

Media

TECHNOLOGY

传媒典藏

音频技术与录音艺术译丛

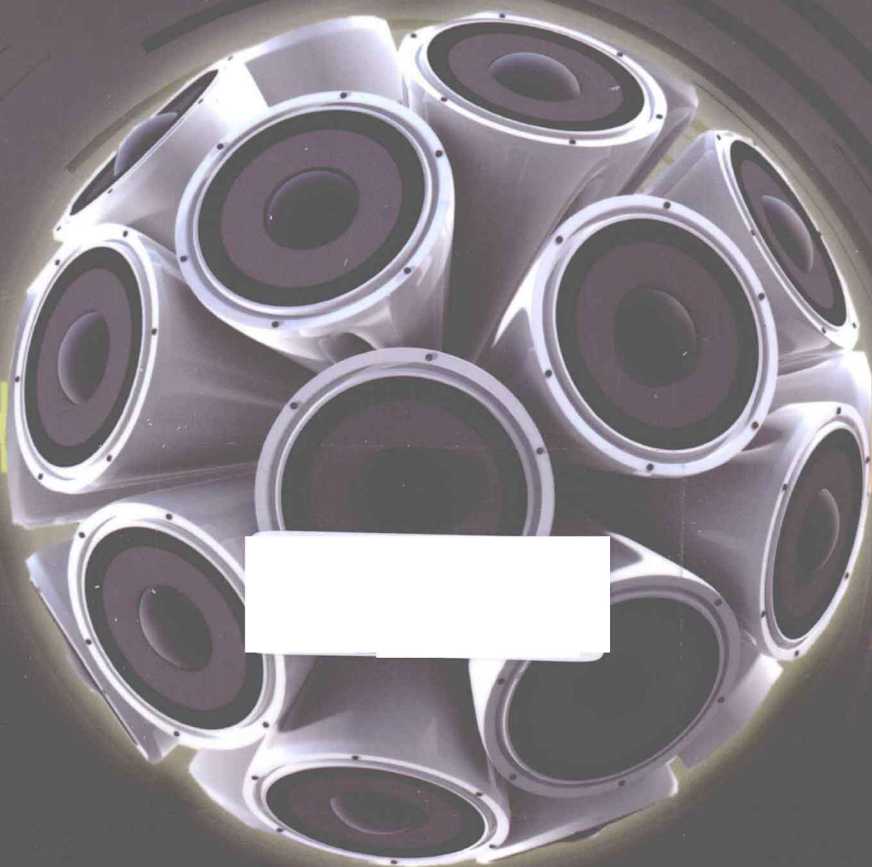
Mc
Graw
Hill

Education

数字音频技术 (第6版)

Principles of Digital Audio Sixth Edition

[美] Ken C. Pohlmann 著 夏田 译 黄英侠 审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

音频技术与录音艺术译丛

数字音频技术(第6版)

Principles of Digital Audio Sixth Edition

[美] Ken C. Pohlmann 著 夏田 译 黄英侠 审

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

数字音频技术 : 第6版 / (美) 波尔曼
(Pohlmann, K. C.) 著 ; 夏田译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013. 2

(音频技术与录音艺术译丛)

ISBN 978-7-115-30175-8

I. ①数… II. ①波… ②夏… III. ①数字技术—应用—音频设备 IV. ①TN912. 271

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第287610号

版权声明

Principles of Digital Audio, 6th Edition by Ken C. Pohlmann.

ISBN 978-0-07-166346-5

Copyright ©2011 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and POSTS & TELECOM PRESS. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright ©2013 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of McGraw-Hill Asian Holdings (Singapore) Pte. Ltd. and POSTS & TELECOM PRESS.

本书简体中文版由 McGraw-Hill 授权人民邮电出版社出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制本书的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

音频技术与录音艺术译丛

数字音频技术 (第 6 版)

-
- ◆ 著 [美] Ken C. Pohlmann
 - 译 夏 田
 - 审 黄英侠
 - 责任编辑 宁 茜
 - ◆ 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 电子邮件 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: 800×1000 1/16
 - 印张: 57.25
 - 字数: 1 085 千字 2013 年 2 月第 1 版
 - 印数: 1 ~ 2 500 册 2013 年 2 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2011-1859 号
 - ISBN 978-7-115-30175-8
-

定价: 168.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

内容提要

本书是数字音频工程方面的权威指南，由业内先驱美国音响工程协会高级会员肯·C·波尔曼（Ken C. Pohlmann）先生撰写，现已更新至第6版。从书中你将获得对数字音频工具、技术和实战的深入了解。全书用一种清晰实用的风格描述了当今音频设备背后的各种技术。内容涵盖了从基本理论到最新技术发展前沿的方方面面，阐释了如何运用数字转换、处理、压缩、存储、流传输和播送等各种概念。有关蓝光、语音编码和低比特率编码的新章节也包含在了这本畅销指南的第6版中。

全书内容包括：

- 学习离散时间采样、量化和信号处理
- 分析 CD、DVD 和蓝光播放机与盘片的各种细节
- 编码与解码 AAC、MP3、MP4、Dolby Digital 以及其他各种文件
- 准备节目内容，通过互联网、数字无线电广播与数字电视进行分发
- 学习音乐编码与语音编码之间的关键区别
- 设计低比特率编解码器，从而优化存储容量同时保持保真度
- 开发各种方法评估音乐与语音文件的声音质量
- 研究通过 HDMI、VoIP、无线局域网和蓝牙音频进行音频传输
- 处理数字版权管理、指纹和水印
- 理解 1 比特转换与高阶噪声整形如何工作

丛书编委会

主 任：黄英侠

编 委：童 雷 甄 钊 夏 田
郝 键 俞 晓 李 伟

丛书序

进入新的世纪以来，文化创意产业的发展受到高度的重视，关于影视声音技术与艺术方面的研究，正在从以往的专业特征向着产业特征来延伸。在延伸的过程中，已有的经验和基础又逐步地与当代媒体技术与艺术的发展密切呼应。这就使得我们要进一步提升创新意识，再次审视技术上的着力点和艺术形态的多元化。

艺术与技术有着天然的不解之缘，艺术借助技术的手段构建了艺术的“轮廓”，技术也因有了艺术上的感觉获得了特有的“神情”，零星的感觉聚合起来生发出技术与艺术的自觉意识和共同追求，最终完成的作品才有了独特的“韵味”。一部声音艺术的发展史，从某种意义上讲，就是艺术与技术的关系史。

对于这一领域的研究，我们有着向具有前沿优势的国家进行借鉴与学习的历史传统，从而形成了较强的学科跟踪能力。早在机械录音时代，上海明星公司与法国百代公司合作，研制出自己的腊盘配音设备“百明风”，并且使用这一设备录制了我国第一部有声电影《歌女红牡丹》。进入到光学录音的时代，由我国电影先驱司徒慧敏参加研制的“三友式”电影录音机，取得了实验上的成功，并使用它先后为多部影片进行了录音工作。其中影片《风云儿女》的主题歌《义勇军进行曲》，就是由“三友式”录音机录制完成的，并且在当时还发行了单曲唱片且广为流传。当年研制“三友式”录音机的诸位前辈，恰恰是借鉴了美国电影的有声技术。

我国的声音技术，基本上经历了从原初的模仿到自主原创的发展过程，无论是机械录音时代，还是光学录音时代、磁性录音时代、数字录音时代，都是这样的一种发展趋势。同样，我们的声音艺术创作也是在不断地掌握了技术进步的情况下，呈现了从局部的出新到整体创新的艺术走向。正是这些点滴的积累，逐渐地丰富了人们对于艺术作品的全面认识，并且最终带来了观念上的升华和艺术价值的提升。

北京电影学院录音系，伴随着新中国电影事业的发展，在声音技术与艺术研究的

领域中,非常重视对国内外当前的技术成果与艺术潮流的及时学习与借鉴,并在自身的教学实践过程中不断加强学科建设的完整性和深入性。出版这一套专业丛书,不仅体现了我们近年来关注到学科前沿的理论成果,而且表明我们要以这些学术成果为参照,在具体的教学活动中,向更多的学子铺展宽阔的研究视角和深入学习的可持续途径,并且指导他们在理论的滋养下开展更加富有创造力的艺术创新活动。

当前我们正处在文化创意产业的大发展阶段,尤其是电影产业将在今后的十年迎来难得的“黄金机遇期”。我们从一个一个具体的专项研究开始进入,希望以一些预期的突破来充实点滴的积累。同时我们还会以影视声音研究上的优势为依托,拓展对于当代新媒体作品中与声音创作有关的技术与艺术的研究,力争做到多方位的成果融合。

北京电影学院录音系系主任、教授

黄英侠

2010年5月

北京市属高等学校人才强教计划资助项目

Funding Project for Academic Human Resources Development in Institutions of Higher
Learning Under the Jurisdiction of Beijing Municipality,PHR(IHLB)

献给 Leslie Hope，也献给她在逆境中的坚韧不拔与顺境中的激情洋溢

前言

虽然听起来难以置信，但本书确实已经编写到了第6版。显然，在几十年前，我并不知道自己正投身于一个什么领域。1984年在纽约召开的美国音响工程协会大会上，我做了一次关于数字音频理论的演讲，其中使用的素材来自于我当时刚刚供职的迈阿密大学的一门课程。在这次演讲结束之后，我就被工程师们团团围住，他们想获取有关这个非常新颖的话题的更多信息。一位精明的策划编辑注意到了听众的反应，并且以真正冷酷的风格说服我撰写一本关于数字音频的书。他解释说，毕竟把每件事都写在纸上简单的。我天真地接受了他的合同，并于1985年出版了《数字音频原理》。这本书的出版幸运地赶上了数字音频技术发展的澎湃浪潮。

只有对数字音频工作方式的解释的需求才能与数字音频的商业声望相配。音频工程师们以及想要成为音频工程师的学生们吸收着他们能够找到的每一点每一滴信息，并且进一步推动了这门科学的发展。本书的第1版让路给第2版，第2版又因为第3版而退让，第3版服从于第4版，而第4版则屈从于第5版。虽然我偶尔会半心半意地发誓不再编写下一版，但我并没有忽略这样一个事实：数字音频技术在持续不断地扩展，并且有越来越多的人渴望学习数字音频技术。显然，新版的出现成为不可避免的事。在我奴隶般一版接一版地不停写作的过程中，只有一张张版税账单来安慰我。随着第6版的付梓，我想我应该开始筹划第7版了。

熟悉本书早期各版的读者们将会在本版中看到我仍旧用相同的模式对各项革新技术进行介绍。像离散时间采样等论题的本质属性并没有改变，但我们对它们的评价却发生了变化。类似地，一些论题的相对重要性在持续不断地变化。技术上的进步减小了一些问题的重要性，同时放大了另外一些问题的重要性。并且更值得注意的是，从本书上一版出版开始的这些年来，数字音频理论又在逐渐发展，并且已经开发出了很多全新的应用。

对这个第6版的内容进行仔细的审看，就会发现本版的所得与所失。为了节省篇幅，有很多论题已被删去。最显著当然也是意料之中的，就是磁带、数字音频磁带（DAT）和迷你

光盘 (MiniDisc) 已经被砍掉。它们空出来的篇幅被很多新鲜的论题占据。例如, 读者将会看到关于蓝光光盘和语音编码的两个新章节, 感觉音频编码一章 (被重新命名为“低比特率编码”) 也已经被分割成两章, 以便对这一重要论题进行更为全面彻底地讨论。同样, 参考文献也已经根据需要进行了更新。

与先前的各版一样, 本书维持了一种读者容易掌握使用的方式, 但某些内容更为深入, 需要读者具有更高的阅读水平。当然, 读者可以根据自己的水平和需要来选择阅读的内容。同样, 更宽范围的论题应该令更广大的专业从业人员和学生满意。有一件事没有变: 本书既不是一本面面俱到的纲要, 也不是一本高深的论文集。它是一份介绍性的文字, 试图提供明晰的解释, 并试图在单纯的信息与透彻的理解之间达到非常重要的平衡。换句话说, 本书是一个学习的工具, 并且经过了多年的精心改进而变得锐利。

最后一点: 本书中的材料源于数字音频技术领域中的很多先驱者和领导者。我们要感谢为数字音频注入新生命的那些极富创造力且勤勉工作的工程师们。显然, 他们对这门科学潜力的洞察正在改变着我们的产业, 同时也在改变着我们的社会。

肯·C·波尔曼
美国科罗拉多州杜兰哥市

关于作者

肯·C·波尔曼 (Ken C. Pohlmann) 是迈阿密大学 (位于美国佛罗里达州柯洛盖博斯市) 的荣誉教授。1983 年至 2007 年, 他担任该大学弗罗斯特音乐学院音乐工程项目的主管。他开设了很多本科生与研究生的新课程, 包括数字音频、高级数字音频、互联网音频、声学 & 心理声学以及录音棚制作等。1986 年, 他创办了美国第一个音乐工程方面的硕士学位课程。波尔曼先生拥有伊利诺伊大学厄巴纳 - 香槟分校 (UIUC) 电子工程系的理学学士学位和理学硕士学位。

波尔曼先生是《数字音频原理》(McGraw-Hill 出版) 一书的作者; 该书已经前后出过 6 版, 并已经被翻译成荷兰文、西班牙文和中文。他也是《小型光盘手册》(A-R Editions 出版) 的作者; 该书已经先后出过两版, 并已经被翻译成德文。他是《声学手册》(McGraw-Hill 出版) 最新版 (第 5 版) 的合著者。他也是《为新媒体写作》(John Wiley & Sons 出版) 一书的合著者, 并且是《高级数字音频》(Howard W. Sams 出版) 一书的编者与合著者。自 1982 年以来, 他已经撰写了超过 2500 篇文章, 发表在各种出版物上, 这些出版物包括:《音频》、《广播工程》、《分贝》、《汽车立体声评论》、《CD 评论》、Edmunds.com、《澳大利亚电子学》、《吉他演奏者》、《声音工程师手册》、《IEEE 频谱》、《美国音响工程协会期刊》、《专业激光视盘》、《McGraw-Hill 科学与技术百科全书》、《混音》、《汽车娱乐》、《美国全国广播工作者协会手册》、《NARAS 期刊》、《个人计算机》、《公路与赛道设备》、《声音与视觉》、《科学美国人》、《频谱研究》、《立体声评论》、《视频》、《世界图书百科全书》。他是《声音与视觉》的特约技术编辑与专栏作者。

波尔曼先生已经在音频新技术的研究、开发和测试方面进行了广泛的工作。他是数字音频系统理论与应用方面的顾问, 并且有多家汽车制造商聘请他作为声音系统开发方面的顾问。他的咨询客户包括: 阿尔派电子公司、ADI 公司、苹果计算机公司、贝图斯曼唱片 (BMG) 公司、百视达娱乐公司、宝马汽车公司、加拿大广播公司、凌云逻辑 (Cirrus Logic)

公司、戴姆勒克莱斯勒汽车公司、日蚀公司、福特公司、富士通天公司、哈曼国际工业公司、休斯电子公司、现代汽车公司、IBM 公司、起亚汽车公司、雷尔萨斯汽车公司、朗讯技术公司、微软公司、三菱电子公司、摩托罗拉公司、日本哥伦比亚公司、安桥美国公司、飞利浦公司、RealNetworks 公司、美国唱片业协会、三星公司、先讯美资公司、Sonopress 公司、索尼公司、TDK 公司、时代华纳公司、丰田汽车、联合技术公司等。

波尔曼先生也就专利侵权和其他问题为多家法律机构提供咨询或作为专业证人, 这些公司包括: Arnold & Porter 公司, Baker & McKenzie 公司, Barnes & Thornburg 公司, Christie Parker & Hale 公司, Cushman Darby & Cushman 公司, Darby & Darby 公司, Dewey Ballantine 公司, Firmstone & Feil 公司, Fish & Neave 公司, Fish & Richardson 公司, Greenberg、Glusker、Fields、Claman、Machtiger & Kinsella 公司, Howrey 公司, Hunton & Williams 公司, Jenner & Blocker 公司, Jones Day 公司, Kenyon & Kenyon 公司, Kirkland & Ellis 公司, McDermott Will & Emery 公司, McDonnell Boehnen Hulbert & Berghoff 公司, Paul, Weiss、Rifkind、Wharton & Garrison 公司, Young & Thompson 公司, 美国司法部反垄断局等。

波尔曼先生是微型计算机艺术公司 (1980)、国际商务信息系统公司 (1982) 和美国数字盘片公司 (1985) 的联合创始人。他曾作为主席主持了 1989 年在多伦多召开的美国音响工程协会 (AES) 数字音频国际会议, 也曾作为联合主席主持了 1997 年在西雅图召开的美国音响工程协会 (AES) 互联网音频国际会议。他曾于 1989 年和 1998 年两次被授予 AES 理事会奖, 并因为他在教育与著作方面的贡献于 1990 年成为 AES 的高级会员。他于 1991 年当选进入 AES 理事会。1992 年他因为教学与学术上的杰出成就被授予迈阿密大学飞利浦弗罗斯特奖。他曾于 1984 年担任美国音响工程协会大会论文主席, 并于 1993 年担任该大会的论文联合主席。他于 1993 年当选美国音响工程协会美国东部与加拿大地区副主席。他于 2000 年至 2003 年担任美国国家公共广播分发 / 互连委员会的非理事会成员。他于 2000 年至 2005 年担任新世界交响学院的理事会主席。波尔曼先生于 2009 年以发起人身份加入 SRS Labs 公司的咨询委员会。

目录

第 1 章 声音与数字	1
1.1 声音的物理性质	1
1.1.1 声压级	3
1.1.2 谐波	4
1.2 数字基础	5
1.2.1 各种数制	6
1.2.2 二进制	7
1.2.3 二进制编码	9
1.2.4 加权二进制编码	10
1.2.5 无加权二进制编码	11
1.2.6 2 的补数	11
1.3 布尔代数	14
1.4 模拟对数字	17
第 2 章 数字音频基础	20
2.1 离散时间采样	20
2.2 采样定理	21
奈奎斯特频率	22
2.3 混叠	27
2.4 量化	30
2.4.1 信号 - 误差比 (Signal-to Error Ratio)	31
2.4.2 量化误差	36
2.4.3 其他结构	38

2 数字音频技术 (第6版)

2.5 抖动 (Dither)	39
抖动的类型	44
第3章 数字音频录音	50
3.1 脉冲编码调制	50
3.2 抖动发生器	53
3.3 输入低通滤波器	54
3.4 采样保持电路	56
3.5 模拟 - 数字转换器	59
3.5.1 逐次渐进型 A/D 转换器	64
3.5.2 过采样 A/D 转换器	66
3.6 录音处理	68
3.7 信道编码	69
3.7.1 简单编码	73
3.7.2 群码	75
3.7.3 编码的各种应用	79
第4章 数字音频还音	81
4.1 还音过程	81
4.2 数字 - 模拟转换器	83
4.2.1 权电阻数字 - 模拟转换器	86
4.2.2 R-2R 梯形数字 - 模拟转换器	87
4.2.3 过零失真	88
4.2.4 高比特 D/A 转换	90
4.3 输出采样 - 保持电路	91
4.4 输出低通滤波器	94
4.5 冲激响应	95
4.6 数字滤波器	99
FIR 过采样滤波器	102
4.7 噪声整形	105
4.8 输出处理	107
4.9 其他编码架构	108
4.9.1 浮点系统	108
4.9.2 块浮点系统	110

4.9.3	非均匀压扩系统	111
4.9.4	μ 律和 A 律压扩	112
4.9.5	差分 PCM 系统	113
4.9.6	预测差分编码	114
4.9.7	增量调制	114
4.9.8	自适应增量调制	116
4.9.9	压扩预测增量调制	118
4.9.10	自适应差分脉冲编码调制	118
4.10	时基校正	120
4.10.1	时基抖动	120
4.10.2	眼图	121
4.10.3	接口时基抖动和采样时基抖动	122
4.10.4	机械存储媒体中的时基抖动	124
4.10.5	数据传输中的时基抖动	125
4.10.6	转换器中的时基抖动	127
第 5 章	错误纠正	132
5.1	错误的来源	133
5.2	对错误的数量化	135
5.3	错误纠正的目标	136
5.4	错误检测	137
5.4.1	单比特奇偶校验	138
5.4.2	ISBN	140
5.4.3	循环冗余校验编码	141
5.5	纠错编码	146
5.5.1	分组码	147
5.5.2	汉明码	149
5.5.3	卷积码	152
5.5.4	交织	154
5.5.5	互交织	156
5.6	里德 - 所罗门编码	157
5.7	互交织里德 - 所罗门编码 (CIRC)	162
	CIRC 性能标准	165

5.8	乘积码	168
5.9	错误隐藏	170
5.9.1	内插	170
5.9.2	静音	172
5.9.3	复制	172
第6章	光盘媒体	173
6.1	光学现象	173
6.1.1	衍射	176
6.1.2	光学系统的分辨率	178
6.1.3	偏振	179
6.2	光媒体的设计	182
6.3	不可擦写光媒体	183
6.3.1	只读光存储	183
6.3.2	只写一次的光记录	186
6.4	可擦写光媒体	187
6.4.1	磁光记录	187
6.4.2	相变光记录	190
6.4.3	染料聚合物可擦除光记录	191
6.5	用于影院胶片的数字音频	191
第7章	CD	194
7.1	发展	194
7.2	概述	195
7.3	盘片设计	197
7.3.1	盘片的光学技术规范	197
7.3.2	数据编码	201
7.4	播放机的光学设计	205
7.4.1	激光头	205
7.4.2	自动聚焦设计	208
7.4.3	自动跟踪设计	209
7.4.4	单光束激光头	211
7.4.5	激光头控制	212
7.5	播放机的电气设计	213