

数字移动电视广播原理 与DSP实现



艾渤 林之初 编著



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

数字移动电视广播原理与 DSP 实现

艾渤 林之初 编著

電子工業出版社。

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

中国地面数字电视国家标准 GB 20600—2006 的颁布之后,数字移动电视(手机电视)标准的制定成为焦点。随着数字技术的快速发展和消费电子市场的推动,数字信号处理器(DSP)在数字电视领域得到了越来越广泛的应用。本书首先介绍了目前国际上主流的数字移动电视标准,着重分析了在射频前端结构和基带信号处理两方面降低系统功耗的技术。接着在简要介绍典型数字移动电视广播基带信号处理算法的基础上,以目前国内外广泛使用的 ADI 公司的 Blackfin 系列 DSP 为代表,讨论了数字移动电视广播中交织、信道编码、多载波调制、同步、信道估计与均衡等算法的设计和 DSP 实现,同时给出了相关算法的实现程序。

本书面向通信广播和电子技术等领域的广大科研和工程技术人员,也可作为相关专业研究生和高年级本科生的教材。

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

数字移动电视广播原理与 DSP 实现/艾渤,林之初编著. —北京:电子工业出版社,2008.7

ISBN 978-7-121-07039-6

I. 数… II. ①艾…②林… III. ①移动式—数字电视②移动式—数字广播系统③数字信号—信号处理④数字信号—微处理器 IV. TN949.197 TN934.3 TN911.72 TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099617 号

策划编辑:高买花

责任编辑:吴健秋

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:13.75 字数:350 千字

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:33.00 元

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。

目 录

第 1 章 数字移动电视广播	(1)
1.1 数字电视	(1)
1.1.1 数字电视的特点	(1)
1.1.2 数字电视的发展状况	(2)
1.1.3 地面数字电视广播	(2)
1.2 数字移动电视广播	(2)
1.3 移动电视广播标准	(3)
1.3.1 韩国 T-DMB 标准	(3)
1.3.2 欧洲 DVB-H 标准	(7)
1.3.3 美国 MediaFLO 标准	(11)
1.3.4 三种标准的比较	(15)
1.3.5 清华 DMMB 标准	(16)
第 2 章 调谐器	(20)
2.1 简介	(20)
2.1.1 调谐器的种类	(20)
2.1.2 调谐器的技术指标	(21)
2.2 调谐器的体系结构	(24)
2.2.1 超外差结构	(24)
2.2.2 零中频结构	(27)
2.3 ADMTV102 型调谐器	(30)
2.3.1 基本描述	(30)
2.3.2 引脚定义	(32)
2.3.3 功能分析	(33)
第 3 章 信道编码	(38)
3.1 信道编码基本原理	(38)
3.1.1 信道容量和信道编码定理	(38)
3.1.2 信道编码相关背景知识	(39)
3.2 线性分组码	(40)
3.2.1 线性分组码基本概念	(40)
3.2.2 校验矩阵和生成矩阵	(41)
3.2.3 线性分组码的校正子译码方法	(42)
3.2.4 线性分组码举例: 汉明码	(42)
3.3 卷积码	(43)

3.3.1	卷积码的基本概念	(43)
3.3.2	卷积码的自由距离和最小距离	(45)
3.3.3	维特比译码算法	(46)
3.4	Turbo 码	(46)
3.4.1	Turbo 码简介	(46)
3.4.2	Turbo 码的编码	(47)
3.4.3	Turbo 码的译码算法	(48)
3.5	低密度奇偶校验码	(50)
3.5.1	低密度奇偶校验码简介	(50)
3.5.2	低密度奇偶校验码的编码	(52)
3.5.3	低密度奇偶校验码的译码	(53)
第 4 章	调制与解码	(58)
4.1	调制与解调的基本原理	(58)
4.1.1	调制解调的基本概念	(58)
4.1.2	信号的正交变换和线性调制	(58)
4.2	无线传输系统中的调制方法	(59)
4.2.1	四进制相移键控调制 QPSK	(60)
4.2.2	正交幅度调制 QAM	(62)
4.3	正交频分复用技术	(65)
4.3.1	OFDM 基本原理	(66)
4.3.2	基于傅里叶变换的 OFDM 系统	(68)
4.3.3	OFDM 的保护间隔和循环前缀	(69)
4.3.4	OFDM 技术优缺点及主要研究领域	(71)
第 5 章	定时同步与频率同步	(75)
5.1	同步与同步误差	(75)
5.1.1	OFDM 系统同步	(75)
5.1.2	OFDM 系统同步误差及其影响	(76)
5.2	定时同步	(80)
5.2.1	基于训练序列的方法	(80)
5.2.2	基于循环前缀的方法	(84)
5.3	频率同步算法	(88)
5.3.1	基于训练序列的方法	(88)
5.3.2	基于循环前缀的方法	(90)
5.4	DVB-H 系统的同步技术	(91)
5.4.1	DVB-H 帧结构及同步要求	(91)
5.4.2	同步方案	(93)
5.4.3	定时同步算法	(93)
5.4.4	频率同步算法	(96)

第 6 章 信道估计与均衡	(98)
6.1 相干检测	(98)
6.1.1 相干调制	(99)
6.1.2 相干检测	(100)
6.1.3 非相干检测	(101)
6.2 信道估计	(101)
6.2.1 基于导频的信道估计	(102)
6.2.2 基于时域训练序列的信道估计算法	(107)
6.3 信道均衡	(111)
第 7 章 Blackfin 处理器	(114)
7.1 Blackfin 系列处理器简介	(114)
7.2 Blackfin 处理器的内部结构	(114)
7.2.1 总体结构	(115)
7.2.2 内核结构	(116)
7.2.3 存储器结构	(117)
7.2.4 主要外部设备	(118)
7.2.5 指令集简介	(119)
7.3 Visual DSP++ 开发环境	(120)
第 8 章 数字滤波器的 DSP 实现	(126)
8.1 数字滤波器基本原理	(126)
8.2 FIR 滤波器和 IIR 滤波器	(129)
8.2.1 FIR 和 IIR 滤波器的特点	(129)
8.2.2 FIR 滤波器的设计方法	(130)
8.2.3 MATLAB 中的滤波器设计工具——fdatool	(132)
8.3 脉冲成形滤波器	(136)
8.4 脉冲成形滤波器的 DSP 实现	(140)
8.4.1 用 MATLAB 设计平方根升余弦滤波器	(140)
8.4.2 平方根升余弦滤波器的 DSP 实现	(143)
第 9 章 交织与解交织的 DSP 实现	(152)
9.1 宽带无线传输系统中交织的作用	(152)
9.2 交织的分类和原理	(152)
9.3 块交织和解交织的 DSP 实现	(155)
9.3.1 块交织和解交织的 C 语言实现	(155)
9.3.2 C 代码优化	(156)
9.3.3 汇编代码优化	(157)
9.3.4 完整的汇编代码	(158)
9.3.5 性能	(160)

第 10 章 LDPC 编码器的 DSP 实现	(162)
10.1 准循环 LDPC 码的生成矩阵	(162)
10.2 准循环 LDPC 编码方法	(164)
10.3 LDPC 编码的 C 语言实现	(166)
10.4 LDPC 编码 C 程序的优化及 DSP 实现	(168)
10.4.1 C 代码优化	(168)
10.4.2 汇编代码优化	(171)
10.4.3 完整的汇编代码	(172)
10.4.4 性能	(177)
第 11 章 定时同步与频率同步的 DSP 实现	(178)
11.1 联合定时同步与频率同步算法	(178)
11.2 定时同步与频率同步算法的仿真	(178)
11.2.1 发射机仿真	(179)
11.2.2 定时同步与频率同步算法仿真	(183)
11.3 定时同步与频率同步的 DSP 实现	(186)
第 12 章 信道估计的 DSP 实现	(195)
12.1 信道估计原理	(195)
12.2 信道估计算法的仿真	(196)
12.2.1 导频数据的产生	(196)
12.2.2 发射机及信道参数	(197)
12.2.3 信息数据的产生与 QPSK 映射	(198)
12.2.4 导频信号插入	(198)
12.2.5 发射机后端处理	(198)
12.2.6 多径与 AWGN 信道	(199)
12.2.7 接收机频域数据获取	(199)
12.2.8 接收机信道估计	(199)
12.3 信道估计的 DSP 实现	(201)
12.3.1 C 代码优化	(201)
12.3.2 汇编代码优化	(203)
12.3.3 完整的汇编代码	(204)
12.3.4 性能	(208)
参考文献	(210)

第1章 数字移动电视广播

本章简要介绍了数字电视广播发展的特点,分析了移动数字电视广播兴起的原因,继而着重分析了国际上主流的移动数字电视广播标准,最后对移动数字电视广播中的低功耗技术进行了分析与总结。



1.1 数字电视

数字电视,是指从电视节目录制、播出、发射和接收全部采用数字编码和数字传输技术的新一代电视。在经历了机械电视时代、黑白电子电视和彩色电视时代以后,电视正向着数字化和高清晰度方向前进,模拟电视在全世界范围内正逐渐隐退。欧洲将于2012年全部停止模拟电视广播,我国在2001年也制定了广播电视数字化进程表,明确了2015年电视广播全面实现数字化。



1.1.1 数字电视的特点

数字电视采用数字技术将活动图像和声音等信号加以处理、压缩、编码,经过存储或者实时广播后,供用户接收。数字电视相对模拟电视在节目制作、节目存储、信号处理、传输和播出等方面发生了革命性变化,在图像和声音质量两方面都有重大改进。具体地说,数字电视相对模拟电视的优势主要体现在以下五个方面。

一是清晰度高,音频效果好。由于数字电视全过程采用数字信号,不受节目编辑、传输、转播和接收的影响,标准清晰度数字电视节目就可以达到DVD的质量,而高清晰度数字电视节目的清晰度是目前模拟电视节目的4倍以上,有如34mm电影般清晰。

二是频谱利用率高。同样的带宽资源,能传送更多的电视节目,比如原来的PAL制式模拟电视频道可以播放4~8套标准清晰度数字电视节目;对于地面数字电视广播,这意味着以前分配给模拟电视的带宽,可以节约一部分出来供其他无线传输系统使用。

三是抗干扰能力强。随着信号的传输,数字处理能消除累积的噪声和其他干扰对有用信号的影响,使得抗干扰能力大大提高,从而解决了模拟电视中的闪烁、重影和亮度互串等问题;并且,数字电视可以支持城市复杂电波传播环境下的高质量移动接收。

四是信息化程度高,在可提供的节目类型上,它可以提供更多的业务类型和节目附加信息;便于开展各种综合业务和交互业务,便于与因特网进行信息交互,有利于构建“三网合一”的信息基础设施。

五是保密性好。数字电视支持条件接收,更有利于控制信息的传播以及方便运营商进行商业运作。

1.1.2 数字电视的发展状况

电视数字化是电视发展史上一次重大的技术革命。数字电视不仅是一个由标准、设备和节目源生产等多个部门相互支持和匹配的技术系统,而且将对相关行业产生影响并促进其发展。近十年来数字电视一直是各个国家致力研究的一项高新技术,在世界一些发达国家,数字电视已经得到广泛的应用。

日本是数字电视研究与开发起步最早的国家,在初创阶段,其技术曾一度领先。日本数字电视从 1996 年开始运营以来,目前数字电视用户总数已经上千万。欧洲在 1995 年由 30 多个国家和 230 多个成员组成了数字视频广播 (DVB) 联盟,它制定了数字电视的 DVB 标准。与日本和欧洲相比,美国的数字电视发展起步较晚,但它可以从日本和欧洲的研究中得到许多启示,因此美国的数字电视标准起点较高,方法灵活。

1.1.3 地面数字电视广播

数字电视分为卫星数字电视广播、有线数字电视广播和地面数字电视广播。地面数字电视广播是广播电视综合覆盖网络中的重要组成部分。在我国,尚有三分之二的电视用户靠无线信号进行覆盖;另外,在自然灾害或者战争等情况下,较卫星和有线数字电视而言,地面数字电视是具有快速恢复广播电视覆盖能力的传输系统。所以,对于未来的电视机,不管是卫星的、有线的还是地面(无线)的,都必须安装能接收地面数字电视广播信号的设备。总之,地面数字电视广播具有投资少和见效快的优点,而且可以带动相关产业的发展。开展地面数字电视广播业务,为我国这个世界上最大的电视消费和生产国提供了一个巨大的产业机会。

目前,国际上共有三套成熟的地面数字电视广播标准:

一是美国高级电视系统委员会 (ATSC) 于 1996 年研发的格型编码八电平残留边带 (8-VSB),它是一种单载波制式的标准;

二是欧洲于 1997 年提出的数字视频地面广播 (DVB-T),它采用编码正交频分复用 (COFDM) 技术,是一种多载波制式的标准;

三是日本于 1999 年颁布的地面综合业务数字广播 (ISDB-T),它也是一种多载波制式的标准。

我国于 2006 年 8 月 1 日颁布了具有自主知识产权的数字电视地面广播传输标准 GB20600-2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》,它是强制性的国家标准,2007 年 8 月 1 日起开始实施。该标准融合了清华大学提出的 DMB-T 方案和上海交通大学提出的 ADTB-T 方案。我国的地面数字电视标准可以缩写为 DMB-TH 或者 DTMB。

1.2 数字移动电视广播

数字移动电视广播,也称数字移动多媒体广播,或者俗成为手机电视,是指面向移



动设备,如手机、车载接收机、PDA 等高速移动或者便携电子设备以广播的形式传送实时音视频内容、多媒体业务以及数据增值业务的广播电视新技术。考虑到手持移动多媒体传输,和传统的地面数字电视广播相比,数字移动电视具有两个特殊的问题:一是要求有更好的移动接收性能和更低的接收门限;二是要求有更低的功耗。更具体地说,数字移动电视广播的发展主要存在以下需求:

- 能够提供广播质量的收视体验;
- 终端能打电话也能收看电视;
- 整体成本(如终端价格和订阅价格等)下降使得大部分用户可以接受;
- 电池能支持足够长的收视时间;
- 计费方式、业务提供、用户管理等可靠、灵活、方便;
- 具有交互功能。

在上节讨论的地面数字电视广播,只有 DMB-TH 系统能支持手持移动接收,这里的“TH”就是“地面(Terrestrial)”和“手持(Handheld)”首字母的缩写。

数字移动电视广播(手机电视)业务的实现形式主要有两种:第一种是利用蜂窝移动网络,比如中国移动、中国联通以及香港电信盈科推出的手机电视服务;第二种是利用地面或者卫星数字电视广播、装有数字电视接收模块的手机直接接收数字电视信号。与利用蜂窝移动网络的手机电视相比,基于地面广播的数字移动电视广播更被人们看好。这是由于视频等大容量多媒体业务的传输对网络的要求是非对称的,即下行数据量远远大于上行,因此下行更适宜采用广播方式。广播传输几乎没有用户数量的限制,在节目和频谱等资源利用率、系统用户容量和业务成本等方面都具有明显的优势。



1.3 移动电视广播标准

目前国外主要的数字移动电视广播标准有四种,分别为韩国的 T-DMB 标准、欧洲的 DVB-H 标准、美国的 MediaFLO 标准以及日本的 ISDB-T 标准。国内的数字移动电视广播标准之争已经白热化,主要有国家广电总局推出的行业标准 CMMB、北京新岸线公司提出的 T-MMB 标准、清华大学和凌讯公司共同提出的 DMMB 标准(由清华大学提出的地面数字电视广播标准 DMB-T 演化而来)、华为公司的 CMB 以及通信广播标准化委员会提出的 CDMB 标准(TD-SCDMA+DAB+AVS 组合方案)。其中 CMB 是基于蜂窝网络的手机电视标准,其他均为基于广播网的手机电视标准。下面我们将重点介绍韩国 T-DMB、欧洲 DVB-H、美国 MediaFLO 以及清华 DMMB 四个标准。



1.3.1 韩国 T-DMB 标准

随着移动通信技术(点对点应用)和广播技术(点对多点应用)协作的日益紧密,电信和广电业界对如何充分利用结合所带来的新机遇均十分感兴趣。源自于欧洲音频广播标准 DAB 的地面数字多媒体广播(T-DMB)正是基于这种思想的一种数字移动电视广播解决方案,它专为广播电视和移动视频而设计。DAB Eureka-147(ETSI EN300 401)

为欧洲的数字音频广播标准，完成于 1994 年，是一个非常成熟的标准。从标准设计开发一开始，DAB 标准就是面向固定、便携以及移动设备广播音频业务而开发的。在 DAB Eureka-147 系统基础上，增加了适应视频业务广播的音视频编码方案并附加了外层信道保护机制，可以与现存的 DAB 服务并行发展，也可以与已有的 DAB 基础设施方便地集成。T-DMB 系统实现了地面音频、视频和数据等多媒体业务的移动、手持和固定接收，支持手机、车载电视机、PDA 和笔记本电脑等多种终端。

T-DMB 发射机结构如图 1-1 所示。视频业务的视频编码部分采用 H.264，音频编码部分采用 MPEG-4，与视频业务有关的交互场景数据采用场景描述二进制格式（BIFS），多路复用采用 MPEG-4 SL 和 MPEG-2 TS 组合，并有针对性地增加了 RS 编码和卷积交织作为附加信道保护措施，以流模式传输；音频业务采用 DAB 标准引用的 MUSICAM 编码，以音频帧流模式传输；数据业务一般采用数据包模式传输。

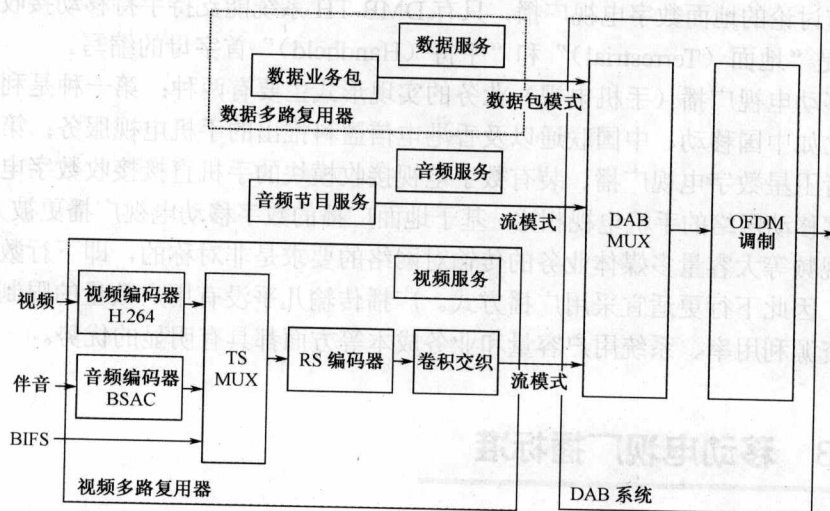


图 1-1 T-DMB 发射机结构

T-DMB 系统传输部分以 DAB 标准为基础，增加了一些适合视频业务传输的扩展定义。信道带宽为 1.54 MHz，一般移动接收情况下，其主业务信道（MSC）的可用净码率为 1.152 Mb/s（卷积编码 1/2）。如果采用 384 kb/s 的视频编码，在每一路 1.54 MHz 信道带宽内可以传输两路视频节目；如果采用更高的 512 kb/s 的视频编码，则可以传输 1 路视频节目和 3 路音频节目（64 kb/s，CD 音质）以及 1 路数据业务。实验证明：在时速 200 km 以上的车上可以稳定接收 T-DMB 或者 DAB 信号。

T-DMB 系统传输帧以 DAB 为基础，其传输帧结构如图 1-2 所示，包括同步信道、快速信息信道（FIC）和主业务信道（MSC）三个部分。其中同步信道由空符号和参考符号组成。每个信道从不同的信号源获得数据，由这些数据组成传输帧。每个传输帧由时间上连续的一系列正交频分复用（OFDM）符号组成，符号数目由信号的传输模式决定。表 1-1 列出了四种模式的一些重要参数， $T=1/2048000$ s，表示码元宽度。模式 1 适用于地面单频网络，模式 2 适用于常规的地面广播，模式 3 适用于卫星广播，模式 4 提供更好的覆盖范

围。不同的传输模式空符号数据符号长度均不相同,因此可以通过检测接收信号的能量来进行模式的确定和帧的同步。例如,对于模式3,一个传输帧中的第1个符号为空符号,第2个符号为参考符号,第3至10个符号组成FIC,第11至154个符号组成MSC。下面分别介绍同步信道2快速信息信道和主业务信道的产生。

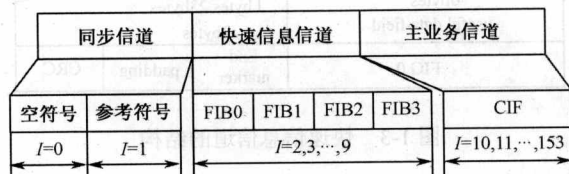


图 1-2 T-DMB 传输帧结构

表 1-1 不同模式的部分参数

参 数	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4
符号数	76	76	153	76
FFT 长度	2 048	512	256	1 024
载波数	1 536	384	192	768
空符号长度	2 656T	664T	345T	1 328T
循环前缀长度	504T	126T	63T	252T

1. 同步信道

第一个同步符号为空符号,这是一段静音时间,其长度要稍稍大于常规 OFDM 符号的长度,通过简单的包络检测,就可以实现信号帧的粗同步;第二个同步符号为参考值,其值是固定的,用于提供细同步,即精确的同步,并为随后符号的差分解调提供参考相位。

2. 快速信息信道 (FIC)

快速信息信道的结构如图 1-3 所示,它由 4 个快速信息块 (FIB) 组成,每个 FIB 由 256bit 组成。其中,240bit 为数据域,16bit 为循环冗余校验码 (CRC)。数据域由数个快速信息组 (FIG)、8bit 的全 1 结束标志和填充比特构成。FIG 为 FIB 的有效数据域,每个 FIG 对应一个子信道,它向 MSC 解释相应子信道的结构和参数。FIC 只有一种速率,因此只使用一个子通道,即 FIB 0 中的 FIG0,其余 3 个 FIB 全部填零。在 FIC 的信道编码中,首先按照 MSC 中的能量扩散算法 (见后续描述) 对比特数据进行扰码,然后按照 MSC 中的卷积编码算法 (见后续描述) 生成 4120 bit 的母码,将前 4096 bit 分成 32 个 128 bit 的块,前 29 个块按 $PI=16$ 压缩,剩下的 3 个块按照 $PI=15$ 压缩,最后 24 bit 按照矢量 $V_T=(1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100)$ 进行压缩,压缩后的比特数目为 $29 \times 4(16+8) + 3 \times 4 \times (15+8) + 12 = 3072$ 。FIC 中的编码速率为 $1/3$ 。

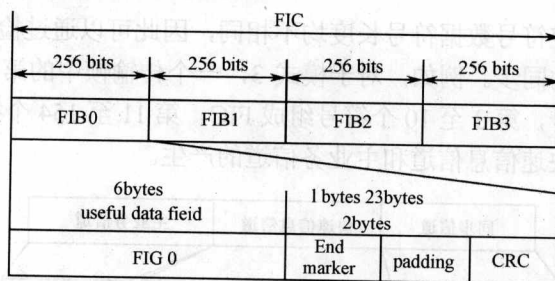


图 1-3 快速信息信道的结构

3. 主业务信道 (MSC)

(1) 主业务信道 (MSC) 的结构。主业务信道由一个公共交织帧 (CIF) 组成。一个 CIF 是一个包含 55 296 bit 的数据域, 其基本寻址单元为 CU, 寻址范围为 0~863。一个 CU 的大小为 64 bit。

(2) 数据源速率的确定。按照 EEP 数据编码压缩标准, 选 4-A 保护电平, 编码速率为 3/4, 则一个 CIF 内的净数据比特数小于或者等于 $55\,296 \times 3/4 = 41\,472$ 。一个逻辑帧的周期为 24 ms, 因此数据源速率 $R_b \leq 41\,472/24 = 1\,728$ kb/s。由于 4-A 保护电平选用的是 8 nkb/s 为基准的算法, 则 $n \leq 1\,728/8 = 216$ 。

(3) 逻辑帧的生成。在 $T_F = 24$ ms 的时间内传输的数据比特数为一个逻辑帧。一个逻辑帧包含的比特数为: $I = R_b \times T_F = 192n$ 。

(4) 能量扩散 (扰码)。由伪随机序列多项式 $P(X) = X^9 + X^5 + 1$ 产生 I 比特的伪随机序列, 然后与一个逻辑帧内的数据比特首尾一一对应进行模 2 和。

(5) 卷积编码。母码生成多项式为 133, 171, 145, 133。编码后母码长度为 $4I + 24$ bit, 其中 24 bit 为最后输出的尾比特。将前 $4I = 768n$ 比特分成 $6n$ 个以 128 bit 为单位的块。将 $6n$ 个块分成 2 组: $L_1 = 4n - 3$, $L_2 = 2n + 3$, 分别选用压缩比例因子 $PI_1 = 3$, $PI_2 = 2$ 进行压缩, 最后 24 bit 按照矢量 $V_T = (1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100)$ 进行压缩。压缩后的比特数为: $M = 4 \times L_1 \times (PI_1 + 8) + 4 \times L_2 \times (PI_2 + 8) + 12$ 。为了在 CIF 中生成整数个 CU, 压缩后的数据比特数必须是 64 bit 的整数倍, 否则需要填充零。输出的结果记做 $(b_i)_{i=0}^{M-1}$ 。

(6) 时域交织。将卷积编码输出的数据 $(b_i)_{i=0}^{M-1}$ 进行时域扩展。记矢量为

$$B_r = (b_{r,0}, b_{r,1}, \dots, b_{r,M-1}),$$

交织输出矢量记作:

$$C_r = (c_{r,0}, c_{r,1}, \dots, c_{r,M-1}),$$

则交织算法可以描述为:

$$c_{r,i} = b_{r',i}, i < M \quad (1-1)$$

其中 r' 为 $r \bmod (16)$ 后的比特进行反序, 交织深度为 16。

(7) 生产 CIF。时域交织后每帧的比特数若不够 55 296 bit, 则需要填充比特, 以构成一个 CIF 的长度。填充的规则为: 若需要从第 $i+1$ 个比特开始填充, 则将前述能量扩散所用的伪随机序列多项式产生的第 $i+1 \sim 55\,295$ 个比特填充到数据比特流的相应位置, 组成

一个完整的 CIF。

上述同步通道、快速信息通道和主业务通道的数据准备好后,下面就进行符号映射和 OFDM 调制了。首先将卷积编码和交织后的 FIC 和 MSC 通道分成以 384 bit 为单位的块,每个块包含对应的 OFDM 符号要发送的比特数。输出记为 $(p_{l,n})_{n=0}^{383}$, $l=2, \dots, 153$ 。对序号为 $l=2, \dots, 153$ 的 152 个 384 比特的矢量 $(p_{l,n})_{n=0}^{383}$, 根据式 (1-2) 将其映射为 192 个复数 QPSK 符号 $q_{l,n} = l^{j\varphi_{l,n}}$:

$$q_{l,n} = \frac{1}{\sqrt{2}}[(1-2p_{l,n}) + j(1-2p_{l,n+192})], n=0, 1, 2, \dots, 191 \quad (1-2)$$

为了便于差分解调,采用归一化的相位: $\bar{\varphi}_{l,n} = \varphi_{l,n}/(\pi/4)$, 则 $p_{l,n}, p_{l,n+192}, q_{l,n}, \varphi_{l,n}$ 和 $\bar{\varphi}_{l,n}$ 之间的映射关系如表 1-2 所示。

表 1-2 差分调制中的参数映射关系

$p_{l,n}$	$p_{l,n+192}$	$q_{l,n}$	$\varphi_{l,n}$	$\bar{\varphi}_{l,n}$
0	0	$1+j$	$\pi/4$	1
0	1	$1-j$	$7\pi/4$	7
1	0	$-1+j$	$3\pi/4$	3
1	1	$-1-j$	$5\pi/4$	5

其次对 $(q_{l,n})_{n=0}^{191}$ 进行频域交织, 交织结果再进行差分调制。差分调制是指将每一个 OFDM 符号与其相邻的前一个 OFDM 载波上的 QPSK 符号的相位相加, 每个载波对应的初始相位为参考符号中相应载波的相位。差分调制采用 $\pi/4$ -DQPSK 方法, 8 种相位不会同时存在于一个符号中, 因此它不同于 8PSK。差分调制后的数据进行 OFDM 调制。

首先进行相位映射。因为 OFDM 调制需要进行复数运算, 所以需要将差分调制后的归一化相位映射成复数。设 $z_{l,k} = R_{l,k} + jI_{l,k}$, 按照以下公式映射为 16 位数据宽度, 以补码形式表示, 最高位为符号位:

$$\begin{aligned} R_{l,k} &= (2^{15} - 1) \times \cos(\bar{\varphi}_{l,k} \cdot \frac{\pi}{4}), \\ I_{l,k} &= (2^{15} - 1) \times \sin(\bar{\varphi}_{l,k} \cdot \frac{\pi}{4}), \end{aligned} \quad (1-3)$$

生成两个映射表, 将归一化后的相位 $\bar{\varphi}_{l,k}$ 作为地址, 通过查表可以完成相位映射。经过相位映射后的数据进行 IFFT 运算, 变换到时域, 完成 OFDM 调制。OFDM 调制后的信号被搬移到射频进行无线发射。



1.3.2 欧洲 DVB-H 标准

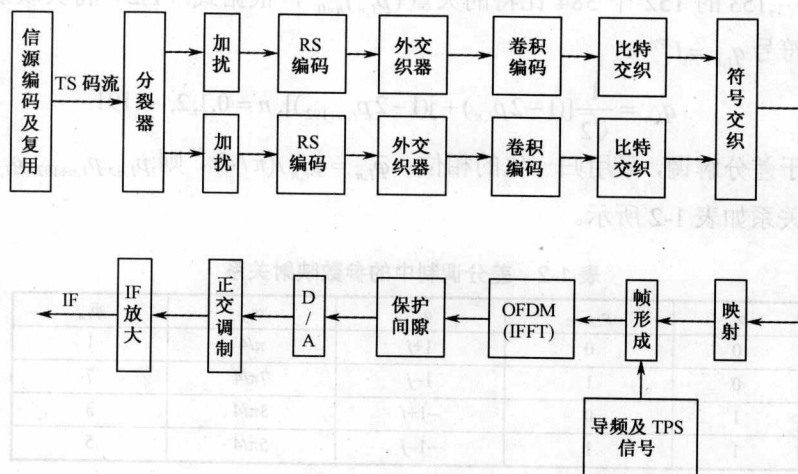
DVB-H 是在 DVB-T 标准基础上稍作改动而形成的, 结合了移动通信和互联网 IP 技术。

1. DVB-T 标准的系统框图

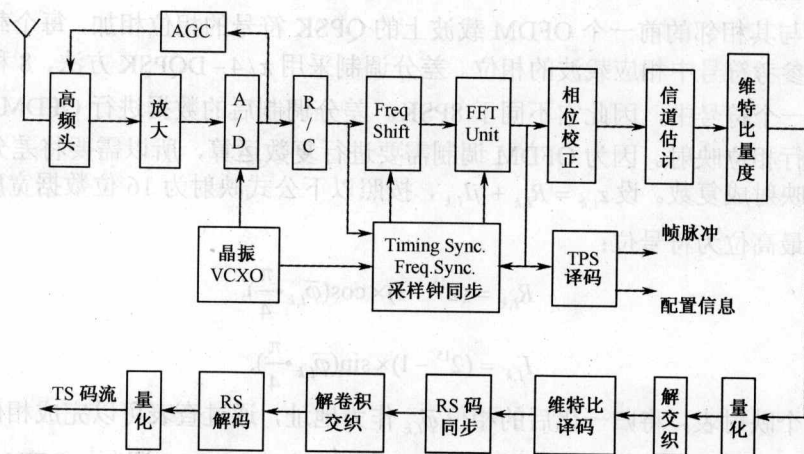
DVB-T 采用分级调制和多级编码来实现高低优先级数据的分层广播。在发送端, 分离器将复用器输出的码流分为两个独立的 MPEG 传输流。然后通过各自的扰码器, 将数



据进行随机化；再经过 RS 编码器、外交织器、卷积编码器、比特交织器和符号交织器完成信道编码；通过映射将编码后的数据映射到信号的星座点上；经过 OFDM 帧形成、插入导频和传输参数信令（TPS）；再通过 IFFT；最后插入保护间隔，实现正交频分复用（OFDM）调制。系统框图如图 1-4 所示。



(a) 发射机框图



(b) 接收机框图

图 1-4 DVB-T 标准的系统框图

为了保证接收机接收到分层发射的信号，分层仅仅限于信道编码和调制，不使用分层信源编码，因此不同的节目可用具有不同抗干扰度的各自码流发射。无论在何种情况下，接收机只需要一组互逆的单元：内解交织器、外解码器、外解交织器、外解码器、解扰器。DVB-T 采用的 OFDM 调制，支持 2K 和 8K 两种子载波模式。

2. DVB-H 系统

DVB-H 系统结构如图 1-5 所示。系统前端由 DVB-H IP 封装器和 DVB-H 调制器构成，

DVB-H 调制器实际上就是一个 DVB-T 调制器,但在其中增加了新的内容,比如 4K 传输模式和 DVB-H TPS。DVB-H 封装器负责将 IP 数据封装成 MPEG-2 系统传输流,此传输流和其他 MPEG-2 视频业务通过复用器形成 TS 流进入 DVB-H 调制器,DVB-H 调制器负责信道编码和调制。系统终端由 DVB-H 解调器和 DVB-H 终端构成,DVB-H 解调器负责信道解调和解码,DVB-H IP 封装器负责把 IP 数据包从解码后的 TS 流中拆分出来,DVB-H 终端负责相关业务的显示和处理。

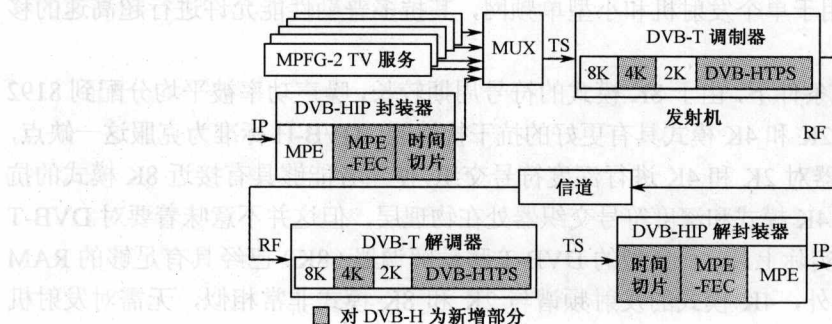


图 1-5 DVB-H 系统结构

DVB-H 标准主要实现数据链路层和物理层,它们的特点为:

(1) 数据链路层

采用时间分片技术,用于降低平均功耗,便于进行平稳和无缝的业务交换;采用 MPE 前向纠错技术,提高移动使用中的 C/N 门限和抗多普勒性能,增强抗脉冲干扰能力。

(2) 物理层

在 DVB-T (ETSI EN 300 744) 标准的基础上进行补充,增加了 4K 传输模式和深度符号交织等内容。其他技术特点包括:在传输参数信令比特中增加 DVB-H 信令,用于提高业务发展速度;TPS 中的蜂窝标识用于支持移动接收时快速信号扫描和频率交换;增加 4K 模式以适应移动接收和单频蜂窝网,提高网络设计和规划的灵活性;2K 和 4K 模式进行深度符号交织,进一步提高移动环境和冲击噪声环境下的鲁棒性。

DVB-H 系统可以调节的参数如下:

- (1) 内码码率 (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8);
- (2) 子载波调制方式 (QPSK, 16QAM, 64QAM);
- (3) 保护间隔 (1/4, 1/8, 1/16, 1/32);
- (4) 等级调制参数 ($\alpha=1$, 非等级; $\alpha=2$, 等级);
- (5) 载波数量 (2K=1705 个载波, 4K=3409 个载波, 8K=6817 个载波)。

各种 OFDM 参数的选择就是需要在多项要求冲突中进行折中考虑。在 DVB-T 系统中,2K 模式比 8K 模式提供更好的移动接收性能,但是 2K 模式的符号周期和保护间隔非常短,使得 2K 模式仅仅能适用于小型单频网。新增加的 4K 模式符号具有较长的周期和保护间隔,能够建造中型单频网,网络设计者能够更好地进行网络优化,提高频谱效率,虽然这种优化不如 8K 模式的效率高,但是 4K 模式比 8K 模式的符号周期短,能够更频繁地进行信号估计,提供比 8K 模式更好的移动性能。总之,4K 模式的性能介于 2K



和 8K 之间, 可提供覆盖范围、频谱效率和移动接收性能的最佳折中。DVB-H 中的三种模式关于单频网规模和移动接收性能的特点可以总结如下:

(1) 8K 模式适用于单个发射机和大、中、小型单频网, 其抗多普勒性能允许进行高速的移动接收。

(2) 4K 模式适用于单个发射机和中小型单频网, 其抗多普勒性能允许进行更高速的移动接收。

(3) 2K 模式适用于单个发射机和小型单频网, 其抗多普勒性能允许进行超高速的移动接收。

在脉冲噪声干扰条件下, 由于 8K 模式的符号周期较长, 噪声功率被平均分配到 8192 个子载波上, 因此比 2K 和 4K 模式具有更好的抗干扰性能。DVB-H 标准为克服这一缺点, 利用 8K 符号的交织器对 2K 和 4K 进行深度符号交织, 使二者能够具有接近 8K 模式的抗脉冲干扰性能。虽然 4K 模式和深度符号交织器处在物理层, 但这并不意味着要对 DVB-T 设备进行过多改造。实际上, 一个典型的 DVB-T 移动解调器 (8K) 已经具有足够的 RAM 和逻辑控制单元。此外, 4K 模式的发射频谱与 2K 和 8K 模式非常相似, 无需对发射机的滤波器进行改造。

3. DVB-H 的新技术

DVB-H 对系统的要求如下:

(1) 由于移动终端采用电池供电, 为了提高电池的使用时间, 终端应该能够周期地关掉一部分接收电路以节省功耗。

(2) 对于漫游的用户, 当用户进入新区域后应仍能非常顺利地接收 DVB-T 业务。

(3) 对于室内、室外、步行和乘车等不同的接收方式, 传输系统应能保证在各种移动速率下顺利地接收 DVB-H 业务。

(4) 在充斥大量脉冲干扰的环境中, 传输系统应采取有效的措施减少该类干扰带来的影响。

(5) DVB-H 作为手持终端的通用业务规范, 系统应能提供足够的灵活性以满足不同传输带宽和信道带宽的应用。

为了达到这些要求, DVB-H 增加了新的技术模块, 主要包括:

(1) 时间分片

时间分片技术是 DVB-H 中最为重要的新技术模块, 它不但能够有效地降低手持终端的平均功耗, 而且还是不同网络间实现平稳和无缝业务交换的基础。DVB-H 信号由许多时间片组成, 时间分片采用突发方式传送数据, 每个突发时间片传送一个业务, 单独占用全部数据带宽, 并指出下一个相同业务时间片产生的时刻, 能够在指定的时刻接收选定的业务; 空闲时间节能, 降低平均功耗。在相同业务的两个时间片内, 将会传送其他业务数据。接收到的数据并非恒定速率, 它以离散的方式间隔到达, 称之为突发传送。如果解码终端要求恒定速率, 可以先进行缓冲, 生成速率不变的数据流。

(2) MPE-FEC

DVB-H 在数据链路层为 IP 数据包增加了 RS 纠错编码, 作为 MPE 的前向纠错编码,