

北京市高等教育精品教材建设立项项目

数字广播电视技术书系

北京广播学院《数字广播电视技术书系》编辑委员会

数字音频

技术及应用

韩宪柱 编著
张永辉 王明臣 主审

中国广播电视出版社

73.413
916

数 字 广 播 电 视 技 术 书 系

主 编 王明臣

副主编 李鉴增 张 琦 毛志伋

高福安 刘剑波

数字音频技术及应用

韩宪柱 编著

张永辉 王明臣 主 审



中国广播电视出版社

1017504

图书在版编目(CIP)数据

数字音频技术及应用/韩宪柱编著. —北京:中国广播电视出版社, 2003. 1

(数字广播电视技术书系/王明臣主编)

ISBN 7-5043-3986-5

I. 数… II. 韩 III. 数字技术—应用—音频设备 IV. TN912.271

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第092230号

数字音频技术及应用

编 著:	韩宪柱
责任编辑:	王本玉
封面设计:	张一山
责任校对:	谭 霞
监 印:	戴存善
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京复外大街2号(邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	廊坊人民印刷厂
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092毫米 1/16
字 数:	340(千)字
印 张:	16.125
版 次:	2003年1月第1版 2003年1月第1次印刷
印 数:	5000册
书 号:	ISBN 7-5043-3986-5/TN·281
定 价:	31.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

谨以此书献给：

**中国广播电视事业
的开拓者和继承者**

北京广播学院《数字广播电视技术书系》

编辑委员会

主任：周铜山

副主任：高福安 李鉴增 王明臣

委员：（以姓氏笔划为序）

王本玉 毛志伋 车 晴 李 栋

刘剑波 宋培义 肖 歌 林正豹

林达恂 张永辉 张 琦 杨盈昀

书系总序

时间似流星，把一批批酷爱读书的学子带出学校大门，撒向广阔的社会舞台施展才华……

时间如巨浪，推动广播电视事业千帆竞发，百舸争流，新技术、新模式层出不穷……

时间若彩笔，不断地把人们满头乌发抹灰、添白，向张张稚嫩的脸庞描绘鱼尾纹……

时间造化万物，推陈出新！

1997年3月《现代广播电视技术全书》第一版面世，至今已5年多了。这5年时间，世界信息技术飞速发展；这5年时间，我国广播电视由局部采用数字技术，推向整个系统实现数字化。时间不断流淌出新理论、新器件、新技术、新模式。在数字化的推动下，广播电视节目制播系统、传输覆盖以及管理手段日趋网络化、智能化；虚拟环境的营造和利用，部分地取代硬件系统，取得了更优、更美的艺术效果。在前几年还供不应求的《现代广播电视技术全书》，其内容已不能满足当前和今后的发展要求。无论是广播电视技术高等教育，还是第一线工程技术实践工作，都渴望能有更适合技术发展要求的新书，以解急需。

与我国广播电视第一线联系密切、长期从事工程技术教育和科学研究的北京广播学院的教授们，在历史责任感的推动下，应“中国广播电视出版社”之约，参照北京市“高等教育精品教材建设规划”要求，在《现代广播电视技术全书》的基础上，重新制定编写大纲，力争涵盖当今广播电视从节目制作、播出、传输覆盖到接收重现等技术领域的最新成果。经过多次研讨审议、通力合作、历时年余，终成这部四百余万字的新编巨著《数字广播电视技术书系》，共分10册：

1. 广播影视声学
2. 数字音频技术及应用
3. 数字电视与高清晰度电视
4. 数字电视制播技术
5. 多媒体与电脑动画
6. 有线电视网络
7. 数字卫星广播与微波技术

8. 宽带网络技术
9. 计算机网络技术及应用
10. 广播电视技术管理与教育

10册书彼此协调分工,构成相对全面、完整、配套齐全的书系;而又各自独立成书,可分册单独使用。这部书系的特色是力求突出其先进性、科学性、系统性和实用性。重点介绍当前国内外先进的数字技术、智能化制播技术、宽带网络技术、多媒体应用、光纤传输、卫星广播与数字微波等。该书系在兼顾技术理论、工程设计和实践应用的同时,并对设备的管理和高质量的节目制作方法以及相关理论进行了较具体的论述,力争作到理工结合、工艺兼容。

北京广播学院是全国著名的培养广播电视各类高级专门人才的高等学府,拥有一大批在我国广播电视工程技术领域颇具声望的专家、教授和年轻的后起之秀。他们在数字电视、高清晰度电视、数字声音广播、数字记录、数字微波、卫星通信、宽带网络、多媒体制播技术以及现代化媒体管理等方面的研究成果,为国内同行所关注。数十年来为我国广播电视事业培养了工程技术类大学本科生、研究生近万名,为我国广播电视事业的发展作出了突出的贡献。学院汇集30多名学有所成,业有所就的老、中、青优秀专家教授和科研骨干力量,为了我国广播电视事业的发展,为了满足广播电视技术领域第一线同行们的急需,也为了学院教学和科研的需要,将他们多年来从事教学和科研工作的积累,以及技术实践经验,认真地总结提炼,编著成书,献给新世纪我国广播电视事业的开拓者与继承者。本书系已纳入北京市“精品教材建设规划”,可作为高等院校本科相关专业的教材;又兼顾那些在广播电视技术领域第一线工作的工程设计、科研开发、设备维护人员的工作实践需求,作为可靠、好用的“技术参谋”。

随着信息技术和数字技术、广播电视新技术的突飞猛进,将会不断推出新的理论、新的技术、新的产品和新的制播手段。在当前和未来,这种发展常常会超出人们的预料。我们衷心地希望广大读者和专家能对我们的工作提出改进意见和要求。我们也将按广大读者和专家们的意见和要求,进一步补充和完善本书的内容,使书系能与时俱进,挺立潮头!

本书系的出版得到了北京广播学院领导和有关部门的大力支持,尤其得到中国广播电视出版社有关领导,及各位编辑的合作与支持。在此,我谨代表北京广播学院《数字广播电视技术书系》编辑委员会,向参加该书系编写的全体作者和有关领导以及一切为该书系出版作出贡献的同仁一并深表谢意。

北京广播学院



2002年5月

前 言

音频技术经历了近百年的发展,现已全面进入了数字时代。数字音频设备涉及到音响工程、节目制作、节目播出领域,不仅性能指标高于模拟设备而且使用方便、简洁;数字音响产品进入了个人家庭成为了家电产品;数字声广播已经成为现实。因此,数字音频技术具有强大的生命力;并在不断地向前发展。

数字音频的编码理论是在1938年创立的脉冲编码调制(Pulse Code Modulation简称PCM)基础之上的,鉴于当时其他技术的限制,阻碍了数字音频技术的实用化。随着大规模集成电路(LSI)的发展,给数字信号处理应用到数字音频技术创造了便利条件。数字磁带录音机、激光唱机、以光盘为载体的MD录音机陆续问世。计算机技术的引入,又开辟了声音记录方式的一条新路——以硬盘作为载体记录声音。它不仅使声音制作摆脱了繁琐的传统做法,也使广播电台的节目播出实现了自动化。

数字音频技术发展的另一重要方面是声音编码方式,特别是声音压缩编码。到目前为止,声音经压缩编码后的比特率降低到32kbit/s~256kbit/s;语音低至8kbit/s,甚至到2kbit/s。由于声音压缩编码降低了比特率,才可能在直径64mm的光盘上记录着几百首歌曲;才可能在带宽9kHz的中、短波段广播高质量的立体声;才有可能在通讯线路上传送IP电话等等。

具有代表性的数字音频技术——CD激光唱片的问世,不仅使声音的存储摆脱了磁带紧密接触磁头的磁记录方式,而且大大地提高了放音质量;更有意义的是扩展到图像、数据的存储,广泛应用于视频光盘VCD、DVD以及CD-ROM。

高清晰度电视的另一个特点是5.1声道环绕声,如果仍是当前电视节目的单声道伴音,那就达不到高清晰度电视节目的艺术效果。因此,声音是当代信息(声音、图像及数据)的三大支柱之一,其重要性是可想而知的。

鉴于目前国内全面论述数字音频技术及其应用的专著不多,编写本书的目的就是把涉及到有关数字音频方面的技术及其应用汇集在一起,形成一个体系,同时也弥补这方面专著的不足。

本书共分8章。第1章介绍了当前数字音频的应用领域及发展方向;第2章论述了声音数字化以及涉及的编码与调制技术;第3章介绍了当前采用的声音压缩编解码的原理;第4章介绍了数字音频应用的接口类型以及声音信号作为文件形式记录的种类;第5章介绍了数字音频设备的原理和应用;第6章介绍了用于节目制作或播出的

数字音频工作站原理及应用；第7章介绍了广播电视中的数字声音信号传输；第8章介绍了数字音频测量。

在本书编写的过程中，得到了中国广播电视出版社、北京广播学院信息工程学院领导的大力支持和帮助。北京广播学院张永辉教授、王明臣教授对全书进行了审阅，提出了许多宝贵的建议，使得此书更加充实。北京安恒利音响公司熊国新先生，北京中音公司王浩先生及中央人民广播电台主控部主任赵永礼先生，为此书的编写提供了很有价值的资料，在此表示深深的谢意。

在本书的编写过程中，作者对所列出的中外文参考文献以及相关资料进行了参阅，受到很大启发，在此谨向原作者表示感谢。

需要说明的是，由于数字音频技术发展很快，因编写时间仓促、水平有限，因此书中还有不足之处，甚至出现疏漏和错误，诚挚欢迎同行专家及读者批评指正。

编 者

2002年10月于北京广播学院信息工程学院

内 容 提 要

随着科学技术的迅速发展,为推进我国广播电视声音系统的数字化,本书结合当前国内外先进的数字音频技术,兼顾技术理论和实践的应用,编写了《数字音频技术及应用》一书。本书共分8章,全面地论述了数字音频技术,包括音频编码方式、接口、声音文件、数字音频设备、数字声广播以及数字音频工作站及数字音频设备、系统测量等内容。

第1章对当前数字音频的应用领域以及发展动向进行了综述。第2章介绍了数字音频基础知识。第3章论述了声音压缩编解码的原理。第4章介绍了数字音频中使用的数字音频接口卡、数字音频接口及与计算机连接的I/O。第5章介绍了音响工程、声音节目制作系统所使用的数字音频设备。第6章为声音节目制作使用的得力工具——数字音频工作站。第7章介绍了广播电视中数字声音信号的传输。第8章介绍了数字音频设备及系统测量。

本书可供从事音频技术工作的工程技术人员阅读,也可供高等院校信息工程、多媒体、广播电视及通讯工程等专业师生作为教材或参考书。

目 录

第1章 绪论	1
第2章 数字音频基础	5
2.1 声音数字化	5
2.1.1 什么是数字化	5
2.1.2 模/数变换	5
2.1.3 数/模变换	10
2.2 纠错编码	11
2.2.1 纠错编码的必要性	11
2.2.2 纠错编码原理	12
2.2.3 纠错码类型	12
2.2.4 里德-索罗门码	13
2.3 交织/去交织	18
2.3.1 寄存器交织/去交织	18
2.3.2 交叉交织	19
2.3.3 交叉延时交织双重 RSC 码	20
2.4 数据补偿	21
2.5 复用及子码	21
2.6 调制	22
2.6.1 码型变换	22
2.6.2 8-10 调制	22
2.6.3 EFM 调制	23
第3章 音频压缩编解码	25
3.1 声音压缩编码的声学原理	25
3.1.1 声音物理特性	25
3.1.2 人的听觉特性	29
3.1.3 心理声学模型	36
3.2 术语	36
3.2.1 层 (Layer)	36

3.2.2 帧 (Frame)	37
3.3 数字音频编码标准	38
3.3.1 MPEG-1 音频	38
3.3.2 MPEG-2 音频	39
3.3.3 MPEG-4 音频	40
3.3.4 MPEG-7 多媒体内容标准	40
3.3.5 Dolby AC-3	41
3.4 声音编码方式	41
3.4.1 分类	41
3.5 时域编码	42
3.5.1 瞬时压缩/扩张	43
3.5.2 预测编码	48
3.5.3 增量编码	50
3.6 频域编码	53
3.6.1 子带编码	54
3.6.2 变换编码	60
3.7 统计编码	62
3.7.1 熵编码的基本概念	62
3.7.2 哈夫曼编码	62
3.8 自适应掩蔽模型的通用子带综合编码和复用	63
3.8.1 MUSICAM 简述	63
3.8.2 MPEG Layer I 编码器	65
3.8.3 MPEG Layer II 编码器	72
3.8.4 MPEG Layer III 编码器	78
3.9 Dolby Digital AC-3 编码器	79
3.9.1 立体声重放与 HDTV 声音系统	79
3.9.2 Dolby AC-3 声音压缩原理	83
3.9.3 AC-3 编解码器	83
3.10 MPEG-2 AAC 编码器	87
3.10.1 MPEG-2 AAC 简介	87
3.10.2 MPEG-2 AAC 编解码器	88
3.11 MPEG-4 音频编码	95
3.11.1 MPEG-4 简介	95
3.11.2 普通音频编码	97
3.11.3 Twin 矢量量化 (VQ)	100
3.11.4 MPEG-4 音频语音编码	101
3.11.5 可量测性	110
3.11.6 音频类型和水平	112

第4章 音频文件与接口	114
4.1 音频文件	114
4.1.1 WAVE 音频文件格式	115
4.1.2 MIDI 文件	116
4.1.3 MP3 文件	116
4.2 接口	117
4.2.1 数字音频接口卡	117
4.2.2 数字音频接口	124
4.2.3 数字音频格式转换器	128
4.2.4 I/O 接口	129
第5章 数字音频设备	133
5.1 数字信号处理系统	133
5.1.1 概述	133
5.1.2 DSP 系统构成	134
5.1.3 数字域幅度处理	135
5.1.4 数字域频率均衡	138
5.2 音响工程所用数字设备	144
5.2.1 数字传声器	144
5.2.2 数字声载体播放器	145
5.2.3 数字音频处理设备	156
5.2.4 数字式时间效果处理器	159
5.3 节目制作常用数字设备	161
5.3.1 缩混设备	161
5.3.2 多声道固定磁头数字磁带录音机	169
5.3.3 硬盘录音机	171
第6章 数字音频工作站	178
6.1 声音节目制作系统	178
6.2 数字音频工作站分类	178
6.2.1 分类	179
6.2.2 各类数字音频工作站比较	179
6.3 数字工作站结构与配置	180
6.3.1 结构	180
6.3.2 配置	181
6.4 应用	183
6.4.1 音轨和通道	183
6.4.2 同步与时间码	183
6.4.3 字时钟设置	185
6.4.4 SMPTE 时间码	186
6.4.5 MTC 时间码	186

6.4.6	波形编辑	188
6.5	PC 机工作站及应用	188
6.5.1	Cool Edit Pro 音频编辑软件	188
6.5.2	软件应用	189
第 7 章	音频数据传输	198
7.1	广播中心系统	198
7.1.1	主控系统	198
7.1.2	节目传送系统	199
7.2	数字电视中的伴音传输	199
7.2.1	DVB 数字视频标准	200
7.2.2	ATSC 数字标准中的音频系统特性	200
7.3	数字声广播	201
7.3.1	卫星数字声广播	201
7.3.2	地面数字声广播	202
第 8 章	数字音频测量	214
8.1	数字音频设备性能测量	214
8.1.1	眼图及抖动	214
8.1.2	智能化数字音频测量仪	215
8.2	数字音频设备(系统)测量	221
8.2.1	测量连接	221
8.2.2	频率响应测量	222
8.2.3	单点噪声测量	223
8.2.4	谐波失真附加噪声的频率特性测量	224
8.2.5	谐波失真附加噪声的幅度特性测量	224
8.2.6	SMPTE 互调失真测量 (SMPTE IMD)	226
8.2.7	CCIT IMD 测量	227
8.2.8	DIM IMD 测量	228
8.2.9	声道间相位差的频率特性测量	229
8.2.10	线性度测量	230
8.2.11	串音频率特性测量	231
8.2.12	FFT 频谱分析	233
8.2.13	波形显示	234
8.2.14	总抖动的时问特性测量	236
8.2.15	抖动的 FFT	237
8.2.16	抖动波形	238
8.2.17	接口波形和抖动	239
8.2.18	抖动直方图(统计学)	240
8.2.19	眼图显示	241
	参考文献	244

第1章 绪论

本章讲述数字音频发展史及目前的动态、当今数字音频技术的发展及数字音频在各领域内的应用,先对数字音频所包含的内容、目前数字音频处理所采用的技术以及今后发展动向有一个总体的了解,有助于本书各章的学习。

自19世纪70年代爱迪生发明留声机以来,音频技术在模拟唱片和模拟信号录音两个方面得到了发展;经历了大约100年的时间,到20世纪70年代,研制了立体声双声道薄膜唱片、双声道乃至多声道磁带录音。改善了电声指标,提高了声音质量。飞利浦和索尼公司在1981年音响博览会上展出了联合开发的CD数字式DAD数字声音光盘,并于1982年投入市场。CD唱片的出现使得音频技术进入了一个新阶段。在短短的20年中,从光盘放音发展到MD录音机,做到与磁带一样在光盘上进行录音、存储及放音;而后又发展到能像录像机一样播放视频图像的VCD、DVD。计算机技术的应用使得数字音频技术在信号处理方面得到了发展。目前数字音频技术已广泛用在声音制作系统、民用音响产品、扩声系统、网络多媒体、数字声音广播等诸多领域。

数字音频的发展要从磁带和唱片两大系统谈起。数字音频的问世可追溯到1967年日本NHK研制出第一台旋转头磁头数字磁带录音机。在不断改进数字磁带录音技术的同时,世界各国对数字音频唱片DAD(Digital Audio Disc)进行了研究,被确认的三种制式为:

- ① 日本胜利公司(JVC)发表的AHD(Advanced High-Density Disc)制数字音频唱片系统;
- ② 德国德律风根(Telefunken)和Teldec公司发表的MD(Mini Disc或Micro Disc)制;
- ③ 荷兰飞利浦(PHILIPS)和日本索尼(SONY)公司联合发表的CD(Compact Disc)制。

1980年10月的音响展览会上,在DAD恳谈会的组织及支持下,进行了以上三种制式的公开演示。次年1981年4月恳谈会确定CD与MD两种制式为音响专用,而将AHD定位于视听共用。由于CD制比另两种制式有着明显的优势,加之CD制中使用的半导体激光器、16比特D/A变换器等关键部件的低价格,同时做到了数字信号处理的LSI集成化。在这些条件下,各公司的CD制光盘及播放机产品在1982年10月后相继推向市场,从此确立了CD制在音响专用中的主导地位。

CD 制唱片及播放机投入市场后,声音清晰、动态范围宽,在与模拟磁带录音机播放出来的声音相比,最为突出的是声音干净(背底噪声很低),受到了音乐爱好者的特别青睐。数字音响从此成为人们购置的热点,取得了社会的公认。

CD 制采用的声音数字化格式是 44.1kHz 采样频率、16 bit 线性量化的 PCM 编码。对数字声的音质评价,有的听众感觉声音发硬。从 PCM 编码的机理看出,模拟信号转换成数字信号,采样及量化过程会丢失一些声音细节。在数字音响发展的初期阶段,声音音质的进一步提高还不是突出问题。

数字音频的发展与模拟相似,从声音载体上看有磁带及唱片两个方面。数字音响产品进入家庭后随之而来的就是对声音质量的提高及功能增强的要求,可归纳以下几点:

- ① CD 唱片声音质量的进一步提高;
- ② 一张有限尺寸下的光盘,存储的节目要多;
- ③ 要能像磁带录音机一样方便,在光盘上录制并播放数字声;
- ④ 数字声音广播;
- ⑤ Internet 网的出现,要求网上传输声音增强下载能力。

为了解决这些问题,进一步提高 CD 唱片的音质,采用高的采样频率及位数大的量化比特进行编码。采样频率由目前的 44.1kHz 可望提高到 96kHz;量化比特(分辨率)位数由 16 位提高到 20 位甚至于 24 位。在母版制作中,96kHz 的采样频率已经开始采用,如硬盘机/调音台一体化产品 AKAI DSP16/DSP24 采用 96kHz/24 bit 格式。

此外,采用了先进技术,如 SBM 超比特变换(Super Bit Mapping)、高分辨兼容数字技术(High Definition Compatible Digital 简称 HDCD)以及高质量音频唱片(HQAD)。

现有的 CD 数字声唱片采用传统的线性 PCM 编码方式,在改善音质和降低数码率及传输带宽之间存在矛盾,或者说在满足音质下,在载体有限尺寸下存储更多的节目或一定带宽下传送更多的节目之间不能兼顾。因此出现了新的编码方式,如 1 比特编码、子带编码(Subband Coding)、离散余弦变换编码(Discrete Cosine Transform, 缩写 DCT)、自适应变换听觉编码(Adaptive Transform Acoustic Coding, 缩写 ATRAC)、掩蔽模型通用子带综合编码和复用(Masking Pattern Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing, 缩写 MUSICAM)、Audio Code Number 3-Dolby Digital (Surround) 以及新型压缩方式,如 MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding)、MPEG-4CELP 等多种大压缩比,进一步降低比特率的音频编码方式,可使比特率控制在 32kb/s ~ 256kb/s、8kb/s ~ 160kb/s。

数字音频今后的发展方向大致可分为以下几个方面:

第一,提高数字声质量,主要体现在媒体母版的制作。日本 ADA (Advanced Digital Audio) 提出“实现下一代数字音响的希望条件”,其内容如下:

- ① 其音频格式要充分预测今后技术的发展,至少 15 ~ 20 年后仍能使用;
- ② 母版与播放媒体要充分满足用户的多样性爱好;
- ③ 母版的制作应为线性编码,信息不压缩;

④ 母版使用的记录格式可以很容易变换到当前数字设备的格式；

⑤ 母版及播放媒体应从 DC（即零频）到 100kHz，模拟信号动态范围 120dB，而数字信号为 144dB；

⑥ 播放媒体以直径 12cm 单面单层光盘为基本型，即使重现前方的立体声声道也应具有多声道扩展性。具备从多声道缩减为立体声道的检测信号及其他附加信息；

⑦ 播放时间等同于 CD 唱片。

第二，降低传输信息比特率。声音压缩技术目前的水平是立体声编码比特率已降到 64kbit/s 甚至低至 48kbit/s，语言编码可望降到 2kbit/s。随着通信网、Internet 网传输信息量的日益增大，要求下载速度快，故而传输信息的比特率降低是人们关心的热点。对声音来讲，比特率的降低关键在于创建新型的心理声学模型以及新型量化-编码方式，例如 VQ 矢量量化就是一种方式。

第三，利用计算机对音频压缩算法进行仿真研究，有助于用 DSP 实现算法所需的运算量和对存储容量做出估算。

数字音频技术广泛地应用到以下 5 个领域：

(1) 音响产品

CD 激光唱机、DAT 磁带录放机、DCC（Digital Compact Cassette）兼容性磁带录音机、MP3 播放机以及 MD 录音机已广泛应用了数字音频技术。

(2) 声音制作系统

国内省级及经济发达市的电视台、广播电台已经全面实现声音制作系统数字化。在声音节目制作系统，如录音、声音处理加工、记录存储、非线性编辑等环节使用了数字调音台、硬盘工作站、数字音频制作工作站等数字设备。

(3) 多媒体应用

在多媒体上的应用体现在 VCD、DVD 音视频媒体、计算机以及 Internet 网。VCD 采用 MPEG-1 编码格式记录声音和图像；DVD 中的音频使用 Audio Code Number 3-Dolby Digital (Surround) 编码格式；Internet 网上多媒体采用 MP3 的音频格式传输声音，以提高下载能力。

(4) 广播电视数字化

① 数字卫星电视广播：采用欧洲 DVB-S 传输方式，其中声音为 MPEG-1 中 Layer I、Layer II 数字音频编码格式，是采用 MUSICAM（掩蔽模型的通用子带综合编码和复用）来实现的。

② 数字有线电视广播：采用欧洲 DVB-C 传输方式，其中声音为 MPEG-1 Layer I、Layer II 音频编码格式。

③ 数字地面电视广播：DVB-T 采用 DVB 传输方式，其中声音为 MPEG-1 数字音频编码格式，采用 MUSICAM（自适应掩蔽模型的通用子带综合编码和复用）来实现的。

另外一种是采用美国 ATSC 传输方式，其中声音为 Audio Code Number 3-Dolby Digital (Surround) 编码格式，简称 AC-3。

④ 数字声音广播：DAB 已应用于 VHF 频段的数字声广播。其中声音压缩编码采用 MUSICAM（掩蔽模型的通用子带综合编码和复用）。