



普通高等教育**电子通信类**国家级特色专业系列规划教材

通信系统课程设计与实验教程

雷 著 主编
黄 英 李保国
熊春林 赵海涛 编著



科学出版社

普通高等教育电子通信类国家级特色专业系列规划教材

通信系统课程设计与实验教程

雷 菁 主编

黄 英 李保国
熊春林 赵海涛 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于典型的通信系统模型,描述了系统的设计、分析和仿真方法,提供了多层次(基础性、系统性、应用性)的设计和实验项目,并给出了大量具有参考价值的实验例程。全书共 10 章,包括模拟信号数字化、信源压缩编码、信道编码、数字基带传输、数字频带传输、同步技术、信道建模与仿真、信道均衡等,以及涉及 DVB-C、CCSDS、IEEE 802.16、蓝牙等实用标准的综合设计内容,反映了当前通信系统的新发展。

本书可作为高等院校电子信息类专业高年级本科生的教材,也可为本科生的课程设计、创新设计、毕业设计以及研究生相关实验、专业技术人员从事现代通信系统设计提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统课程设计与实验教程 / 雷菁主编. —北京: 科学出版社, 2012

(普通高等教育电子信息类国家级特色专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-033166-3

I. ①通… II. ①雷… III. ①通信系统-课程设计-高等学校-教材
IV. ①TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 275665 号

丛书策划: 匡 敏 潘斯斯

责任编辑: 潘斯斯 张丽花 / 责任校对: 钟洋

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

保定市市画美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 1 月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 450 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

高等学校本科教学评估和教育部《关于进一步深化本科教学改革,全面提高教学质量的若干意见》明确提出,高度重视实践环节,提高学生实践能力。要大力加强实验、实习、实践和毕业设计(论文)等实践教学环节,特别要加强专业实习和毕业实习等重要环节。

从目前实际情况看,通信技术飞速发展,而专业的实验教学却明显滞后,难以满足社会对通信工程专业人才日益增长的需求。根据多年的教学和科研实践经验,编者深感若能将最新科研成果和前沿课题的研究内容引入到实验教学中,学生通过自己动手实验,将进一步加深对课本知识的理解,获得理论课上无法领悟的知识和体会,教学质量将得到真正的提高。本书基于此出发点而编写,期望能够实践教育部提出的质量工程和创新工程思想,为实现以培养学生的创新意识、创新思维和创新能力为主线的新型教学模式作出贡献。

本书共 10 章。

第 1 章为绪论,首先介绍了模拟通信系统和数字通信系统的基本组成,然后对实验设计技术和实验测量技术进行了简单介绍,该部分内容奠定了全书的基础。

第 2 章为模拟信号数字化实验,主要有抽样定理实验、PCM/ADPCM 实验、CVSD 编译码实验,通过三个主要的实验强化学生对于信源编码基本原理的理解。

第 3 章为信源压缩编码实验,主要有 Huffman 编解码实验、算术编解码实验、二维 DCT 图像压缩编码实验、小波变换图像压缩实验、图像压缩综合系统实验。

第 4 章为信道编码实验,主要有汉明码编译码实验、RS 码编译码实验、Turbo 码编译码实验、乘积码编译码实验和 LDPC 编译码实验。

第 5 章为数字基带传输系统实验,包括码型变换实验、CMI 线路编码通信系统实验、HDB3 线路编码通信系统实验、RS422 接口实验。

第 6 章为数字频带传输系统实验,包括 BPSK 传输系统实验、MPSK 调制系统实验、MQAM 调制系统实验、OQPSK/ $\pi/4$ -QPSK 调制系统实验和 MSK/GMSK 调制系统实验。

第 7 章为同步技术实验,包括模拟锁相环载波同步实验、数字锁相环载波同步实验、数字锁相环位同步实验和帧成形及同步提取实验。

第 8 章为信道建模与仿真实验,包括加性高斯白噪声信道建模与仿真、瑞利衰落信道建模与仿真、莱斯衰落信道建模与仿真实验。

第 9 章为信道均衡实验,包括基带传输系统中码间干扰抑制实验、多径信道的自适应线性均衡实验和多径信道的自适应判决反馈均衡实验。

第 10 章为综合设计实验,包括数字基带传输系统设计、数字频带传输系统设计、差错控制系统设计和综合通信系统设计。其中,数字基带传输系统设计实验包括基带传输系统眼图的仿真、基带传输系统误码率的仿真和 CDMA 数字基带收发系统的设计;数字频带传输系统设计包括短波通信系统设计和基于卫星信道的 QAM 传输系统设计;差错控制系统设计包括基于 DVB-C 标准的前向纠错系统设计与实现和基于 CCSDS 的前向纠错系统设计与实现;综合通信系统设计

包括蓝牙传输系统、卫星数字电视传输系统、IEEE 802.16d 传输系统。

附录中给出了本书中相关章节的实验示例,供读者参考使用。

本书可作为“通信原理”、“信息论与编码基础”、“通信系统”等课程实验及通信类课程设计的配套教材。全书由雷菁主编,黄英、李保国、熊春林、赵海涛等共同编著。其中,第1、2、5章及第10章由雷菁编写,第4、6、7章由黄英编写,第8章及第10章由李保国编写,第9章由熊春林编写,第3章由赵海涛编写。大纲的构思、全书的修改完善由雷菁负责,在本书的编排过程中,黄英、李保国还参与了文稿的修订与校对工作。此外感谢武汉凌特电子有限公司、南京捷辉科技有限公司、南京东大移动互联技术有限公司以及长沙鑫三知科教设备有限公司提供的实验设备。

在本书的成书过程中得到了许多专家、同行的关心与帮助,特别是在与国防科学技术大学的唐朝京教授、魏急波教授以及东南大学的沈连丰教授等专家的交流中受益颇深。在本书的写作和相关教学与辅导工作中还得到雍玲、文磊、陈明霜等老师的帮助与支持,陈彬、龚政辉等研究生也协助完成了本书的校阅工作,在此对他们表示衷心的感谢。

本书的初稿及其系列实验在我校本科教学中使用并取得良好效果,但将科研成果引入实践教学是一项长期的工作,限于时间和水平,书中可能存在不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2011年11月于国防科学技术大学电子科学与工程学院

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统介绍	1
1.1.1 模拟通信系统	1
1.1.2 数字通信系统	3
1.2 实验设计技术介绍	4
1.2.1 系统仿真技术	4
1.2.2 EDA 技术	6
1.3 实验测量技术介绍	7
1.3.1 概念及方法	7
1.3.2 主要仪器	7
第 2 章 模拟信号数字化	9
2.1 抽样定理实验	9
2.1.1 实验原理	9
2.1.2 实验方法	10
2.2 PCM/ADPCM 编译码实验	12
2.2.1 实验原理	12
2.2.2 实验方法	16
2.3 CVSD 编译码实验	17
2.3.1 实验原理	17
2.3.2 实验方法	23
2.4 时分复用(TDM)通信系统综合实验	25
2.4.1 实验原理	25
2.4.2 实验方法	29
第 3 章 信源压缩编码	31
3.1 Huffman 编解码实验	31
3.1.1 实验原理	31
3.1.2 实验方法	32
3.2 算术编解码实验	33

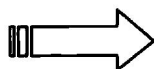
3.2.1	实验原理	33
3.2.2	实验方法	36
3.3	二维 DCT 图像压缩编码实验	36
3.3.1	实验原理	36
3.3.2	实验方法	37
3.4	小波变换图像压缩实验	38
3.4.1	实验原理	38
3.4.2	实验方法	41
3.5	图像压缩综合系统实验	41
3.5.1	实验原理	41
3.5.2	实验方法	43
第 4 章	信道编码	45
4.1	汉明码编译码实验	45
4.1.1	实验原理	45
4.1.2	实验方法	46
4.2	RS 编译码实验	47
4.2.1	实验原理	47
4.2.2	实验方法	50
4.3	Turbo 码编译码实验	50
4.3.1	实验原理	50
4.3.2	实验方法	54
4.4	乘积码编译码实验	54
4.4.1	实验原理	54
4.4.2	实验方法	57
4.5	LDPC 编译码实验	58
4.5.1	实验原理	58
4.5.2	实验方法	61
第 5 章	数字基带传输	62
5.1	码型变换实验	62
5.1.1	实验原理	62
5.1.2	实验方法	68
5.2	CMI 线路编码通信系统综合实验	71
5.2.1	实验原理	71
5.2.2	实验方法	73
5.3	HDB ₃ 线路编码通信系统综合实验	74

5.3.1 实验原理	74
5.3.2 实验方法	75
5.4 RS422 接口实验	76
5.4.1 实验原理	76
5.4.2 实验方法	77
5.5 基带传输系统实验	78
5.5.1 实验原理	78
5.5.2 实验方法	85
第6章 数字频带传输	86
6.1 BPSK 传输系统实验	86
6.1.1 实验原理	86
6.1.2 实验方法	93
6.2 MPSK 调制系统的设计	96
6.2.1 基本原理	96
6.2.2 设计方法	97
6.3 MQAM 调制系统的设计	98
6.3.1 基本原理	98
6.3.2 设计方法	100
6.4 OQPSK/ $\pi/4$ -QPSK 调制系统的设计	101
6.4.1 基本原理	101
6.4.2 设计方法	102
6.5 MSK/GMSK 调制系统的设计	103
6.5.1 基本原理	103
6.5.2 设计方法	105
第7章 同步技术	106
7.1 模拟锁相环载波同步实验	106
7.1.1 实验原理	106
7.1.2 实验方法	109
7.2 数字锁相环载波同步设计	111
7.2.1 基本原理	111
7.2.2 设计方法	114
7.3 数字锁相环位同步实验	115
7.3.1 实验原理	115
7.3.2 实验方法	118
7.4 帧成形及同步提取实验	120

7.4.1	实验原理	120
7.4.2	实验方法	122
第8章	信道建模与仿真	125
8.1	加性高斯白噪声信道建模与仿真	125
8.1.1	基本原理	125
8.1.2	设计方法	126
8.2	瑞利衰落信道建模与仿真	127
8.2.1	基本原理	127
8.2.2	设计方法	128
8.3	莱斯衰落信道建模与仿真	129
8.3.1	基本原理	129
8.3.2	设计方法	129
第9章	信道均衡	130
9.1	基带传输系统中码间干扰抑制实验	130
9.1.1	实验原理	130
9.1.2	实验方法	134
9.2	多径信道的自适应线性均衡实验	140
9.2.1	实验原理	141
9.2.2	实验方法	142
9.3	多径信道的自适应判决反馈均衡实验	143
9.3.1	实验原理	143
9.3.2	实验方法	144
第10章	综合设计实验	146
10.1	数字基带传输系统设计	146
10.1.1	基带传输系统眼图的仿真	147
10.1.2	基带传输系统误码率的仿真	148
10.1.3	CDMA 数字基带收发系统的设计	150
10.2	数字频带传输系统设计	155
10.2.1	短波通信系统设计	155
10.2.2	基于卫星信道的 QAM 传输系统设计	175
10.3	差错控制系统设计	179
10.3.1	基于 DVB-C 标准的前向纠错系统设计与实现	179
10.3.2	基于 CCSDS 的前向纠错系统设计与实现	183
10.3.3	基于 IEEE 802.16 标准的差错控制系统设计与实现	188
10.4	综合通信系统设计	189

10.4.1 蓝牙传输系统	189
10.4.2 卫星数字电视传输系统	193
10.4.3 IEEE 802.16d 传输系统	202
参考文献	213
附录 A 实验例程	215
例程 1 数字图像传输系统	215
例程 2 (7,4)汉明码编译码器	216
例程 3 Chase 译码	219
例程 4 QPSK 调制器	221
例程 5 MPSK 频谱	225
例程 6 QPSK 性能仿真	227
例程 7 MQAM 调制系统	229
例程 8 $\pi/4$ -QPSK 信号及其眼图观测	232
例程 9 频偏估计	235
例程 10 相位估计	236
例程 11 符号同步模块	237
例程 12 产生高斯分布随机序列	238
例程 13 加性高斯白噪声信道	239
例程 14 瑞利衰落信道	243
例程 15 莱斯衰落信道	245
例程 16 采用自适应线性均衡的未编码 PSK 传输系统	248
例程 17 采用自适应判决反馈均衡的未编码 PSK 传输系统	249
附录 B 缩略词英汉对照表	252
附录 C DVB-S2 中(码率 2/3, $n_{ldpc}=64800$)LDPC 码编码相关数据	256

第 1 章 绪 论



本章主要实验内容：

- ✓ 通信系统
- ✓ 实验设计技术
- ✓ 实验测量技术

在人类社会发展的近十多年间,信息科学技术迅猛发展,在社会各个领域得到了越来越广泛的应用。信息技术快速发展的显著特征之一是通信技术的快速发展。各种通信新系统的不断涌现也为人们提供了更好更快的通信方式,极大地改变了人们的生活方式。

1.1 通信系统介绍

通信的目的是为了有效可靠地传递和交换信息,传递信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统,通信系统的一般模型如图 1-1 所示。

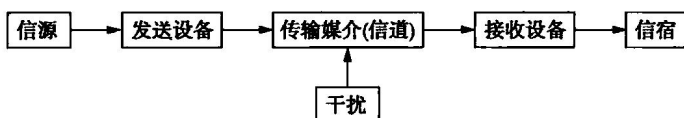


图 1-1 通信系统的组成

通信系统由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿等五个部分构成。信源是发出信息的源,信宿是传输信息的归宿点,信源可以是模拟的,也可以是离散的数字信源。发送设备的作用是产生适合于在信道中传输的信号,使发送信号的特性与传输媒介相匹配,将信源产生的消息信号变换为便于传输的形式。变换的方式是多种多样的,如信号的放大、滤波、调制等,发送设备还包括为达到某些特殊的要求而进行的各种处理,如多路复用、保密处理、纠错编码处理等。信道是指传输信号的通道,按照从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介,划分可以有信道,如明线、双绞线、同轴线缆或光纤,也可以是无信道。信道既给信号以传输通路,也会对信号产生各种干扰和噪声,信道的固有特性和干扰直接关系到通信的质量。接收设备的基本功能完成发送过程的反变换,即将信号进行放大并进行解调、译码、解码等,其目的是从带有噪声和干扰的信号中正确恢复出原始消息。对于多路复用信号,还包括解除多路复用,实现正确分路功能。此外,在接收设备中,还需要尽可能减小在传输过程中噪声与干扰所带来的影响。

1.1.1 模拟通信系统

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统,常用的模拟通信系统包括中波/短波无线电广播、模拟电视广播、调频立体声广播等通信系统。虽然当前通信技术发展的主流是数字通信技术,但是在实际应用中还有大量的模拟通信系统,并且模拟通信系统是数字通信的基础。

模拟移动通信系统包括 AMPS、TACS、NMT 等商用移动通信系统,虽然 2001 年我国已经全部停止了商用模拟移动通信服务,但是目前仍有很多专业机构采用模拟制式的无线集群通信系统。另外,随着我国对常规无线对讲机频段使用的放开(无需向无线电管理委员会申请),常规无线对讲机在日常生活中的应用日渐广泛。表 1-1 是模拟移动通信系统的工作频段、发射功率和调制体制参数。

与模拟线性调制技术相比,由于频率调制和相位调制具有较强的抗干扰能力,能够获得更大的信噪比增益,并且能够减小信号振幅变化引起的附加噪声,因此在模拟制 VHF/UHF 电台和移动通信系统中,频率和相位调制是最常用的调制体制。

表 1-1 典型模拟移动通信系统的主要参数

		TACS	AMPS	NMT	Motorola SmartNet
工作 频段	双工工作频段/MHz	890~915	824~849	454~468	806~821
	信道间隔/kHz	25	30	25	25
	双工间隔/MHz	45	45	10	45
	总信道数	1000	832	180/220	600
功率 特性	基站功率/W	40~100	20~100	25/50	150
	用户台功率/W	10/14/1.6/0.6	4/0.6	15	35
	小区覆盖半径/km	5~10	5~20	20~40	50
话音 调制	调制方式	FM	FM	FM	FM
	峰值频偏/kHz	9.5	12	5	5
信令 调制	调制方式	FSK	FSK	FSK	FSK
	速率/(kb/s)	8	10	1.2	3.6
	纠错编码	BCH	BCH	Hagelbargar	BCH

说明:

- (1) 表中所列 TACS 工作频段是我国所采用的频段规定,AMPS 的工作频段是北美地区使用的频率规定。
- (2) 工作频段所列的频率是移动台发射的频率,基站发射频率为移动台频率加上双工间隔。
- (3) 用户台功率的数据信息中,10/14/1.6/0.6 表示 TACS 用户台有四个等级的信号功率。其余以此类推。
- (4) TACS 曾经在英国、爱尔兰、中国及中国香港使用,AMPS 是北美地区及澳大利亚、新西兰、新加坡、韩国等国家使用模拟制蜂窝移动通信标准。NMT 顾名思义,最早在北欧地区采用,后来扩展到荷兰、比利时、瑞士等国家。
- (5) Motorola SmartNet 是典型的模拟制集群通信系统,采用半双工工作方式,在话音信道中还包含 150b/s 的亚音频信令。

模拟通信系统如图 1-2 所示。模拟调制是模拟通信系统中最重要的一部分,它决定了通信系统的性能。模拟调制时使用调制信号控制载波的振幅、相位或频率,以达到信息传输的目的。如在中波广播中,音频节目信号经过常规双边带调幅后,载波的振幅就跟随音频节目信号的电平而发生变化,收音机从接收到的中波信号检测出这种幅度的变化就能够重现音频信号。在多数模拟系统中,调制一般在中频进行,调制之后还需要经过上变频,将信号搬移到射频频段发送;接收端将从信道中接收到的信号进行下变频,在中频实现信号的解调。

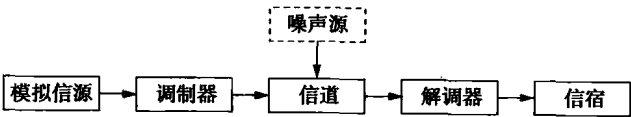


图 1-2 模拟通信系统

1.1.2 数字通信系统

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都有广泛的应用。但是,数字通信的发展速度已经超过模拟通信,成为当今通信发展的主流。与模拟通信相比,数字通信具有抗干扰能力强、传输差错可控、便于数字化处理、易于集成化和微型化、易于加密处理等优点。图 1-3 给出了数字通信传输系统的组成,分为数字基带传输系统和数字频带传输系统两类。

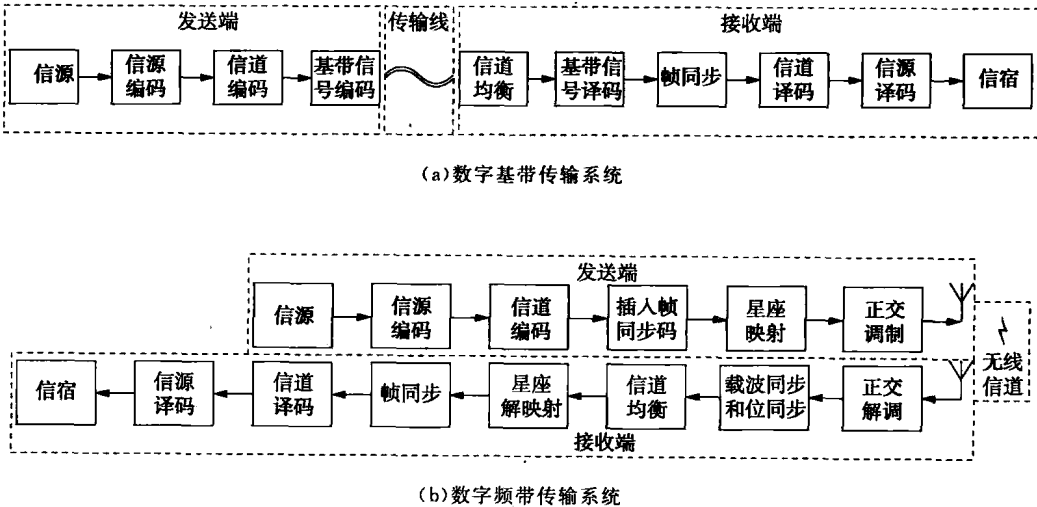


图 1-3 数字通信传输系统

在数字基带传输系统(图 1-3(a))中,其传输对象通常是二元数字信息,它可能来自计算机、电传打字机或其他数字设备的各种数字代码,也可能来自数字电话终端的 PCM 脉冲编码信号等。这些信号往往含有丰富的低频分量,甚至直流分量,因而称为数字基带信号。在某些有线信道中,特别是传输距离不太远的情况下,如 Ethernet、数字用户线等,数字基带信号可以直接传送,我们称为数字信号的基带传输。而在另外一些信道,特别是无线信道和光信道中,数字基带信号则必须经过调制,将信号频谱搬移到高频处才能在信道中传输,我们把这种传输系统称为数字频带传输系统(图 1-3(b))。数字通信传输系统包括信源编译码、信道编解码、调制解调、信道、同步等各个部分,下面分别进行介绍。

1) 信源编码与译码

信源编码主要有两个作用:一是完成模拟信源的数字化,如果信源产生的信号是模拟信号,首先需要对模拟信号进行数字化后才能在数字通信系统中传输。模拟信源的数字化包括采样、量化和编码三个过程,电话系统中话音信号的数字化是典型的模拟信源数字化过程。信源编码的另外一个作用是为提高信息传输的有效性而采用适当的压缩技术减小信息速率。如电话系统中采用 PCM 编码的语音速率为 64kb/s,而如果采用压缩编码后,单路话音的速率则可以降低到 32kb/s 或更低,这样在同样的信道中能够同时传输的话路就增加了。

2) 信道编码与译码

信道编码的目的是为了增强通信信号的抗干扰能力。由于信号在信道传输时受到噪声和干扰的影响,接收端恢复数字信息时可能会出现差错,为了减小接收差错,信道编码器对传输的信息按照一定的规则加入保护成分(监督元),组成差错控制编码。接收端的信道译码器按照相应

的逆规则进行解码,从中发现错误或纠正错误,提高通信系统的抗干扰性。在计算机中广泛使用的奇偶校验码就是最简单的一种差错控制编码,它具有一比特差错的检错能力。

3) 数字调制和解调

基本的数字调制方式有振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)和相移键控(PSK)。在接收端可以采用相干解调或非相干解调还原基带信号,此外还有在三种基本调制方法上发展起来的其他数字调制方式,如 QPSK、QAM、OQPSK、MSK、GMSK 等。

4) 同步

同步是使收发两端的信号在时间上保持步调一致,是保证数字通信系统有序、准确和可靠工作的前提条件。按照同步的不同作用,可以将同步分为位同步、帧同步和网同步。同步分散在系统的各个部分,如码元同步主要在调制和基带处理部分,而帧同步通常是处在调制解调之后。

需要指出的是,图 1-3 给出的只是点到点数字通信系统的一般化模型,实际的数字通信系统不一定包括所有的环节。数字基带传输系统无需调制和解调,实际数字频带通信系统也有可能增加部分处理环节。

1.2 实验设计技术介绍

1.2.1 系统仿真技术

仿真是衡量系统性能的工具,它通过仿真模型的仿真结果来推断原系统的性能,从而为新系统的建立和原系统的改造提供可靠的参考。仿真是科学研究和工程建设中不可缺少的方法。

通信系统是多种多样的,为了说明基于仿真的方法用于性能评估,可以考察一个一般通信系统的简化模型,如图 1-4 所示。

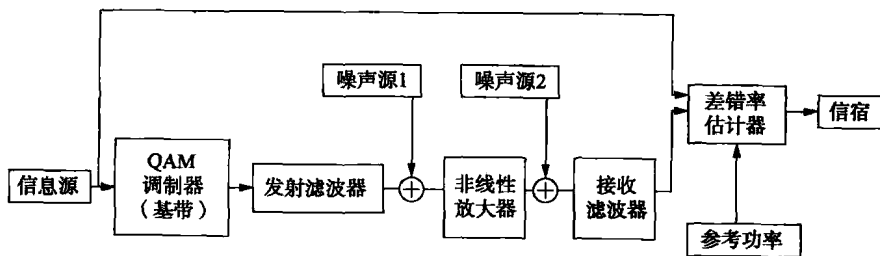


图 1-4 仿真的通信系统

由于滤波器及非线性的存在,分析法评估该系统的性能是困难的。带宽受限的滤波器引入符号间干扰(ISI),而噪声经过非线性单元会导致非高斯和非加性现象,这些都是很难描述和分析的。可以做某些近似,如忽略非线性单元前的滤波器的影响,将两个噪声源合并,并将这两个噪声源的总效应当做加性、高斯噪声源处理。这样的简化对于得到系统性能的初步评估是有用的,但对于进行详细性能分析则不够准确。

仿真在通信系统设计和工程实现的所有阶段都能起到重要作用,从早期的概念设计到各个工程实现阶段,以及现场实验。设计过程一般从概念定义开始,即对系统予以高层说明,如信息速率,性能目标等。任何通信系统的性能由两个重要因素控制,即信号噪声比(S/N)和累计的信号失真(误码率等)。一般来说,它们互相影响,必须做一些折中。在大多数通信系统中,利用链

路预算来跟踪影响 S/N 的各种因素。

通信系统的设计从候选系统和有关的设计参数表开始。在设计早期阶段,信噪比和信号质量下降的估计都是用较简单的模型和理论推测得到的。例如,为计算 S/N ,滤波器可以用有一定带宽的理想低通滤波器做模型,实际滤波器引入的失真用信噪比 S/N 的下降等效。若初始设计产生的候选参数满足性能目标,则设计继续进行下一步。否则,设计的拓扑逻辑就不得不改变,失真的参数也必须修改。下一阶段的设计是对子系统和部件拟定详细的规格及验证信号失真。例如,若一个滤波器规定为七阶巴特沃思滤波器,带宽-符号时间积为 0.7,则波形级仿真可用来证实滤波器引入失真大小。若经过仿真信道的性能下降小于规定值,则这儿的节省可用来放松其他一些部件的要求。对于这种折中研究和建立硬件开发的详细规格,仿真灵活而有效,经常是唯一可用的方法。当系统的硬件模型完成后,对它进行测试,并将测试结果与仿真结果比较。硬件和仿真结果之间吻合的程度是仿真是否有效的基础。

总之,仿真在通信系统设计中起着重要作用。在概念定义阶段,导出高层的技术条件;在设计进行和开发过程中,与硬件开发一起确定最后的技术条件并检查子系统对整个系统性能的影响;在运行情况下,仿真可作检修故障的工具,并预计系统的寿命。

必须指出,要使系统仿真结果精确地与实际情况一致,仿真的模型就应尽可能详细。这样,仿真占用的资源和耗费的时间与精力也随之而增加。如何在模型复杂性与仿真的准确性之间找到合适的平衡和折中,将是实现仿真时需要注意的。

通信系统仿真一般分为三个步骤,即仿真建模、仿真实验和仿真分析。应该注意的是,通信仿真是一个螺旋式发展的过程,因此,这三个步骤可能需要循环执行多次之后才能获得满意的仿真结果。

1) 仿真建模

仿真建模是根据实际通信系统建立仿真模型的过程,它是整个通信仿真过程中的一个关键步骤,因为仿真模型的好坏直接影响着仿真的结果以及仿真结构的真实性和可靠性。仿真模型是对实际系统的一种模拟和抽象。在仿真建模过程中,可以先建立一个相对简单的仿真模型,然后再根据仿真结果和仿真过程的需要逐步增加仿真模型的复杂度。

目前工程技术人员比较倾向于更加专业和方便使用的专门的仿真软件。比较常见的包括 MATLAB、OPNET 和 NS2 等。

2) 仿真实验

仿真实验是一个或一系列针对仿真模型的测试。在仿真实验过程中,通常需要多次改变仿真模型输入信号的数值,以观察和分析仿真模型对这些输入信号的反应,以及仿真系统在这个过程中表现出来的性能。对于需要较长时间的仿真,应该尽可能使用批处理方式,使得仿真过程在完成一种参数配置的仿真之后,能够自动启动针对下一个仿真参数配置的下一次仿真。这种方式减少了仿真过程中的人工干预,提高了系统利用率和仿真效率。

3) 仿真分析

仿真分析是一个通信仿真流程的最后一个步骤。在仿真分析过程中,用户已经从仿真过程中获得了足够多的关于系统性能的信息,但是这些信息只是一些原始数据,一般还需要经过数值分析和处理才能获得衡量系统性能的尺度,从而获得对仿真性能的一个总体评价。

应该强调的是,仿真分析并不一定意味着通信仿真过程的完全结束。如果仿真分析得到的结果达不到预期的目标,用户还需要重新修改通信仿真模型,这时候仿真分析就成为一个新循环的开始。

1.2.2 EDA 技术

现代电子产品正在以前所未有的速度,向着功能多样化、体积最小化、功耗最低化等方向迅速发展。现代电子产品设计与传统电子产品设计的显著区别之一就是大量使用大规模可编程逻辑器件,以提高产品性能、缩小产品体积、降低产品消耗。EDA 技术正是为了适应现代电子产品设计的要求,伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,吸收数据库、图形学、图论与拓扑逻辑、计算数学、优化理论等多学科最新成果而逐步形成的一门新技术。

利用 EDA 技术进行电子系统的设计,具有以下几个特点:①用软件的方式设计硬件;②用软件方式设计的系统到硬件系统的转换是由有关的开发软件自动完成的;③设计过程中可用有关软件进行各种仿真;④系统可现场编程,在线升级;⑤整个系统可集成在一个芯片上,体积小、功耗低、可靠性高;⑥从以前的“组合设计”转向真正的“自由设计”;⑦设计的移植性好,效率高;⑧非常适合分工设计,团队协作。因此,EDA 技术是现代电子设计的发展趋势。

随着 EDA 技术的深入发展和 EDA 技术软硬件性能价格比的不断提高,EDA 技术的应用将向广度和深度两个方面发展,其表现形式如下。

(1)CPLD/FPGA 系统。使用 EDA 技术开发 CPLD/FPGA,使自行开发的 CPLD/FPGA 作为电子系统、控制系统、信息处理系统的主体。

(2)“CPLD/FPGA + MCU”系统。综合应用 EDA 技术与单片机技术,将自行开发的“CPLD/FPGA + MCU”系统作为电子系统、控制系统、信息处理系统的主体。

(3)“CPLD/FPGA + 专用 DSP 处理器”系统。将 EDA 技术与 DSP 专用处理器配合使用,用“CPLD/FPGA + 专用 DSP 处理器”构成一个数字信号处理系统的整体。

(4)基于 FPGA 实现的现代 DSP 系统。基于 SOPC 技术、EDA 技术与 FPGA 技术实现方式的现代 DSP 系统。

(5)基于 FPGA 实现在 SoC 片上系统。使用超大规模的 FPGA 实现的,内含 1 个或数个嵌入式 CPU 或 DSP,能够实现复杂系统功能的单一芯片系统。

(6)基于 FPGA 实现的嵌入式系统。使用 CPLD/FPGA 实现的,内含嵌入式处理器,能满足对象系统要求的特定功能,能够嵌入宿主系统的专用计算机应用系统。

传统的电路设计方法都是自底而上进行设计的,也就是首先确定可用的元器件,然后根据这些器件进行逻辑设计,完成各模块后进行连接,最后形成系统。而基于 EDA 技术的设计方法则是自顶而下进行设计的,也就是首先采用可完全独立于目标器件芯片物理结构的硬件描述语言,在系统的基本功能或行为级上对设计的产品进行描述和定义,结合多层次的仿真技术,在确保设计的可行性与正确性的前提下,完成功能确认。然后利用 EDA 工具的逻辑综合功能,把功能描述转换成某一具体目标芯片的网表文件,输出给该器件厂商的布局布线适配器,进行逻辑映射及布局布线,再利用产生的仿真文件进行包括功能和时序的验证,以确保实际系统的性能。

在基于 EDA 技术的系统设计的最重要环节——在系统的基本功能或行为级上对设计的产品进行描述和定义时,我们采用自顶而下分析,自底而上设计的方法。所谓“自顶而下分析”,就是指将数字系统的整体逐步分解为各个子系统和模块,若子系统规模大,则还需将子系统进一步分解为更小的子系统和模块,层层分解,直至整个系统中各子系统关系合理,并便于逻辑电路级的设计和实现为止。所谓“自底而上设计”,就是在自顶而下分析建立各种设计模型的基础上,先进行低层模块的设计,完成低层模块的设计后再进行高一层次的设计,以此类推,直到完成顶层的设计为止。采用该方法进行分析和设计时,高层次设计进行功能和接口描述,说明模块的功能

和接口,模块功能的更详细描述在下一设计层次说明,最底层的设计才涉及具体的寄存器和逻辑门电路等实现方式的描述。

1.3 实验测量技术介绍

1.3.1 概念及方法

测量是通过实验方法对客观事物取得定量数据的过程,是人类认识和改造世界的一种重要手段。测量是为了确定被测对象的量值而进行的实验过程。测量要有测量对象(测量的客体),测量要由人(测量主体)来实施,测量需要专门的仪器设备(硬件)做工具,测量要有理论和方法(软件)进行指导,测量总是在一个特定的环境中进行,因此构成测量的基本要素是被测对象、测量仪器、测量技术、测量人员和测量环境。

电子测量是测量领域的主要组成部分,它泛指以电子技术为基本手段的测量技术,其主要内容如下。

(1)电能量测量。包括各种频率及波形下的电压、电流和功率等的测量。

(2)电信号特性测量。包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数及数字信号的逻辑状态等的测量。

(3)电路及电路元件参数测量。电路参数包括阻抗、传输系数和网络参数等;电路元件参数测量包括电阻、电感、电容、品质因数及电子器件的参数等的测量。

(4)电子设备的性能测量。包括增益、衰减、灵敏度、频率特性和噪声系数等的测量。

一个物理量的测量,可以通过不同的方法来实现。目前采用的主要测量方法有如下几种。

(1)直接测量。用已标定的仪器,直接地测量出某一待测未知量的量值方法。或者是将未知量与同类标准的量在仪器中进行比较,从而直接获得未知量的数值方法。

(2)间接测量。当被测量对象由于种种原因不能测量时,通过直接测量与被测量有一定关系的物理量,按函数关系计算出被测量的数值。

(3)组合测量。当某项测量结果需要用多个未知参数表达时,可通过改变测量条件进行多次测量,根据函数关系列出方程组求解,从而得到未知量的值。

1.3.2 主要仪器

在通信系统测量中,主要针对通信信号时频特性,及系统性能进行测量,主要用到以下仪器。

1)信号发生器

信号源是用于产生测量信号的一种仪器设备,信号源广泛应用于待测设备的激励、信号环境的仿真,以及作为标准校准用的标准信号。目前,信号发生器在频率覆盖范围上可以达到60(同轴系统)~178GHz(波导系统),频率分辨率1Hz(低频信号源的频率达到 μHz 级),频率准确度达到 10^{-8} ,具有灵活多变的调制能力,几乎可以产生电子测量所需要的任何类型的信号。

2)示波器

示波器是一种用荧光屏显示电量随时间变化过程的电子测量仪器。它能把人的肉眼无法直接观察的电信号,转换成人眼能够看到的波形,具体显示在示波屏幕上,以便对信号进行直观的定性和定量观测。示波器主要用于观测电信号波形;测量电压电流的幅度、频率、时间、相位等电