



MIDI 技术

应用基础

刘永志 等◎著

MIDI 技术应用研究

刘永志 等著

 合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

MIDI 技术应用研究/刘永志等著. —合肥:合肥工业大学出版社,2014.12
ISBN 978-7-5650-2066-7

I. ①M… II. ①刘… III. ①计算机应用—音乐制作—研究 IV. ①J619.1-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 288025 号

MIDI 技术应用研究

刘永志 等著

责任编辑 吴毅明 石金桃

出版	合肥工业大学出版社	版次	2014年12月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2014年12月第1次印刷
邮编	230009	开本	787毫米×1092毫米 1/16
电话	总编室:0551-62903038	印张	14
	市场营销部:0551-62903198	字数	330千字
网址	www.hfutpress.com.cn	印刷	合肥现代印务有限公司
E-mail	hfutpress@163.com	发行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2066-7

定价:38.00元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前言

MIDI 技术自 20 世纪 80 年代诞生以来,逐渐受到了全世界音乐技术工作者和爱好者的广泛欢迎。特别是 20 世纪 90 年代初 General MIDI 标准的制定,更使 MIDI 技术表现出了顽强的生命力,为计算机音乐技术的快速发展奠定了基础。至今,MIDI 技术与数字音频技术并驾齐驱,成为计算机音乐制作领域不可或缺的关键技术。

十多年来,本书几位作者或早或晚地介入计算机音乐技术的应用研究与开发工作中来,逐渐积累了一些计算机音乐方面的工作经验,但也深感国内在这方面资料的零散和欠缺,因此在对 MIDI 技术有了一定的了解和应用开发经验后,期望把自己的研究成果总结出来,以便与全国的朋友们共享和交流,因而萌生了写作的动机。本书从计算机音乐的发展历史讲起,详细介绍了 MIDI 的起源及 MIDI 技术规范、MIDI 应用软件和编程工具的使用方法,并汇集了作者在 Windows 平台及单片机软硬件平台下进行 MIDI 应用开发的一些成果,包括 MIDI 播放编辑器、MIDI 电子琴的设计、声控电子乐器与 MIDI 等内容,并对 MIDI 技术在声控电子乐器技术中的应用也进行了较详细的介绍。

本书第 1 章、第 3 章的 3.1、附录部分由青海师范大学陈晓芳负责;第 2 章、第 3 章的 3.2 和 3.3、第 9 章由长江师范学院牟化建负责;第 4 章、第 6 章、第 7 章由宣城职业技术学院刘永志负责;第 5 章、第 8 章由河源职业技术学院潘晓利负责。全书由刘永志副教授统稿。

希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,使更多的 MIDI 爱好者把他们的成果奉献于世。为了写好这本书,作者们参阅了大量国内外文献,包括书籍、论文以及有关网站上的丰富资料,在本书定稿的时候特别要对这些知名或者不知名的作者表示衷心的感谢!也要感谢合肥工业大学出版社朱移山先生和各位编辑,在他们的辛勤工作下本书得以顺利出版。

本书由安徽省质量工程项目(编号:20101452)和安徽省高校自然科学研究重点项目(编号:KJ2014A285)资助,在此表示感谢!

由于时间紧迫和作者的能力所限,书中难免会有不妥之处,请广大读者提出您宝贵的批评意见,以便有机会再版时修正。

作者

目
录

第 1 章 计算机音乐概论	(1)
1.1 计算机音乐的内涵	(1)
1.2 计算机音乐的历史回顾	(1)
1.3 MIDI 的由来与发展	(3)
1.4 数字音频的广泛应用	(5)
1.4.1 模拟音频与数字音频	(5)
1.4.2 数字音频的主要格式	(6)
1.4.3 基于数字音频技术的音乐制作方法	(9)
1.5 计算机音乐前景光明	(11)
1.6 乐理基础	(13)
1.6.1 乐音的要素	(13)
1.6.2 基础音乐知识一览	(13)
1.6.3 结语	(16)
第 2 章 MIDI 技术详解	(17)
2.1 MIDI 简介	(17)
2.2 MIDI 硬件规范	(18)
2.3 MIDI 合成器原理	(20)
2.3.1 FM 合成器	(20)
2.3.2 波形表合成器	(22)
2.4 MIDI 信息标准	(22)
2.4.1 通用 MIDI 的音色、音阶编号及通道分配	(22)
2.4.2 MIDI 指令格式及举例	(28)
2.4.3 MIDI 控制信息与系统信息	(32)
2.5 MIDI 文件	(35)
2.5.1 MIDI 文件的组成格式	(35)
2.5.2 头块(Header Chunk)	(36)

2.5.3	音轨块(Track Chunk)	(37)
2.6	MIDI 文件举例	(42)
2.7	MIDI 设备的同步	(44)
2.7.1	SMPTE 时间码	(45)
2.7.2	MTC 时间码	(46)
2.8	MIDI 应用系统举例	(47)
第 3 章	常用 MIDI 工具软件	(50)
3.1	音序器软件 Cakewalk Pro Audio	(50)
3.1.1	Cakewalk 9.0 的安装和运行	(50)
3.1.2	Cakewalk 9.0 的菜单介绍	(53)
3.1.3	Cakewalk SONAR 简介	(65)
3.2	文本编辑软件 UltraEdit 简介	(66)
3.2.1	UltraEdit-32 的安装和运行	(66)
3.2.2	UltraEdit-32 的菜单	(66)
3.3	仿真软件 WAVE 简介	(69)
第 4 章	Windows 平台下的 MIDI 开发方法	(76)
4.1	MIDI API 函数的应用	(76)
4.1.1	MIDI API 函数介绍	(76)
4.1.2	调用 API 函数的一般方法	(79)
4.1.3	API 函数调用举例	(80)
4.2	用 MCI 开发 MIDI	(84)
4.2.1	MCI 指令详解	(84)
4.2.2	用 MCI 播放 MIDI 音乐的例子	(88)
4.3	DirectMusic 开发	(90)
4.3.1	DirectMusic 的对象	(91)
4.3.2	播放 MIDI 文件示例	(91)
第 5 章	基于单片机的 MIDI 播放器的设计	(100)
5.1	MIDI 播放器的组成	(100)
5.2	MIDI 数据文件的产生方法	(101)
5.3	播放器主要芯片简介	(103)
5.3.1	单片机芯片简介	(103)

5.3.2 音源芯片 QS6400	(104)
5.4 系统硬件设计和软件设计	(112)
5.4.1 硬件设计	(112)
5.4.2 软件设计	(115)
5.4.3 MIDI 播放器程序代码	(124)
第 6 章 基于 VB 的 MIDI 播放编辑器的设计	(131)
6.1 ADO Data 控件和 DataGrid 控件简介	(131)
6.1.1 ADO Data 控件	(131)
6.1.2 DataGrid 控件	(134)
6.2 多媒体 Time 函数	(135)
6.3 MIDI 播放编辑器的原理	(139)
6.4 MIDI 播放编辑器的软件设计	(140)
6.4.1 MIDI 播放编辑器的软件界面	(140)
6.4.2 MIDI 播放编辑器的软件流程	(142)
6.4.3 MIDI 播放编辑器的程序代码	(142)
第 7 章 软件 MIDI 电子琴	(149)
7.1 MIDI 电子琴面板设计	(149)
7.2 MIDI 电子琴的软件设计	(153)
7.2.1 软件设计流程图	(153)
7.2.2 MIDI 电子琴程序代码	(154)
第 8 章 硬件 MIDI 电子琴	(169)
8.1 MIDI 电子琴电路原理	(169)
8.2 MIDI 电子琴软件设计	(171)
8.3 完整的程序代码	(175)
第 9 章 声控电子乐器与 MIDI	(184)
9.1 声控电子乐器的由来与发展	(184)
9.1.1 歌唱与音乐伴奏	(184)
9.1.2 人声与乐器声的特点	(185)
9.1.3 人声向乐器声的转化	(187)
9.2 实现自动伴奏的方法	(188)

9.3 歌声的基频检测技术	(192)
9.3.1 基频检测方法概述	(192)
9.3.2 “有效转变点”硬件基频检测方法	(194)
9.4 声控电子乐器实例	(197)
9.5 MIDI技术在声控电子乐器中的应用	(201)
9.5.1 MIDI音源	(201)
9.5.2 声控电子乐器中采用MIDI音源	(202)
9.6 声控电子乐器的现状与展望	(209)
附录1 音频信号的数字化与音质	(211)
附录2 MIDI技术英文词汇速查	(215)
参考文献	(217)

第1章

计算机音乐概论

提到计算机音乐,今天的人们一点不会感到陌生,因为它已经深入到社会生活的许多方面,是近代科学技术带给人类的一种宝贵财富。本章从计算机音乐的概念说起,介绍计算机音乐的起源与历史、MIDI与数字音频技术的发展应用状况,以及与计算机音乐相关的基础音乐知识。

1.1 计算机音乐的内涵

现代科学的发展历程表明许多新学科、新技术是在不同学科的交叉点上衍生出来的,如20世纪70年代起逐渐出现的“计算机音乐”,就是音乐艺术与电子及计算机科学技术相结合的产物。

对于计算机音乐的概念,目前并没有一个十分明确的定义。顾名思义,可以把那些由计算机产生的,或与计算机技术有重要关联的音乐都统称为计算机音乐。这样,计算机音乐大体可包括以下两个方面的内容:一是把模拟的音乐信号数字化,由计算机进行加工、处理的数字化音乐,各种格式数字音频文件的产生、编辑、播放都属于此类,如WAV、MP3、WMA以及MEGA中其他的音频层,等等;二是借助计算机来进行音乐曲谱的创作、编辑以及统一格式音乐文件的制作,由此而产生和传播的计算机MIDI音乐,人们采用这种MIDI音乐技术可以方便地制作出.mid音乐文件并在与计算机有关的设备中播放,或将其转换成数字音频文件在更多的媒体中使用。MIDI音乐与数字音频的这种密切联系,使得人们往往不加区分地将其统称为计算机音乐,MIDI音乐几乎成了计算机音乐的代名词。

1.2 计算机音乐的历史回顾

计算机音乐诞生的年代说起来并不久远。世界上第一台个人电脑“Altair 8800”问世

于1975年,在这之前的20多年虽然有使用电子管和晶体管的计算机,但并没能普及应用到音乐领域,因为它们实在是太过笨重且价格昂贵。20世纪70年代以后随着低价微处理器和集成电路的出现,计算机音乐合成器才逐步取代了模拟电子合成器,随着计算机技术的不断成熟和PC机的广泛使用,计算机音乐才真正地发展起来了。

目前认为,计算机音乐(特别指MIDI音乐)与电子乐器的发展有着极大的关联,是随着电子乐器中使用数字技术的需求而促成的。最早的有实用价值的电子乐器可以说是在20世纪30年代出现的,在此之前,世界各地教会普遍使用管风琴演奏音乐,这种管风琴靠风箱的风压产生洪亮的声音,但它的体积如三层楼房般巨大。20世纪30年代后,美国、德国、英国的发明家先后研究出利用电能的琴,由美国人哈蒙德推出的机电式风琴获得了推广应用,被称为电子管风琴,图1-1所示为这种电子管风琴——哈蒙德琴。哈蒙德琴的工作原理是借助电磁线圈靠近91个多角钢音轮发出交流波,然后整理为正弦波合成音色,放大并推动喇叭发声。它有两层61键手键盘和一组32键脚键盘,能模拟20多种音色。不过因为哈蒙德琴的发声原理为机电,故称为第一台电风琴更合适。哈蒙德琴是以商品形式出现并受到广泛欢迎的最早的电子乐器。

其实,在此之前的19世纪,已经有一种被称为音乐电报机的东西存在,它是由发报机演变而来的,正如在老影片中看到的那些旧式发报机会有“嘀嘀”的声音,这种声音并不是我们所熟悉的乐器产生的,它没有依赖于任何产生声音的普通材料,不是簧片,不是琴弦,也不是鼓皮等,而是由电子元件和电路所产生,是一种电子振荡,可以方便地改变振荡的特性从而产生出符合音乐规律的声音。1876年,美国的Elisa Gray根据这个原理,发明了世界上第一台电子乐器——音乐电报机,如图1-2所示。

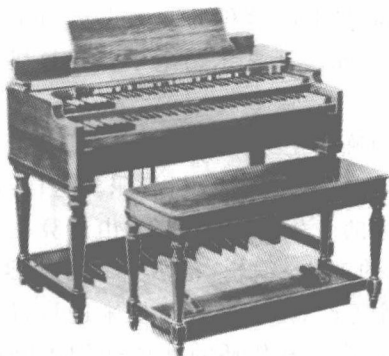


图1-1 哈蒙德琴



图1-2 音乐电报机

音乐电报机的发音原理只是基于类似电报机的那种振荡器电路,哈蒙德琴则是机电式风琴。而真正成为电子乐器里程碑的,还是电子合成器的发明。1955年,美国新泽西州普林斯顿RCA实验室研制出了世界上第一台电子合成器。这台体积庞大的合成器,叫作MKI,如图1-3所示,可以说是现代电子乐器发展的开端。

当哈蒙德电风琴在全世界风靡一时之际,东方的日本也在默默地进行模仿研究,借着新器件技术的发展,日本YAMAHA公司于1959年制造了世界上第一台双排键电子

琴——D-1。D-1 实际上是哈蒙德琴的翻版，但由于采用先进的晶体管技术，内部电路和综合性能都有相当的进步。随着电子琴市场的发展，继双排键之后，适合家庭学习娱乐的各种单排键电子琴也大量研制出来。20 世纪六七十年代以后，数字技术进入电子乐器领域，引起了电子乐器在演奏技术、表现能力以至乐器观念等方面的重大变化，70 年代末期以后日本率先推出小型电子合成器，使得电子乐器得以走出昂

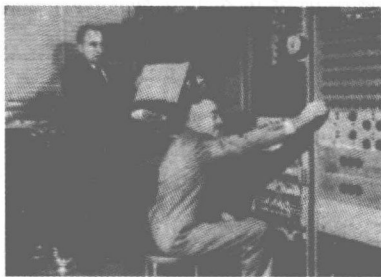


图 1-3 MKI

贵的实验室，逐渐实现小型化、市场化，乃至家庭化、个人化，迅速渗透到社会音乐生活的各个方面。在这期间 YAMAHA、CASIO、ROLAND 等公司借助引入集成电路技术和计算机技术，发展出众多的产品系列，确立了它们在世界电子琴工业界的霸主地位。由于日本具有全球最发达的电子乐器制造工业，日本的儿童也从中受益，音乐素质普遍较高。电子乐器的这种长足发展和普及应用，为当代计算机音乐诞生和发展奠定了基础。

从 20 世纪 50 年代直至 70 年代，计算机音乐主要运用于这样两个方面：①电子音响和音色的创造，利用计算机强大的“计算”的能力，用数字(0 和 1)创造出人间从未有过的美妙音响(你也可能认为是人间从未有过的糟糕音响)。②音乐的分析，借助计算机来分析音乐复杂的、深层的内在规律，然后在分析的基础上编制、创造新颖的、更多偏重理性的作曲程序。在这些方面，美国哥伦比亚大学的普林斯顿电子音乐中心和斯坦福大学“计算机音乐及音响研究中心”(CCRMA)，还有欧洲的法国巴黎电台实验室和德国科隆电台实验室是杰出的代表者。

随着电子乐器(主要是电子合成器)的数字化和小型化技术的成熟、微型计算机的出现和个人化以及 MIDI 的诞生，才有了计算机音乐今天的发展。种类繁多的音乐软件不仅在 Macintosh 平台应用，也推广到 PC 平台。

1.3 MIDI 的由来与发展

20 世纪 80 年代，自带音序器录音功能的电子合成器问世了，它被称为是将计算机与合成器结合起来的“音乐工作站”。

这种带有音序器功能的电子合成器与新型电子琴一样，都是数字化乐器，它们也是今天常见的和大量使用的电子乐器。这些新型的电子乐器大多都具有能够产生和播放相关音乐文件的功能。但是一开始，由于各个电子乐器生产厂家所制造的产品在技术规格上并不统一，数据格式等都是各自为政的，所以不同品牌、不同型号的乐器之间不能兼容。

于是，1982 年，国际乐器制造协会的几十家厂商达成了一个协议，就是美国 Sequential Circuits 公司提出的“通用合成器接口方案”，并于 1983 年正式制定了关于数字乐器的统一标准——MIDI 协议 1.0，MIDI 便由此诞生了。从那以后，商用电子乐器的

背后都出现了几个五孔的 MIDI 插座,如图 1-4 所示。MIDI 设备之间以及 MIDI 设备与计算机间的连接与数据通信有了统一的规格,不再有硬件和软件的障碍了。

“MIDI”应该是“Musical Instrument Digital Interface”的首字母缩写,中文译文为“乐器数字化接口”;也有人说,“MIDI”代表 Music(音乐)、Idea(思想)、Diretzugriff(直接存储)和 Instrument(乐器),这具有形象的意义。

早期的 MIDI 设备除了都能接受 MIDI 格式的信号之外,并没有完全统一起来,尤其是在音色排列的方式上更是“随心所欲”,这使得在不同设备上制作的音乐难以交流。于是著名的日本 ROLAND 公司于 1990 年制定出它称之为 GS 的标准。GS 标准是在该公司早期产品 MT-32 和 CM-32/64 的基础之上,规定 MIDI 设备的最大同时发音数不得少于 24 个、打击乐器作为一组单独排列、128 种乐器音色有统一的排列方式等。有了这个标准,只要是在支持 GS 的设备上制作的音乐,在其他支持同样标准的设备上都能正常播放。

1991 年国际乐器制造协会通过的 General MIDI 协议事实上就是在 GS 标准基础上简化修改而成的,它的全称应该是“通用 MIDI 标准系统第一级”(General MIDI system Level 1),这个标准在 GS 标准基础上,主要规定了音色排列、同时发音数和鼓组的键位,而去掉了 GS 标准中的音色编辑和音色选择等部分,GM 标志如图 1-5 所示。General MIDI 协议规定了一份标准 MIDI 乐器音色排序表,收录了常用的 16 类乐器,每类各 8 种音色,一共有 128 种音色。其中的第 16 类并不是乐器音色而是一些音效,如电话铃声、鸟叫声、海浪声等。另外排序表还收录了一组打击乐音色,并规定了每件打击乐器在键盘上的键位。这份标准 MIDI(General MIDI)音色排序表简称 GM 音色表。从此,所有的标准 MIDI 乐器面板上都在醒目的位置印制了“General MIDI”的标志,有了 General MIDI 标准,所有的数字乐器都可以通过 MIDI 接口相连并互相兼容了。

我们看到,MIDI 协议也并不是一成不变的,MIDI 1.0 详细规范(Detailed Specification)于 1983 年 8 月公布后,1985 年 11 月,国际乐器制造者协会公布了《MIDI 1.0 版的细节规定》,重新定义了一些控制器号码。为保证 MIDI 技术的健康发展,“MIDI 制造商协会”(MIDI Manufacturers Association, MMA)和“日本 MIDI 标准委员会”(Japan MIDI Standards Committee, JMSC)等组织相继成立,对 MIDI 标准逐渐加以完善。美国 MIDI 制造商协会与日本 MIDI 标准委员会提出了 1991 年 9 月的 GM1(General MIDI Level 1,通用 MIDI 级别 1)规范及 1999 年 11 月的 GM2 规范(General MIDI 2 Specification)等,其间在 20 世纪 90 年代还有 v95.1、v96.1 等版本推出。近年来 MMA 还推出了 XMF(eXtensible Music Format,可扩展音乐格式)1.0,以及用于 3G 移动通信的 SP-MIDI(Scalable Polyphony MIDI Specification,可伸缩多音调 MIDI 规范)等。

通用 MIDI 标准规定的 GM 音色表统一了数字乐器的标准,为 MIDI 设备在全世界

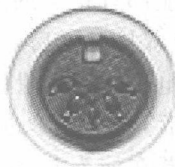


图 1-4 MIDI 插座

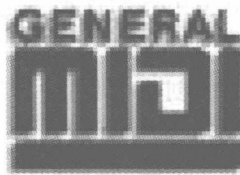


图 1-5 GM 标志

的流行奠定了基础。由于当时的合成器通常只有数十种音色,General MIDI 只定义了128种音色的排序表,后来则发现这个数量太少,难以满足制作音乐的实际需求。继ROLAND公司的GS标准之后,YAMAHA公司于1994年9月提出了自己的音源标准XG。XG在兼容GM的基础上做了大幅度的扩展,至少包含480种音色,并可以使用音色库号选择体系(Bank Select System)进行扩充;与GS类似,它也具备“音色编辑”的功能,加入亮度、调和度等编辑参数,可以在MIDI乐曲中实时地改变乐器的音色;加入了“音色选择”功能,在每一个XG音色上可以叠加若干种音色;还有诸如数字效果器的使用规定等。GS和XG标准基本解决了音色数量太少及声音质量的问题,并且都向下兼容GM标准,但它们之间互不兼容。目前的高档合成器或音源,其音色数甚至可接近千种,它不仅模仿普通乐器的音色而且音质更好,还包含有许多自然界中并没有的特殊声音。如果这些合成器或音源仍然是标准的MIDI乐器,它们都与General MIDI兼容。

综上所述,有了MIDI国际标准,MIDI数字音乐才能得以广泛流行,若干个电子乐器之间可以运用异步串行通信方式连接起来组成计算机音乐系统,充分展现出了MIDI数字音乐的科学和艺术魅力。MIDI音乐的创作方法与表演形式也与传统音乐不大相同,以它众多独特的电子音色,使音乐创作者可使用的素材得到了极大的扩展。MIDI音乐涉及音乐声学、音乐编辑学、录音学、电子学、计算机科学等多门学科的知识和技术,产生出特有的音乐创作方法和音乐风格。可以这样说,这种由计算机带来的数字化电子音乐有着更高的科技含量,也有着其独特和丰富多彩的艺术表现能力。

1.4 数字音频的广泛应用

MIDI音乐技术被广泛接受和使用的同时,计算机数字音频技术与传统音乐艺术融合的步伐也从来没有停止过,在音乐制作、广播、电影、电视及各种多媒体应用领域,数字音频技术也正在广泛应用和快速发展着。其实,MIDI音乐本身就离不开数字音频,在MIDI音乐文件创作完成后,通常都是将其转换为数字音频文件后才能制作出最终的音乐成品。今天,数字音视频技术以惊人的速度渗透到社会生活的方方面面,正在对人们的生活产生着巨大的影响,它将会更加蓬勃的发展。

1.4.1 模拟音频与数字音频

大家知道,声音是信息传播的载体之一,而音乐是除语言外用得最多的声音。在计算机时代之前,人们主要是用模拟的音频设备来记录、处理和播放声音,因为从自然界中能获得的声信号本来就是模拟信号,这样做显然具有直观性与合理性。虽然我们始终离不开模拟的世界,但是这种信号的模拟记录和处理方法的缺点在计算机时代却明确地显现出来,模拟记录系统容易受外界电磁干扰而产生噪声和失真,对于最常使用的磁记录系统来说,其信噪比指标较差(约为65dB),并由此导致动态范围较低(约为60dB)。当人们要对已录制的音乐信号进行编辑或修改时,都会感到很不方便,这使得在模拟录音棚里完成一个音乐作品的制作变得非常的费时费力。

然而这一切不足和困难在计算机数字音频技术时代都迎刃而解了。在数字音频技术时代,模拟的音乐信号被量化和编码,变成了一组组由 0 和 1 组成的数据,因为只有它们才能够被计算机识别和处理。这种数字化声音的最大优点就是在其处理和复制过程中不容易产生额外的噪音,便于通过各种媒介高保真地传播,对于高分辨率的数字系统,还可以获得极高的保真度。由于数字音频技术的出现,引发了音频技术领域的革命,数字化技术在音频的编辑、合成、效果处理、存储、传输等各方面都获得极大的发展。今天,数字音频技术最终还原的音频质量可与一些最高级的传统音频设备抗衡,而其价格与传统设备相比有着很大的优势。即使是在低端的民用市场,以目前最普及的 CD 唱片为例,其音质也超过了任何模拟唱片和磁带录放音机,CD 唱片记录标准音乐节目的时间达 74min,超过普通盒式磁带一倍。

音频制作系统也发生了数字化革命,使用了数字录音机、数字调音台、周边信号发生器、非线性编辑和数据库等。那些传统的模拟磁带录音设备(如以开盘式录音机为中心的设备)开始渐渐退出音乐制作领域,而数码录音技术开始迅速发展。到现在,使用电脑软件在电脑硬盘中进行录音的方式已经迅速普及,为很多音乐工作室所采用。这种全数字的音乐制作过程从一开始就是数字化的,一直到最后从用户的 CD 音响中播放出来,都不会产生畸变或者噪音。而这些优点,对于各种不同大小的录音室、录音棚来说都是很重要的。因此,随着数字音频技术的飞速发展,它在各种音乐制作及多媒体应用领域确立了霸主地位,就是一种必然的结果。

关于将音频信号数字化的有关内容,请参阅附录 1。

1.4.2 数字音频的主要格式

现在,数字音频文件的格式非常多,这说明数字音频技术是热点技术、发展中的技术,但这也不完全是一件好事,过多的文件格式会给使用者带来不便。为了相互区别,不同格式的数字音频文件都使用自己特有的文件扩展名,表 1-1 所示为部分常见的数字音频文件的扩展名,其中扩展名为 WAV 的文件是 Windows 系统采用的波形声音文件存储格式,也是我国 PC 机使用者最常见和最常采用的音频文件格式。

表 1-1 常见的数字音频文件扩展名

扩展名	说 明
AIFF(Audio Interchange File Format)	Apple 计算机上的声音文件存储格式
AU(Audio)	Sun 和 Next 公司的声音文件存储格式
MP2	MPEG - 1 Audio Layer I, II
MP3	MPEG - 1 Audio Layer III
MP4	MPEG - 4 Audio/Video
OGG	OGG Vorbis 的音频文件格式
RM(RealMedia)	RealNetworks 公司的流式媒体文件格式
RA(RealAudio)	RealNetworks 公司的流式声音文件格式
VOC(Voice)	Creative Labs 公司的声音文件格式

(续表)

扩展名	说 明
WAV(Waveform)	Windows 采用的波形声音文件存储格式
WMA(Windows Media Audio)	Microsoft 公司的流式音频文件格式

在表中列出的多种文件格式中,以 WAV、AU、MP3 为扩展名的文件格式目前比较流行,其中 WAV 格式主要用在 PC 机上,AU 格式主要用在 Unix 工作站上,也是互联网上常见的音频文件格式。近年来,随着数码随身听等音视频产品的发展,由于存储容量有限,对文件的尺寸提出了苛刻的要求,因此,采用各种算法对数字音频文件进行有损或无损压缩成了热门研究领域,比较成功的是以 MP3、RA、WMA 等为文件扩展名的压缩技术,它们不但具有较高的压缩率,而且保持了优良的音质。

下面对常见的数字音频文件格式加以介绍

① WAVE 文件格式(.WAV 文件)

WAVE 文件格式(*.WAV)是 Microsoft 为 Windows 设计的多媒体波形音频文件格式之一(即资源交换文件格式 RIFF 中的一种)。RIFF(The Resource Interchange File Format)的另一种常用格式为 AVI 文件格式。WAVE 格式文件由文件头、数据类型标识及若干块(Chunk)组成。表 1-2 所示为 WAV 文件的基本格式。

表 1-2 WAV 文件的基本格式

类型	内容	变量名	大小	取值		
RIFF 头	文件标识字符串	fileId	4B	“RIFF”		
	头后文件长度	fileLen	4B	非负整数(=文件长度-8)		
数据类型标识符	波形文件标识符	waveId	4B	“WAVE”		
格式块	块头	格式块标识字符串	chkId	4B	“fmt”	
		头后块长度	chkLen	4B	非负整数(=16 或 18)	
	块数据	格式标记	wFormatTag	2B	非负短整数(PCM=1)	
		声道数	wChannels	2B	非负短整数(=1 或 2)	
		采样率	dwSampleRate	4B	非负整数 (单声道采样数/秒)	
		平均字节率	dwAvgBytesRate	4B	非负整数(字节数/秒)	
		数据块对齐	wBlockAlign	2B	非负短整数(不足补零)	
		采样位数	wBitsPerSample	2B	非负短整数(PCM 时才有)	
		扩展域大小	extSize	2B	非负短整数	可选扩展块 (PCM 时无)
		扩展域	extraInfo	extSize B	扩展信息	

(续表)

类型	内容	变量名	大小	取值	
数据块	块头	数据块标识字符串	chkId	4B	“data”
		头后块长度	chkLen	4B	非负整数
	块数据	波形采样数据	x 或 x_1, x_r	chkLen B	左右声道样本交叉排列;样本值为整数(整字节存储,不足位补零);整个数据块按 blockAlign 对齐

其中:

- wFormatTag=1 时为无压缩的 PCM(Pulse Code Modulation,脉冲编码调制)标准格式(即等间隔采样、线性量化)。对 wFormatTag \neq 1 的压缩格式,这里不作要求。
- 多字节整数的低位在前(同 Intel CPU)。
- 单字节样本值 v 为无符号整数(0~255),实际样本值应为 v-128;多字节样本值本身就是有符号的,可直接使用。

可以说,基于 PCM 编码的 WAV 文件是音质最好的音频文件格式。WAV 格式的设计是非常灵活和复杂的,它支持多种压缩算法,支持多种音频分辨率、取样频率和声道。例如,采用 44.1kHz 的取样频率和 16bit 量化位数的 WAV 的音质可以与 CD 音质相差无几。

在 Windows 平台下,所有音频应用软件都能够提供对 WAV 文件的支持。例如,Windows 提供的 WinAPI 中有不少函数可以直接播放 WAV。所以,WAV 文件格式已经成了实际上最通用的音频格式。

在音乐编辑创作方面,WAV 文件也成了首选的音频格式,它适合于用来保存各种音乐素材,但由于 WAV 文件的尺寸太大,限制了它的交流和传播。因此,后来又有了 MP3、WMA 等各种压缩格式文件的诞生,用于各种便携式数码产品上。

② MP3 文件格式(.MP3)

MP3 全称是 MPEG-1 Audio Layer III,是 MPEG-1 的衍生编码方式,是由德国 Fraunhofer IIS 研究院和汤姆生公司于 1993 年合作研发的。它是一种具有复杂算法的有损压缩方法。MP3 压缩算法根据人的大脑在分析声音过程中对输入声波的过滤作用提前分析数字音频,只保留最有用的数据,所以它在支持 CD 级音质的同时,可以极大地提高压缩效率,这种压缩方式称之为音频数据感知编码压缩。由于其能够在 12:1 的高压缩比下保持接近于 CD 的音质,MP3 文件格式成为目前最为普及的音频压缩格式,并且主流的随身听产品也是 MP3 播放器。

MP3PRO(.MP3)——MP3PRO 是由瑞典 Coding 科技公司于 2001 年开发的,它包含了由 MP3 的专利持有者法国汤姆森多媒体公司和德国 Fraunhofer 集成电路协会共同研究的一项译码技术和 Coding 科技公司所特有的解码技术 SBR(Spectral Band Replication,频段复制)。MP3PRO 可以在基本不改变文件大小的情况下改善原先的

MP3 音乐音质,特别是它能够在用较低比特率压缩音频文件的情况下,最大限度地保持压缩前的音质。

③ WMA 文件格式(. WMA)

WMA(Windows Media Audio)是微软在互联网音频、视频领域的力作。WMA 支持流技术,即一边读一边播放,因此 WMA 可以很轻松地实现在线广播。WMA 格式是以减少数据流量但保持音质的方法来达到更高的压缩率目的,其压缩率一般可以达到 18:1,超过 MP3。此外,WMA 还可以通过加入 DRM(Digital Rights Management)方案以防拷贝,或者加入限制播放时间和播放次数,甚至是播放机器的限制,可有力地防止盗版(保护版权)。可以说,WMA 的推出就是针对 MP3 没有版权限制的缺点而来,它受到唱片业的大力支持。

在音质方面,WMA 与 MP3 各有特点,当 MP3 格式的码率高于 192kbps 时,普遍的反映是 MP3 的音质要好于 WMA,但是较低比特率时,WMA 可以在同样音质条件下获得比 MP3 文件更小的体积——甚至只有其一半。WMA 格式在采用 64kbps 低取样率时,声音质量比 MP3 格式的好。在超低取样率的情况下(如 16kbps),WMA 格式则要比 MP3 格式好得多。因此可以根据实际需要来进行选择。

④ RA 文件格式(. RA)

RA(RealAudio)是由 Real Networks 公司推出的一种文件格式,其最大的特点就是可以实时传输音频信息,尤其是在网速较慢的情况下(在非常低的带宽如 28.8kbps 下)仍然可以较为流畅地传送数据,提供足够好的音质让用户能在线聆听,因此 RealAudio 主要适用于网络上的在线播放。现在的 RealAudio 文件格式主要有 RA(RealAudio)、RM(RealMedia,RealAudioG2)、RMX(RealAudio Secured)等三种,这些文件的共同性在于随着网络带宽的不同而改变声音的质量,在保证大多数人听到流畅声音的前提下,令带宽较宽的听众获得更好的音质。对于 14.4kbit/s 以上的网络连接速度,RA 可以获得超过调幅广播级的声音质量。RA 不但支持边读边放,也支持使用特殊协议来隐匿文件的真实网络地址,从而实现只在线播放而不提供下载的欣赏方式,这对保护知识产权很重要,因此受到唱片公司的欢迎。

RA 和 WMA 是目前互联网上用于在线试听最多的音频媒体格式。

1.4.3 基于数字音频技术的音乐制作方法

一般地,计算机音乐的制作,是在录音棚中对真实的乐器或乐队的声音进行数字录音,用计算机进行数字加工处理后制作成音频产品,如果是歌曲,则还需要后期混入人声,如图 1-6 所示。

这种制作音乐产品的过程相当于用真实的乐器或乐队的声音取代了上述的 MIDI 音乐创作,它其实是在 MIDI 技术出现以前计算机用于音乐制作的主要方法,今天也仍有着很大的用武之地。由于是用计算机来处理输入的各种真实乐音,最终实现完美音乐的合成,所以也属于计算机音乐范畴。现今的音序器软件、工作站软件基本都将音频录制编辑功能囊括在内,成了 MIDI 和音频制作的混合体,但功能强大的专用音频软件仍旧在发