

W

ireless Instruments
Basics and Applications

无线通信仪表 与测试应用

■ 张睿 周峰 郭隆庆 编著

- ▶ **实用性** 本书根据作者在测试工作中的实际经验编写，没有过多的理论推导，配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。
- ▶ **先进性** 本书作者多年来参与我国无线通信测试标准的研究、制定和执行，深刻把握技术前沿，本书精选了3G、LTE等方面的典型测试实例。
- ▶ **普遍适用性** 本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的无线通信技术，以满足大多数读者的学习需要。
- ▶ **易学易用性** 本书语言平实简明，采用模块化的编排方式，以尽量满足读者快速学习的要求。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读而基本不影响理解。



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

W

ireless Instruments
Basics and Applications

无线通信仪表 与测试应用

■ 张睿 周峰 郭隆庆 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

无线通信仪表与测试应用 / 张睿, 周峰, 郭隆庆编
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.5
ISBN 978-7-115-22177-3

I. ①无… II. ①张… ②周… ③郭… III. ①无线电
通信—测试仪表 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第003890号

内 容 提 要

仪表是无线通信工程测试的基础。本书介绍了当前无线通信测试中常用仪表(如示波器、信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪、综合测试仪等)的基础理论和使用技巧,并结合目前主流无线通信技术标准,对这些仪表在LTE、TD-SCDMA、cdma2000、WCDMA、GSM、MIMO、蓝牙、RFID等系统中的测试应用进行了介绍。本书根据作者在测试工作中的实际经验编写,没有过多的理论推导,配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧,具有很强的实用性。

本书适合从事通信和电子工程领域工作,特别是研发、测试、测量和计量校准人员,以及大专院校无线电工程、通信工程、电子测量与仪器等专业的师生阅读参考。

无线通信仪表与测试应用

-
- ◆ 编 著 张 睿 周 峰 郭隆庆
 责任编辑 姚予疆
 执行编辑 刘 洋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 印张: 32.25
 字数: 791千字
 印数: 1—3 500册
 - 2010年5月第1版
2010年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22177-3

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

本书编委会

(按姓氏笔画排序)

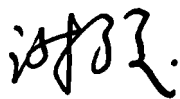
王 南	王洪博	丛姗姗	兰 涛	冉志强	卢民牛
刘 畅	孙景禄	牟 丹	米洪波	许红宇	吴雪松
张文魁	张媛媛	李 伟	李 凯	李耀华	杨毅锋
苏水金	陆冰松	陈 锋	林雪聪	金海良	姜 军
宫 剑	赵晓昕	高 琛	褚文华	阚先胜	

序

这是几位长期在无线通信计量测量领域工作的工程师实践经验的总结。本书包括无线参数测量的基本概念、方法和环境的建立，也包括通用测量仪表和综合测量仪表的使用方法。本书非常适合在企业和实验室工作的测试测量工程师学习，也适合从事科研开发工作的工程师参考。

本书不但有传统测量仪表使用技术，还有测量领域的一些新技术，例如虚拟仪表技术、自动化测量技术等，这些都是仪表测量技术和计算机技术的融合。它类似于软件无线电技术，尽可能多地利用软件去实现硬件的功能，使复杂的测量简单化、综合化，同时又可以实现数据处理和存储的便捷化，大大提高了测量效率。

本书还包括当前移动通信领域最新技术的测试和测量方法，如第三代移动通信（3G）和长期演进（LTE）技术。这是通信技术标准和测量经验相结合的结晶。



工业和信息化部电信研究院副院长 谢毅博士

2010年2月5日

前 言

近年来我国无线通信快速发展，从 2G 到 3G 蜂窝网络，再到当前 LTE 的研发稳步开展，无线通信在我国已经成为一个技术先进、产值巨大、从业人员众多的行业。

硬件测试是无线通信研发、制造和建设中全程相伴、不可或缺的组成部分。测试是验证性能、保证质量的必要条件。无线通信硬件相关的研发、制造、测试和工程建设人员，以及相关领域的学习者，都有必要掌握一些无线通信测试方面的知识技能。仪表是无线通信测试的物质基础，鉴于此，工业和信息化部通信计量中心组织编写了本书。

本书介绍了当前无线通信测试中常用仪表（如示波器、信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪、综合测试仪等）的基础理论和使用技巧，并结合目前广泛使用的仪表和主流无线通信技术标准，对这些仪表在 LTE、TD-SCDMA、cdma2000、WCDMA、GSM、MIMO、蓝牙、RFID 等系统中的测试应用进行了介绍。本书的特点如下。

（1）实用性。本书根据作者在测试工作中的实际经验编写，没有过多的理论推导，配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。

（2）普遍适用性。本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的无线通信技术，以满足大多数读者的学习需要。

（3）先进性。本书作者多年来参与我国无线通信测试标准的研究、制定和执行，深刻把握技术前沿，本书挑选了 3G、LTE 等方面的典型测试实例。同时本书介绍了作者近年来在无线通信测试测量方面的研究成果和专利技术。

（4）易学易用性。本书语言平实简明，采用模块化的编排方式，以尽量满足读者快速学习的要求。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读而基本不影响理解。

本书适合从事通信和电子工程领域工作，特别是研发、测试、测量和计量校准人员，以及大专院校电子工程、通信工程、电子测量与仪器等专业的师生阅读参考。

工程师可以从本书得到直接的测量原理、操作方法、使用技巧和搭建测试系统的成熟方案。对于电子工程、通信工程和仪器仪表领域的学习者、求职者，本书是将原理和实践有效结合的一本书，可以帮助读者快速地将理论知识转化为实际能力。

本书在写作过程中，得到了工业和信息化部电信研究院、工业和信息化部通信计量中心各级领导的关怀指导，同时还得到了安捷伦公司、罗德与施瓦茨公司、安立公司、泰克公司、星河亮点有限公司等仪表企业的帮助，在此一并致谢。

由于作者学识有限，书中错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。读者可通过本书编辑的电子邮箱（liuyang@ptpress.com.cn）与我们联系。

作 者

2010 年 2 月

目 录

第 1 章 无线通信系统的测试

基础	1
1.1 无线通信系统	1
1.1.1 无线通信的基本概念	1
1.1.2 信号与通信系统概述	2
1.1.3 无线通信系统组成与电波传播	5
1.2 无线通信中的测量量值	8
1.2.1 概述	8
1.2.2 相关量纲单位基础	8
1.2.3 电压 dB 与功率 dB 的区别	9
1.2.4 功率与电平	11
1.2.5 衰减和增益的计算	11
1.2.6 分贝与百分比之间的相互转化	12
1.2.7 dB 值的计算方法	14
1.2.8 dB μ V、dB μ V _{rms} 与 dBm	17
1.2.9 一些参考值	18
1.3 无线通信系统中的测量参数和相关测试仪表	21
1.3.1 信噪比	21
1.3.2 噪声	22
1.3.3 噪声因子和噪声系数	22
1.3.4 相位噪声	23
1.3.5 S 参数	24
1.3.6 场强	25

1.3.7 天线增益	26
1.3.8 峰值因子	27
1.3.9 信道功率和邻道功率	28
1.3.10 误差矢量幅度	28
1.3.11 A/D 和 D/A 转换器的动态范围	29
1.3.12 dB (FS)	30
参考文献	30

第 2 章 信号发生器

2.1 信号和信号发生器	31
2.1.1 基带信号发生器和任意波发生器	31
2.1.2 模拟信号发生器和连续波信号	34
2.1.3 矢量调制信号发生器	38
2.1.4 信号发生器使用技巧和注意事项	42
2.1.5 典型信号发生器介绍	47
2.2 有关信号发生器的测试实例	49
2.2.1 产生功率精准、稳定的连续波信号	49
2.2.2 UWB 信号发生	51
2.2.3 GPS 信号产生	55
2.2.4 建立用于一致性测试的 TD-SCDMA 信号	58
2.2.5 信号源相位噪声测量	65
参考文献	71

第 3 章 频谱分析仪	73
3.1 频谱分析仪原理	73
3.1.1 概述	73
3.1.2 快速傅里叶变换分析仪 (FFT 分析仪)	74
3.1.3 超外差式分析仪	75
3.1.4 实时频谱分析仪	82
3.2 频谱分析仪的典型指标	83
3.2.1 中频滤波器特性	83
3.2.2 相位噪声	84
3.2.3 频谱分析仪的固有 噪声	84
3.2.4 频谱分析仪的非线性 特性	85
3.2.5 1dB 压缩点	85
3.2.6 动态范围	86
3.2.7 频谱测量精度	86
3.2.8 电平测量精度	86
3.3 典型频谱分析仪介绍	87
3.3.1 R&S 公司频谱分析仪	87
3.3.2 安捷伦公司频谱分析仪	88
3.3.3 安立 (Anritsu) 公司 频谱分析仪	89
3.3.4 泰克 (Tektronics) 公司 实时频谱分析仪	90
3.4 频谱分析仪使用注意事项及 使用技巧	91
3.4.1 选择合适的分辨力带宽 (RBW)	91
3.4.2 提高测量精度	93
3.4.3 优化低电平测量的 灵敏度	95
3.4.4 为失真测量优化动态 范围	97
3.4.5 识别内部失真成分	99
3.4.6 优化瞬态测量的测量 速度	100
3.4.7 选择合适的检波/显示 模式	102

3.5 使用频谱分析仪的典型测试 实例	104
3.5.1 脉冲信号的测量	104
3.5.2 WCDMA 信号的邻道 功率测量	109
3.5.3 WCDMA 基站发射机的 杂散发射 (传导) 测量	111
参考文献	121

第 4 章 矢量信号分析方法和 仪表	123
4.1 矢量分析方法和矢量误差	123
4.1.1 矢量信号分析的技术 背景	123
4.1.2 矢量调制误差的测量 原理	124
4.2 使用矢量信号分析仪测量调制 误差	127
4.2.1 矢量信号分析仪的 结构和使用	127
4.2.2 通过矢量信号分析仪 判断调制误差原因	135
4.2.3 典型矢量信号分析仪 介绍	143
4.3 使用矢量信号分析仪的测试 实例	145
4.3.1 GSM 调制信号测试 实例	145
4.3.2 EDGE 调制信号的 测量	148
4.3.3 WCDMA 调制信号的 测量	150
4.3.4 WiMAX 调制信号的 测量	154
4.3.5 ZigBee 调制信号的 测量	157
4.3.6 使用矢量信号分析仪 测量 AM 和 PM 信号	

参量	160	6.5 微波功率测量不确定度分析	
参考文献	164	模型	222
第 5 章 无线通信综合测试仪	165	6.5.1 失配误差	222
5.1 综合测试仪原理	165	6.5.2 功率灵敏度的	
5.1.1 引言	165	不稳定性	224
5.1.2 原理和框图	165	6.5.3 功率指示器的误差	224
5.2 综合测试仪主要指标介绍	168	6.6 微波功率计的选择	224
5.3 综合测试仪典型仪表介绍	170	6.6.1 脉冲调制信号	224
5.3.1 典型仪表概述	170	6.6.2 AM/FM 信号	225
5.3.2 TD-SCDMA 终端综合		6.6.3 脉冲调制信号	225
测试仪	172	6.6.4 互调测试	226
5.4 典型使用案例	172	6.7 功率计典型应用	227
5.4.1 使用 TD-SCDMA		6.7.1 校准信号发生器输出	
综测仪进行终端射频		功率	227
一致性测试	172	6.7.2 用脉冲功率传感器和	
5.4.2 WCDMA 手机测试	185	功率计进行 WiMAX	
5.4.3 cdma2000 1xEV-DO		信号测量	228
手机测试	189	6.8 典型功率传感器介绍	230
参考文献	204	参考文献	233
第 6 章 功率计	205	第 7 章 示波器	235
6.1 概述	205	7.1 示波器概述	235
6.2 功率测量基本概念	205	7.1.1 示波器与信号测量	235
6.2.1 微波功率的几个不同		7.1.2 模拟示波器和数字	
表达式	205	示波器	237
6.2.2 微波功率的几个不同		7.2 示波器的基本原理	240
定义	207	7.2.1 数字示波器的采样	240
6.3 功率计的基本原理	210	7.2.2 数字示波器的触发	242
6.3.1 热敏式功率计	210	7.3 示波器的配套探头	243
6.3.2 热偶式功率计	213	7.3.1 探头和探头附件概述	244
6.3.3 二极管式功率计	216	7.3.2 探头使用的注意事项	246
6.4 微波功率计的主要技术指标	220	7.4 示波器的指标和典型仪表	250
6.4.1 频率范围	220	7.4.1 示波器的指标	250
6.4.2 功率测量范围	220	7.4.2 示波器典型仪表介绍	254
6.4.3 参考校准源	221	7.5 示波器的操作和使用	256
6.4.4 功率测量线性度	221	7.5.1 示波器 4 个基本系统的	
6.4.5 功率传感器的阻抗		设置	256
特性	221	7.5.2 示波器的使用注意	
		事项	261

7.6 测量实例	263	介绍	333
7.6.1 若干简单测量项目	263	8.7.1 Agilent 公司矢量网络 分析仪典型型号	333
7.6.2 高速信号互连测试 系统	265	8.7.2 R&S 公司矢量网络 分析仪典型型号	335
7.6.3 锁相环 (PLL) 的抖动 测试	272	8.7.3 Anritsu 公司矢量网络 分析仪典型型号	336
7.6.4 脉冲信号的瞬态参量 测试	281	参考文献	337
参考文献	284		
第 8 章 矢量网络分析仪	285	第 9 章 其他测量仪表介绍	339
8.1 概述	285	9.1 噪声系数测量仪表	339
8.2 微波网络的散射参数—— S 参数	285	9.1.1 概述	339
8.2.1 S 参数的概念	285	9.1.2 噪声系数概念	339
8.2.2 二端口网络的反射特性 和传输特性	287	9.1.3 噪声系数测量方法	341
8.3 网络分析仪基础	293	9.1.4 如何提高噪声系数测量 精度	344
8.3.1 网络分析仪的基本 原理	293	9.1.5 噪声系数频率扩展 测量	352
8.3.2 网络分析仪的基本 结构	294	9.1.6 典型噪声源和噪声系数 测试仪介绍	355
8.4 网络分析仪的校准技术	298	9.2 无线信道模拟仪表	356
8.4.1 网络分析仪测量误差 模型	298	9.2.1 无线信道模型概述	356
8.4.2 网络分析仪的校准 方法	302	9.2.2 无线信道传播特性	357
8.5 网络分析仪典型应用	312	9.2.3 无线信道模拟器的 原理	361
8.5.1 滤波器的测试	313	9.2.4 典型应用	362
8.5.2 放大器的测试	314	9.2.5 无线信道模拟器典型 仪表介绍	373
8.5.3 混频器的测试	318	9.3 路测类仪表	378
8.5.4 器件脉冲参数的测试	323	9.3.1 路测仪的结构和功能	378
8.6 网络分析仪使用技巧	327	9.3.2 典型的路测仪表介绍	380
8.6.1 灵活的扫描方式	327	9.3.3 路测仪在 TD-SCDMA 网络优化中应用举例	383
8.6.2 灵活的测试开放接口	329	9.4 天馈线测量仪表	384
8.6.3 时域选通功能	330	9.4.1 典型测试实例	384
8.6.4 测试点数对测试结果的 影响	332	9.4.2 典型天馈线测试仪 介绍	389
8.7 矢量网络分析仪典型型号		参考文献	390

第 10 章 无线通信系统测试中 仪表的典型应用..... 391

10.1	LTE 系统的测试..... 391
10.1.1	LTE 概述..... 391
10.1.2	LTE 的技术特点和测试 方案..... 392
10.2	单信道和多信道 TD-SCDMA 基站功率放大器测试..... 408
10.2.1	概述..... 408
10.2.2	TD-SCDMA 信号 概述..... 408
10.2.3	测试系统..... 409
10.2.4	生成测试信号..... 410
10.2.5	测试项目、测试方法和 仪表设置技巧..... 410
10.3	使用矢量信号发生器和 频谱分析仪进行 cdma2000 基站测试..... 422
10.3.1	概述..... 422
10.3.2	测试系统使用的仪表及 其作用..... 423
10.3.3	测试连接和测试模式..... 423
10.3.4	测试方法..... 425
10.4	WCDMA 终端测试..... 443
10.4.1	WCDMA 终端设备测试 概述..... 444
10.4.2	WCDMA 终端测试标准 和测试方法..... 445
10.5	RFID 信号的测量..... 454
10.5.1	RFID 技术概述..... 454
10.5.2	RFID 技术原理..... 455
10.5.3	使用仪表产生和分析 RFID 信号..... 458
10.5.4	RFID 测试系统介绍..... 460
10.6	MIMO 信号模拟和测试 系统..... 461

10.6.1	MIMO 技术简介..... 461
10.6.2	MIMO 信号模拟和测试 系统实现方案..... 462
10.7	蓝牙系统的测试..... 466
10.7.1	蓝牙测试概述..... 466
10.7.2	测试过程..... 467
10.7.3	测试中常见问题及解决 方法..... 469
	参考文献..... 469

第 11 章 测试自动化..... 471

11.1	自动测试系统的概念与 组成..... 471
11.2	虚拟仪器..... 472
11.2.1	虚拟仪器的概念..... 472
11.2.2	虚拟仪器的特点..... 473
11.3	自动测试系统软件开发 环境..... 475
11.3.1	LabView..... 476
11.3.2	LabWindows/CVI..... 479
11.3.3	VEE..... 482
11.4	自动测试系统总线技术..... 484
11.4.1	GPIB 总线技术..... 485
11.4.2	VXI 总线技术..... 488
11.4.3	PXI 总线技术..... 491
11.4.4	LXI 总线技术..... 494
11.5	应用及编程实例..... 497
11.5.1	实例 1——基于模块化 仪器的 RFID 测试 系统..... 497
11.5.2	实例 2——使用矢量 信号发生器产生 GSM 脉冲调制信号..... 499
	参考文献..... 501

附录 安全使用仪表注意事项..... 503

第 1 章

无线通信系统的测试基础

1.1 无线通信系统

1.1.1 无线通信的基本概念

1. 概述

利用电磁波的辐射和传播，经过空间传送信息的通信方式称为无线电通信（Radio Communication），也称为无线通信。利用无线通信可以传送电报、电话、传真、数据、图像以及广播和电视节目等通信业务。

2. 无线通信使用的频率和波段（见表 1-1、表 1-2）

1895 年意大利的马克尼（Guglielmo Marconi）利用电火花产生的电磁波，先后在 9m、975m 和 3 000m 的地方收到电报信号（差不多同时，俄国的波波夫也进行了电磁波传送电报信号的实验），从此开辟了无线通信的先河。无线通信初创时期使用的频率较低，频率范围较窄，波段主要限于长波和中波。随着科学技术的不断进步，使用的频率范围逐步扩大。目前无线通信使用的频率从超长波波段到亚毫米波波段（包括亚毫米波以下），以至光波。无线通信使用的电磁波的频率范围和波段见表 1-1。

表 1-1 无线通信使用的电磁波的频率范围和波段

频 段 名 称	频 率 范 围	波 段 名 称		波 长 范 围
极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波		10~100Mm ($10^7\sim10^8\text{m}$)
超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波		1~10Mm ($10^6\sim10^7\text{m}$)
特低频 (ULF)	300~3 000Hz	特长波		100~1 000km ($10^5\sim10^6\text{m}$)
甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波		10~100km ($10^4\sim10^5\text{m}$)
低频 (LF)	30~300kHz	长波		1~10km ($10^3\sim10^4\text{m}$)
中频 (MF)	300~3 000kHz	中波		100~1 000m ($10^2\sim10^3\text{m}$)
高频 (HF)	3~30MHz	短波		10~100m ($10\sim10^2\text{m}$)
甚高频 (VHF)	30~300MHz	超短波 (米波)		1~10m
特高频 (UHF)	300~3 000MHz	微波	分米波	0.1~1m ($10^{-1}\sim1\text{m}$)
超高频 (SHF)	3~30GHz		厘米波	1~10cm ($10^{-2}\sim10^{-1}\text{m}$)

续表

频段名称	频率范围	波段名称		波长范围
极高频 (EHF)	30~300GHz	微波	毫米波	1~10mm ($10^{-3}\sim10^{-2}\text{m}$)
至高频 (THF)	300~3 000GHz		亚毫米波	0.1~1mm ($10^{-4}\sim10^{-3}\text{m}$)
		光波		$3\times10^{-5}\sim3\times10^{-3}\text{mm}$ ($3\times10^{-8}\sim3\times10^{-6}\text{m}$)

微波波段分为 L、S、C、X、Ku、K、Ka 等波段（或称子波段），具体见表 1-2。

表 1-2 无线通信中所使用的部分微波波段

频率和波长 波段代号	频率范围	波长范围
L	1~2GHz	15~30cm
S	2~4GHz	7.5~15cm
C	4~8GHz	3.75~7.5cm
X	8~13GHz	2.31~3.75cm
Ku	13~18GHz	1.67~2.31cm
K	18~28GHz	1.07~1.67cm
Ka	28~40GHz	0.75~1.07cm

1.1.2 信号与通信系统概述

1. 信号

(1) 信号传递方式

通信的目的是传递信息。人类社会中需要传递的信息可以是声音、文字、符号、音乐、图像和数据等。

在现代通信技术中，主要运用的传输方式是电通信技术，即以电信号的形式来传递信息。在实际通信中，首先是在发送端采用传感器将一般的信息转换成电信号，然后再在接收端将收到的电信号还原。

(2) 信号的分类

电信号通常分为模拟信号和数字信号两大类。

① 模拟信号。

模拟信号是指电信号的某一参量的取值范围是连续的，因此可有无限多个取值，如话筒产生的话音电压信号、摄像机所产生的图像电流信号等。

模拟信号通常是连续时间函数，也有离散时间函数的情况，但无论时间是否连续，其取值一定是连续的。最简单的模拟信号如图 1-1 所示，图 1-2 所示为时间离散的模拟信号。

② 数字信号。

数字信号是指电信号的某一参量携带着离散信息，其取值是有限个数值，如电报信号、数据信号、遥测指令等，如图 1-3 所示。

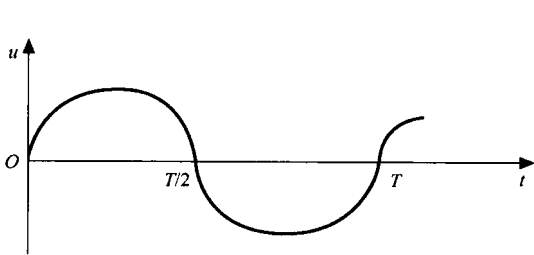


图 1-1 时间连续的模拟信号

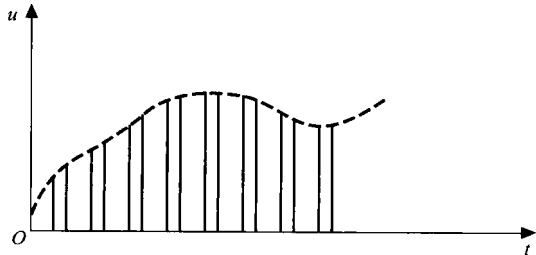


图 1-2 时间离散的模拟信号

2. 通信系统的组成及工作原理

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各不相同，经过抽象概括，通信流程可用图 1-4 所示的基本模型图来表示。整个流程是由信源、发送变换器、信道（或传输媒质）、接收变换器和信宿 5 部分组成的。

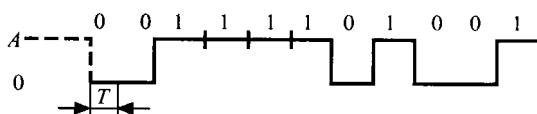


图 1-3 数字信号

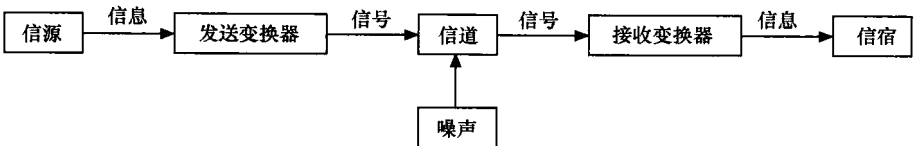


图 1-4 通信系统的基本模型图

3. 通信系统的分类

根据传输信号的特征，通信系统可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。图 1-5 所示为模拟通信系统的基本组成。在图 1-5 中用调制器取代了图 1-4 中的发送变换器，用解调器取代了图 1-4 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，直接关系着通信质量的优劣。

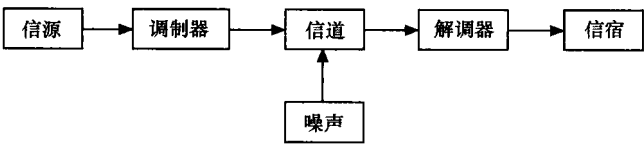


图 1-5 模拟通信系统的基本组成

(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 1-6 所示。数字通信系统除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、信源译码器等，如图 1-6 所示。此外，还包括同步系统。

① 数字通信系统的组成

a. 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器中。收端的信源译码是信源编码的逆变换。

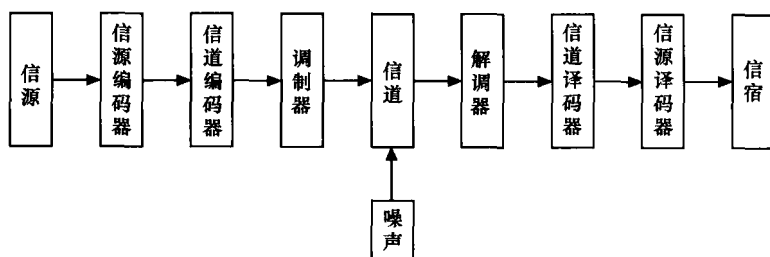


图 1-6 数字通信系统的基本组成

b. 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的序列,然后在接收端根据这种相关的规律性来检测或纠正序列码组中的误码,提高可靠性,因此信道编码器又称差错控制编码器。接收端的信道译码器是信道编码器的逆过程。

c. 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,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 4 大类。

注: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。

② 数字通信系统的特点

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,其具有以下优点:

- a. 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;
- b. 可采用差错控制技术,从而提高数字信号传输的可靠性;
- c. 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;
- d. 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;
- e. 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发展日趋成熟,为数字通信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。

1.1.3 无线通信系统组成与电波传播

1. 无线通信系统的组成

无线通信系统一般由发信机、收信机及与其相连接的天线（含馈线）构成。

(1) 发信机

发信机的主要作用是将所要传送的信号首先对载波信号进行调制，形成已调载波；已调载波信号经过变频（有的发信机不经过这一步骤）成为射频载波信号，送至功率放大器，经功率放大器放大后送至天（馈）线。

(2) 天线

天线是无线通信系统的重要组成部分。其主要作用是把射频载波信号变成电磁波或者把电磁波变成射频载波信号。按照规范性的定义：“天线就是把导行模式的射频电流变成扩散模式的空间电磁波的传输模式转换器，及其逆变换的传输模式转换器”。馈线的主要作用是把发信机输出的射频载波信号高效地送至天线，这一方面要求馈线的衰耗要小；另一方面要求其阻抗尽可能与发信机的输出阻抗和天线的输入阻抗相匹配。

(3) 收信机

收信机的主要作用是把天线接收下来的射频载波信号首先进行低噪声放大，然后经过变频（1次、2次甚至3次变频）、中频放大和解调后还原出原始信号，最后经低频放大器放大后输出。

这里需要说明的是目前实用的无线通信系统，大多数采用双工方式，因而通信双方各自都有发信机、收信机以及与其相连的天（馈）线，而且收发信机做在一起（且带有双工器）。

2. 无线通信系统的分类

(1) 按技术体制来分

- 数字无线通信系统；
- 模拟无线通信系统；
- 数/模兼容无线通信系统。

(2) 按工作波长来分

- 超长波通信系统；
- 甚长波通信系统；
- 长波通信系统；
- 中波通信系统；
- 短波通信系统；
- 超短波通信系统；
- 微波通信系统；
- 激光通信系统。

(3) 按传输方式来分

- 短波自适应通信系统；
- 超短波中继通信系统；
- 微波中继通信系统；
- 卫星通信系统；