结构越来越复杂，通信系统技术研究和产品开发的周期越来越短，使得仿真技术所具有的廉价性、高效性和灵活性，在通信产业中的产品设计和系统性能分析中充分地体现出来，成为不可缺少的重要手段。

本书的特点是：从仿真工程实际出发，力求理论与工程实际相结合，使读者不仅掌握仿真技术的基本原理和方法，而且能实际应用仿真技术进行控制系统、通信系统的产品设计、性能分析和方法研究。因此，本书非常适合作为高等院校通信工程、电子信息工程、自动化、电气工程及其自动化等专业相关课程的教材。

全书共分9章，各章主要内容如下：第1章为绪论，第2章为系统数学模型及仿真方法论，第3章为连续系统数值积分法的数字仿真，第4章为连续系统结构图法的数字仿真，第5章为快速数字仿真，第6章为采样系统仿真，第7章为通信系统仿真，第8章为虚拟现实仿真技术，第9章为仿真实验。

本书由杨国建、王立峰、张兴成主编，其中第1，2，3，7章由东北林业大学杨国建编写，第4，5，6章由东北林业大学王立峰编写，第8，9章和附录部分的仿真程序由哈尔滨金晟实业有限公司的张兴成编写，黑龙江工程学院的徐正芳也参加了本书的第3、8章的部分编写工作，全书由杨国建统稿。值得提出的是，本书在编写过程中引用和参考了国内外同行专家、学者的一些宝贵经验，在此，深表谢意。由于编者水平有限，书中疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012年1月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 系统仿真技术及应用	(1)
1.2 仿真研究的步骤	(5)
1.3 系统仿真的分类及特点	(6)
1.4 系统仿真的作用	(9)
小结	(11)
复习思考题	(12)
2 系统数学模型及仿真方法论	(13)
2.1 确定性连续系统数学模型	(13)
2.2 离散时间系统数学模型	(15)
2.3 随机系统数学模型	(17)
2.4 通信系统仿真方法论	(19)
2.5 模型转换—实现问题	(23)
小结	(31)
复习思考题和习题	(31)
3 连续系统数值积分法的数字仿真	(32)
3.1 数值积分法原理	(32)
3.2 欧拉法	(33)
3.3 龙格—库塔法	(35)
3.4 几种数值计算方法的分析	(37)
3.5 数值积分法的计算稳定性	(38)
3.6 数值积分法的计算精度、速度、稳定性与步长的关系	(42)
3.7 高阶微分方程或传递函数的数字仿真	(44)
小结	(49)
复习思考题和习题	(50)
4 连续系统结构图法的数字仿真	(51)
4.1 数值积分法结构图数字仿真	(52)
4.2 连续系统的离散化	(62)
4.3 典型环节仿真模型的确定	(69)

2 仿真技术与通信系统仿真

4.4	离散相似法结构图仿真	(75)
4.5	离散相似模型的精度与稳定性分析	(77)
	小结	(80)
	复习思考题和习题	(80)
5	快速数字仿真	(82)
5.1	替换法	(82)
5.2	根匹配法	(92)
5.3	增广矩阵法	(94)
5.4	时域矩阵法	(101)
	小结	(105)
	复习思考题和习题	(105)
6	采样系统仿真	(106)
6.1	采样系统	(106)
6.2	采样系统的数字控制器设计	(107)
6.3	数字控制器采样周期的调整	(112)
6.4	采样系统的数字仿真	(114)
	小结	(119)
	复习思考题与习题	(119)
7	通信系统仿真	(120)
7.1	通信系统的特点及仿真	(120)
7.2	通信系统模型	(123)
7.3	通信系统的确定性与随机性仿真	(127)
7.4	单个模块的建模	(134)
7.5	随机过程建模与仿真	(137)
7.6	系统性能估计	(139)
7.7	通信仿真软件包	(140)
	小结	(143)
	复习思考题	(144)
8	虚拟现实仿真技术	(145)
8.1	虚拟现实技术	(145)
8.2	虚拟现实与系统仿真	(150)
8.3	虚拟现实建模技术	(156)
8.4	基于 VRML 和 Java 实现虚拟仿真系统	(159)
	小结	(162)

复习思考题	(163)
9 仿真实验	(164)
9.1 计算机仿真	(164)
9.2 连续系统高微分方程的数字仿真实验	(168)
9.3 连续系统结构图法的数字仿真实验	(170)
9.4 连续系统离散相似法结构图数字仿真实验	(174)
9.5 采样系统数字仿真实验	(177)
9.6 锁相环仿真实验	(179)
9.7 直接序列扩频系统仿真	(184)
参考文献	(189)
附录 仿真程序清单	(190)

1 绪 论

1.1 系统仿真技术及应用

1.1.1 系 统

1.1.1.1 系统的概念

所谓系统,是指相互联系、相互制约、相互作用的一个实体集合,是具有一定整体功能的综合行为的统一体。系统涉及的范围很广,可谓包罗万象。例如,由大地、山川、河流、海洋、森林和生物等组成了一个相互依存、相互制约且不断运动又保持平衡状态的整体,这就是自然系统,这种系统称为非工程系统。又如,为了实现信息的远距离传输,我们需要将信息变换成适合在信道中传输的信号形式,送入信道中传输,收端则要进行相应的反变换才能恢复原信号形式,这种为完成信息传递所需的一切技术设备及传输媒介的总和称为通信系统,是一种人们根据某种需要或者为实现某种预定功能而构成的系统,这种系统称为工程系统,如图 1-1 所示。

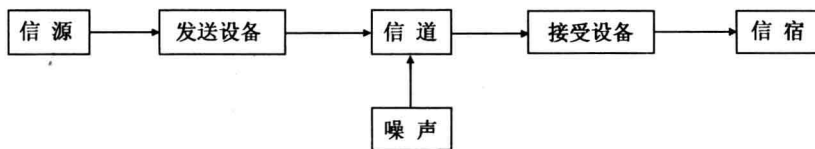


图 1-1 通信系统的一般模型

1.1.1.2 系统的类型

工程系统的类型与分类方法有关,常用的几种分类情况如下。

(1)静态系统和动态系统。静态系统是指相对不变的一类系统。例如一个由电容、电感、电阻和电压信号源组成的电路系统,如果我们定义观察时间以秒为单位,若无外界的干扰,当信号不变化时,该电路系统即为静态系统。系统的状态随时间改变的称为动态系统。例如正在进行的通信系统,系统的各个参数都在不断变化,这样的系统就属于动态系统。

(2)确定系统和随机系统。状态和参数是确定的系统称为确定系统。而

状态和参数是随机变化的系统,称为随机系统,即在给定的条件和活动下,系统从一种状态转换成另一种状态时不是确定的,而是带有一定的随机性质。

(3)连续系统和离散系统。当系统的输入是连续时间信号时,若系统的输出也是连续时间信号,即随着时间的改变,系统状态的变化也是连续的系统称为连续系统。当系统的输入和输出都是离散时间信号时,即系统状态随时间呈间断改变,则称该系统为离散系统。例如,传统的广播电视传输系统即为连续系统,而计算机与外围设备之间的数据传输系统即为离散系统。

(4)线性系统和非线性系统。系统中所有元器件的输入、输出特性都是线性的系统称为线性系统,而只要有一个元器件的输入、输出特性不是线性的,则该系统就称作非线性系统。所有的通信系统都是非线性的,但在满足一定的条件下,可按线性系统来分析。

1.1.2 仿真的定义

1.1.2.1 仿真的定义

系统仿真是近几十年发展起来的一门综合性技术学科,它为系统进行设计、研究和决策提供了一种先进而有效的手段,并可缩短设计周期,降低费用。仿真技术已广泛应用于工程及非工程的广大领域,并取得了极大的社会及经济效益。

仿真具有多学科的特点,以通信系统仿真为例,仿真研究共涉及九个重要学科领域,如图 1-2 所示。

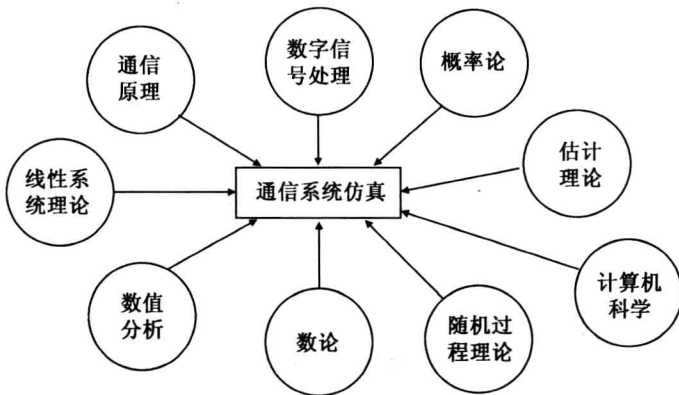


图 1-2 影响研究通信系统仿真的领域

(1)线性系统理论的概念为我们提供了确定线性系统输入输出关系的方法,这一学科体系使得我们可以在时域(系统冲激响应)和频域(系统传递函

数)表示系统模型。

(2)通信原理对研究通信系统仿真的重要性是显而易见的。在开发仿真系统之前,必须理解系统结构、调制器和均衡器等不同子系统的运行特性,以及信道模型的详细情况。尽管仿真可以用来确定合适的系统参数值,但在开发仿真之前通常应了解参数值的实际范围。为了确保仿真实验的可行性和结果的合理性,深入理解适当的系统特性也很有必要。

(3)数字信号处理(DSP)工具常用来开发构成通信系统仿真模型的算法。仿真模型通常由几个连续时间系统元器件(如滤波器)的离散时间近似组成,因而要理解和评估近似的特性,DSP技术方面的知识是必需的。事实上,仿真模型中的每一个功能模块都是一个DSP运算,因此,数字信号处理工具提供了实现仿真的方法。

(4)数值分析和DSP密切相关,许多经典的仿真模型建立方法(如数值积分、多项式内插以及曲线拟合的工具组)都源于数值分析。

(5)概率方面的知识对我们研究通信系统也是非常重要的。通信系统的指标通常以概率形式表示。比如,在数字通信系统中,人们往往对比特差错率或符号差错率感兴趣。在同步系统中,人们对相位误差超过给定值的概率感兴趣。尤其是概率论中给出的随机变量和概率密度函数等概念,对我们研究信号传递过程中性能变化是非常有用的。

(6)在许多情况下,假设仿真要处理的信号和噪声波形是随机过程的样本函数,需要知道内在的随机过程,才能开发算法来产生具有适合统计特性的波形,在建立信道仿真模型时尤其如此。随机过程理论提供了描述这些过程的工具,在时域为自相关函数,在频域为功率谱密度。

(7)在数论方面的一些基本概念为我们提供了用于开发随机数发生器的工具。这些随机数发生器是波形发生器的基本构成模块。而波形发生器又广泛应用于表示数字序列、噪声波形、信号衰落和随机干扰等许多场合。

(8)计算机科学的一些基本概念在我们研究的过程中也很有用。例如,用于表示信号采样值的字长和字格式会影响仿真精度;可用内存的大小和内存的组织形式会影响数据与指令从仿真的一部分到另一部分的传递形式;图形的要求和能力决定了如何显示波形,也影响到仿真代码从一个计算机到另一个计算机平台的可移植性。

(9)估计理论的工具和概念允许我们对特定仿真结果的有效性进行评估。如前所述,随机性仿真的结果是随机变量,它构成了期望数量的一个估计器。每次执行仿真会得出该随机变量的一个实现值。一般来说,重复仿真得出的数值每次都会不同。如果仿真产生的估计值是无偏的或一致的,这种仿

真就很有用。即仿真得出的估计在平均意义上是正确的,这显然是一个理想的特性。一致估计是指估计的方差随着仿真时间增加而减小的那种估计,也就是说,如果对一个人的身高做一百次独立测量,并将测量结果平均,预计得到的对身高的估计结果会比单次测量要准确。估计理论为探讨这类问题提供了必要的分析工具,并且还可用于评价仿真结果的可靠性。

上述内容并非让我们感受仿真研究这项工作看上去令人生畏,这样做的目的只是要指明,仿真是一个自成体系的研究领域,它吸取了来自许多其他领域的成果,融合了不同学科的知识。只有正确理解仿真技术的内涵,才能使用仿真作为分析工具为我们开发可靠且运行时间合理的仿真方法。

仿真的定义在不同的领域或范畴中的学者均有描述,但可概括为:仿真是指用模型(物理模型或数学模型)代替实际系统进行的试验和研究。

针对通信系统而言,所谓系统仿真,就是以系统数学模型为基础,以计算机为工具,通过对系统模型的实验去研究一个已经存在的或正在设计中的系统的过程。

1.1.2.2 仿真遵循的原则

为使仿真的结果能被实际证实是真实可靠的,也就是结果是可信的,仿真所遵循的基本原则是相似原理:几何相似、环境相似和性能相似。

1.1.2.3 仿真技术的应用

随着仿真技术的发展,仿真技术的应用目的趋于多样化、全面化,已成为许多复杂工程系统的分析和设计研究中不可缺少的重要工具。系统的复杂性主要体现在复杂的环境、复杂的对象和复杂的任务上。例如,现代通信系统的复杂性源于系统的结构和系统运行时所处的环境。现代通信系统要运行在功率和带宽有限的条件下,还要支持高速数据。这些要求互相矛盾,导致了复杂的调制和脉冲成形技术,以及差错控制和接收端的高级信号处理技术的产生。因此,必须要根据系统实际运行的情况,正确地建立系统的仿真模型,才能够对实际系统进行充分的分析和研究。

根据仿真的应用目的,可以将仿真技术应用分为系统分析、系统设计、理论验证和人员训练四大类。

(1)系统分析。仿真技术应用于系统分析,可以了解一个现实系统的性能,并提出对系统的改进意见。

(2)系统设计。仿真技术应用于系统设计,可以预测待建或准备改建系统的性能,检验其是否达到设计要求。在现代通信系统设计中,往往还需要对多种可能的方案进行比较,以得到最优性能的系统。另外,对建成后的系统也需要预测参数发生变化时,对系统性能的影响,从而决定系统的控制或决策方

案。而这些都可以借助仿真来完成。

(3)理论验证。仿真技术应用于理论验证,可以检验一些所提出的理论或假说的正确性,揭示这些理论和假说与实际不符或矛盾之处。例如,当一种新的差错控制算法提出后,通常不能马上投入实际应用,而是需要进行反复的仿真实验,以检验其控制效果。

(4)人员训练。仿真技术应用于训练与教育是其一大特点。今天,不论是现代通信系统,还是现代的交通运载工具(如飞机、火车、汽车、船舶、航天飞行器等)以及各种复杂设备组成的系统,系统的操作技术和管理技术越来越复杂,操作失误所带来的经济损失或引起的危险也越来越大。从进行模拟操作、安全训练、提高工作效率及节约能源等诸多方面考虑,可以采用训练仿真器来培训操作人员和管理人员。

所谓训练仿真器,就是一种用于对操作人员进行培训的仿真设备,是采用仿真技术、信息处理技术、控制理论及各种工程技术,由计算机及其他一些设备(如运动系统、光学—视景系统、仪表系统和操作装置等)构成的一种以培训操作人员为目的的仿真系统。它可以逼真地再现(模拟)一个真实的系统,以供培训人员操作,从而获得在实际工作中的真实体会和经验。培训人员也可以在训练仿真器上进行各种试验研究工作。

1.2 仿真研究的步骤

仿真研究的对象是系统,而系统特性的表征是主要采用与之对应的数学模型,然后将数学模型转换成仿真模型,放到计算机上进行相应的处理,就构成了完整的系统仿真的过程。下面我们通过一个简单的例子来看一下系统仿真实现的步骤。

例 1.1 对一个直传动系统进行仿真研究。

第一步:建立该系统的数学模型,即对直流电动机进行模型化,用传递函数(惯性环节)来描述它,如图 1-3 所示。

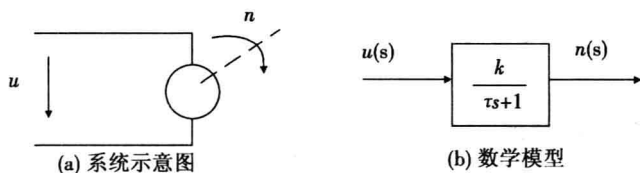


图 1-3 直传动系统及传递函数

第二步:将数学模型转换成能用计算机进行研究的仿真模型。具体地说,

就是把一个连续变化的系统模拟模型转换为离散化的仿真模型,如图 1-4 所示。就连续系统而言,即将微分方程,传递函数转换为相应的差分方程。

第三步:编制仿真程序。即可采用汇编语言、C 语言或 MATLAB 等高级语言共同的方式进行编程。

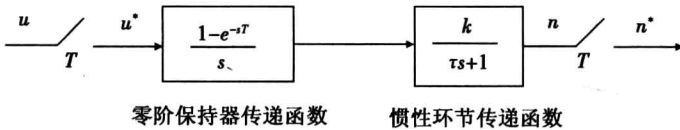


图 1-4 直流传动系统的仿真模型

第四步:仿真实验,结果分析。通过计算机的运算处理,将仿真实验数据与实际系统运行观测数据相比较,分析误差产生的原因,并对仿真模型参数进行修改,把实际系统的特点、性能、运行特性等表示出来,用于指导实际系统。

上述实现系统仿真的步骤实际涉及三个具体的部分:实际系统、数学模型和计算机,我们称之为系统仿真的三要素,其相互关系可用图 1-5 表示。

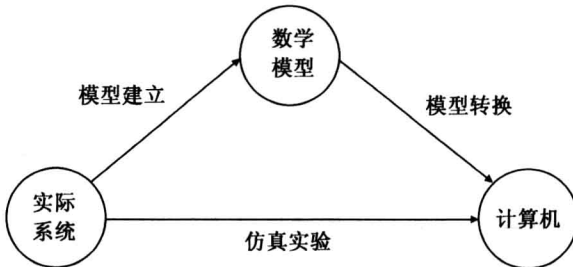


图 1-5 系统仿真三要素的对应关系

由实际系统到建立数学模型的过程及方法,我们称之为系统建模及系统辨识技术。由数学模型转换为仿真模型的过程及方法,我们称之为系统仿真技术。

1.3 系统仿真的分类及特点

1.3.1 系统仿真的分类

系统仿真的类别按照不同的分类方法有不同的分类结果。

1.3.1.1 按仿真模型的性质分类

按仿真模型的性质不同,分为物理仿真、数学仿真、数学物理混合仿真。

(1)物理仿真。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实验研究,称之为物理仿真。物理仿真是以物理过程相似、几何尺寸相似以及环境条件相似为基础的仿真。例如,为了制造一个大型发电机组,可以制作同类型的较小发电机组并在上进行试验研究,用试验结果分析指导大型发电机组的设计和制作。

物理仿真的优点是能最大限度地反映系统的物理本质,具有直观性强和形象化的特点;缺点是构造物理模型所需费用高、周期长、技术复杂,另外在物理模型上做试验,修改模型的结构及参数困难,实验限制条件多,容易受环境条件的干扰。

(2)数学仿真。按照实际系统的静、动态特性的数学关系构造系统的数学模型,并在计算机上进行实验研究,称之为数学仿真。数学仿真应用的基础是性能相似、环境相似的原理。

数学仿真的模型采用数学表达式来描述系统性能。若模型中的变量不含时间关系,则称为静态模型;若模型中的变量包含有时间因素,则称为动态模型。由于采用计算机作为仿真工具,通常数学仿真又称为计算机仿真或数字仿真。

数学仿真具有经济、方便、使用灵活、修改模型参数容易等特点,已成为仿真技术中的主流技术得到广泛的应用;其缺点是形式抽象、直观性差,并且仿真速度和精度受不同计算机软、硬件档次的限制。

(3)数学物理混合仿真。在对某些系统的研究中,常把数学模型与物理模型或实物有机地组合在一起进行实验,即将系统的一部分建立数学模型,放到计算机上,而另一部分构造成物理模型或直接采用实物,然后将它们连接成系统进行实验。这种形式的仿真称之为数学物理仿真,也称半实物仿真。

这种方法结合了物理仿真和数学仿真各自的特点,常常被用于特定的场合及环境中。例如,汽车发动机实验、家电产品的研制开发、雷达天线的跟踪、火炮射击瞄准系统等都可以来用半实物仿真。

1.3.1.2 按仿真模型与实际系统的时间关系分类

按仿真模型与实际系统的时间关系分类,可以分为实时仿真和非实时仿真。

(1)实时仿真。如果仿真实验时间标尺 τ 与实际系统的时间标尺的关系为 $\tau/t=1$,则称为实时仿真。一般有实物介入的半实物仿真属于实时仿真,如炮弹弹头的飞行曲线仿真、火力发电站的实时控制模拟仿真等。

(2)非实时仿真。如果 $\tau/t \neq 1$,则称为非实时仿真。即无实物介入的纯计算机仿真为非实时仿真。

1.3.1.3 按仿真系统给定输入信号的形式分类

按仿真系统给定输入信号的形式分类,可以分为确定性仿真和随机性仿真。

(1)确定性仿真。在仿真中,如果人们所关心的是系统(或电路)在某些确定性输入信号作用下的响应,电路元件和电路的输入用开发的软件程序来表示,仿真结果为电路各支路的电流或电压,一般表现形式是波形,我们称之为确定性仿真。

确定性仿真由于在仿真运行前就指定了这些波形的期望观测时段,并且电路是固定的,输入信号是确定的,因此每次运行仿真都会得到相同的结果。

(2)随机性仿真。如果系统(或电路)的输入为随机波形,即为一个随机过程的样本函数,同时,系统模型可能要求元器件的参数(例如电阻器的电阻)是有某种概率密度函数的随机变量,仿真结果将不再是一个确定性波形,对波形进行采样会得到一组随机变量,我们把存在随机变量的仿真称为随机性仿真。

1.3.2 系统仿真的特点

1.3.2.1 仿真的实验性质

由仿真的定义可知,仿真是在模型上进行实验,因此仿真基本上是一种通过实验来研究系统的综合实验技术,具有一般实验的性质。不论是利用仿真技术进行系统分析还是设计,都必须通过一系列实验来完成。所建立的仿真模型应具有实验的性质,即模型与原型的功能及参数之间应有相似性和对应性。

1.3.2.2 仿真实验研究成本低

由于仿真实验往往是在计算机上模拟现实系统的过程,并可多次重复运行,不受环境气候等条件的限制,在时间比例尺和参数设置方面具有良好的可控性,可在极端的条件下进行仿真实验。因此,具有风险小、成本低、经济性好的特点。

1.3.2.3 仿真方法的灵活性和多样性

对于系统性能的分析 and 研究,要依赖于建立的系统数学模型,求解的过程可采用解析法和仿真的方法。

所谓解析法是应用数学推导、演绎去求解数学模型的方法。然而,能够采用解析法求解的问题是十分有限的,许多实际问题常常不能或者难以用解析法求解。用解析法求解问题时,需要将系统的数学模型用一些特殊形式的数学公式表示,如代数方程、线性微分方程等。为了能用解析法求解,要求数学

模型不能太复杂,阶次也不能太高。所以需要系统加以抽象或近似,尽可能简化数学模型,但模型的过度简化使其丧失实际意义。尤其是大多数实际系统是非线性的、具有分布参数的或为高阶复杂系统,其数学模型是不易或无法用解析法求解的。

而仿真的方法对系统数学模型的形式及复杂程度没有限制,是广泛适用的。如果实际系统是复杂的、高阶的,仿真则用建立各子系统或环节的“模块化”模型,以及确定各模块之间的连接关系来进行仿真实验。而且这些“模块化”的模型,可以是一阶的、二阶的和三阶的,充分体现了仿真研究的多样性和灵活性。当然,“模块化”模型与实际系统模型的变量、结构及参数之间具有相对对应性和相似性,以保证仿真研究的直观和方便。

1.4 系统仿真的作用

在现代通信系统的设计和分析研究中,仿真技术广泛应用于系统性能评估和参数优化等方面。复杂通信系统的设计一般采取“自顶至底”的方式进行。在设计系统时,从系统级(最高抽象级)开始,填入系统级设计的细节,再往下到子系统级,最终到元件级。

在构建系统时,首先制造出元件,然后把元件组装成子系统,最后再用子系统构成整个系统。因此,仿真研究也采用“自顶至底”的方法,从具有高抽象程度的系统级仿真开始,接着是越来越详细的子系统及元件的模型和仿真。在系统仿真实现过程中,元件和子系统的测量特性将包括到仿真模型里。

1.4.1 理论分析计算和系统级仿真

通信系统设计过程开始于陈述和分析用户要求和性能期望,包括吞吐率、差错率、中断概率以及对带宽、功率、复杂度、造价成本、系统预期工作的信道和系统生命周期等的约束。基于用户要求,设计者要对系统形成一个基本概念,比如采用什么调制方式、差错控制编码和均衡技术等等。在设计的最初阶段,也要确定一组叫 A 级指标的参考数值,比如功率级、带宽和调制指数。

在系统设计这个阶段,整体目标是确定系统拓扑结构和参数值,以便同时满足性能目标 and 设计约束。在此过程中,系统参数的设定可以先从理论分析计算入手。例如,对信噪比(SNR 或等价地 E_b/N_0) 的确定,理论分析主要是功率计算,要考虑发送功率、天线增益、路径损耗、功率增益以及放大器和滤波器的噪声系数。尽管理论分析的结果不是仿真所关心的主要参量,然而它确定了要执行仿真用作性能估计的 S/N 或 E_b/N_0 范围。

系统设计者从系统初始配置、A 级指标和理论分析开始。进行系统设计的前期工作,然后在此基础上构造出仿真模型,用来验证理论计算结果和改进设计。通过详细的仿真,可以精确估计性能指标和验证非理想实现造成的性能降低。如果理论分析计算与仿真验证是一致的,就可以进入设计过程的下一阶段,即子系统和元件的设计和仿真。如果不一致,就要改变某些参数和设定,系统拓扑结构和 A 级指标可能也得改变。比如,可能要增加功率增益,也可能要改变放大器的线性指标要求。

1.4.2 关键元件的实现与测试

在现代通信系统的设计中几乎总是要采用一些新信号处理算法和新硬件、软件技术,因此,在性能方面难免会出现风险或不确定性。如果通信系统的关键部分要使用新技术,那个元件必须首先制造出来,并在实际工作条件下进行测试,以便验证性能和把风险降至最低。但是,在设计过程的这个前期阶段,仅靠造就出的几个关键元件,就进行整个系统的硬件测试则是不可能的。在这种情况下,仿真提供了一个极佳的环境。和原型化整个系统硬件相比,使用仿真也要便宜得多。将待仿真的元件和测量特性代入该元件的仿真模型,就可以仿真该元件输入端之前和输出端之后的所有元件和信号。例如,要测试的元件是一个放大器。假设已测量出它的 AM 到 AM 和 AM 到 PM 的传输特性,并且已将传输特性代入放大器的非线性模型,我们就可以对整个系统进行仿真,来检验系统的性能和理论分析计算的结果。如果满足系统性能指标的要求并具有一定的安全裕量,则对下一个关键元件作硬件开发。否则,或者重新设计,制造,测试元件;或者修改理论计算结果,降低元件的性能指标。

1.4.3 系统硬件及仿真模型的验证

当系统模型及系统仿真完成之后,整个系统的硬件原型以及与之对应的仿真模型就逐级形成了。此时的仿真模型包括仿真中大部分元件的测量特性。可以在硬件原型上测出整个系统的许多性能指标,然后利用仿真技术,将仿真结果与性能指标的测量值作比较,反之亦然。仿真为测试提供了基准,而测试结果又验证了仿真。设计过程的这个阶段的最终结果是系统的一个完整原型,可作为系统产品的开发基础。同时,也获得一个经验证的仿真模型,可用来预测系统生命的终结时间(End - of - Life, EOL),即使用期限。

1.4.4 生命终结预测

根据上述过程给出的设计保证系统在实施时能达到一定的性能,但是多