

MATLAB/ Simulink

通信系统建模 仿真实例精讲

与

邵佳 董辰辉 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn



MATLAB
精品丛书

MATLAB/ Simulink

通信系统建模 仿真实例精讲^⑤

邵佳 董辰辉 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

全书以实际工程为背景,通过专业技术与大量实例结合的形式,系统详细地介绍了 MATLAB/Simulink 2008 通信系统建模与仿真设计的方法和技巧。全书共分 3 篇 14 章,第 1~2 章为 MATLAB/Simulink 基础技术篇,简要介绍了通信系统基础知识、集成环境 MATLAB/Simulink、S-function 设计与应用;第 3~9 章为通信系统常用模块仿真篇,重点对信号与信道、信源编码/译码、调制与解调、均衡器与射频损耗、通信滤波器、差错控制编码/译码、同步与其他模块的建模与仿真技术进行了阐述;第 10~14 章为通信系统仿真综合实例篇,深入浅出地剖析了蓝牙跳频通信系统、直接序列扩频通信系统、IS-95 前向链路通信系统、OFDM 通信系统以及 MIMO 通信系统建模与仿真设计的流程和细节。这 5 个工程案例典型实用,技术前沿新颖,代表了通信系统的先进成果。读者通过学习,将可以举一反三,快速提高应用水平,胜任各种 MATLAB/Simulink 通信系统的建模与仿真设计工作。

本书配有光盘 1 张,包含了全书所有实例的硬件原理图和程序源代码,方便读者学习和使用。本书适合信息与通信工程等相关专业的大学毕业生,以及从事 MATLAB/Simulink 仿真的科研人员使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 通信系统建模与仿真实例精讲 / 邵佳,董辰辉编著. —北京:电子工业出版社,2009.6
(MATLAB 精品丛书)
ISBN 978-7-121-08777-6

I. M… II. ①邵…②董… III. ①通信系统—系统建模—计算机辅助计算—软件包, Matlab、Simulink②通信系统—系统仿真—计算机辅助计算—软件包, Matlab、Simulink IV. TN914.39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071368 号

责任编辑:江立

印刷:北京智力达印刷有限公司

装订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:508 千字

印次:2009 年 6 月第 1 次印刷

印数:3500 册 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

目前网络通信是一个非常热门的领域，无论是有线网络还是无线网络，都逐渐渗透到生活的各个地方，通信系统正向着宽带化方向迅速发展；而 Simulink 是 MATLAB 中的一种可视化仿真工具，广泛应用于线性系统、数字控制、非线性系统以及数字信号处理的建模和仿真中。使用 MATLAB/Simulink 进行通信系统建模与仿真设计，已经成为大量通信工程师必须研究掌握的技术之一，也是高等院校通信专业学生学习的课程之一。

但目前市场上同类 MATLAB/Simulink 通信系统仿真设计的书非常少，仅有的几本也以介绍基础理论为主，实用性不强，缺少通过大量实例讲解 MATLAB/Simulink 通信系统建模与仿真设计的内容，远远满足不了广大读者学习的需求。本书就是为了弥补这种不足而编写的。

本书内容

全书以实际工程为背景，重点通过专业技术与大量实例结合的形式，详细地介绍了 MATLAB/Simulink 2008 通信系统建模与仿真设计的方法和技巧。全书共分 3 篇 14 章，具体内容安排如下。

第一篇为 MATLAB/Simulink 基础技术篇，包括第 1~2 章，简要介绍了通信系统与仿真基础知识、集成环境 MATLAB/Simulink、S-function 设计与应用，引导读者进行 MATLAB/Simulink 入门。

第二篇为通信系统常用模块仿真篇，包括第 3~9 章，内容包括信号与信道、信源编码/译码、调制与解调、均衡器与射频损耗、通信滤波器、差错控制编码/译码、同步与其他模块的仿真。读者通过学习，将对通信系统常用模块与仿真技术有所熟悉，并了解相关的一些简单性应用。

第三篇为通信系统仿真综合实例篇，包括第 10~14 章，通过蓝牙跳频通信系统、直接序列扩频通信系统、IS-95 前向链路通信系统、OFDM 通信系统以及 MIMO 通信系统，深入浅出地剖析了 MATLAB/Simulink 通信系统仿真设计流程及应用方法。读者通过学习，设计水平将快速提高，迅速实现入门到精通的飞跃。

本书配有光盘一张，包含了全书所有实例的硬件原理图和程序源代码，方便读者学习和使用。本书适合信息与通信工程等相关专业的大学生，以及从事 MATLAB/Simulink 仿真的科研人员使用。

本书特色

与同类书比较，本书主要特点如下：

(1) 以 MATLAB/Simulink 2008 最新版为蓝本，深入介绍了 Simulink 通信系统的建模

与仿真设计技术，知识系统、技术新颖，反映了许多先进通信成果。

(2) 本书讲练结合，突出应用实践，5个通信系统综合实例典型实用，全部取自于一线工程实践，利于读者学习后举一反三。

(3) 本书盘书结合，光盘中附有实例的仿真文件和程序代码，读者稍加修改，便可应用于自己的工作中或者完成自己的课题，物超所值。

本书作者

本书主要由邵佳、董辰辉编著。另外参加编写的人还有：唐清善、邱宝良、周克足、刘斌、李永怀、李宁宇、黄小欢、严剑忠、黄小宽、李彦超、付军鹏、张广安、王艳波、金平、徐春林、谢正义、郑贞平、张小红等。他们在资料收集、整理和技术支持方面做了大量的工作，在此一并向他们表示感谢！

由于时间仓促，再加之作者的水平有限，书中难免存在一些不足之处，欢迎广大读者批评指正。

目 录

第一篇 MATLAB/Simulink 基础技术篇

第 1 章 通信系统与仿真专业基础	2
1.1 通信系统概述	2
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 信源	2
1.2.2 发送设备	3
1.2.3 信道	3
1.2.4 接收设备	3
1.2.5 信宿	3
1.3 通信系统的分类	4
1.3.1 按信源分类	4
1.3.2 按传输媒介分类	4
1.3.3 按传输信号的特征分类	5
1.4 仿真技术与通信仿真	7
1.4.1 仿真技术	7
1.4.2 计算机仿真的一般过程	7
1.4.3 通信仿真的概念	8
1.4.4 通信仿真的一般步骤	8
1.5 本章小结	10
第 2 章 MATLAB/Simulink 仿真 原理与操作	11
2.1 MATLAB/Simulink 特点 及工作原理	11
2.1.1 Simulink 主要特点	11
2.1.2 Simulink 仿真的工作 原理	12
2.2 Simulink 的常用操作	13
2.2.1 安装与启动	13
2.2.2 模块基本操作	14
2.2.3 信号线基本操作	19
2.2.4 模型的注释	23
2.2.5 模型的打印	24
2.2.6 模型文件	25

2.3 子系统及其封装	25
2.3.1 创建简单子系统	26
2.3.2 创建条件执行子系统	29
2.3.3 子系统的封装	36
2.4 S-function 设计与应用	46
2.4.1 S-function 的基本概念	46
2.4.2 在模型中使用 S-function	51
2.4.3 M 文件 S-function 的编写	55
2.4.4 C 语言 S-function 的编写	66
2.4.5 S-function Builder 的使用方法	75
2.5 本章小结	82

第二篇 通信系统常用 模块仿真篇

第 3 章 信号与信道	84
3.1 随机数据信号源	84
3.1.1 伯努利二进制 信号产生器	84
3.1.2 泊松分布整数产生器	85
3.1.3 随机整数产生器	87
3.2 序列产生器	88
3.2.1 Gold 序列产生器	88
3.2.2 PN 序列产生器	91
3.2.3 Walsh 序列产生器	93
3.2.4 其他	94
3.3 噪声源发生器	96
3.3.1 均匀分布随机噪声 产生器	96
3.3.2 高斯随机噪声产生器	97
3.3.3 瑞利噪声产生器	98
3.3.4 莱斯噪声产生器	100

3.4	信道	101	6.2.2	LMS 线性均衡器	144
3.4.1	加性高斯白噪声信道	101	6.2.3	归一化 LMS 均衡器	145
3.4.2	多径瑞利退化信道	103	6.2.4	符号 LMS 均衡器	147
3.4.3	多径莱斯退化信道	104	6.2.5	变步长 LMS 均衡器	149
3.5	信号观测设备	106	6.3	RLS 均衡器	150
3.5.1	离散的眼图示波器	106	6.3.1	RLS 判决反馈均衡器	150
3.5.2	星座图观测仪	109	6.3.2	RLS 线性均衡器	152
3.5.3	离散信号轨迹 观测设备	112	6.4	射频损耗	154
3.5.4	误码率计算器	113	6.4.1	自由空间路径损耗	154
3.6	本章小结	114	6.4.2	相位噪声	155
			6.4.3	相位/频率偏移	156
			6.4.4	其他	156
第 4 章	信源编码/译码	115	6.5	本章小结	157
4.1	信源编码	115	第 7 章	通信滤波器	158
4.1.1	A 律编码	115	7.1	滤波器设计模块	158
4.1.2	μ 律编码	116	7.1.1	数字滤波器设计	158
4.1.3	差分编码	117	7.1.2	模拟滤波器设计	161
4.1.4	量化编码	117	7.2	理想矩形脉冲滤波器	162
4.2	信源译码	118	7.3	升余弦滤波器	165
4.2.1	A 律译码	118	7.3.1	升余弦发射滤波器	165
4.2.2	μ 律译码	119	7.3.2	升余弦接收滤波器	169
4.2.3	差分译码	120	7.4	其他	171
4.2.4	量化译码	120	7.5	本章小结	172
4.3	本章小结	121	第 8 章	差错控制编码/译码	173
第 5 章	调制与解调	122	8.1	线性分组码	173
5.1	模拟调制解调	122	8.1.1	BCH 编码/译码	174
5.1.1	DSB AM 调制解调	122	8.1.2	二进制线性编码/译码	176
5.1.2	SSB AM 调制解调	124	8.1.3	汉明码编码/译码	178
5.1.3	DSBSC AM 调制解调	126	8.1.4	二进制循环码编码/ 译码	179
5.1.4	FM 调制解调	127	8.2	循环卷积码	181
5.1.5	PM 调制解调	129	8.2.1	卷积码编码器原理	181
5.2	数字基带调制解调	130	8.2.2	后验概率解码器	183
5.2.1	数字幅度调制解调	130	8.2.3	Viterbi 解码器	184
5.2.2	数字频率调制解调	134	8.3	CRC 循环冗余码校验	187
5.2.3	数字相位调制解调	137	8.3.1	常规 CRC 产生器	187
5.3	本章小结	140	8.3.2	CRC-N 信号产生器	189
			8.3.3	CRC 冗余码校验	190
第 6 章	均衡器与射频损耗	141	8.4	本章小结	192
6.1	CMA 均衡器	141			
6.2	LMS 均衡器	142			
6.2.1	LMS 判决反馈均衡器	142			

第 9 章 同步	193
9.1 载波相位恢复	193
9.1.1 CPM 相位恢复	193
9.1.2 M-PSK 相位恢复	194
9.2 定时恢复	195
9.3 基本锁相环及压控 振荡器模块	196
9.3.1 基本锁相环	196
9.3.2 压控振荡器	197
9.4 本章小结	199

第三篇 通信系统仿真 综合实例篇

第 10 章 蓝牙跳频通信系统仿真设计	202
10.1 蓝牙技术概述	202
10.2 蓝牙跳频系统各部分介绍	203
10.2.1 信号传输部分	203
10.2.2 信号接收部分	206
10.2.3 谱分析	210
10.2.4 误码分析部分	212
10.3 蓝牙跳频系统的仿真模型	213
10.4 系统运行分析	215
10.5 本章小结	215

第 11 章 直接序列扩频通信 系统仿真设计	216
11.1 扩频通信系统简介	216
11.1.1 技术理论基础	216
11.1.2 系统主要特点	218
11.1.3 系统基本类型	219
11.2 直接序列扩频通信系统原理	219
11.2.1 系统结构	220
11.2.2 信号分析	220
11.2.3 处理增益和干扰容限	222
11.3 伪随机序列	224
11.3.1 m 序列	225
11.3.2 Gold 序列	228
11.4 直接序列扩频通信系统设计	229
11.4.1 发射机设计	229

11.4.2 接收机设计	230
11.4.3 系统仿真参数	230
11.4.4 系统性能仿真	231
11.5 直接序列扩频通信 系统仿真程序	231
11.6 本章小结	247

第 12 章 IS-95 前向链路通信 系统仿真设计	248
12.1 IS-95 系统参数与特性	248
12.1.1 IS-95 系统参数	248
12.1.2 IS-95 系统特性	248
12.2 IS-95 前向链路系统设计	249
12.2.1 发射机设计	250
12.2.2 信道设计	255
12.2.3 接收机设计	256
12.2.4 系统性能仿真	256
12.3 IS-95 前向链路系统 仿真程序	257
12.4 本章小结	269

第 13 章 OFDM 通信系统仿真设计	270
13.1 OFDM 系统的基本原理	270
13.1.1 正交调制解调	270
13.1.2 系统组成	272
13.1.3 OFDM 的优点	275
13.1.4 OFDM 的缺点	276
13.1.5 OFDM 的关键技术	276
13.2 OFDM 系统的 PAPR 抑制算法设计	277
13.2.1 OFDM 信号的 PAPR 及其分布	277
13.2.2 降低 PAPR 的 常用方法	280
13.2.3 基于改进脉冲成形技 术的 PAPR 抑制方法	283
13.3 OFDM 系统的同步算法设计	290
13.3.1 OFDM 系统中的 同步问题	290
13.3.2 同步偏差对 OFDM 信号的影响	291

13.3.3	OFDM 同步算法概述	292	14.2	OFDM 技术简介	333
13.3.4	OFDM 系统的同步设计	293	14.3	MIMO-OFDM 系统结构	335
13.4	OFDM 系统的编码算法设计	301	14.4	空时编码技术	336
13.4.1	通信系统的信道编码	301	14.4.1	分层空时编码 (BLAST)	336
13.4.2	卷积码原理及设计	305	14.4.2	空时网格编码 (STTC)	337
13.4.3	交织原理及设计	312	14.4.3	空时分组编码 (STBC)	338
13.5	OFDM 通信系统设计	312	14.5	基于 STBC 的 MIMO-OFDM 系统设计	342
13.5.1	发射机设计	312	14.5.1	STBC-MIMO-OFDM 系统模型	342
13.5.2	接收机设计	316	14.5.2	STBC-MIMO-OFDM 系统性能分析	343
13.5.3	系统仿真参数	317	14.5.3	STBC-MIMO-OFDM 通信系统设计	344
13.5.4	系统性能仿真	317	14.6	基于 STBC 的 MIMO-OFDM 通信系统仿真程序	345
13.6	OFDM 通信系统仿真程序	318	14.7	本章小结	351
13.7	本章小结	327			
第 14 章 MIMO 通信系统仿真设计 328					
14.1	MIMO 系统理论	328			
14.1.1	MIMO 系统模型	329			
14.1.2	MIMO 系统容量分析	330			
14.1.3	发送端信道容量的比较	332			

Part 1

MATLAB/Simulink 基础技术篇

第 1 章 通信系统与仿真专业知识

第 2 章 MATLAB/Simulink 仿真原理与操作

第 1 章 通信系统与仿真专业基础

人类社会要进行信息交流就离不开通信，通信按照传统的理解就是信息的传输与交换。现在社会已进入信息时代，人们要进行交换的信息已不再是单一的电话业务，而是集声、图、文为一体的综合性的多种信息服务，因此现在通信网是一个综合业务数字网。本书将系统介绍 MATLAB/Simulink 通信系统仿真技术与实例，首先介绍通信系统与仿真的基础知识。

1.1 通信系统概述

通信系统 (Communication System) 是用以完成信息传输过程的技术系统的总称。现代通信系统主要借助电磁波在自由空间的传播或在导引媒体中的传输机理来实现，前者称为无线通信系统，后者称为有线通信系统。由于人们对通信的容量要求越来越高，对通信的业务要求越来越多样化，所以通信系统正迅速向着宽带化方向发展，而光纤通信系统将在通信网中发挥越来越重要的作用。

1.2 通信系统的组成

通信是将信息从发信者传递给在另一个时空点的收信者。由于完成这一信息传递的通信系统的种类繁多，因此它们的具体设备和业务功能可能各不相同，经过抽象概括，通信流程可用如图 1-1 所示的基本模型图来表示。整个流程是由信源、发送设备、信道 (或传输媒质)、接收设备和收信者 (信宿) 五部分组成。

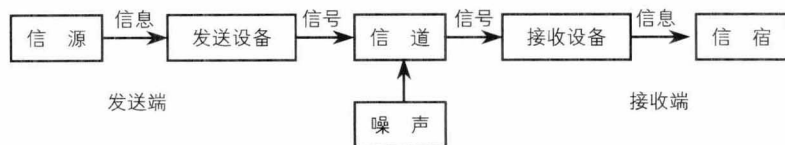


图 1-1 通信系统的基本模型

上述模型概括地反映了通信系统的共性。根据我们的研究对象及所关心的不同问题，将会使用不同形式的较具体的通信系统模型。

1.2.1 信源

信源是信息的产生者或信息的形成者。根据信源所产生信号的性质不同，可分为模拟信源和离散信源。

模拟信源（如电话机和电视摄像机等）输出幅度连续的信号；离散信源（如电传机、计算机等）输出离散的符号序列或文字。模拟信源可通过抽样和量化转换为离散信源。随着计算机和数字通信技术的发展，离散信源的种类和数量会越来越多。这里需要强调指出，随着信源和接收者的不同，信息的速率将在很大范围内变化。例如，一台电传打字机的速率为 50bit/s，而彩色电视的速率为 270Mbit/s。由于信源产生的种类和速率不同，因而对传输系统的要求也各不相同。

1.2.2 发送设备

发送设备的基本功能是将信源和传输媒介匹配起来，即将信源产生的消息信号变换为有利于传送的信号形式送往传输媒介。变换方式是多种多样的，在需要频率搬移时，调制是最常见的变换方式。发送设备还包括为达到某些特殊要求所进行的各种处理，如多路复用、保密处理和纠错编码处理等。

1.2.3 信道

信道是指信号传输的媒介，信号是经过信道传送到接收设备的。传输媒介既可以是线性的，也可以是无线的，二者都有多种物理传输媒介。

在信号传输过程中，必然会引入发送设备、接受设备和传输媒介的热噪声和各种干扰和衰减，即信号在信道中传输时，会产生信道噪声。

媒介的固有特性和干扰特性会直接影响变换方式的选取，如通过电导体传播的有线信道和通过自由空间传播的无线信道，其信号变换方式是不同的。不同频段的无线电波在空间传播的途径、性能和衰减（衰落）也是不同的。

1.2.4 接收设备

接收设备的主要作用是来自信道的带有干扰的发送信号加以处理，并从中提取原始信息，完成发送变换过程的逆变换——解调和译码。对于多路复用信号，还包括多路去复用，实现正确分路。由于接收的消息信号存在噪声和传输损伤，接收设备还可能包含趋近理想恢复的某些措施和方法。

1.2.5 信宿

信宿是将复原的原始信号转换成相应的消息。

应当指出，上述模型是点对点的单向通信系统。对于双向通信，通信双方都要有发送设备和接收设备。对于多个用户之间的双向通信，为了能够实现信息的有效传输，必须进行信息的交换和分发，由传输系统和交换系统组成的一个完整的通信系统或通信网络来实现。其中交换系统完成不同地址信息的交换，因此交换系统中的每一台交换机组成了通信网络中的各个节点。

一个实际的通信系统往往由终端设备、传输链路和交换设备三大部分组成。

(1) 终端设备

终端设备主要功能是把待传送的信息与在信道上传送的信号相互转换。这就要求有发送传感器和接收传感器将信号恢复成能被利用的信息, 还应该有的处理设备以便能与信道匹配。另外, 还需要有能产生和识别通信系统内所需的信令信号或规约。对应不同的电信业务有不同的信源和信宿, 也就有着不同的变换的反变换设备, 因此对应不同的电信业务也就有不同的终端设备, 如电话业务的终端设备就是电话机, 传真业务的终端设备就是传真机, 数据业务的终端设备就是数据终端机等。

(2) 传输链路

传输链路是连接源点和终点的媒介和通路, 除对应于通信系统模型中信道部分之外, 还包括一部分变换和反变换设备。

传输链路的实现方式主要有以下几种:

- 物理传输媒介本身就是传输链路, 如实线和电缆;
- 采用传输设备和物理传输媒介一起形成的传输链路, 如载波电路和光通信链路;
- 传输设备利用大气传输链路, 如微波和卫星通信链路。

(3) 交换设备

交换设备是现代通信网的核心, 其基本功能是完成接入交换节点链路的汇集、转换和分配。对不同电信业务网络的转接, 交换设备的性能要求也不相同。例如, 电话业务网的交换设备实时性强, 因此目前电话业务网主要采用直接接续通话电路的交换方式。

对于主要用于计算机通信的数据业务网, 由于数据终端或计算机可有各种不同的速率, 为了提高链路利用率, 可将流入信息流进行分组、存储, 然后再转发到所需链路上去, 这种方式叫做分组交换方式。例如, 分组数据交换机就按这种方式进行交换, 这种方式可以比较高效地利用传输链路。

1.3 通信系统的分类

通信系统的分类方法很多, 既可以按用途来分, 也可以按传输信号的特征来分, 还可以按工作方式来分。本节仅对图 1-1 所示的通信系统模型所引出的分类方法进行讨论。

1.3.1 按信源分类

按照信源发出消息的物理特征不同可分为电话、电报、数据和图像等通信系统。其中电话通信目前最发达, 其他通信常借助于公共电话通信系统传递信息。如电报通信一般采用公共电话系统中的一个话路或从话路中的一部分频带进行传送; 电视信号或图像信号可使用多个话路合并为一个信道进行传送。

1.3.2 按传输媒介分类

通信系统模型中的信道是指传输信息的媒介或信号的通道。按传输媒介分类, 通信系

统可分为有线（包括光纤）和无线两大类。表 1-1 列出了常用的媒介及其用途。

表 1-1 常用传输媒介及其用途

频率范围	波长范围	表示符号	传输媒介	主要用途或场合
3Hz~30kHz	$10^8\sim 10^4\text{m}$	VLF (甚低频)	有线线对 (超长波)	音频、电话、数据终端
30~300kHz	$10^4\sim 10^3\text{m}$	LF (低频)	有线线对 (长波)	导航、信标、电力线、通信
300kHz~3MHz	$10^3\sim 10^2\text{m}$	MF (中频)	同轴电缆 (中波)	AM 广播、业余无线电
3~30MHz	$10^2\sim 10\text{m}$	HF (高频)	同轴电缆 (短波)	移动电话、短波广播、业余无线电
30~300MHz	10~1m	VHF (甚高频)	同轴电缆 (米波)	FM 广播、TV、导航、移动通信
300M~3GHz	1m~10cm	UHF (特高频)	同轴电缆、 波导 (分米波)	TV、遥控遥测、雷达、移动通信
3~30GHz	10~1cm	SHF (超高频)	波导 (厘米波)	微波通信、卫星通信、雷达
30~300GHz	10~1mm	EHF (极高频)	波导 (毫米波)	微波通信、雷达、射电天文学

由表 1-1 中的信道可构成相应的通信系统。有线信道常用的是对称电缆、同轴电缆和光缆，由此可构成电缆通信系统和光纤通信系统。目前国际和我国长途通信系统中主要采用的是光纤通信系统，而电缆通信系统大都用在本地通信系统中。无线信道按照所使用的频段和通信手段可分为短波通信系统、微波中继通信系统、移动通信系统和卫星通信系统。

1.3.3 按传输信号的特征分类

根据传输信号的特征，通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统两大类。

(1) 模拟通信系统

在模拟通信系统中传输的是模拟信号。如图 1-2 所示的是模拟通信系统的基本组成。在图中用调制器取代图 1-1 中的发送变换器，用解调器取代了图 1-1 中的接收变换器。这里的调制器和解调器对信号的变换起着决定性的作用，直接关系到通信质量的优劣。

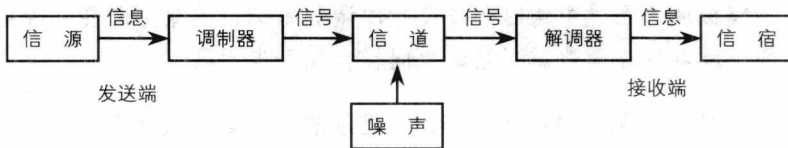


图 1-2 模拟通信系统的基本组成图

(2) 数字通信系统

在数字通信系统中传输的是数字信号。数字通信系统的基本组成如图 1-3 所示。数字通信系统除了包括调制器和解调器外，还包括信源编码器、信道编码器、信道译码器、信源译码器和同步系统等。

数字通信系统的组成主要有以下几个部分：

- 信源编码器

信源编码器的主要作用是提高数字信号传输的有效性。如果信息源是数据处理设备，

还要进行并/串变换，以便进行数据传输。通常的数字加密也可归并到信源编码中。接收端的信源译码是信源编码的逆变换。

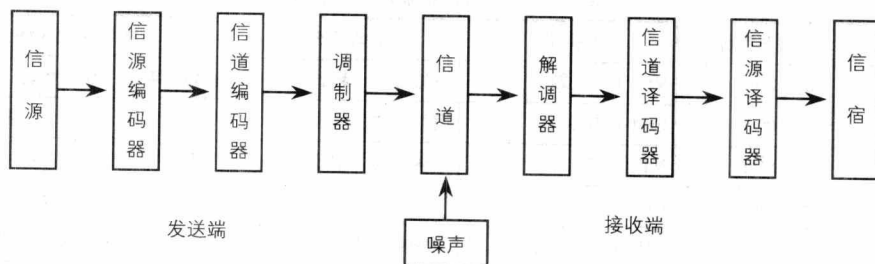


图 1-3 数字通信系统的基本组成图

• 信道编码器

信道编码器主要是为了提高数字信号传输的可靠性。由于传输信道内噪声的存在和信道特性不理想造成的码元间干扰，通信系统很容易产生传输差错，而信道的线性畸变所造成的码间干扰可通过均衡办法基本消除，因此信道中的噪声是导致传输差错的主要原因。减小这种差错的基本做法是在信码组中按一定规则附加上若干个监视码元（或称冗余度码元），使原来不相关的数字信息序列变为相关的新序列，然后在接收端根据这种相关的规律性来检测或纠正接收序列码组中的误码，提高可靠性，因此信道编码器又称为差错控制编码器。接收端的信道译码器是信道编码器的逆过程。

• 同步系统

同步系统用于建立通信系统收、发相对一致的时间关系。只有这样，接收端才能确定每位码的起止时间，并确定接收码组与发送码组的正确对应关系，否则接收端无法恢复发端的信息。因此同步是数字通信系统正常工作的前提，通信系统能否有效地、可靠地工作，很大程度上依赖于同步系统性能的好坏。同步可分为载波同步、位同步、帧同步和网同步四大类。



对于模拟通信系统中的时分多路脉冲调制系统、图像（电视）传输系统和采用相干解调的连续波调制系统也同样存在同步问题。

模拟通信系统与数字通信系统各有特点，但从总体上看，数字通信系统与模拟通信系统相比，具有以下优点：

- 抗干扰能力强，数字通信系统可通过再生中继器消除噪声积累；
- 可采用差错控制技术，从而提高数字信号传输的可靠性；
- 便于进行各种数字信号处理，如计算机存储和处理，使数字通信和计算机技术相结合而组成综合化、智能化的数字通信网；
- 数字通信系统可使传输与交换相结合，电话、数据和图像传输相结合，有利于实现综合业务数字网；
- 数字通信系统的器件和设备易于实现集成化、微型化。

然而数字通信系统也存在占用频带宽的缺点，但近年来卫星通信和光纤通信等宽带通

信系统日趋发展成熟，为数字通信系统提供了足够宽的频带，因而相比之下，此缺点就不显得突出了。

1.4 仿真技术与通信仿真

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。

实际的通信系统是一个功能结构相当复杂的系统，对这个系统做出的任何改变都可能影响到整个系统的性能和稳定。因此，在对原有的通信系统做出改进或建立一个新系统之前，通常对这个系统进行建模和仿真，通过仿真结果衡量方案的可行性，从中选择最合理的系统配置和参数设置，然后再应用到实际系统中，这个过程就是通信仿真。

1.4.1 仿真技术

仿真技术是以相似原理、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关技术为基础，以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具，利用模型对系统（已有的或设想的）进行研究的一门多学科的综合技术。

仿真本质上是一种知识处理的过程。典型的系统仿真过程包括：系统模型建立、仿真模型建立、仿真程序设计、模型确认、仿真实验和数据分析处理等，它涉及很多领域的知识和经验。系统仿真可以有很多种分类方法。按模型的类型可以分为连续系统仿真、离散系统仿真、连续/离散（时间）混合系统仿真和定性系统仿真；按仿真的实现方法和手段可以分为物理仿真、计算机仿真、硬件在回路中的仿真（半实物仿真）和人在回路中的仿真；根据人和设备的真实程度，可以分为实况仿真、虚拟仿真和构造仿真。

1.4.2 计算机仿真的一般过程

前面提到过，仿真在实现方法上可以分为多种。而本书介绍的 Simulink 的仿真技术则属于计算机仿真的一种。计算机仿真的一般过程可以表述如下。

- (1) 描述仿真问题，明确仿真目的。
- (2) 项目计划、方案设计与系统定义。

根据仿真相应的结构，规定相应仿真系统的边界条件与约束条件。

- (3) 数学建模。

根据系统的先验知识、实验数据及其机理研究，按照物理原理或者采取系统辨识的方法，确定模型的类型、结构及参数。注意，要确保模型的有效性和经济性。

- (4) 仿真建模。

根据数学模型的形式、计算机类型、采用的高级语言或其他仿真工具，将数学模型转换成能在计算机上运行的程序或其他模型。

(5) 实验。

设定实验环境/条件和记录数据, 进行实验并记录数据。

(6) 仿真结果分析。

根据实验要求和仿真目的对实验结果进行分析处理, 根据分析结果修正数学模型、仿真模型、仿真程序或者修正/改变原型系统, 以进行新的实验。模型是否能够正确地表示实际系统, 并不是一次完成的, 而是需要比较模型和实际系统的差异, 不断地修正和验证才能完成。

1.4.3 通信仿真的概念

通信仿真是衡量通信系统性能的工具。通信仿真可以分为离散事件仿真和连续仿真。在离散事件仿真中, 仿真系统只对离散事件做出响应; 而在连续仿真中, 仿真系统对输入信号产生连续的输出信号。离散事件仿真是对实际通信系统的一种简化, 它的仿真建模比较简单, 整个仿真过程需要花费的时间也比连续仿真少。虽然离散事件仿真舍弃了一些仿真细节, 在有些场合显得不够具体, 但仍然是通信仿真的主要形式。

与一般的仿真过程类似, 在对通信系统实施仿真之前, 首先需要研究通信系统的特性, 通过归纳和抽象建立通信系统的仿真模型。通信系统仿真是一个循环往复的过程, 它从当前系统出发, 通过分析建立起一个能够在一定程度上描述原通信系统的仿真模型, 然后通过仿真实验得到相关的数据。通过对仿真数据的分析可以得到相应的结论, 然后把这个结论应用到对当前通信系统的改造中。如果改造后通信系统的性能并不像仿真结果那样令人满意, 还需要重新实施通信系统仿真, 这时候改造后的通信系统就成了当前系统, 并且开始新一轮的通信系统仿真过程。

值得注意的是, 在整个通信系统的仿真过程中, 人为因素自始至终起着相当重要的作用。除了仿真程序的运行外, 通信仿真的每个步骤都需要进行人工干预, 由人对当前的情况做出正确的判断。因此, 通信仿真并不是一个机械的过程, 它实际上是人的思维活动在计算机协助下的一种延伸。

1.4.4 通信仿真的一般步骤

通信系统仿真一般分为 3 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 3 个步骤可能需要循环执行多次之后才能够获得令人满意的仿真结果。

(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。过于简单的仿真模型会忽略实际系统的细节, 在一定程度上会影响仿真结果的可靠性。但过于复杂的仿真模型则会产生很多相互因素, 从而大大延长仿真时间和增加仿真结果分析的复杂度。因此, 仿真模型的建立需要综