

◆ 电声技术及其应用丛书 ◆

# MIDI 原理与开发应用

陈学煌 刘永志 潘晓利 马俊 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# MIDI 原理与开发应用

陈学煌 刘永志 潘晓利 马俊 编著

控制的位置信息,如弯音轮、踏板、开关等的位置。这些信息可以用来控制颤音、深音、明亮度、效果电平等参数。

(STANDARD) MIDI FILE: 标准 MIDI 文件。为存储 MIDI 音序器乐曲使用的一  
准文件格式,可以在其他音序器 转换 (MIDI) 且 删除 去 掉 用

MIDI IMPLEMENTATION CHART: MIDI 实现表。通常附在产品手册中,说明产  
支持的 MIDI 特点。支持的项目画 O, 不支 持 的 画 X。

MIDI MERGE, MIDI 合并。(详细指 引 其 它 未 提 及 的) 个 MIDI 数据流的设备或软件

MIDI MODULE: MIDI 模块。 0007-20-811-1-3-37-2022 的合成器。

MULTITIMBRAL MODULE: 多音色模块。能够同时产生一些不同的声音,通过  
的 MIDI 通道进行控制的音源。 05-8-101-1-1

MIDI MODE: MIDI 模式。由单音/复音,通道完全打开/个别设置的构成四种  
收模式。 号 E24081 兼 (7007) 字 对 键 键 TIC 前 并 图 本 源 画 中

MIDI NOTE NUMBER: MIDI 音符编号。MIDI 规定为键盘上的音符规定了 0-127  
号,中央 C 为 60。

MIDI NOTE ON: MIDI 音符开。音符开始演奏的信息(键被按下)。

MIDI NOTE OFF: MIDI 音符关。琴键抬起发送的信息。

MIDI OUT: MIDI 输出。设备向从属设备的 MIDI IN 发送信息。

MIDI PORT: MIDI 端口。是 15 脚 D 型连接器,用于连接 MIDI 通道,如果超过 16 个通道,需要  
多重端口。 画 中 画 公 司 画 字 画 兼 画 中 画 画 天

MIDI PROGRAM CHANGE: MIDI 程序变换。用以改变受控设备音色或效果的功能

MIDI SPI: MIDI 串行接口。MIDI 的另一种称呼。

国防工业出版社

·北京·

(责任编辑:陈学煌)

MIDI IN: MIDI 输入。接收来自主控制设备或 MIDI Thru 信息的插座。

MIDI OUT: MIDI 输出。设备向从属设备的 MIDI IN 发送信息的插座。

MIDI PORT: MIDI 端口。是 15 脚 D 型连接器,用于连接 MIDI 通道,如果超过 16 个通道,需要  
多重端口。

MIDI THRU: MIDI 直通。通过 MIDI IN 插座的信号经过缓冲放大输出,以便带动其他设  
备。

MIDI TIME CODE: MIDI 时间码。MIDI 执行基于 SMPTE 的时间码。

## 内 容 简 介

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,并汇集了作者们在 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 编辑播放器、MIDI 电子琴的设计等内容,并对 MIDI 技术在声控电子乐器技术中的应用也进行了介绍。

本书图文并茂、脉络清晰,易于读者自学,书中附有许多的编程实例及完整的程序代码,适合广大计算机音乐及多媒体技术工作者、产品开发设计人员及 MIDI 爱好者阅读,也可作为计算机及电子、电声技术专业的本、专科生和研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

MIDI 原理与开发应用/陈学煌等编著. —北京:国防工业出版社,2008. 1

(电声技术及其应用丛书)

ISBN 978-7-118-05500-9

I. M… II. 陈… III. 多媒体—计算机应用—作曲  
IV. J614.8-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 189453 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 320 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 出版者的话

进入信息时代,随着移动通信技术、多媒体技术的迅猛发展以及家庭影院、数字化视听终端的不断完善和出新,电声技术也进入了大发展时期。先进的设计、计算机辅助设计的测量软件和设备的引入,使电声技术领域不论是设计水平还是生产能力都取得了前所未有的发展,传统的设计手段、生产工艺、生产设备及测试仪器不断得到优化;新型的电声器件如数字式、硅集成等产品层出不穷;高保真化、芯片化、微型化、薄型化、低功耗、高功率、多功能、组件化成为电声器件新的发展趋势;同时,产品的安全性以及是否环保也成为影响其市场前景的重要因素。

为了追踪电声技术领域的新发展,更为了满足该领域从事声频工程、音响技术、录音技术、软件模拟、声像灯光、舞台音响以及电声器件的设计、生产、安装、调试和操作人员的需要,我们组织编写了这套《电声技术及其应用丛书》。

本丛书覆盖面广,图文并茂,资料翔实,将理论阐述和实例分析与操作技巧有机地结合。因此,系统性、实用性和新颖性是本套丛书的突出特点。

在选材上,已收入本套丛书的书目包括:介绍新型电声器件的《实用电声与微型扬声器》;介绍计算机辅助声学设计的《声学设计软件 EASE 及其应用》、《厅堂建筑音质计算机辅助设计——EASE4.1 使用详解》;介绍数字声频技术及其应用的《数字声频设备与系统工程》;介绍音质设计中的建筑因素及其处理方法的《音质设计与建筑因素》;介绍组合音响中各种设备的原理、调试与维修的《音响设备原理与维修》;介绍多声道录音设备及其操作的《现代录音技术实战》;介绍电声测量知识的《声频测量技术》;介绍音响师必备知识的《音响师声学基础》;介绍 MIDI 制作知识的《MIDI 原理与开发应用》等。

在写法上,本套丛书以实用性、启发性和普及性为出发点,避免艰深的理论探讨和繁复的数学公式推导;文字叙述通俗易懂,原理阐述深入浅出;借助图和表,使阅读更加轻松、易懂,一目了然。

在写作水平上,本套丛书的作者都是活跃在电声技术领域的教授、专家,科研院所的技术骨干,生产企业的行家里手,他们既有比较扎实的理论基础,又有丰富的实践经验。可以说,本套丛书的每一本都是作者多年教学、科研与实践的概括和总结,希望带给读者的是一本集原理介绍、案例分析和操作技巧于一体的、使用上得心应手的工具书。

在后续选材上,由于本套丛书意在做成开放式,便于追踪技术发展和市场需要,不断充实和添加新的书目。目前待加入的书目包括《声像灯光技术》、《音响设备测试》、《专业音响调音技巧》和《音响工程的设计与施工》等,希望有识之士、业内专家、学者加盟到我们的队伍中来,以你们的学识和才智,通过编辑和出版社的桥梁,精心打造出受读者欢迎的书籍。

我们衷心希望这套丛书能对从事电声技术的研究、设计、生产、检测的人员和广大的音响爱好者有所帮助,更希望业内专家、学者以及广大的读者朋友对这套丛书提出宝贵意见和建议,让我们做得更好!

二〇〇七年八月

## 前 言

自 20 世纪 80 年代 MIDI 技术诞生以来,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。

10 多年来,本书几位作者或早或晚地介入到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缺少。因此在对 MIDI 技术有了一定的了解和应用开发经验之后,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。经过反复地讨论和斟酌,确定了全书的基本内容和主要撰稿人,其中第 1、第 2、第 9 章主要由陈学煌负责撰写,第 4、第 6、第 7 章主要由刘永志负责撰写,第 5、第 8 章主要由潘晓利负责撰写,第 3 章应用软件的使用方法由马俊同志编写,最后全书由陈学煌统稿和审定。

为了方便读者阅读,本书分为上、下两篇:上篇是基础篇,共计 4 章,详细介绍了 MIDI 技术的相关内容和各种开发工具的使用方法,下篇则是这些年作者们有关 MIDI 技术的应用的成果汇集,共计 5 章,包括如何在 Windows 平台下进行 MIDI 编辑播放器和软件电子琴的开发,以及单片机平台下 MIDI 播放器和硬件电子琴的开发等内容,由于 MIDI 技术在声控电子乐器中的应用,所以第 9 章对声控电子乐器的基本原理和重要内容也做了介绍。

希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,使更多的高水平作者把他们的成果奉献于世。为了写作这本书,作者们参阅了大量国内、外文献,包括书籍、论文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们表示衷心的感谢!

祝祥迪、严桂林、赵云娥参与了本书部分电路的实验和软件仿真调试,赵云娥、张晓燕、祝祥迪、卢佳廷承担了部分文字录入工作,在此一并对他们表示感谢。

乐陶先生、邝树伟先生、汤浩宁先生、伍尚魁先生和高天康先生等前辈、同仁和企业家一直关注和支持着我们的研究工作,在此谨对他们表示特别地感谢。

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

作者

# 目 录

## 上 篇

44 ..... MIDI 应用案例 ..... 2.7

48 ..... 常用 MIDI 工具软件 ..... 3 章

48 ..... 音序器软件 Cakewalk Pro Audio ..... 3.1

48 ..... 3.1.1 Cakewalk 9.0 的启动和运行 ..... 3.1.1

52 ..... 3.1.2 Cakewalk 9.0 的菜单介绍 ..... 3.1.2

68 ..... 3.1.3 Cakewalk Sonar 简介 ..... 3.1.3

69 ..... 3.2 文本编辑软件 UltraEdit 简介 ..... 3.2

69 ..... 3.2.1 UltraEdit-32 的安装和运行 ..... 3.2.1

69 ..... 3.2.2 UltraEdit-32 的菜单 ..... 3.2.2

75 ..... 3.2.3 UltraEdit-32 的窗口 ..... 3.2.3

80 ..... 3.2.4 直接修改 WAVE 文件 ..... 3.2.4

80 ..... 4 章 Windows 平台下的 MIDI 开发 ..... 4

80 ..... 4.1 MIDI API 的应用 ..... 4.1

80 ..... 4.1.1 MIDI API 简介 ..... 4.1.1

85 ..... 4.1.2 调用 API 函数 ..... 4.1.2

84 ..... 4.1.3 API 函数 ..... 4.1.3

89 ..... 4.2 WinMIDI 开发 MIDI ..... 4.2

90 ..... 4.2.1 MIDI 接口 ..... 4.2.1

93 ..... 4.2.2 用 MCI 播放 MIDI 音乐 ..... 4.2.2

95 ..... 4.3 用 DirectXMusic 开发 MIDI ..... 4.3

95 ..... 4.3.1 DirectXMusic 简介 ..... 4.3.1

96 ..... 4.3.2 播放 MIDI 文件的 ..... 4.3.2

96 ..... 4.3.3 播放 MIDI 文件的 ..... 4.3.3

**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 数字声频的广泛应用 ..... 5

1.4.1 模拟声频与数字声频 ..... 6

1.4.2 数字声频的主要格式 ..... 6

1.4.3 基于数字声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 ..... 12

1.6.1 乐音的要素 ..... 12

1.6.2 基础音乐知识一览 ..... 13

1.6.3 结束语 ..... 15

**第 2 章 MIDI 技术详解** ..... 17

2.1 MIDI 简介 ..... 17

2.2 MIDI 硬件规范 ..... 17

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 ..... 21

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 ..... 27

2.4.3 MIDI 控制信息与系统信息 ..... 31

2.5 MIDI 文件 ..... 34

2.5.1 MIDI 文件的组成格式 ..... 34

2.5.2 头块 ..... 34

2.5.3 音轨块 ..... 36

2.5.4 MIDI 文件举例 ..... 40

2.6 MIDI 设备的同步 ..... 41

2.6.1 SMPTE 时间码 ..... 42

2.6.2 MTC 时间码 ..... 44

2.7	MIDI 应用系统举例 .....	44
<b>第3章</b>	<b>常用 MIDI 工具软件 .....</b>	<b>48</b>
3.1	音序器软件CakeWalk Pro Audio .....	48
3.1.1	CakeWalk 9.0 的安装和运行 .....	48
3.1.2	CakeWalk 9.0 的菜单介绍 .....	52
3.1.3	CakeWalk Sonar 简介 .....	68
3.2	文本编辑软件UltraEdit 简介 .....	69
3.2.1	UltraEdit-32 的安装和运行 .....	69
3.2.2	UltraEdit-32 的菜单 .....	70
3.3	仿真软件WAVE 简介 .....	72
<b>第4章</b>	<b>Windows 平台下的 MIDI 开发方法 .....</b>	<b>80</b>
4.1	MIDI API 函数的应用 .....	80
4.1.1	MIDI API 函数介绍 .....	80
4.1.2	调用 API 函数的一般方法 .....	82
4.1.3	API 函数调用举例 .....	84
4.2	用MCI 开发MIDI .....	89
4.2.1	MCI 指令详解 .....	90
4.2.2	用 MCI 播放 MIDI 音乐的例子 .....	93
4.3	用 DirectMusic 开发 MIDI .....	95
4.3.1	DirectMusic 的对象 .....	95
4.3.2	播放 MIDI 文件示例 .....	96
下 篇		
<b>第5章</b>	<b>基于单片机的 MIDI 播放器的设计 .....</b>	<b>105</b>
5.1	MIDI 播放器的组成 .....	105
5.2	MIDI 数据文件的产生方法 .....	105
5.3	播放器主要芯片简介 .....	108
5.3.1	单片机芯片简介 .....	108
5.3.2	音源芯片 QS6400 .....	109
5.4	系统硬件设计和软件设计 .....	116
5.4.1	硬件设计 .....	116
5.4.2	软件设计 .....	117
5.4.3	MIDI 播放器程序代码 .....	127
<b>第6章</b>	<b>基于 VB 的 MIDI 播放编辑器设计 .....</b>	<b>133</b>
6.1	VB 基础知识简介 .....	133
6.1.1	VB 常用的术语 .....	133
6.1.2	VB6.0 集成开发环境简介 .....	134
6.2	ADO Data 控件和DataGrid 控件简介 .....	136
6.2.1	ADO Data 控件 .....	136

6.2.2	DataGrid 控件 .....	137
6.3	多媒体Time 函数 .....	139
6.4	MIDI 播放编辑器的原理 .....	143
6.5	MIDI 播放编辑器的软件设计 .....	144
6.5.1	MIDI 播放编辑器的软件界面 .....	144
6.5.2	MIDI 播放编辑器的软件流程 .....	146
6.5.3	MIDI 播放编辑器的程序代码 .....	147
<b>第7章</b>	<b>软件 MIDI 电子琴</b> .....	<b>153</b>
7.1	MIDI 电子琴面板设计 .....	153
7.2	MIDI 电子琴的软件设计 .....	157
7.2.1	软件设计流程图 .....	157
7.2.2	MIDI 电子琴程序代码 .....	158
<b>第8章</b>	<b>硬件 MIDI 电子琴</b> .....	<b>171</b>
8.1	MIDI 电子琴电路原理 .....	171
8.2	MIDI 电子琴软件设计 .....	172
8.3	完整的程序代码 .....	177
<b>第9章</b>	<b>声控电子乐器与 MIDI</b> .....	<b>185</b>
9.1	声控电子乐器的产生与发展 .....	185
9.1.1	歌唱与音乐伴奏 .....	185
9.1.2	人声与乐器声的特点 .....	186
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
9.2.1	自动伴奏方法概述 .....	188
9.2.2	两种伴奏模式 .....	190
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 .....	202
9.5.2	声控电子乐器中采用 MIDI 音源 .....	203
9.6	声控电子乐器的现状与展望 .....	211
<b>附录1</b>	<b>声频信号的数字化与音质</b> .....	<b>212</b>
<b>附录2</b>	<b>MIDI 技术英文词汇速查</b> .....	<b>215</b>
<b>参考文献</b>	.....	<b>216</b>



## 上篇

# 第 1 章 计算机音乐概论

提到计算机音乐,今天的人们一点儿也不会感到陌生,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讲起,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,并介绍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

最近一两个世纪,科学技术进入了一个快速发展的时期,许多新学科、新技术在不同学科的交叉点上生长了出来,自 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。可以顾名思义,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,计算机音乐大体可以包括以下两个方面的内容:一个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 及 MPEGx 中其他的音频层等;另一个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统称为计算机音乐,MIDI 音乐就几乎成了计算机音乐的代名词。

本书作者将按照 MIDI 音乐与数字音频的上述并行关系来理解计算机音乐,回顾它们的历史渊源和巨大发展,希望这些内容对想要深入了解计算机音乐的读者有所裨益。

## 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很久远。世界上第一台个人计算机“Altair8800”于 1975 年问世,距今也只有 30 多年,在这之前的 20 多年虽然出现了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和价格昂贵。那时的计算机音乐几乎是热衷于探索和创新的音乐家和计算机专家们用于研究的科学事业。

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。

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。这里不妨回顾一下电子乐器的发展历程。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宏亮的声音,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 L. 哈蒙德推出的机电式风琴得到了推广和应用,被称为电子管风琴,图 1-1 所示为这种电子管风琴——哈蒙德琴的照片。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,这种声音并不是人们所熟悉的乐器产生的,它采用不依赖于任何能产生声音的普通材料,既不是簧片、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 Elisha 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。

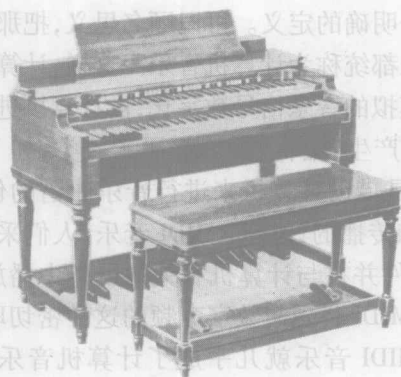


图 1-1 哈蒙德琴



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。而真正作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 实验室研制出世界上第一台电子合成器。这台体积庞大的合成器,叫做 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,凭借新器件技术的发展,日本 YAMAHA 公司于 1959 年制造出世界上第一台双排键电子琴,即 D-1。D-1 实际上是哈蒙德琴的翻版,但由于采用的是先进的晶体管技术,内部电路和综合性能都有相当大的进步。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

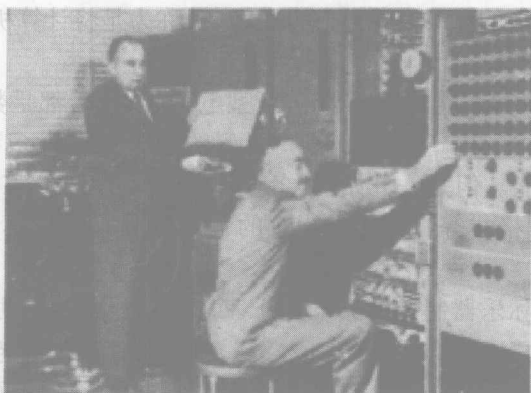


图 1-3 MKI

种单排键电子琴也大量研制出来,电子琴技术和市场事实上是走了一条先高端、再普及化的道路,这与它最先在教堂获得应用不无关系。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,20世纪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,它们都成了电子琴、电子合成器的出色生产厂家。由于日本具有全球最发达的电子乐器制造业,日本的儿童也从中受益,他们的音乐素质普遍较好。电子乐器的这种长足发展和普及应用,为当代计算机音乐的诞生和发展奠定了基础。

从20世纪50年代至70年代,计算机音乐主要运用于两个方面。一方面是电子音响和音色的创造,利用计算机强大的“计算”能力,用数字(0和1)创造出人间从未有过的美妙音响(或者更准确地说,是人间从未有过的奇妙音响)。另一方面就是用于音乐的分析,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。计算机音乐作品更是五花八门,几乎一个作品一个样式,大多是现场电子音乐、计算机合成音响、预先录制的音乐和音响,还有现实的所谓“具体音乐”的组合。在这些方面,美国哥伦比亚大学的普林斯顿电子音乐中心、斯坦福大学的“计算机音乐及音响研究中心”(CCRMA),以及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。

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不断成熟,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平台上应用,也推广到PC平台。在我国,更是在PC机有了Windows操作系统以后,计算机音乐才得以逐渐普及,距今只不过十来年的事情。

### 1.3 MIDI的由来与发展

如上所述,从世界上第一台PC计算机问世,及紧随其后的1976年、1981年Apple和IBM的PC计算机相继问世,使计算机音乐获得了快速发展的技术基础。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。但是一开始时,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就不能兼容。

于是,1982年,国际乐器制造协会的几十家厂商达成了一项协议,就是美国 Sequential Circuits 公司提出的“通用合成器接口方案”。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 5 孔的 MIDI 插座,如图 1-4 所示。MIDI 设备之间以及 MIDI 设备与计算机之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 这 4 个字母的全称应当是“Musical Instrument Digital Interface”的首字母缩写,中文译为“乐器数字化接口”;也有人说,“MIDI”代表 Music(音乐)、Idee(n)(思想)、Direktzugriff(直接存储)和 Instrument(乐器)这 4 个单词的首字母,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 的基础上,规定了 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 Level1),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。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(见图 1-5),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。



图 1-4 MIDI 插座



图 1-5 GM 标志

可以看到,MIDI 协议也并不是一成不变的。自 1983 年 8 月公布了 MIDI 1.0 详细规范(Detailed Specification)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,还成立了“MIDI 制造商协会(MMA; MIDI Manufacturers Association)”和“日本 MIDI 标准委员会(JMSC, Japan MIDI Standards Committee)”等组织,对 MIDI 标准逐渐加以完善。1991 年 9 月,美国 MIDI 制造商协会与日本 MIDI 标准委员会提出了 GM1(General MIDI Level 1,即通用 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 公司制定的 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,设置了亮度、调光度等编辑参数,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 标准基本上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。现在的高档合成器或音源中,音色数甚至可接近千种,它不仅是模仿普通乐器的音色并且音质更好,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的计算机音乐系统,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科技含量,也有着其独特和丰富多彩的艺术表现力。

#### 1.4 数字声频的广泛应用

在 MIDI 音乐技术被广泛接受和使用的同时,计算机数字声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,数字声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声频,在 MIDI 音乐文件创作完成后,通常都是将其转换为数字声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了社会生活的方方面面,正在对人类的生活产生着巨大的影响,它将会继续获得蓬勃的发展。

### 1.4.1 模拟声频与数字声频

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,它渗透到社会与生活的方方面面。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。虽然人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了,模拟记录系统容易受外界电磁干扰的影响而产生噪声和失真,对于最常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和修改时,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成了非常费时费力的事情。

然而这一切不足和困难在计算机数字声频技术时代都迎刃而解了。在数字声频技术时代,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声,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。由于数字声频技术的出现,引发了声频技术领域的革命,数字化技术在声频的编辑、合成、效果处理、存储、传输等各方面都获得极大的发展。今天,数字声频技术最终还原的声频质量可与一些最高级的传统声频设备抗衡,而其价格与传统声频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,是普通盒式磁带的 2 倍。

声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,使用计算机软件在计算机硬盘中进行录音的方式已经非常普及,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声。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,随着数字声频技术的飞速发展,它在各种音乐制作及多媒体应用领域确立了霸主地位,也是一种必然的结果。

关于将声频信号数字化的有关问题,请参阅附录一。

### 1.4.2 数字声频的主要格式

现在,数字声频文件的格式非常多,这说明数字声频技术是热点技术、是发展中的技术,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,不同格式的数字声频文件都使用自己特有的文件扩展名,表 1-1 列出了部分常见的数字声频文件的扩展名,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用的声频文件格式,在这个表中以黑体字将它标出。

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、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
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 1-1 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,使存储容量显得有限,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,它们具有较高的压缩率,但仍然保持了优良的音质。

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 公司为 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)的另一种常用的文件格式为 avi 文件格式。wave 格式的文件由文件头、数据类型标识及若干格式和数据块(chunk)组成。表 1-2 列出的是 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
		扩展域	extraInfo	extSize B	扩展信号	(PCM时无)
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	
数据块	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:

(1) 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 ≠ 1 的压缩格式, 这里不作要求。

(2) 多字节整数的低位在前(同 Intel CPU)。

(3) 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 文件格式的设计是非常灵活和复杂的, 它支持许多种压缩算法, 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 的音质相差无几。

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 文件格式已经成了事实上最通用的音频格式。

在音乐编辑创作方面, wav 文件也成为了首选的音频格式, 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 3, 是 MPEG-1 的衍生编码方式, 是由德国 Fraunhofer IIS 研究院和汤姆森公司于 1993 年合作开发成功的。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。这种压缩方式称为音频数据感知编码压缩。由于能够在 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 年开发出来的, 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, 最大程度地保持压缩前的音质。

### 3. wma 文件格式(. wma)

WMA(Windows Media Audio) 是 Microsoft 公司在互联网音频、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 文件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 文件格式。此外, WMA 还可以通过 DRM(Digital Rights Management) 方案加入防止复制功能, 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 文件格式的码率高于 192kb/s 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 文件格式在采用 64kb/s 低取样率时,声音质量比 mp3 文件格式的好。在超低取样率的情况下(如 16kb/s),wma 文件格式则要比 mp3 文件格式好得多。因此可以根据实际需要来进行选择。参见表 1-1。

4. ra 文件格式(.ra) 变式, 飘飞能丑, 群能人甜, 似更许世, 林素赋声的得音同不取收 代以 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 28.8kb/s 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,这些文件格式的共同点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较好的音质。对于 14.4kb/s 以上的网络连接速度,RealAudio 可以获得超过调幅广播级的声音质量。RealAudio 不但都支持边读边放,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文件格式。

### 1.4.3 基于数字音频技术的音乐制作方法

这里介绍的是计算机音乐制作的另一条路,就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 中下面的那两条通道所示。

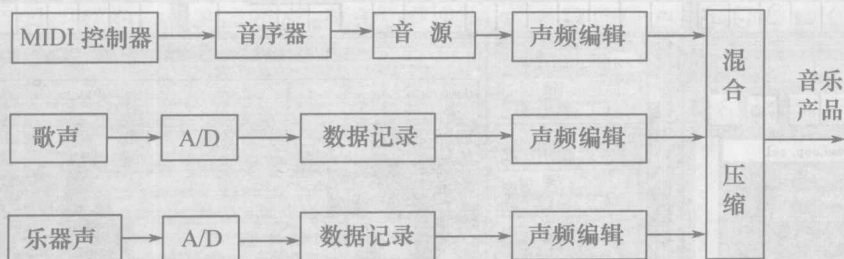


图 1-6 计算机音乐制作流程

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,成为 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挥其作用,它们对真实乐音的超凡加工效果使音乐产品的品质更上一层楼。

在计算机诞生以前,音乐制作人都是用模拟的方式来录制乐曲或歌唱,那时,多轨磁带录音机是最基本的设备。尽管这些设备具有分期录音合成等功能,专业硬件的质量都不错,但采用模拟方法录制的音乐在后期编制时,仍然会感到困难重重,制作出一首伴奏音乐需要耗费大量的人力、物力不说,效果也难以做得很理想,并且一旦不成功往往就要