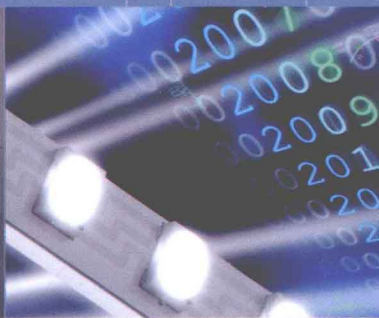
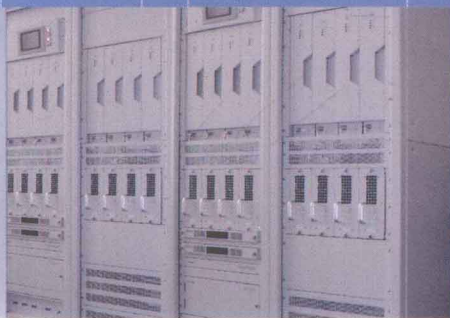
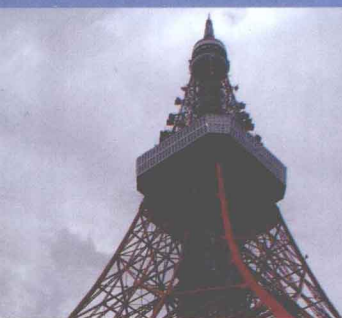




数字电视技术丛书

数字电视测试 原理与方法

数字电视国家工程实验室（北京） 编著



科学出版社

数字电视技术丛书

数字电视测试原理与方法

数字电视国家工程实验室(北京) 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书参考国家相关标准和规范,主要介绍了地面数字电视系统的测试原理与方法。全书共分5章。第1章介绍了无线通信的基础知识,包括基本概念、信道编码、调制方式和信道模型;第2~4章分别详细介绍了激励器、发射机、信号覆盖和接收机各项指标的测试,对每项指标的测量方法均从原理、测量框图与测量步骤三个方面进行描述;第5章简要介绍了数字电视产品测试中常用的测试仪器。

本书可作为广播电视技术院校的教学用书,也可作为数字电视领域工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视测试原理与方法/数字电视国家工程实验室(北京)编著.
北京:科学出版社,2012
(数字电视技术丛书)
ISBN 978-7-03-033633-0

I. ①数… II. ①数… III. ①数字电视-测试技术 IV. ①TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 030041 号

责任编辑:张 濮 陈 静/责任校对:郑金红

责任印制:赵 博/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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年3月第一次印刷 印张:12 插页:1

字数:230 400

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

实施数字电视国标

培养数字电视人才

发展数字电视产业

惠及数字电视用户

邬贺铨

2012.3.8

邬贺铨 中国工程院院士

普及数字电视知识
培养专门技术人员
提高服务质量

吴佑寿

2001.11.11

吴佑寿 中国工程院院士

《数字电视技术丛书》编写委员会

顾 问:杨知行 数字电视国家工程实验室(北京)

主 任:欧阳书平 数字电视国家工程实验室(北京)

委 员:

潘长勇 清华大学

张 刚 北京数码视讯科技股份有限公司

栾鹤峰 北京北广科技股份有限公司

宋伯炜 上海全波通信技术有限公司

黄学民 苏州恩巨网络有限公司

袁春杰 数字电视国家工程实验室(北京)

梅晓舟 北京蓝拓扑电子技术有限公司

丛 书 序

2006年8月我国颁布了自主研发的国家地面电视标准——《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》(GB 20600—2006)(以下简称国标),并作为国家强制性标准在全国范围内推广使用。国标采用了先进的技术和设计理念,拥有完全自主知识产权,与现有的国际标准比较,在频谱利用率、快速同步、接收灵敏度、支持高清移动接收、支持未来业务扩展及系统的整体性能等方面都有较大的提高。在2007年开始的国标海外推广过程中,与现有国际标准(美国、欧洲及日本标准)进行了充分的对比测试,国标技术第一次得到普遍认可。目前国标海外推广工作已经取得突破性进展,该项工作得到国家有关部委及国家领导人的高度重视。2009年国家发改委批准清华大学、北京航空航天大学、上海交通大学、中国电子技术标准化研究所、中国普天信息产业股份有限公司、北京海尔集成电路设计有限公司、北京北广科技股份有限公司、北京同方凌讯科技有限公司、北京牡丹电子集团有限责任公司、北京京东方科技集团股份有限公司、北京数码视讯科技股份有限公司、深圳市国微控股股份有限公司等组建数字电视国家工程实验室(北京)。实验室的主要工作任务是国标演进技术研发及国标海外推广应用工作,其中很重要的一部分工作就是培训熟悉国标使用的工程技术人员,以保证国标实施的最佳效果。

国际上绝大多数国家数字电视转换工作都还没有开始或者刚刚开始,我国的数字电视转制工作也刚起步。按国家广播电影电视总局的规划,2015年开始关闭模拟电视广播,因此,未来几年将是数字电视加速发展的阶段,支持数字电视的发展需要规模庞大的技术人员。数字电视尤其是地面数字电视带来的产业革命,在技术的复杂度、业务应用的深度和广度等方面都是模拟电视不可比拟的,模拟电视时代的技术人员已经很难适应发展的需要。基于这样的背景,数字电视国家工程实验室(北京)结合海外培训教材的准备情况,联合业内研究、生产第一线的专家,编写了这套数字电视技术丛书。

本套丛书涵盖数字电视节目制作、前端系统、发射系统与测试全产业链,注重实用性,适合数字电视领域工程技术人员学习,可以作为广播电视技术院校的教材,将有助于培养具备产业前沿技术知识与实际工作能力的技术人员。相信本套丛书的出版将对我国数字电视产业发展起到积极的推动作用。

《数字电视技术丛书》编写委员会

2012年3月

前 言

本书参考国家相关标准和规范,介绍了地面数字电视激励器、发射机、接收机(器)、天馈线系统及网络覆盖等方面的技术要求和技术指标的测量方法,对每个技术参数描述其物理意义、测量原理和方法。全书共分5章。第1章介绍了无线信道的基本概念、信道编码、调制和典型的衰落模型,帮助读者了解测量指标的意义;第2章介绍了激励器、发射机、天馈线系统的主要技术指标与测量方法;第3章介绍了地面数字电视广播信号覆盖测量方法,包括固定点测试和移动路线测试;第4章介绍了接收机测量的主要技术指标与测量方法;第5章介绍了地面数字电视广播系统各个环节的测试项目与常用测试仪器,以方便读者了解地面数字电视广播系统的工程实施、验收过程,以及进行测试环境的设计和测试平台的搭建。

本书的编写主要参考了国家有关标准和规范,北京蓝拓扑电子有限公司参与了第5章部分章节的编写。同时,在本书的编写过程中我们参考了较多的书籍、论文和网络文献。在此向相关作者一并表示深深的谢意。

本书注重实用性,面向数字电视领域工程技术人员,可作为广播电视技术学院(校)的参考教材,有助于培养具备产业前沿技术知识与实际工作能力的技术人员。

由于数字电视技术及产业均处于不断发展和完善的阶段,加上编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处。我们将在今后的研发、生产和工程实践中不断改进和完善,恳请广大读者和同行提出宝贵意见。

作 者

2012年1月

目 录

丛书序

前言

第 1 章 无线通信基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 无线信道的基本概念	1
1.1.2 无线信道的特性	2
1.1.3 信道编码与调制	3
1.2 信道编码	4
1.2.1 信道编码的历史与现状	5
1.2.2 信道编码的分类	7
1.2.3 BCH 码	8
1.2.4 低密度校验码	10
1.2.5 串行级联编码	12
1.2.6 交织	13
1.3 数字调制	15
1.3.1 数字调制方式	16
1.3.2 QPSK 调制	18
1.3.3 QAM 系统	19
1.3.4 QAM 调制器的实现	20
1.3.5 正交频分复用	22
1.4 无线传输衰落模型	26
1.4.1 自由空间传播衰落	27
1.4.2 高斯信道	29
1.4.3 瑞利信道	29
1.4.4 莱斯信道	30
1.4.5 多普勒频移	31
第 2 章 发射系统测量	33
2.1 激励器测量	33
2.1.1 激励器简介	33
2.1.2 激励器技术指标	34

2.1.3	工作模式	35
2.1.4	工作频率	37
2.1.5	频率准确度	40
2.1.6	频率稳定度	41
2.1.7	输出功率	42
2.1.8	输出功率稳定度	42
2.1.9	射频有效带宽	43
2.1.10	滚降系数	44
2.1.11	信号带肩	45
2.1.12	带内不平坦度	47
2.1.13	邻频道带内无用发射功率	48
2.1.14	邻频道带外无用发射功率	49
2.1.15	相位噪声	49
2.1.16	峰值平均功率比	51
2.1.17	调制误差率	53
2.1.18	单频网延时调整范围	54
2.2	发射机测量	56
2.2.1	发射机简介	56
2.2.2	发射机功能要求	56
2.2.3	发射机技术指标	57
2.2.4	测量条件	58
2.2.5	工作模式	59
2.2.6	单频网模式频率调节步长	60
2.2.7	本振频率稳定度	60
2.2.8	频率准确度	61
2.2.9	相位噪声	61
2.2.10	频谱模板	62
2.2.11	带内频谱不平坦度	65
2.2.12	信号带肩	66
2.2.13	调制误差率	67
2.2.14	标称功率	67
2.2.15	邻频道内无用发射功率	68
2.2.16	邻频道外发射功率	69
2.2.17	整机效率	69

2.3	天馈线系统测量	70
2.3.1	天馈线系统简介	70
2.3.2	天馈线系统技术指标	71
2.3.3	方向图	71
2.3.4	方向保护性	75
2.3.5	阻抗	75
2.3.6	驻波比	76
2.3.7	工作带宽	80
2.3.8	增益	80
2.3.9	功率容量	84
第3章	信号覆盖测量	87
3.1	现场测试	87
3.1.1	现场测试介绍	87
3.1.2	现场测试内容	88
3.1.3	测试信号	90
3.1.4	测试天线	90
3.1.5	测试时间	91
3.1.6	信道特性记录	91
3.1.7	测试点	91
3.1.8	测试校准	92
3.1.9	测试记录文档	92
3.1.10	测试装置和配套设备	92
3.2	覆盖测试流程	93
3.3	服务测试流程	96
3.4	固定点测试	99
3.4.1	测试目的	99
3.4.2	测量系统	99
3.4.3	常用测量仪器设备	99
3.4.4	测量系统校准	101
3.4.5	测试说明	102
3.4.6	测试步骤	102
3.5	移动路线测试	103
3.5.1	测试目的	103

3.5.2 测试说明	103
3.6 场地测试不确定因素与措施	104
第4章 接收机测量	107
4.1 接收机原理	107
4.2 信道性能指标	108
4.3 信道指标测量	109
4.3.1 信道测量条件要求	109
4.3.2 频率偏移范围	109
4.3.3 最小接收电平	110
4.3.4 最大接收电平	112
4.3.5 载噪比门限	113
4.3.6 抑制模拟邻频道信号干扰能力	118
4.3.7 抑制模拟同频道信号干扰能力	120
4.3.8 抑制数字邻频道信号干扰能力	121
4.3.9 抑制数字同频道信号干扰能力	124
4.3.10 0dB 回波最大时延	125
4.3.11 抑制 0dB 回波载噪比	126
4.3.12 动态多径条件下的载噪比(动态多普勒载噪比)	127
4.3.13 动态多径条件下的最大多普勒频移	129
4.3.14 抗脉冲干扰能力	130
4.4 音视频性能指标	131
4.5 音视频指标测量	133
4.5.1 复合视频信号测量	133
4.5.2 音频信号测量	144
第5章 常用测试仪器	149
5.1 测试节点	149
5.2 码流层分析检测	150
5.2.1 测试说明	150
5.2.2 仪器介绍	150
5.2.3 常用仪器	153
5.3 射频信号检测	156
5.3.1 测试说明	156
5.3.2 仪器介绍	156

5.3.3 常用仪器	157
5.4 天馈线系统检测	159
5.4.1 测试说明	159
5.4.2 仪器介绍	159
5.4.3 常用仪器	159
5.5 覆盖测试	161
5.5.1 测试说明	161
5.5.2 仪器介绍	162
5.6 终端产品测量仪器	162
5.6.1 码流发生器	162
5.6.2 SFU 广播电视测试仪	165
5.6.3 VM700T 音视频分析仪	166
附录 A 汉明距离与校验矩阵	169
附录 B 常用专业术语与缩略语	171
参考文献	175

第1章 无线通信基础知识

在无线通信中,信号在传输时会受到多径延迟、路径衰落和多普勒频移等多种衰落影响。本章以地面数字电视广播传输为主介绍无线信道的基本概念、信道编码、数字调制和典型的衰落模型。

1.1 概 述

1.1.1 无线信道的基本概念

信道是指通信中发送端和接收端之间的通路。无线电波以空气为媒介在自由空间中传播,从发送端传送到接收端没有一个有形的连接,其传播路径也有可能不止一条,但为了形象地描述发送端与接收端之间的工作,可以想象两者之间有一条看不见的通路衔接,这条衔接通路称为无线信道。

1)信道带宽

信道具有一定的频率带宽,即信道带宽。它限定了允许通过该信道的信号下限频率和上限频率,也就是限定了一个频率通带。比如,一个信道允许的通带为 1.5~15kHz,那么其带宽为 13.5kHz。如果不考虑衰减、时延及噪声等因素,那么最低频率分量和最高频率分量都在该频率范围内的任意复合信号,都能不失真地通过该信道。

信道带宽可以表示为

$$W = f_2 - f_1$$

式中: f_1 是信道能通过的最小频率, f_2 是信道能通过的最高频率。两者都是由信道的物理特性决定的。

2)信道容量

信道容量是信道的另一个参数,反映了信道所能传输的最大信息量。数据在通信信道中的传输速率取决于很多参数。在信息传输通道中,携带数据信息的信号单元称为码元。每秒钟通过信道传输的码元数称为码元传输速率,简称波特率。每秒钟通过信道传输的信息量称为位传输速率,简称比特率。波特率是对信号传输速率的一种度量,通常以“波特每秒”(Baud/s)为单位;比特率是对信息传输速率的度量,它用单位

时间内传输的二进制代码的有效位数(bit)来表示,其单位为比特每秒(bit/s)、千比特每秒(kbit/s)或兆比特每秒(Mbit/s)。波特率有时会同比特率混淆,实际上波特率可以被理解为单位时间内传输码元符号的个数,通过不同的调制方法可以在一个码元符号上负载多个比特信息。

当每个码元携带的信息量为 1bit 时,波特率才和比特率相同;当每个码元携带的信息量可能不止 1bit 时,信息比特率则大于波特率。

奈奎斯特(Nyquist)采样定理指出,在进行模拟/数字信号的转换过程中,当采样频率 $f_{s,\max}$ 不小于信号中最高频率 $f_{\max}$ 的 2 倍时($f_{s,\max} \geq 2f_{\max}$),采样之后的数字信号能完整地保留原始信号中的信息。1924 年奈奎斯特就推导出,理想通信传输信道最大码元传输速率是信道带宽的 2 倍,因此在实际信道中码元速率存在上界。然而,通过多电平编码使每个码元携带多于 1bit 的信息量,就可以在相同的码元速率下提高传输信息量的大小。香农(Shannon)给出了在无噪声信道中,信道容量与信道带宽、编码电平数的关系为

$$C = 2BW \times \log_2 N$$

式中: C 为信道容量(bit/s), BW 为信道带宽(Hz), N 为编码电平数。实际上,在通信方面干扰是客观存在的,香农进一步研究了受随机噪声干扰的信道的情况,给出了计算信道容量的香农公式,即

$$C = BW \times \log_2 (1 + S/N)$$

式中: S 表示平均信号功率, N 为平均噪声功率, S/N 通常用分贝(dB)表示。由此可见,只要提高信道的信噪比,便可提高信道的最大数据传输速率。

1.1.2 无线信道的特性

无线电波通过自由空间波、反射波、电离层波、地表面波等多种方式从发射天线传播到接收天线。自由空间波又称为直射波,沿直线传播。对流层在地球上 10 英里(1 英里=1.609344 千米)处,反射系数随着高度的增加而减小。大气中 40 英里到 400 英里的高度是电离层,电离层可产生电波散射。电离层和对流层都具有随机快速的连续波动特性,对电波产生折射、散射和反射。散射信道不存在电波的直射分量。地波传播可以看成直射波、反射波和表面波的综合,如图 1-1 所示。由于表面波随着频率的升高其衰减增大,传播距离很有限,所以在分析地面广播信道时,主要考虑直射波和反射波的影响。

实际上,信号从发射天线到接收天线的传输过程中,会经历各种复杂的传播路径,包括直射路径、反射路径、衍射路径、散射路径及这些路径的组合。同时,电波在各条

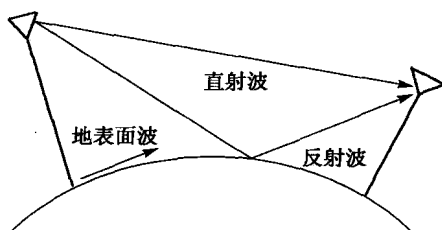


图 1-1 地波传播的形式

路径的传播过程中,有用信号会受到各种噪声的污染,如高斯白噪声、脉冲干扰等。此外,无线信号传播时,不仅存在自由空间固有的传输损耗,还会受到由于建筑物、地形等阻挡而引起的信号功率的衰减,这种衰减还会由于移动和信道环境的变化使得接收端信号处于极不稳定的状态。接收信号的幅度、频率、相位均处于不断变化中。

地面数字电视广播无线信道是一个宽带(我国是 8MHz)、高速、高容量(多级码元)、长延时(几十千米)的信道。在地面广播传输环境下,除常规的干扰,如高斯白噪声、脉冲干扰等,其信道还具有以下几类干扰源。

(1)多径干扰。射频(Radio Frequency, RF)信号会因山川、建筑物、移动物体的影响产生反射,这样经不同路径到达接收机的信号相位相互影响,从而导致瑞利衰落(快衰落),同时也会引起信号频谱的深度衰落(频率选择性衰落)。多径干扰对模拟电视影响的结果是使电视屏产生重影(ghost)。当多径传输干扰严重时,单靠增加发射机功率提高接收时的信噪比并不能降低误码率(Bit Error Rate, BER)。因此,克服多径干扰成为实现地面数字电视广播的关键技术。

(2)多普勒频移。地面数字电视广播信道与接收方式有关,接收方式是指固定接收、车载移动接收和便携手持接收。接收机和发射机的相对运动会产生多普勒频移。

(3)由于同播的要求会受到常规电视的干扰。同播时相邻服务区的同一频道的普通电视节目将有可能进入接收机,从而产生强同频干扰。而且在数字地面广播传输特高频(Ultra High Frequency, UHF)/甚高频(Very High Frequency, VHF)频段时,还会有诸如单载波干扰、邻频干扰等对传输信号的叠加影响。信道均衡时,除了要考虑多径干扰的影响之外,还必须考虑到如何对抗频带内的单频干扰和模拟电视干扰。

1.1.3 信道编码与调制

信息通过信道传输。由于物理介质的干扰和噪声无法避免,所以信道的输入和输出之间仅具有统计意义上的关系,在作出唯一判决的情况下将无法避免差错,其差错概率完全取决于信道特性。因此,一个完整、实用的通信系统通常都包括信道

编译码模块。信道编码在降低误码率、提高信息传输的可靠性的同时,使系统具有一定的抗干扰能力和纠错能力,提高数据传输效率。视频信号在传输前都会经过高度压缩以降低码率,传输错误会对最后的图像恢复产生极大的影响,因此信道编码的性能显得尤为重要。

电磁波从发射天线辐射出去后,不仅电波的能量会扩散,接收机仅能接收其中极小的一部分,而且在传播过程中,电波的能量还会被地面、建筑物及高空电离层吸收或反射,或产生折射、散射等现象,到达接收端时信号强度会大大减弱。因此,无线传播一般需要将基带信号调制到一个高频(射频)的载波上,以适应天线辐射和无线传播。只有当天线的尺寸与信号波长相比拟时,天线的辐射效率才较高,以较小的信号功率传播较远的距离。采用高频发射,所需的天线尺寸才能大大下降。另外,不同的发射台可以不同的载波频率发射信号,在频谱上区别开来,避免发射同一频段的基带信号,在信道中相互重叠、干扰。

1.2 信道编码

信道编码的实质是在信息码中增加一定数量的多余码元(称为监督码元),使它们满足一定的约束关系。这样,由信息码元和监督码元共同组成一个信道传输的码字。一旦传输过程中发生错误,则信息码元和监督码元间的约束关系就会被破坏。在接收端按照既定的规则校验这种约束关系,就会达到发现和纠正错误的目的。

信道编码的本质是增加通信的可靠性,但信道编码会使有用的信息数据传输减少。信道编码的过程是在源数据码流中插入一些码元,以便在接收端进行判错和纠错,这就是人们常常说的开销。好比运送一批玻璃杯,为了保证运送途中不出现打烂玻璃杯的情况,人们通常都用一些泡沫或海绵等将玻璃杯包装起来。这种包装使玻璃杯所占的容积变大,原来一部车能装 5000 只玻璃杯,包装后就只能装 4000 只了。显然,包装的代价使运送玻璃杯的有效个数减少了。同样,在带宽固定的信道中,总的传送码率也是固定的,由于信道编码增加了数据量,其结果只能是以降低传送有用信息码率为代价。将有用比特数除以总比特数就等于编码效率,也称为“码率”。比如欲传输 k 位信息,经过编码得到长为 $n(n > k)$ 的码字,则增加了 $n - k = r$ 位监督码元,定义编码效率或码率 R_c 为

$$R_c = k/n$$

假定单位时间内传输的信息量恒定,增加的冗余码元则反映为带宽的增加;在同样的误码率要求下,带宽增加可以换取比特信噪比 E_b/N_0 值的减小。在给定误码率下,编码与非编码传输相比增加的信噪比 E_b/N_0 称为编码增益。