

Media

TECHNOLOGY

传媒典藏

音频技术与录音艺术译丛

ELSEVIER
爱思唯尔

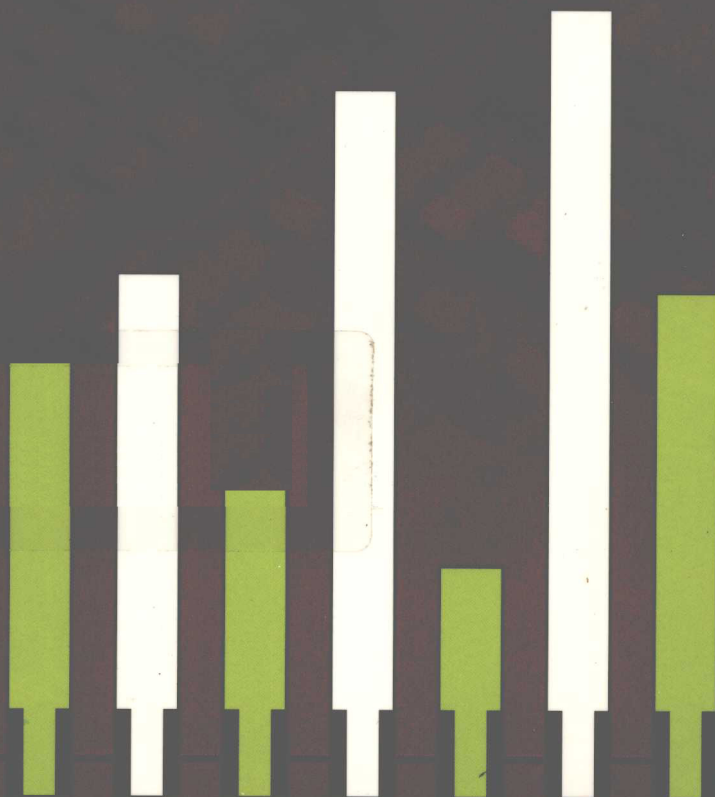
电子音乐技术

[美] Miller Puckette 著

夏田 译

黄英侠 审

the
Theory
and
Technique
of
Electronic
Music



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Media

TECHNOLOGY 音频技术与录音艺术译丛

传媒典藏

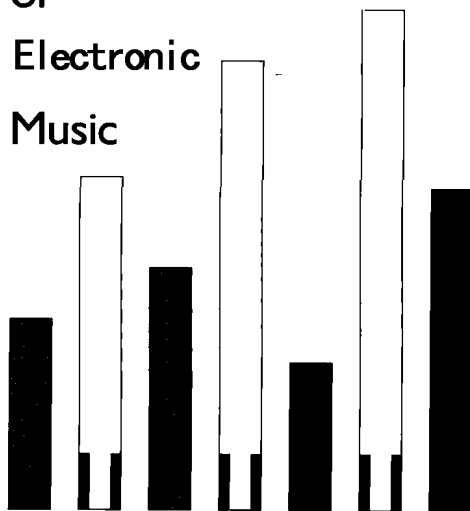
电子音乐技术

[美] Miller Puckette 著

夏田 译

黄英侠 审

the
Theory
and
Technique
of
Electronic
Music



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电子音乐技术 / (美) 帕克特 (Puckette, M.) 著 ;
夏田译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 9
(音频技术与录音艺术译丛)
ISBN 978-7-115-25697-3

I. ①电… II. ①帕… ②夏… III. ①电子音乐—音
乐创作 IV. ①J614.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第105849号

版权声明

The Theory and Technique of Electronic Music, 1st Edition by Miller Puckette.

ISBN 978-981-270-077-3

Copyright © 2007 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

Simplified Chinese translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.

本书简体中文版由 World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore 授权人民邮电出版社在中国境内出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

音频技术与录音艺术译丛

电子音乐技术

-
- ◆ 著 [美] Miller Puckette
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: 18.5
字数: 364 千字 2011 年 9 月第 1 版
印数: 1—2 500 册 2011 年 9 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2011-0731 号
ISBN 978-7-115-25697-3
-

定价: 80.00 元

读者服务热线: (010)67132837 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

本书是一本讲述使用计算机进行音乐声音合成时涉及的理论与实践的图书。本书的每一章都以一种技术或一个领域的理论描述开始，然后以一系列实际例子（总共超过 100 个）结束，内容涵盖了范围很广的各种应用。本书在写作时通篇采用了统一化的方法，例如，在第 2 章对待采样和波表合成问题时，作者就把它们作为同一种底层技术的不同特殊情形来处理。本书虽然以数学的方式进行理论阐释，但所涉及的数学知识仅限于三角函数和复数。

本书既是一本很好的电子音乐教科书，又是一本对电子音乐家和计算机音乐研究者很有实用价值的专业读物。

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，研制出自己的蜡盘配音设备“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

译者简介

夏田，清华大学电子工程系电子科学与技术专业硕士，北京电影学院录音系讲师，讲授“数字电路与信号分析”、“数字音频技术”、“声音制作与合成”、“MIDI 制作”、“线性代数”等课程。曾从事甚低码率音频压缩编码的研究；曾获第四届中音 MIDI 新音乐大赛最佳创作全能大奖；曾为电影《革命到底》，电视电影《文化战车》、《春雨沙沙》等影视作品制作音乐。

序

《电子音乐技术》是关于用计算机合成丰富有趣的音乐音色方面的一本独一无二的完备资料。在本书中，原理用一种完全通用的形式清晰地呈现出来。除此之外，书中还有用 Pd 语言写的多个实例，用来说明如何实现每个理论方面的实际合成，因此读者可以立即把书中的原理运用到他自己的音乐用途中。据我所知，没有任何其他书籍能把原理与技术如此成功地结合在一起。

目前为止，在使用的最流行的那些音乐与声音合成程序都是使用图形界面的方框图编译器。这些程序允许作曲家在设计乐器的过程中用计算机屏幕显示他的乐器的“对象”，并在各个“对象”之间绘制互连通路，所得的图形显示非常符合音乐家的性格，即使是一个没有经验的使用者都可以立即设计出简单的乐器，他可以迅速学会如何设计复杂的乐器，并能通过观察复杂乐器的图形化显示来理解它们是如何工作的。

Max 是第一个图形化编译器程序，它是米勒·帕克特（Miller Puckette）于 1988 年编写的。Max 仅能处理用于音乐合成的控制信号，因为当时可用的计算机的处理速度没有快到能够处理声音的程度。在运算速度更快、能够实时计算声波样本的计算机出现以后，帕克特和大卫·吉卡尔利（David Zicarelli）为 Max 附加上了 MSP（Max/MSP），这就让计算机——通常是一台笔记本电脑——变成了一件具备实时演出能力的完善的乐器。

帕克特和吉卡尔利于 1993—1994 年在 IRCAM（声学及音乐研究协调院）完成了 Max/MSP 的开发，目前两位都已经移居加利福尼亚。吉卡尔利对这个程序进行了商业化，并把 Max、MSP 和 JITTER（用于视频合成的一个扩展）作为商品销售。帕克特则编写了 Pd，他现在是 UCSD（加州大学圣地亚哥分校）的教授。Pd 是一个开源程序，它是很接近于 Max/MSP 的一个等价物。

Max 和 Pd 可以让差不多所有人都能立即合成出没有意思的音色。制作有趣的音色要面临很多困难，而且需要更多的额外知识，《电子音乐技术》就是这些知识的主体。原理对于任何合成程序都是重要的，《电子音乐技术》提供了丰富的实例来展示如何通过 Pd 运用这些原理。原理与 Pd 实例的结合使这本书拥有无与伦比的实用性，而且每章还都包含一组问题，

2 序

因此这也是一本很好的教科书。

我希望帕克特的这本书能成为每一个电子音乐家的书库中那本必备之书。

马克斯·马修斯 (Max Mathews)

前言

这是一本关于如何使用电子技术进行录制、合成、处理和分析音乐声音的书，这些实践在 1948—1952 年出现了它的现代形式，但自此以后，其技术手段和在艺术上的运用已经经历了几番革新。如今大多数电子音乐都是使用计算机制作的，本书将完全聚焦在曾被称为“计算机音乐”，而目前实际应该称为“使用计算机的电子音乐”上。

今天可供使用的大多数计算机音乐工具在早先的各代设备中都有前辈。不过，计算机是相对便宜的，使用计算机所得的结果可以轻松地存档和重新创建。至少在这些方面，计算机是理想的电子音乐乐器——很难想见有什么未来技术能替代它。

无需对技术的当前状态做清晰直接的引述，也能学习电子音乐的技术和实践（至少在理论上）。尽管如此，提供切实可行的实例还是重要的，因此每一章都以原理的介绍开始（避免对实际实现的任何引用），而以一系列示例结束，这些示例都能在一种目前可以获得的软件包中实现。

本书的理想读者是那些了解和喜欢任意类型的电子音乐并具有丰富的计算机基础知识的人，还有那些想学习如何从头开始制作电子音乐的人，他们想从底层的振荡器出发，沿着采样、调频、滤波、波形整形、延时等一路前行。这是要耗费大量时间的。

本书并没有采取简单的方式，即推荐使用那些已经完全设置好的软件来试验这些技术；相反，本书着重强调的是学习如何使用一个通用的计算机音乐环境由你自己实现这些技术。目前有几种可以获得的软件包能实现这种计算机音乐环境，我们将选用 Pd，但这不应该阻止你在诸如 Csound 或 Max/MSP 等其他环境中运用同样的技术。

为了阅读本书，在数学方面必须具备中等的代数和三角知识；从第 7 章开始，复数也将出现，不过没有复杂的分析（例如，复数的相加、相乘和共轭，但没有复数指数）。有关用于计算机音乐的数学知识的综述请参阅 F·理查德·摩尔(F. Richard Moore)的[Str85, pp.1-68]。

虽然本书的数学“级别”不高，但数学本身有时候是颇有挑战性的。书中各种各样优秀的数学工具都已经延伸到了代数或几何学的知识范畴。比如在为计算机音乐服务时，我们会遇到贝塞尔函数、切比雪夫多项式、中心极限定理，当然，还有傅里叶分析。

2 前言

你不需要具有很多西方音乐的背景知识；特别地，不需要了解西方音乐的记谱法。本书使用了西方音乐理论中的一些基本点，比如平均律音阶，音名的 A-B-C 表示系统，以及“音符”、“和弦”等术语。你也应该熟悉音乐声学中的一些术语，比如正弦、幅度、频率和泛音列等。

每一章都对某一类技术或某一类理论问题的理论讨论开始，接着会用一系列在 Pd 中实现的示例来举例说明这些理论。这些示例都包含在 Pd 的发行版中，因此你可以运行它们，并且/或者可以把它们编进你自己的派生作品中。此外，书中的所有插图都是使用 Pd 音色创建的，它们出现在一个电子版的附录中。本书对这些音色没有进行细致的文档说明，但大体上可以用来作为 Pd 绘图能力的一个示例，供任何对此感兴趣的人参考。

我想感谢一些让我能够写作本书的人。我在全部音乐方面的教育几乎都来自于巴里·菲尔柯 (Barry Vercoe)。同时，韦恩·霍尔曼 (Wayne Holman)、塞缪尔·格雷策 (Samuel Greitzer)、默里·克莱蒙金 (Murray Klamkin)、吉安-卡罗·罗塔 (Gian-Carlo Rota)、弗兰克·摩根 (Frank Morgan)、迈克尔·阿廷 (Michael Artin)、安德鲁·格利森 (Andrew Gleason) 以及其他很多人都教过我数学。菲尔·怀特 (Phil White) 教我英语，罗西·帕斯查奥 (Rosie Paschall) 教我视觉创作。最后，我的父母 (有一位已经过世了) 非常宽容，而我现在 47 岁了。谢谢你们。

目 录

第 1 章 正弦、幅度与频率	1
1.1 幅度的度量	2
1.2 幅度的单位	3
1.3 对幅度的控制	5
1.4 频率	5
1.5 合成一个正弦	6
1.6 信号的叠加	9
1.7 周期信号	9
1.8 关于软件示例	12
1.8.1 Pd 的简介	12
1.8.2 如何找到并运行这些示例	14
1.9 示例	14
1.9.1 幅度恒定的定标器	14
1.9.2 以分贝为单位进行幅度控制	16
1.9.3 使用包络发生器进行平滑的幅度控制	17
1.9.4 大三和弦	18
1.9.5 在频率和音高之间进行转换	18
1.9.6 更多的加性合成	19
练习	21
第 2 章 波表与采样器	23
2.1 波表振荡器	26
2.2 采样	28
2.3 经过包络处理的采样器	31
2.4 音色拉伸	33

2 目录

2.5 内插	36
2.6 示例	40
2.6.1 波表振荡器	40
2.6.2 一般情况下的波表查找	41
2.6.3 把波表当作采样器	43
2.6.4 循环采样器	44
2.6.5 交叠的样本循环器	46
2.6.6 自动的读取点进动	46
练习	48
第3章 音频与控制计算	51
3.1 采样定理	51
3.2 控制	53
3.3 控制流	54
3.4 把音频信号转换为数值控制流	58
3.5 框图中的控制流	59
3.6 事件检测	59
3.7 将音频信号作为控制	60
3.8 对控制流的操作	62
3.9 Pd 中的控制操作	64
3.10 示例	65
3.10.1 采样和折叠	65
3.10.2 将控制转换为信号	67
3.10.3 非循环波表播放器	68
3.10.4 从信号到控制	69
3.10.5 模拟风格的音序器	70
3.10.6 MIDI 风格的合成器	71
练习	72
第4章 自动化与单音管理	75
4.1 包络发生器	75
4.2 直线和曲线的幅度形状	77
4.3 连续及非连续的控制变化	79
4.3.1 静音	79
4.3.2 切换-斜变	80

4.4	多复音	81
4.5	单音分配	82
4.6	单音标签	83
4.7	Pd 中的封装	85
4.8	示例	86
4.8.1	ADSR 包络发生器	86
4.8.2	用于幅度控制的转移函数	88
4.8.3	加性合成：里塞特的钟声	89
4.8.4	加性合成：频谱包络控制	91
4.8.5	多复音合成：采样器	92
	练习	96
第 5 章	调制	97
5.1	频谱的分类	97
5.2	音频信号的相乘	99
5.3	波形整形	103
5.4	频率和相位调制	108
5.5	示例	110
5.5.1	环形调制及频谱	110
5.5.2	八度分频器和共振峰相加器	111
5.5.3	波形整形与差音	112
5.5.4	使用切比雪夫多项式进行波形整形	113
5.5.5	使用指数函数进行波形整形	115
5.5.6	正弦波形整形：奇偶性	116
5.5.7	相位调制与 FM	117
	练习	119
第 6 章	设计频谱	121
6.1	载波/调制波模型	122
6.2	脉冲串	123
6.2.1	通过波形整形得到脉冲串	124
6.2.2	通过波表拉伸得到脉冲串	125
6.2.3	所得频谱	126
6.3	可移动的环形调制	128
6.4	相位对齐的共振峰发生器	130

4 目录

6.5 示例	133
6.5.1 波表脉冲串	133
6.5.2 简单的共振峰发生器	135
6.5.3 双余弦载波信号	136
6.5.4 PAF 生成器	138
6.5.5 经过拉伸的波表	140
练习	140
第 7 章 时间平移与延时	141
7.1 复数	142
复正弦	143
7.2 时间平移和相位变化	144
7.3 延时网络	145
7.4 循环延时网络	149
7.5 功率守恒与复延时网络	152
7.6 人工混响	155
对混响器进行控制	157
7.7 可变平移与分数平移	158
7.8 对延时线进行内插的保真度	161
7.9 音高平移	162
7.10 示例	166
7.10.1 固定的非内插延时线	166
7.10.2 循环的梳状滤波器	167
7.10.3 可变延时线	167
7.10.4 执行顺序与延时时间的下限	169
7.10.5 非循环延时线中的执行顺序	171
7.10.6 用非循环梳状滤波器作为八度倍频器	172
7.10.7 时变的复杂梳状滤波器：沙铃	173
7.10.8 混响器	174
7.10.9 音高平移器	176
练习	177
第 8 章 滤波器	179
8.1 滤波器的分类	180
8.1.1 低通和高通滤波器	180

8.1.2	带通和阻带滤波器	181
8.1.3	均衡滤波器	182
8.2	基本滤波器	183
8.2.1	基本非循环滤波器	183
8.2.2	第二种形式的非循环滤波器	185
8.2.3	基本循环滤波器	185
8.2.4	复合滤波器	186
8.2.5	复滤波器的实值输出	187
8.2.6	用一个循环滤波器的代价构建两个循环滤波器	187
8.3	设计滤波器	188
8.3.1	单极点低通滤波器	189
8.3.2	单极点单零点高通滤波器	190
8.3.3	斜坡滤波器	191
8.3.4	带通滤波器	192
8.3.5	尖峰和阻带滤波器	192
8.3.6	巴特沃思滤波器	193
8.3.7	使用有理函数拉伸单位圆	195
8.3.8	巴特沃思带通滤波器	197
8.3.9	时变系数	198
8.3.10	循环滤波器的冲激响应	199
8.3.11	全通滤波器	200
8.4	应用	201
8.4.1	减性合成	202
8.4.2	包络跟踪	203
8.4.3	单边带调制	205
8.5	示例	206
8.5.1	预制的低通、高通和带通滤波器	206
8.5.2	预制的时变带通滤波器	207
8.5.3	包络跟踪器	207
8.5.4	单边带调制	208
8.5.5	直接使用基本滤波器：斜坡和尖峰	209
8.5.6	制作和使用全通滤波器	210
	练习	211