

四川音乐学院电子音乐理论与技术丛书

丛书主编 易柯 胡晓

PURE DATA图形化 音乐编程技术与应用

PURE DATA TUXINGHUA YINYUE BIANCHENG JISHU YU YINGYONG

杨万钧 编著



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



四川音乐学院电子音乐理论与技术丛书

丛书主编 易柯 胡晓

PURE DATA图形化 音乐编程技术与应用

PURE DATA TUXINGHUA YINYUE BIANCHENG JISHU YU YINGYONG

杨万钧 编著



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

PURE DATA 图形化音乐编程技术与应用 / 杨万钧编著

. -- 重庆 : 西南师范大学出版社, 2017.10

ISBN 978-7-5621-9019-6

I. ①P… II. ①杨… III. ①音乐软件 IV.

①J618.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第248488号

四川音乐学院电子音乐理论与技术丛书

——•丛书主编 易柯 胡晓•——

PURE DATA 图形化音乐编程技术与应用

杨万钧 编著

选题策划:周 松

责任编辑:王英杰

封面设计:智众联合创意设计 王玉菊

版式设计:王玉菊

出版发行:西南师范大学出版社

网址 www.xscbs.com

地址 重庆市北碚区天生路2号

印 刷:重庆市正前方彩色印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:28.75

字 数:736千字

版 次:2017年11月 第1版

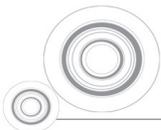
印 次:2017年11月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5621-9019-6

定 价:78.00元

总序

ZONGXU



电子音乐的出现,无疑是20世纪音乐领域最具革命性的重要事件之一。这是第二次世界大战后,伴随科学技术发展而诞生的一个新兴的音乐种类。其发展历程,经历了磁带音乐(Tape Music)、合成器音乐(Synthesizer Music)和计算机音乐(Computer Music)等几个不同的历史阶段。

磁带音乐,以法国工程师皮埃尔·舍费尔(Pierre Schaeffer)创作的“具体音乐”(Musique concrète)作品《地铁练习曲》(*Étude Aux Chemins de fer*, 1948)为源点,其特征是:利用各种声音材料作为创作元素,通过声音录制、磁带拼接、剪裁叠置等技术手段替代传统音乐固有的创作模式;以具有逻辑意义的音响构思,形成音乐的结构张力,构建作品的形式关系。电子音乐的开拓者们,正是运用这样的思维方式,创造了不少成功的范例。其中的一些作品,如卡尔海因兹·斯托克豪森(Karlheinz Stockhausen)的《青年之歌》(*Gesang der Jünglinge*, 1955—1956)、埃德加·瓦列兹(Edgard Varèse)的《电子音诗》(*Poème électronique*, 1958)、鲁契亚诺·贝里奥(Luciano Berio)的《泰玛》(*Thema*, 1958)、约翰·凯奇(John Cage)的《方塔娜混合》(*Fontana Mix*, 1958)等,迄今,仍被奉为电子音乐的经典。

1965年,随着美国人罗伯特·穆格(Robert Moog)最新研制成果——电压控制合成器(Voltage Controlled Synthesizer)的发布,再一次激发起音乐家对电子音乐进行探究、开发与创造的热情。在合成器应用过程中,电子音乐作品创作不再像过去那样,完全需要依赖于器材昂贵、设施齐全的实验室和工作室,利用合成器系统就能够获取声音、录制音响并演奏音乐。这一戏剧性的转变,一方面大大缩短了作品的创作周期,同时也使得电子音乐的现场演奏能够成为现实而更具吸引力。随着合成器系统的不断改进和完善,制造成本逐渐降低,使其应用范围得以进一步拓宽,不仅成为世界上众多电子音乐实验室和工作室必不可少的重要设备,同时,还延伸到流行音乐制作与表演之中,客观上起到促使电子音乐迅速发展、不断演进的作用,使作曲家通过较为简单的操作方式,就能够创造出前所未有的新的声音世界。

如果说合成器的应用,简化了电子音乐创作流程的话,那么,计算机的出现,则进一步延展了电子音乐的应用空间。通过强大而快捷的计算机信息数据处理技术,电子音乐的实验与实践日趋繁复多样,无论是形式还是内容,在瞬息之间就有可能发生新的改变。应用各种计算机软硬件技术,对声音进行开发、造型、拼贴、控制和处理,几乎达到

无所不能的境地；图形化制谱技术的应用，不仅推动了出版业的发展，对当代音乐的传播与推广，亦起到积极的促进作用；建立在“人机对话”原理上的控制技术，为在电子音乐与其他艺术形式之间搭建起彼此“呼应”的一种“交互”关系提供了更多的可能性，使电子音乐的作品展示一改过去较为单调的“局限性”，无论是自身成果展示，还是与其他艺术类型的结合，均能够通过更为多元的展演方式、更加自如的控制技术、十分丰富的表现手段，彰显出电子音乐特有的艺术魅力。

历经半个多世纪的电子音乐，在发展演变过程中，与众多20世纪作曲大师为之付出的心血息息相关。早在电子音乐问世之初，瓦列兹、奥利维埃·梅西安(Olivier Messiaen)、伊阿尼斯·泽纳基斯(Iannis Xenakis)、皮埃尔·布列兹(Pierre Boulez)、贝里奥、斯托克豪森等一代宗师就汇聚在舍费尔周围，投身于方兴未艾的电子音乐实验与实践。在这些巨星们的积极参与和倡导下，建立新观念、应用新手段去创造更具个性特征的新音响，成为当时引领专业音乐发展的一种“时尚”风范。这一思潮影响了一批世界级的杰出作曲家和音乐家，如赫伯特·艾默特(Herbert Eimert)、布鲁诺·马代尔纳(Bruno Maderna)、米尔顿·巴比特(Milton Babbitt)、乔治·里盖蒂(György Ligeti)、路易吉·诺诺(Luigi Nono)、弗拉基米尔·乌萨切夫斯基(Vladimir Ussachevsky)等人。在他们的不懈努力下，仅用短短的几年时间，先后在欧美许多国家创建起各种类型的实验室与工作室，最具代表性的实验室和工作室有：艾默特创建的德国科隆“西德意志广播电台电子音乐工作室”(Westdeutscher Rundfunk)、贝里奥和马代尔纳创建的意大利米兰“电子音乐实验室”、乌萨切夫斯基创建的美国“哥伦比亚—普林斯顿电子音乐中心”(The Columbia Princeton Electronic Music Center)以及布列兹在法国巴黎创建的著名的“音乐声学协调研究所”(IRCAM)等。这些高规格、高标准的创研基地，引领着电子音乐的发展潮流，吸引着越来越多的音乐家，对电子音乐进行系统性的理论研究和多样化的技术开发，取得了十分丰硕且令人瞩目的成果。以此为基础，随后又在高校构建起较为完善的教学体系，使电子音乐成为音乐学科不可或缺的一个重要组成部分，迎来20世纪音乐领域多元发展、相互渗透、成就斐然的一个辉煌时期。

我国的电子音乐起步于20世纪80年代中期，经过二十多年的不懈努力，从无到有，由小变大，如今呈现出一派生机盎然的蓬勃发展之势。然而，我们应该清醒地认识到，目前，虽然我国的电子音乐已成为音乐领域中不容忽视的一个重要组成部分，全国各地不少高校也都纷纷开设有电子音乐或与之相关的学科专业，但总体发展水平仍很低。主要表现在：对于电子音乐学术标准的认识和理解不够完善，其中有许多基本概念和技术规格仍存在不少模糊不清、规范不当的误区；对于电子音乐的理论研究严重滞后，学术成果非常有限，电子音乐的专业教材和教学参考文献十分匮乏，难以建立和健全高标准、系统化的电子音乐学科体系，制约了该领域的整体发展……

为了能够突破我国电子音乐发展中的“瓶颈”局限，更好地建设并完善我国电子音乐学科体系，使我国的电子音乐创作、设计和研究真正能够进入一个具有国际视野的学

术化发展轨迹中,逐步缩小与欧美国家之间的差距,为我国电子音乐的教学实践、理论研究和技术开发,提供并积累一些具有一定实用价值的教学用书或教学参考书,正是我们编写这套丛书的初衷。

参加本套丛书编写的作者,主要是来自四川音乐学院电子音乐系的专家和学者,虽然他们均较为年轻,却在长期从事的电子音乐创研工作中积累了丰富的经验,其中一些专家还能够充分利用较为深厚的理工科专业背景知识,在实验和实践中,体现出学科交叉、相互融合的专业特色与优势。丛书中的许多选题及内容,正是他们长期认真思考,潜心研究的学术成果。同时,我们还将积极创造条件,期待与国内外电子音乐学界具有一定声望的专家、学者进行合作,邀请他们共同参与本丛书的编写工作,力求使这套丛书从选题到内容都能够更加丰富和丰满。在丛书选题、内容及编写方式上,虽然我们希望通过多个视点、多个层面和多种需求,力求能够较好地体现丛书在学术性、专业性、实用性和普及性等方面所应具有的价值,但面对电子音乐这样一个内容浩瀚且发展迅速的新兴音乐领域,难免会由于视野、时间、能力等因素对我们的制约与局限而出现一些疏漏甚至留下不少遗憾。这些疏漏和遗憾,有待于读者的关心和批评,更期盼能得到专家、学者的赐教和指正,以促使我们不断地改进并完善。

通过这样一种“抛砖引玉”的方式,能够为我国电子音乐的不断演进与发展,在理论研究和技术开发方面,尽到我们的绵薄之力,增添些许的“砖瓦”构件,进一步夯实电子音乐的理论基础,在未来的演变过程中,使之更具科学性,更加规范化,正是我们编写“四川音乐学院电子音乐理论与技术丛书”的最终目的和意义。

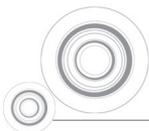
在此,还要特别感谢西南师范大学出版社,尤其是社长助理、音乐分社社长周松先生,正是由于他们的胆识和勇气,让这套丛书陆续得以出版,才能使我们美好的愿望能够变成现实,为我国电子音乐的发展起到推波助澜的作用;正是因为他们为作者所提供的诸多便利,才能让更多的专家、学者能够潜心参与其中,无私地奉献出他们的智慧和才华,为我国电子音乐的学科建设、创作实验、理论研究和技术开发,留下一笔十分珍贵的财富。

易柯 胡晓

2013年11月

前言

QIANYAN



Pure Data(通常简称为Pd)是一门专业而高效的用于电子音频处理的声音编程语言,是一种为音频、视频和图像处理专门设计的实时图形化编程环境。Pure Data通常用于实时音乐表演、VJ、音效设计、作曲、音频分析、连接传感器、调用摄像头、控制机器人,甚至与网页进行交互等场合。Pd是一个开源项目软件,可以从互联网上自由下载。

Pure Data最早由美国软件工程师Miller Smith Puckette(后面简称Miller Puckette)所开发,Miller在开发Pd之前还开发出了著名的具有相似结构的Max / MSP程序。Pd不是一款商业软件,因此Pd并非由公司所开发,也不以销售的方式进行发布。相反,Pd是一款开源软件,其源代码是开放的,不属于任何公司或集团,也没有注册专利,所以所有用户都可以自由使用开源软件。开源的唯一麻烦是,其用户大多是有程序开发经验的程序员或工程师,因而Pd到目前为止还没有一本针对缺乏编程经验的普通用户说明详尽的操作手册。

Pd一个较大的不足是其功能与开发过于专业,Pd的功能与使用只在特定领域的专业院校或互联网上的专业论坛中进行教授或讨论,因而很多普通用户都难于了解其功能并进行应用。由于其中涉及大量复杂的技术术语,对于很多初学者而言就愈发难以学习和理解。本书尝试帮助初次接触Pd的用户解决学习中最容易遇到的基本问题。

Pd的主要设计者Miller Puckette曾经编写过一本关于电子音乐理论和技术的使用Pd进行电子音乐处理的专著。当然,没有比软件设计者更好的编程语言老师了,但Miller的主要编写和研究方法并没有完整而系统地涵盖整个Pd的应用与开发,而且Miller在专著中所探讨的问题和教学的方式对于普通用户而言也过于晦涩难懂。根据笔者的教学经验,Miller所编著的内容需要读者具备大量数学、计算机科学、声学、音乐学,以及专业术语方面的知识才能很好地学习和理解。

相对而言,商业公司在经济利益的驱使下,会尽力改进用户操作界面,并提供详尽的操作手册,以使普通用户在首次使用某个软件时就能够快速上手并使用;而开源运动由于没有经济利益的驱动,开发者并没有太多的动力来进行软件用户界面设计的改进和详细操作手册的编写,以使所开发的软件能够被更多用户快速使用。本书的主要编写目标就是要尝试弥补Pd作为开源软件的这样一个不足。

本书不是为了取代Miller Puckette所编写的经典的《电子音乐技术》(*The Theory and Technique of Electronic Music*)一书,本书是对笔者多年电子音乐技术教学的经验所进行的总结,在电子音乐技术的教学与思考中,笔者逐渐了解了学生们在学习电子音乐的过程中所遇到的各种问题,特别是很多母语不是英语的同学遇到的问题。

本书主要针对那些对电子音乐创作和声音合成感兴趣的用户而编写,而且比较适合用于自学。本书首先介绍了基本的编程常识和声学定理,然后循序渐进、由浅入深地讲授最高级的电子音乐处理技术。本书中分析的内容主要集中在听觉和音响方面,以一种更快捷,且电子音乐家更容易接受的方式来进行学习和理解,避免了对抽象的公式进行太多空洞地讲解。在很多内容的叙述上,都假设读者已经具备基本物理学知识,并且了解相关的物理概念。本书所涉及的内容主要以音乐和音响等听觉内容为主,在叙述方式上也是用简短的介绍构建可听的程序来搭建概念体系,而非使用抽象的公式来教条地说明。而对于数学方面的内容,也仅仅按照特定声音处理概念所需的范畴来进行探讨和引用。对于很多技术的叙述,也尽量从电子音乐创作的角度进行解释,而非从纯粹的计算机科学、数学或物理学的角度对处理现象和结构进行叙述。因此,本书中的很多结论和评论都具有笔者较强的主观性,也希望与读者进一步探讨。

本书的写作得到了很多老师和朋友的帮助,他们对于本书中所介绍与讨论的内容都给出中肯而实际的建议。本书中使用的很多范例和材料来自Pd的官方文档,以及部分经典的Pd相关论文与专著。还有很多材料来源于Pd社区和互联网上很多热心的论坛用户,没有开源社区用户热心而无私的奉献,就不会有今天Pd的发展,也不会有本书的出现。对于所使用的材料本书尽可能在参考文献中加以说明,部分出处不详没能详细注明的内容还希望得到原作者的理解和支持。

本书的出版得到了西南师范大学出版社各位编辑的大力支持,各位编辑和工作人员为本书的校订和修改倾注了大量的心血,并给出了大量有益的意见,保证了本书的质量。

本书的部分文件内容,笔者在征得出版社的同意之后,将以CC(Creative Commons,知识共享)协议免费发布到互联网上,以帮助更多对电子音乐和Pd感兴趣的用户。开源软件的“人人为我,我为人人”的思想对知识的普及与传播起到了重要作用,笔者也希望能为我国电子音乐的发展与壮大尽绵薄之力。

杨万钧

2017年9月1日于四川音乐学院

编写方法

BIANXIEFANGFA



本书各章节内容将从最基础的计算机相关知识进行讲述。在这里首先将本书材料的组织方式细致地进行说明。

Pd可以在不同的操作系统平台上运行,包括 Windows, Mac OS X 和 Linux 系统,本书不直接针对任何特定操作系统,将主要讨论 Pd 的通用特性,针对于特定操作系统的问题不在本书中过多讨论,现有的部分问题会随着 Pd 的开发和升级而逐渐解决和消失。因而,本书中都假设读者的 Pd 已正确安装,并且与硬件环境很好地整合与设置,能够很好地进行学习和工作。

如何使用本书:在每一节中都包含原理部分、自测练习部分和其他内容部分,在每一节的最后还会对深入探讨的内容进行方向指引。这些深入探讨的内容主要是针对高级用户的,而并非普通 Pd 用户所必须掌握的基础知识。建议先略过这些深入探讨内容通读本书,然后根据需要对这些内容进行有选择地深入学习。

需要特别提到的一点是,英文和中文之间存在差异,特别是在音乐艺术和音频技术等领域在术语上存在着差异。为避免由于中英文语言翻译所带来的歧义和误解,本书中对于 Pd 中特有的对象、组件、术语和功能都不做翻译,而采用在原术语后用中文加以功能说明的方式进行叙述,以保证软件的原始功能和含义尽可能地被准确传达,同时减少不同语言所带来的误解。本书中的所有组件名称都使用 [](方括号)(部分非常规意义组件除外)进行特别标识和说明。

由于术语体系和英文习惯的问题,文中对于菜单及对话框等软件界面中出现的组件名称都保持其原有的大小写拼写,如 Object, Message, Number 等,在正文中涉及相关非菜单项及对话框名称的说明时则采用首字母小写的形式,因而可能会在文中不同位置出现首字母大小写有差异的情况,请读者在阅读中加以辨识,并感谢读者的理解。

再次说明的是,本书假设读者已经具备基本的声学概念和常识。后面的练习不仅包括作曲方面的问题,也会包括一些对音乐家日常创作非常实用的应用,比如节拍器工具和调律设备等。从这个意义上说,本书除了适合电子音乐创作者之外,还适合其他与音响技术相关的声音工程师和音乐工作者阅读。

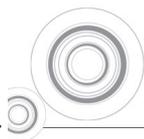
本书中所涉及的 patch 及相关文件读者可通过扫描下方二维码的方式获得,将其下载解压后可对照书中的范例进行学习和验证,对于部分封装后无法在书中详细提供内部代码和截图的内容更有利于读者学习。



说明:如需下载二维码中的资源,请用手机扫描二维码,点击手机界面右上角的“复制链接”,然后到电脑中下载即可。

目 录

MULU



总序

前言

编写方法

第1章 初识 Pure Data	001
1.1 什么是 Pure Data	001
1.1.1 Pure Data 简介	001
1.1.2 Pure Data 的发展历史	003
1.1.3 关于 Miller Puckette	004
1.1.4 Pure Data 的基本功能	006
1.2 Pure Data 的特点	007
1.2.1 图形化	007
1.2.2 实时性	010
1.2.3 开放性	011
1.3 Pure Data 的发行版	013
1.3.1 Pure Data 的主要发行版	013
1.3.2 Pure Data 的其他发行版	013
1.4 Pure Data 的安装	016
1.4.1 在 Microsoft Windows 系统下的安装	016
1.4.2 在 Mac OS X 系统下的安装	024
1.4.3 在 Linux 系统下的安装	032
第2章 Pure Data 的设置与操作界面	036
2.1 Pure Data 的操作界面	036
2.1.1 Pure Data 的主窗口	036
2.1.2 Help Browser 窗口	038
2.1.3 patch 窗口	039
2.1.4 不同版本 Pure Data 的菜单	040
2.2 Pure Data 的设置	042
2.2.1 Pure Data 的音频设置	042
2.2.2 Pure Data 的 MIDI 设置	046
2.2.3 音频和 MIDI 测试	048

2.2.4	启动项设置	050
2.2.5	查找路径设置	051
2.3	Deken Library Manager	053
2.3.1	什么是 Deken	053
2.3.2	Deken 的安装和打开	053
2.3.3	Deken 的使用	054
2.3.4	库文件安全性	058
第 3 章	Pure Data 的基本操作	059
3.1	初次使用 Pure Data	059
3.1.1	新建第一个 patch	059
3.1.2	patch 的修改	063
3.1.3	patch 的保存与关闭	065
3.2	Pure Data 的基本操作	066
3.2.1	Patch 中 Object 的基本操作	066
3.2.2	编辑模式和执行模式	069
3.2.3	修改字体大小	072
3.2.4	整理程序界面	072
3.3	Pure Data 的其他操作	073
3.3.1	获取 Pure Data 的全部组件列表	073
3.3.2	帮助文件	073
3.3.3	创建组件副本	074
3.3.4	快捷键的使用	074
3.3.5	进行注释	075
3.3.6	atom	075
3.4	Pure Data 组件应用的基本规则	076
3.4.1	hot inlet 和 cold inlet	076
3.4.2	connection	078
3.4.3	从右到左	078
3.4.4	自顶向下	079
3.4.5	纯数字表示	080
第 4 章	Pure Data 的组件	081
4.1	Pure Data 中的基本组件	081
4.1.1	Object	082
4.1.2	Message	083
4.1.3	Number	084

4.1.4	Symbol	086
4.1.5	Comment	087
4.2	GUI图形用户界面类组件	087
4.2.1	Bang	088
4.2.2	Toggle	088
4.2.3	Number2	088
4.2.4	Slider	088
4.2.5	Radio	089
4.2.6	VU	090
4.2.7	Canvas	090
4.3	Array和Graph组件	091
4.3.1	Array	091
4.3.2	Graph组件	092
4.4	GUI组件属性	092
4.4.1	GUI类组件的属性	092
4.4.2	Number和symbol	093
4.4.3	Bang功能	094
4.4.4	Toggle功能	096
4.4.5	Slider滑块功能	096
4.4.6	Radio选项	097
4.4.7	Canvas画布	098
4.4.8	使用GUI类组件时需注意的问题	099
第5章	Pure Data中的数学运算	100
5.1	算术运算	100
5.1.1	float浮点数与数的表示	100
5.1.2	简单算术运算	101
5.1.3	高级数学运算	105
5.1.4	三角函数	105
5.1.5	小数部分的运算	106
5.1.6	Number组件与取值范围	107
5.1.7	随机数的操作	108
5.1.8	表达式计算	109
5.2	逻辑运算	111
5.2.1	关系比较运算	111
5.2.2	逻辑运算	112

5.2.3	[moses]组件	112
5.2.4	[select]组件	113
5.3	list 结构	113
5.3.1	list 与 list Message	113
5.3.2	list 列表类型	114
5.3.3	分散 list	116
5.3.4	数据与 list 之间的相互转换	116
5.4	运算顺序	118
5.4.1	hot inlet 与 cold inlet	118
5.4.2	组件连接的顺序	119
5.4.3	[trigger]组件	119
5.4.4	消息传递的深度	122
5.5	数学运算的应用	123
5.5.1	计数器	123
5.5.2	两个频率信号的音量控制	124
5.5.3	音程关系	125
5.5.4	随机旋律	125
5.5.5	作品长度计算	125
5.5.6	序列运算	126
5.5.7	不重复的随机数	126
5.5.8	声学单位之间的换算	127
第 6 章	控制级信号处理	129
6.1	控制相关的 message	129
6.1.1	message 消息	129
6.1.2	带变量的 message	130
6.1.3	[set message]	130
6.1.4	[add message]	131
6.1.5	关于序列	132
6.1.6	bang 的输入	132
6.1.7	bang 相关的 GUI 对象	133
6.2	控制信号相关组件	133
6.2.1	[makefilename]组件	133
6.2.2	[openpanel]组件	133
6.2.3	简单的数据存储	134
6.2.4	[route]组件	134
6.2.5	[demultiplex]组件	135

6.2.6	[spigot]组件	136
6.2.7	[toggle]组件	136
6.2.8	组件框的特性	137
6.3	不同类型数据的应用	137
6.3.1	使用带有音高和音量的 list	137
6.3.2	On/Off开关	138
6.3.3	命名的音高信息	138
6.3.4	简单的序列	138
6.3.5	有限计数器	139
6.4	Pure Data 中时间的操作	140
6.4.1	[metro]节拍控制功能	140
6.4.2	[delay]延迟功能	140
6.4.3	[pipe]管道功能	141
6.4.4	[line]功能	142
6.4.5	[timer]计时器功能	143
6.5	时间相关的应用	144
6.5.1	自动化随机生成旋律	144
6.5.2	滑音效果	144
6.5.3	随机滑音旋律	145
6.5.4	不规则的随机节奏	145
6.5.5	卡农	146
6.5.6	休止	147
6.5.7	渐强和渐弱	147
6.5.8	节拍器	147
6.6	信息的发送与接收	148
6.6.1	发送与接收	149
6.6.2	使用 list 发送	150
6.6.3	send list 序列	150
6.6.4	[value]变量	151
6.6.5	[loadbang]功能	151
6.6.6	用于控制数据的时间分辨率	152
第 7 章	数据流处理	153
7.1	Message 消息	153
7.1.1	Message 消息的结构	153
7.1.2	标准 Message 类型	154
7.1.3	Message 框	155

7.1.4	Message 框的特殊功能和方法	156
7.1.5	将多个元素和变量打包为一个 list	157
7.1.6	通过[unpack]和[route]对 message 消息进行分解	158
7.2	组件间的无线信息传递	161
7.2.1	[send]和[receive]	161
7.2.2	可使用[send]发送的数据类型	162
7.2.3	[throw~]和[catch~]	163
7.3	Array, Graph 和 Table	164
7.3.1	Array 的创建	165
7.3.2	使用 Array 显示音频信号波形	166
7.3.3	将数据写入 Array	167
7.3.4	从 Array 中读取音频数据	168
7.3.5	使用 Array 回放音频采样	169
7.4	subpatch 设计	170
7.4.1	对 Pd 进行扩展	170
7.4.2	subpatch 的创建	171
7.4.3	subpatch 的 inlet 和 outlet	172
7.4.4	subpatch 的关闭与复用	174
7.4.5	subpatch 应用实例	174
7.4.6	自动创建 patch	177
7.5	abstraction 应用	178
7.5.1	abstraction 的功能	178
7.5.2	abstraction 的保存	180
7.5.3	abstraction 的调用与编辑	180
7.5.4	在上层 patch 中绘制图形	184
7.6	\$符号参数声明	188
7.6.1	用在 Object 组件框内的情况	189
7.6.2	用在 Message 组件框内的情况	191
第 8 章	音频信号处理基础	193
8.1	声学常识	193
8.1.1	声波	194
8.1.2	声波的测量	195
8.1.3	频率和增益	200
8.1.4	扬声器的数字化控制	201
8.1.5	声压和声能密度	201
8.1.6	周期性的噪声	202

8.2	数字音频基础	202
8.2.1	奈奎斯特采样定理和折叠效应	202
8.2.2	数模转换与模数转换	206
8.2.3	采样率和比特深度	206
8.2.4	控制数据与信号	207
8.2.5	DSP 数字信号处理	210
8.2.6	其他“~”相关功能	212
8.3	基本振荡器	213
8.3.1	正弦波振荡器	213
8.3.2	锯齿波振荡器	213
8.4	其他波形的生成	214
8.4.1	使用正弦波叠加	215
8.4.2	锯齿波	216
8.4.3	三角波	217
8.4.4	方波	218
8.4.5	方波与逻辑运算	219
8.5	滤波器	222
8.5.1	低通滤波器	222
8.5.2	高通滤波器	223
8.5.3	带通滤波器	223
8.5.4	压控滤波器	224
8.6	包络发生器	224
8.6.1	声音信号包络	224
8.6.2	使用[line]实现的简单包络发生器	225
8.6.3	使用[vline~]实现的复杂包络发生器	226
8.6.4	使用数组保存包络	227
8.7	幅值与频率控制	228
8.7.1	声音信号的度量	228
8.7.2	音量的控制与混合	234
8.7.3	放大器	236
8.7.4	相位	238
8.7.5	声波的叠加特性	238
8.7.6	频率控制	240
8.8	基于声学原理的设计	242
8.8.1	反混叠功能	242
8.8.2	规格化与直流偏移	245