

数字音频广播系统 设计与实现



SHUZIYINPINGUANGBOXITONG
SHEJIYUSHIXIAN

李继龙 邸娜 杨明 李锦文 杨方正 著

数字音频广播系统 设计与实现

李继龙 邸娜 杨明 李锦文 杨方正 著

图书在版编目 (CIP) 数据

数字音频广播系统设计与实现 / 李继龙等著. — 北京 : 中国广播电视出版社, 2011.7
ISBN 978-7-5043-6418-0

I. ①数… II. ①李… III. ①数字音频广播—系统设计 IV. ①TN934.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第063526号

数字音频广播系统设计与实现

李继龙 邸娜 杨明 李锦文 杨方正 著

责任编辑 余潜飞

封面设计 丁琳

出版发行 中国广播电视出版社

电 话 010-86093580 010-86093583

社 址 北京市西城区真武庙二条9号

邮 编 100045

网 址 www.crtip.com.cn

电子信箱 crt8@sina.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 北京市翰林印刷厂

开 本 787毫米×1092毫米 1/16

字 数 240(千)字

印 张 17.75

版 次 2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5043-6418-0

定 价 36.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

序

邵峰

数字化已经成为广播电视发展的必然趋势。应用数字技术的广播系统具有以下特点：抗干扰性能好，可消除传输过程中的噪声和失真的积累；采用纠错编码措施，可纠正传输过程中的差错；发射设备所需功率小，节约能源和减小电磁污染，增强广播节目的有效覆盖；数据压缩技术以及单频网的应用，大大提高了频谱利用率；可支持多种业务；数字信号便于存储、交换、处理。

当前，已有多种广播实现了模拟向数字的转换，但是调频频段的音频广播仍然应用的模拟广播技术，此频段内的广播数字化是下一阶段行业发展的重要目标，已列入国家广电总局的主要任务。因此，开展调频频段内的数字音频广播技术的研究具有重大的现实意义。

本书总结了广播科学研究院在数字音频广播方面的研究工作。在研究中，通过对国外现有的系统结构的研究，提出调频频段数字化广播的初步方案；再通过计算机仿真评估、分析系统性能，最终完成调频频段数字化音频广播技术方案。在以上理论分析的基础上，用基于美国国家仪器（National Instrument, NI）技术的软件硬件平台实现了 OFDM 实时收发系统，为我国未来在 FM 调频频段开展数字化工作提供了实验基础。

本书所介绍的工作中，完整地介绍了基于调频信道的特性分析所进行的数字广播系统方案设计；对方案中 OFDM 系统参数的设计过程进行了详细的分析；对纠错编码的设计方法进行了完备的分析；介绍了系统设计中主要模块的功能设计和主要函数。这些内容都是作者的最新研究成果，相关的文献中也不多见，对于广播通信领域的设计人员具有很大的参考价值。

2011 年 6 月 6 日

(作者系国家广播电影电视总局广播科学研究所所长)

目 录

Contents

第一章 绪 论 / 1

- 1.1 数字时代的广播 / 1
- 1.2 数字声音广播 / 2
- 1.3 研究调频频段数字化广播系统的重要意义 / 11

第二章 无线信道介绍与调频信道的测试分析 / 13

- 2.1 无线信道的特点 / 13
- 2.2 多径信道参数 / 15
- 2.3 小尺度衰落信道分类 / 21
- 2.4 频率选择性衰落信道建模与仿真 / 24
- 2.5 调频波段信道测试和分析 / 27

第三章 多载波 OFDM 技术 / 38

- 3.1 多载波与单载波的选择 / 38
- 3.2 OFDM 技术的发展 / 41
- 3.3 OFDM 基本原理 / 43
- 3.4 OFDM 关键技术 / 50

第四章 数字调频 OFDM 系统的参数设计 / 55

- 4.1 OFDM 系统参数设计分析 / 55
- 4.2 OFDM 系统参数仿真分析 / 60
- 4.3 系统参数的确定 / 74

第五章 信道编码的设计 / 77

- 5.1 信道编码概述 / 77

- 5.2 LDPC 码的结构类型 / 81
- 5.3 LDPC 译码器设计实现分析 / 84
- 5.4 LDPC 码构造方法研究 / 89
- 5.5 基于外在信息度数的构造方法 / 92
- 5.6 构造算法的性能仿真 / 98
- 5.7 复杂度分析 / 104
- 5.8 调频广播系统性能仿真 / 106
- 5.9 构造结论 / 108

第六章 数字调频广播系统的其他相关设计 / 110

- 6.1 导频结构的设计 / 110
- 6.2 交织算法 / 117
- 6.3 业务复用结构 / 121

第七章 基于 NI 技术的开发软件 LabWindows/CVI / 124

- 7.1 LabWindows/CVI 概述 / 125
- 7.2 LabWindows/CVI 简单程序设计 / 147

第八章 总体设计技术分析 / 152

- 8.1 系统设计的一些原则 / 152
- 8.2 虚拟仪器系统的总体设计步骤及软件总体设计原则 / 154
- 8.3 基于虚拟仪器的多线程软件设计技术 / 161
- 8.4 基于虚拟仪器多线程技术的实时多任务处理方法 / 165
- 8.5 总结 / 177

第九章 DFM 系统的总体设计方案 / 179

- 9.1 引言 / 179
- 9.2 DFM 总体设计方案 / 180
- 9.3 DFM 调制器软件子系统设计及实现方案 / 185
- 9.4 DFM 接收机软件子系统设计及实现方案 / 209
- 9.5 上下变频硬件平台设计方案 / 251

第一章

绪论

▶▶ 1.1 数字时代的广播

无线电广播是一种传播最广泛的大众电子媒体，在全球拥有数百个广播运营商，数千个高频信号发射机和数十亿的听众。最早的广播开始于 20 世纪 20 年代初，目前市场已经被 AM 和 FM 声音广播服务给覆盖了。

今天，我们生活在一个充满数字通信系统与服务的世界。相当一部分广播系统已经数字化，这个数字化的过程从模拟音频磁带转录到以数字方式存储的磁带或硬盘上开始，逐渐扩展到在混音台中进行数字信号处理和运营中以数字方式传输。另外，在不断发展的音乐市场中还有其他几种数字发行和存储媒介，比如各种数字磁带或磁盘格式（CD、MiniDisk 和 DVD），还有在因特网上传播和下载的流格式（比如 MP3）。

因此，广播传输系统现在的趋势是将传统的模拟方式变为数字方式。数字广播服务开始于 NICAM 728 系统（准瞬时压扩声音多路复用，由 BBC 开发，使立体声电视能实现 VHF/UHF 波段的声音）、DSR（卫星数字广播，现在已经关闭）和 ADR（阿斯特拉卫星数字广播），但是其中没有任何一种能够完全取代现有的传统服务，特别是移动接收技术。因为这个原因，开发了通用数字音频广播系统（DAB）尤里卡 147（Eureka 147），并且现在已经在全世界广泛推广。同时，其他数字广播系统，例如 DRM（通用数字无线广播）、IBOC（带内同频广播）或 DVB-T（数字电视广播），都将完善数字广播和电视。

据估计，新的广播系统取代现有的广播系统需要持续一代接收机的生命周期，大概 10 年。因此，引入新系统需要有很明确的理由和非常令人信服的优势。

在过去的几十年里，调频（FM）广播曾以最好的声音广播质量受到听众的欢迎。但是，这种模拟窄带传输方法的主要问题是多径传播缺乏抵抗能力。尤其在移动接收时，由于无线电信道的频率选择性和时间选择性，多径传播会产生

严重的衰落现象, 损害接收质量。

虽然为了改进调频广播的技术质量采用了不少新的方法和技术, 收到一定的成效, 但都有局限性, 不能彻底改变 FM 广播的固有弱点。

数字音频广播就是一种新的、适应社会发展、体现科技进步的广播系统。其中, DAB 是以数字技术为手段, 由广播机构向移动、固定和便携式接收机传送高质量的声音节目和数据业务。除了声音信号外, DAB 可传送任何形式的数据信号, 例如广播电文、静止画面等, 甚至可以对移动的 TV 接收机传送电视节目。^[1]

数字化已经成为世界广播电视发展的必然趋势。如何充分利用新技术实现广播节目的有效覆盖, 实现模拟音频广播向数字音频广播的平稳过渡成为未来几年广电行业所要亟须解决的重大课题。调频频段的数字音频广播技术作为广播数字化的重要组成部分, 理应在我国广播电视数字化进程中发挥其应有的作用。因此, 开展该频段内数字音频广播技术的基础性研究工作具有重大现实意义。

目前可工作于调频频段的数字音频广播主要有美国的 IBOC/HD Radio 技术及欧洲尚在研究中的 DRM+ 技术, 其中只有 HD Radio 已经进行了实际播出。基于尤里卡 147 架构的 DAB 及 DAB+ 技术虽然设计用于 30–3000MHz, 但当前国际上用得最多的则是 III 波段 (167–223MHz) 和 L 波段 (1452–1492MHz), 尚无成功应用于其他频段的案例及经验。我国目前也尚无调频频段的数字广播的相关标准。

本书呈现了在上述频段开展的技术跟踪研究和数字广播关键技术的基础性研究, 并且总结了调频频段数字广播技术方案的研究成果。上述研究可以为未来在该频段开展数字化工作提供理论基础和技术储备。

▶▶ 1.2 数字声音广播

1.2.1 DAB

数字音频广播 (DAB) 是继调幅、调频广播之后的第三代广播。与传统广播相比, DAB 具有音质好、接收质量高、可加密、抗干扰性强、发射功率小、覆盖面积大、频谱利用率高等特点。

最早的数字音频广播的研究开发始于 70 年代末期, 到 1988 年, 基础性和初步的开路试验结果都显示出它成为新一代广播系统的生命力, 引起了世界各国的重视。该系统作为欧洲的一个重点开发项目, 列为 Eureka-147 计划, 于

1988年1月1日开始执行。“Eureka”原来最早是欧洲国家共同组成的一个技术研究合作团体的组织名称,该技术团体多年来一直从事多种技术项目的开发工作。在Eureka组织庞大的技术开发项目计划中,DAB项目的初始化开发被列名为第147项。因此,DAB项目又被人们习惯称为“Eureka-147”计划。从事该项计划的人员来自不同国家的广播业、网络运营商、家用电器电子生产商和研究院校等。

发展至今,经过各方面的共同努力,“Eureka-147”计划已经形成和颁布了一系列完整的DAB技术标准且不断地更新,并于1994年被国际电信联盟(ITU)正式确立为国际标准,在世界范围内被采纳和推广应用。到目前为止,世界上已有近30个国家和地区开播或试验播出DAB节目。在英国、德国、比利时、丹麦等欧洲国家,DAB的覆盖率已经达到相当高的水平,在世界其他一些国家和地区(加拿大、新加坡、澳大利亚),DAB也得到一定的发展,全球约有3.3亿人在接收DAB节目。

DAB系统是一种抗干扰性能优良并有较高频谱利用率和功率效率的声音和数据广播系统。其信源编码采用MPEG-1层II标准音频压缩算法,压缩后的音频码流速率为32—384kb/s。经能量扩散后进行的信道编码采用可删除卷积编码。为了解决恶劣的多径信道和频域移动接收条件下可能产生的频率选择性衰落和突发干扰问题,对加卷积码保护后的数据流采用了时域和频域两层交织。系统的调制方式为正交频分复用(OFDM),子载波调制使用 $\pi/4$ 移相4DPSK。根据传输条件划分为四种模式,其载波间隔、数量、码元周期各不相同,但是总传输数据率维持不变,为3.072Mb/s,占用信道带宽1.536MHz,可以同时传输多路广播节目。Eureka-147最大的特色则是,利用保护频带及交错码方式,避免多径及多普勒效应所引起的选择性衰落及码间干扰,仅使用一个频率便可达到全区覆盖,也就是所谓的单频网络,即使用多个发射站在同一频道同时广播相同节目,达到全区覆盖的目的,而不会产生同频干扰。

DAB系统框图如图1-2-1所示^[2],其中处于发射机的COFDM编码调制器,可分为信道编码、OFDM调制和数字上变频等几个部分。信道编码器完成ETI码流的解复接、能量扩散、卷积编码和时间交织等任务。OFDM调制器进行频率交织, $\pi/4$ 移相4DPSK调制和IFFT变换,输出同相和正交两路分量。然后通过DIQ接口,由数字上变频器将其调制为中频或射频信号。

1.2.2 IBOC

美国的广播环境和欧洲有很大区别。发射台的技术参数(AM或FM、功率、天线高度)造成不同的覆盖范围和音频服务质量,这些是广播运营商所关注



图 1-2-1 DAB 传输框图

的很重要的经济因素,运营商认为覆盖范围和服务质量必须在数字化变革中能维持现有状况。尽管 DAB 系统能通过应用不同的音频数据传输速率和编码来实现这些特点,但有些美国广播运营商并不对将多个电台混合到一个发射频道的提议感兴趣。

在 20 世纪 90 年代早期,一些美国公司因此开始着手研究数字音频广播的其他方案,如 IBOC (In-Band-On-Channel, 带内同频) 和 IBAC (In-Band-Adjacent-Channel, 带内邻频)。系统是为了 AM 和 FM 电台在 MW 和 VHF 频段 II 所开发的,基本原理是在分配给电台的信道频谱掩模之内使用低功率数字边带信号。

20 世纪 90 年代晚期, IBOC/IBAC 系统和 Eureka-147/DAB 系统及卫星系统 (VOA/JPL) 开始在旧金山地区的实验室和户外进行测试。测试的结果对 IBOC/IBAC 并不利^[4],结果表明在所有的测试系统中,只有 Eureka-147/DAB 系统提供的音频质量和信号稳定性表现达到收听者对数字音频广播的期望。但从那时起,IBOC 系统的工作依然在继续着。至今,FM 和 AM 频段的 IBOC 系统标准发布了,并且系统已经在美国市场立足了。

为中波 (AM IBOC, 中波带内同频) 所设计的系统有两个基本配置设计^[5]。第一个配置设计是为了与模拟 AM 信号同播。在 AM 调幅载波的两边 (即使在 AM 边带的频带内) 都有 OFDM 符号。但是,随副载波与载波中心频率偏移的不同,调制模式和功率电平是有区别的。在载波在靠近 AM 中心载波时,采用 QPSK 调制;在副载波与 AM 中心载波偏移超过 4kHz 时,使用 16-QAM 调制;在偏移超过 9.5kHz 时,使用 64-QAM 调制。高阶调制的载波有着最高的功率并且携带了我们需要的大部分数据。信号的总带宽是 29.4kHz,这就意味着数字广播并不是真正意义上的同频,而是使用了原始传输频率两边临近的频率。因此,数字信号只能在白天没有天波传播的时候传输。当不需要模拟 AM 传输时,整个频带可以被完全用来作为数字传输。此时,未经调制的 AM 载波依然被发送,但是 AM 信道被 64-QAM 调制的 OFDM 载波占满。

FM IBOC 系统^[6]也采用了类似的方法设计。使用了一种将两个 OFDM 块发送到模拟 FM 信号频带两边的混合模式。频率范围从 (129kHz 至 198kHz),两个 OFDM 块携带相同的数字信息。信号的数字部分可通过在 -101kHz 和 -129kHz 之间加载更多的 OFDM 载波进行扩展。当没有模拟 FM 信号的时候,信道内部也能被数字信号充满,使得一个 OFDM 块包括了在 396kHz 宽的频带上的 1092 个载波。在所有模式下,两个数字边带都传送同样的信息使得系统更稳定。

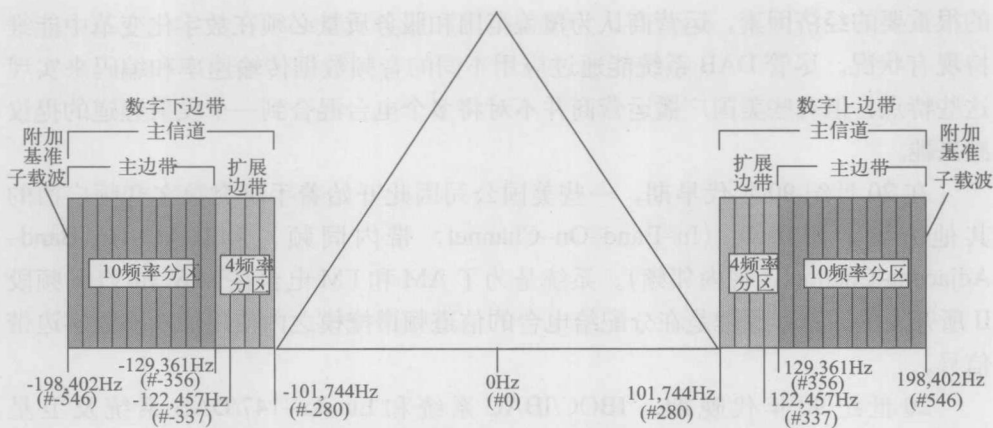


图 1-2-2 IBOC/HD Radio FM 混合模式下频谱占用

上述信号的频谱分布对应不同的应用场景，FM IBOC 系统定义了三种传输模式，即混合模式、扩展混合模式和全数字模式。其中混和模式占用频带的情况如图 1-2-2 所示。现有的 FM 广播电台可以通过使用 FM HD Radio 的混和模式或扩展混和模式实现同频道内模拟与数字节目同播，最终过渡到全数字模式。混和模式和扩展混和模式的区别在于数字边带占用的频谱宽度不同，混和模式时的数字边带占用范围约为 $\pm (129\text{kHz 至 } 198\text{kHz})$ 之间，扩展混和模式时数字边带最多可扩展到 $\pm (102\text{kHz 至 } 198\text{kHz})$ 。

无论是在混和模式还是扩展混和模式下，FM HD Radio 模拟加数字信号占用的总的频道宽度不变，均是 400kHz。另外，这两种模式下，模拟 FM 与数字信号部分的相对位置也不变，均固定为数字边带紧靠模拟 FM 的两边发射。这种频谱结构的安排使得 FM HD Radio 具有很多优点。FM 电台进行 HD Radio 升级后，调谐频率不变，不改变用户的收听习惯。在同一调谐频率上，使用具有 HD Radio 解调功能的接收机在检测到 HD Radio 数字信号时可自动播出该频道的数字节目，而使用模拟 FM 接收机仍可以收听模拟节目。

由于 FM IBOC 信号被限制在 FCC 信道的频谱掩模带宽内，而这个带宽并不足以克服在 VHF 频段范围内的频率选择性衰落。这就意味着对于便携或移动接收设备来说整个信号可能会出现衰落。这种情况下，即使使用纠错能力很强的纠错码和长交织也不一定能重建信号。因此，从覆盖范围的观点来看，IBOC 系统并不优于 FM，因为它也可能和 FM 在相同的地方失效。在 FM IBOC 系统中，推荐采用以数字信号为基准，将模拟信号进行延迟，并将它存贮在接收端。当数字信号传输中出现衰落，接收端就可以切换接收模拟信号。

每一个 IBOC 信号都将在一定程度上损害同一个频道和相邻频道中的模拟信

号。这就形成模拟音频信号中额外的噪声,会对模拟信号接收者产生不同影响。但广播运营商不能控制数字信号会对使用中的模拟信号接收者产生什么影响。因此,为了将这种噪声降低,数字信号电平必须远低于模拟信号,如 iBiquity 的 FM IBOC 系统中,数字信号比 FM 模拟信号电平低 23dB。而数字系统比 FM 系统信噪比低如此多,就意味着 IBOC 的覆盖范围会受很大限制。

FM HD Radio 广播不但能提高播出节目的音频质量,还能在同一频道传送多套节目及数据业务,以提升电台竞争力。FM HD Radio 广播系统在现有调频频道内,使用地面发射机发射包含数字音频节目和数据业务的多种业务,用户可以用移动、便携以及固定接收机进行接收。播出机构可以在保持现有频率规划不变的情况下,同时广播模拟调频信号和带内同频数字信号,以便自己和听众平滑地从模拟广播向全数字广播过渡。图 1-2-3 给出了带内同频广播系统的结构图。

HD Radio 系统使用的信源编码方法是 HDC 音频编码算法。HDC 是 MPEG 高级音频编码 (Advanced Audio Coding, ACC) 编码算法的改进版本,效率和 AAC 编码接近,在 96kbps 和 64kbps 的音频数据码率下,能够达到接近 CD 音质的收听效果。该技术是 USA Digital Radio 和 Lucent Digital Radio 在 2000 年合并成 iBiquity 时,从贝尔实验室继承来的。HDC 集成了 Coding Technologies 公司的 SBR (Spectral Band Replication, 频带恢复) 技术,从而可以低数据率实现较高的音质。

2005 年 9 月, NRSC 正式发布了 IBOC/HD Radio 系统标准规范文本,该系统正式成为美国数字音频广播标准。目前,美国已有约 2000 家电台播出 HD Radio 节目,已达到 85% 的人口覆盖,HD Radio 收听者约占听众总数的 48%。同时,HD Radio 技术在世界其他国家和地区也进行了推广,其中有一些国家和地区已开始播出 HD Radio 节目。

1.2.3 DRM

1.2.3.1 在低于 30MHz 下的 DRM

迄今为止,30MHz 以下的长、中、短波广播波段使用的幅度调制技术很简单,但是抗干扰能力很差,尤其是短波波段经常出现干扰。AM 广播的数字化,可以使声音质量得到明显的改善。此外,数字化后,可以通过传输附加数据,例如电台名称和替换频率,可使接收机的操作变得简单容易。

为了选择合适的数字 AM 系统,1998 年 3 月在中国广州成立了数字 AM 广播的国际组织 DRM (Digital Radio Mondiale) 联盟。DRM 提出了数字长、中、短波广播系统建议,并于 2001 年 4 月在 ITU 作为正式的建议书而获得通过。DRM 系统在 2001 年 10 月被 ETSI 标准化,并在 2002 年 3 月经 IEC 通过,DRM

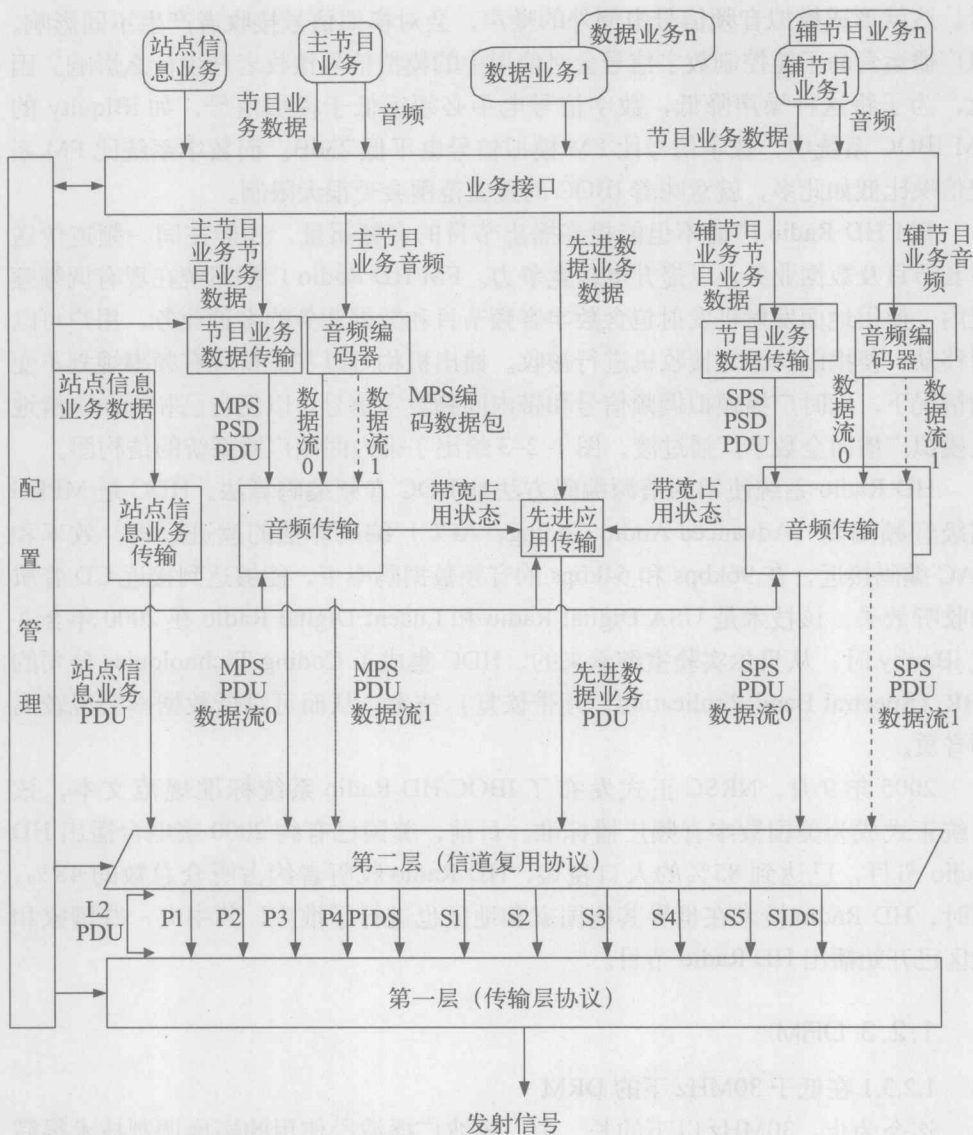


图 1-2-3 带内同频广播系统结构图

系统规范正式生效，为 AM 波段广播的数字化铺平了道路。国际上不少广播机构的部分发射台已经以 DRM 方式正式投入广播运行。

DRM 系统是经过严格的开路试验、技术成熟的系统。DRM 系统是世界上唯一的非专利的数字系统，用于短波、中波和长波，可以使用已有的频率和带宽，是对模拟 AM 广播的重大改善。DRM 系统充分考虑到了与 ITU 现有的边界

条件相一致, 以及与现有的模拟业务的兼容, 并保证了由模拟广播向数字广播的平滑过渡。

在低于 30MHz 范围内, 可用带宽通常情况下是很窄的: 最常用的频道间距是 5、9 或 10kHz。对于一个新的系统, 它应该能将 2 个 5kHz 的信道合并成一个 10kHz 的信道。对于这样的窄带信道, 需要有比起 DAB 系统更多的数据压缩。MPEG ACC 数据压缩方案结合了 SBR 新技术, 在数据率为 20–25kbps 时可达到与 FM 相当的声音质量, 见文献 [7]。相对于传统的 AM 质量来说这是相当大的提高。考虑到 DAB 系统在 1.5MHz 的带宽下通常的传输速率会略高于 1Mbps (例如 6 个 192kbps 的声频节目), 尽管 DRM 传输方案的数据速率较低, 相对于 10kHz 的带宽来说, 却意味着需要比 DAB 高出 2 倍的带宽利用率。

和 DAB 信道一样, DRM 信道也有类似的时间频率选择性衰落, 所以 DRM 研究小组也决定用相同的办法解决: OFDM。但是由于信道参数完全不同, 因而系统参数也完全不同。在天波传输时有几种不同的 OFDM 符号传输模式, OFDM 符号持续时间分别为 26.67ms, 20ms 和 16.67ms, 保护区间依次为 2.67ms, 5.33ms 和 7.33ms。按照这样的符号长度, OFDM 信号在 10kHz 带宽的信道大约有 200 个子载波。由于带宽利用率要求很高, 因而 OFDM 每个子载波的信号星座图都要高于 DAB。根据传播的情况分别使用 64-QAM 调制或 16-QAM 调制。由于信道随时间有非常大的变化, 总带宽中需要很大一部分 (多达 1/6) 用来作信道估计的导频。对要求的数据速率来说, 总体码率在 1/2 到 2/3 之间。文献 [8] 证明, 在应用性能好的信道估计算法时, 即使是在传统的 64-QAM 符号映射下, 这种编码 OFDM 系统在衰落信道中也有惊人的稳定表现。DRM 中采用的分级编码方式最早由文献 [9] 提出。这种方法和文献 [10] 所描述的 8-PSK 系统编码很类似。与传统的 64-QAM 相比, 分级编码的 64-QAM 可获得额外的 1 或 2dB 增益。DRM 是第一个使用这种编码调制方案的系统 [7]。系统里也用到了和 DAB 一样的卷积码。

在地面传输模式中, 定义了另外一种传输模式, 因为相对于天波此时只需要较低的信道估计, 保护间隔只有 2.33ms 长。而在高斯信道上, 甚至可以用码率更高的编码方法以实现更高的数据率。

1.2.3.2 在 VHF 频带中的 DRM

在 DRM 的发展过程中, 逐渐发现设计工作频带低于 30MHz 的系统并不能在 VHF 范围内使用。但是, 需要一个与 DRM 有许多特征相同的但可用于 VHF 频段的系统, 使得可以对所有传统声频广播波段都引入统一的数字系统。在 DRM 的基础上, 一个名为 DRM+ 的系统被开发出来, 并且在进行实际测试 [11], 一个名为 “E” 的基于 DRM 标准的新模式标准也在进行编写。

从目前获取的资料上来看, DRM+ 使用约 100kHz 带宽, 重新根据调频频段的信道特点设计了 OFDM 系统参数, 信道编码使用卷积码, 子载波的调制方式考虑 4-QAM、16-QAM。由于标准没有最后公布, 最终的技术参数目前还不能确定。

DRM+ 的频谱结构与 HD Radio 有很大不同。DRM+ 使用单独的约 100kHz 的带宽发射数字信号频谱, 而不是像 HD Radio 那样紧紧依附于模拟 FM 两边。有资料建议 DRM+ 信号放置于距离模拟 FM 频率间隔为 200kHz 至 400kHz 的位置, 以 50kHz 步进设置 DRM+ 频谱。这种方式比较灵活, 可以根据邻近电台情况选择干扰最小的方式放置 DRM+ 数字频谱, 并可辅以发射功率的调整, 尽可能保护现有 FM 广播不受影响。但这种方式也有一定缺点: 过于灵活的频谱设置增加了频率规划的工作; 此外, DRM+ 数字信号频谱与 FM 频谱之间相对位置的不确定, 也会使接收机难以按照同一调谐频率收听数字、模拟节目。

2008 年, DRM+ 在德国凯撒斯劳滕进行了场地测试, 测试主要目的是研究 DRM+ 的覆盖情况及 DRM+ 与 FM 之间的干扰问题。从其测试结果可看出, 一般来说, 在 DRM+ 发射机比当前的模拟 FM 发射机有效功率降低 5dB 时, 可以进行替换, 并且不影响其他模拟 FM 服务。尽管 DRM+ 有效功率低于 FM 5dB, 但 DRM+ 的 4QAM 和 16QAM 的覆盖范围均远大于 FM; DRM+ 4QAM 的覆盖范围也大于 16QAM。

1.2.4 数字声音广播现有技术比较与推广应用

目前全世界的无线数字声音广播, 根据采用的技术差异, 大致可分成三种: DAB、DRM、IBOC。表 1-2-1 列出了其主要技术特征和推广应用情况。

表 1-2-1 数字声音广播技术简表

技术简称	全 称		技术特性	采用国家
DAB	Digital audio broadcasting	数字声音广播	1. 频宽约为 1.54MHz 2. 使用频段同于 AM/FM 频段 (频带外系统), 包括 Band III (174~240MHz) 及 L band (1452~1492 MHz) 3. 采用 MUSICAM 音频编码技术 4. COFDM 调制技术 5. 2006 年, World DMB 将 DAB 升级成为 DAB+。采用 AAC+ 音频转码器、MPEG 声音格式、Reed-Solomon 编码	英国、德国、西班牙、荷兰、意大利、比利时、瑞典、挪威、法国、波兰、爱尔兰、丹麦、瑞士、奥地利、捷克、芬兰、匈牙利、土耳其、立陶宛、加拿大、汶来、中国、新加坡、印度、马来西亚、南非、澳洲等 30 多个国家