



跨世纪计算机实用技术丛书

PC 平台新技术 MMX

——应用编程实例

张林 云钟 编著

东南大学出版社

33417402

TP368.3

05

V2

PC 平台新技术 MMX



—— 应用编程实例

张 云 林 钟 编著
黄 凤 英 主审

东南大学出版社

内 容 提 要

JB478/05

MMX 是 Intel 公司为提高 PC 机多媒体功能与通信能力而推出的新一代 CPU 技术,它在“奔腾”或“高能奔腾”CPU 中增加了 8 个 64 位寄存器和 57 条新指令并采用单指令多数据(SIMD)技术,使得通常需借助专用硬件或通用数字信号处理器才能完成的复杂实时信号处理工作,有可能在通用 PC 平台上软件实现。

《PC 平台新技术 MMX》分为上、下两册,内容相对独立。上册介绍 MMX 处理器的体系结构、数据类型、指令集、开发策略和软件优化等内容,是利用 MMX 进行开发的基础。本书是下册,介绍 MMX 技术在图像处理、视频编解码、音频编解码、语音识别和三维图形等方面的典型应用实例。并深入浅出地介绍了运用 MMX 技术的基本开发策略。本书可为从事多媒体通信和信息处理等应用领域的软件开发人员参照,是广大工程技术人员和软件开发人员学习和应用 MMX 技术必不可少的参考书,也可以作为高等院校相关专业学生学习汇编语言的补充教材和参考书。

出 版 声 明

美国英特尔公司授权中国东南大学翻译、出版、发行有关英特尔 MMX 技术的教材。本书中引用的光盘资料版权属英特尔公司所有,编译中若有疏误,与英特尔公司无关。

责任编辑 陈天授
责任校对 刘士中 朱经邦
责任印制 王小宁

PC 平台新技术 MMX ——应用编程实例

张云 林钟 编著

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 雄州印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.625 字数 470 千

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN 7-81050-323-5/TP·48

定价:24.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

《跨世纪计算机实用技术》丛书总序

我们正处在一个世纪之交的伟大历史时期。当今社会的计算机应用出现了很多新的特征:办公自动化系统和管理信息系统的实现使社会、生产的管理完全改变了传统的方式;集计算机辅助设计、制造和决策管理为一体的计算机集成制造系统使生产制造过程得到新的飞跃;计算机网络 INTERNET 将世界连成一体,并以一种神奇的方式推动着社会的变革;计算机进入出版业,出现了排版印刷技术的革命;多媒体技术融入社会,更以一种非同寻常的力量推动着信息社会的发展,人们就在这瞬息万变的发展中即将跨入一个新的世纪。

随着 21 世纪的临近,人们面临着各种严峻的挑战,我们必须把人才的培养作为迎接挑战最紧迫的对策。为了适应世纪之交计算机人才培养的需要,我们向读者奉献一套《跨世纪计算机实用技术丛书》。作者编写这套丛书的宗旨为:

1. 介绍 20 世纪最后 10 年计算机技术在其重要应用领域的现状、发展方向以及前景展望。希望读者从这套丛书中,得到感知,获得鼓舞和力量。

2. 力求面向实际,作为实用技术的工具和指南。希望读者得益于它,在世纪之交的计算机应用工作中,能够得到具体的帮助,取得实效。

3. 从本世纪之末到下世纪之始,计算机科学与技术领域新事物肯定层出不穷,本丛书将不断把新颖实用的内容奉献给读者,作者们将与读者一起跨越世纪,在各领域计算机应用中不断前进。

这一套丛书的内容涉及数据库系统、网络通信、多媒体、图像处理、电子出版、系统仿真、计算机辅助设计、计算机硬件及软件新平台、操作系统以及语言等方面。我们尽了很大的努力期望本丛书能很好地为读者服务,但由于水平所限,难免有错误和疏漏之处,希望读者和专家们不吝赐教。

《跨世纪计算机实用技术丛书》编委会

1997 年 5 月

《跨世纪计算机实用技术》丛书

编委会名单

主 编：徐福培

副主编：夏德深 孙志挥

编 委：（以姓氏笔划为序）

孙志挥	吴乐南	陈天授
陈廷标	陈金水	周先华
夏德深	范建新	徐福培
黄凤英	傅德胜	

前 言

MMX 是美国 Intel 公司为提高 PC 机多媒体功能与通信能力而推出的新一代 CPU 技术,是 Intel 公司自推出 32 位的 80386 芯片以来最重大的一次 CPU 体系结构的变化。MMX 技术是在“奔腾”或“高能奔腾”CPU 中增加 8 个 64 位寄存器和 57 条新指令来实现的。国内外许多厂家都推出了基于 MMX 技术的 PC 机, Intel 公司已经停产不带 MMX 技术的奔腾芯片,今后所有 Intel 体系结构的 CPU 都将包含 MMX 技术。

MMX 采用 SIMD(单指令多数据)技术,用一条指令可以处理多个数据,大大提高了软件运行的速度,将 PC 机提升到图形工作站的处理速度,使得通常需要借助专用硬件或通用数字信号处理器才能完成的复杂实时信号处理工作,有可能在通用 PC 平台上用软件实现。基于 MMX 的软件产品和软件开发已成为 PC 机应用的热点,本书旨在直接引导读者进入对 MMX 这一 PC 平台新技术的了解、学习、开发和应用。全书分为上、下两册,本书是下册,阐述具体的应用编程实例,是上册编程基础的具体应用。

本书共分 7 章和 1 个附录,介绍了 MMX 技术在图像处理、视频编解码、音频编解码、语音识别和三维图形等方面的典型应用实例。

第 1 章为绪论,介绍 MMX 技术的应用领域和开发步骤。

第 2 章介绍 MMX 技术在通用数字信号处理领域的应用,包括用 MMX 技术实现矢量的加法运算、逻辑运算、内积运算(矢量点乘)等。在矢量运算的基础上用 MMX 技术实现矩阵运算、数字滤波和卷积。还讲述了 FFT 的 MMX 实现方法。

第 3 章给出 MMX 技术在数字图像处理领域的应用,包括用 MMX 技术实现 RGB 到 YUV 色空间的转换、行滤波与列滤波、中值滤波、彩色图像的 α 混合以及 24 位真彩色到 16 位高彩色的转换。

第 4 章描述 MMX 技术在视频编解码领域的应用,包括用 MMX 技术实现运动矢量估

计、运动补偿帧间预测、DCT 与 IDCT、读变长码和视频环路滤波器。

第 5 章讨论 MMX 技术在音频编解码领域的应用, 包括用 MMX 技术实现合成子带滤波器、G.728 算法中的码书搜索、Levinson-Durbin 算法和维纳滤波。

第 6 章是 MMX 技术在语音识别中的应用, 包括用 MMX 技术计算 L1 均值、L2 均值和实现 Viterbi 译码。

第 7 章讲述 MMX 技术在三维图形领域的应用, 包括用 MMX 技术实现三维几何变换、双线性内插、Gouraud 描影算法和透明覆盖。

附录给出了用 MMX 技术实现一种快速 IDCT 的源程序。

本书既是 MMX 技术的应用编程实例, 也可以作为高等院校相关专业学生学习汇编语言的补充教材和参考书。通过对本书上、下两册的学习, 从事多媒体通信和信息处理等应用软件开发的技术人员可以在日益普及的 MMX 计算机上自己编程, 实现各种视听一体、图文并茂的多媒体功能和娱乐功能, 您可以通过自学成为 MMX 编程的高手。

为了使这一新技术早日用于我国的科教事业和软件产业, 本书的主要内容直接取材于 Intel 公司提供的光盘资料。下册由张云和林钟同志编写, 林宝成和茅一民同志翻译和修改了第 5、6 章。张云同志还进行了最后的内容增删、章节调整和全书的统稿。东南大学无线电工程系副主任吴乐南教授给予了及时的指导和帮助。

英特尔技术发展(上海)有限公司和她的高级软件工程师黄征先生给予了大力支持和帮助; 审稿人南京航空航天大学黄凤英教授提出了许多宝贵的修改意见, 在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 且成书比较仓促, 疏漏之处在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编 者

1998 年 1 月 10 日于南京

目 录

1 绪论	1
1.1 MMX 技术的应用领域	1
1.2 MMX 程序的开发步骤	2
1.2.1 确定需要采用 MMX 技术的代码段	2
1.2.2 选择最适合 MMX 实现的算法	2
1.2.3 确定数据组织形式	2
1.2.4 编写 MMX 代码	3
1.2.5 优化 MMX 代码	3
1.2.6 测试 MMX 代码的性能	3
1.3 MMX 技术的开发平台	4
1.4 本书内容的组织	4
2 MMX 技术在数字信号处理中的应用	5
2.1 数字信号处理的基本原理	5
2.1.1 矢量运算	5
2.1.2 矩阵运算	6
2.1.3 卷积运算	7
2.1.4 FIR 滤波	7
2.1.5 FFT 运算	7
2.2 MMX 实现矢量加法	9
2.2.1 MMX 技术实现矢量加法的过程	9
2.2.2 MMX 实现矢量加法的性能	11
2.3 MMX 实现矢量逻辑运算	11
2.3.1 MMX_and 函数	12
2.3.2 MMX 实现矢量逻辑运算的性能	13
2.4 MMX 实现 16 位矢量点乘	13
2.4.1 MMX_vdp16 函数	14
2.4.2 MMX 实现 16 位矢量点乘的性能	18
2.4.3 完整的 16 位矢量点乘的 MMX 程序	18
2.5 MMX 实现 16 位与 31 位实数乘法	21
2.5.1 MMX 实现过程	22

2.5.2	MMX 实现 16 位与 31 位乘法的性能	25
2.6	MMX 实现 16 位复数 FFT	26
2.6.1	MMX 实现复数 FFT 流程	26
2.6.2	MMX 程序优化	28
2.6.3	完整的复数 FFT 的 MMX 程序	28
2.7	MMX 实现 16 比特 FIR 滤波	42
2.7.1	FIR 滤波器	42
2.7.2	用 MMX 技术实现 16 比特实数 FIR 滤波器	42
2.7.3	具体的实现步骤	45
2.7.4	MMX 实现 16 比特 FIR 滤波的性能	48
2.7.5	完整的 16 比特 FIR 滤波的 MMX 程序	50
3	MMX 技术在数字图像处理中的应用	59
3.1	数字图像处理的基本原理和算法	59
3.1.1	数字图像的表达	59
3.1.2	色度空间	60
3.1.3	图像平滑	60
3.2	MMX 实现 RGB 到 YUV 的颜色转换	63
3.2.1	RGB 到 YUV 的转换过程	63
3.2.2	RGB 到 YUV 的转换内核	64
3.2.3	MMX 实现 RGB 到 YUV 转换的性能	67
3.2.4	完整的 RGB 到 YUV 转换的 MMX 程序	67
3.3	MMX 实现图像行滤波	76
3.3.1	行滤波函数流程	77
3.3.2	行滤波程序优化	81
3.3.3	MMX 实现行滤波的性能	85
3.4	MMX 实现图像列滤波	85
3.4.1	用 C 语言实现列滤波	85
3.4.2	MMX 实现列滤波的过程	87
3.4.3	列滤波程序优化	91
3.4.4	MMX 实现列滤波的性能	94
3.5	MMX 实现图像中值滤波	94
3.5.1	中值滤波的 MMX 实现	94
3.5.2	MMX 实现中值滤波的性能	99
3.6	MMX 实现 24 位真彩色至 16 位高彩色的转换	99

3.6.1	屏蔽—移位—或方法	100
3.6.2	乘加方法	103
3.7	MMX 实现彩色图像的 α 混合	106
3.7.1	MMX 实现 α 混合的过程	106
3.7.2	MMX 实现 α 混合的性能	110
3.7.3	完整的 α 混合的 MMX 程序	110
4	MMX 技术在视频编解码中的应用	115
4.1	视频编解码的基本原理与算法	115
4.1.1	运动补偿帧间预测和运动矢量估计	115
4.1.2	DCT 和 IDCT	117
4.1.3	变长编解码	120
4.1.4	图像平滑	120
4.2	MMX 实现运动矢量估计	120
4.2.1	C 语言和普通汇编语言实现绝对差的计算	120
4.2.2	MMX 计算绝对差的过程	125
4.2.3	MMX 计算绝对差的性能	127
4.2.4	完整的计算绝对差的 MMX 程序	127
4.3	MMX 实现运动补偿帧间预测	129
4.3.1	MMX 实现像素内插	130
4.3.2	MMX 实现像素内插的性能	133
4.3.3	完整的像素内插的 MMX 程序	134
4.4	MMX 实现 DCT 与 IDCT	139
4.4.1	用定点数实现 DCT	139
4.4.2	MMX 实现 DCT	140
4.4.3	MMX 实现 DCT 的性能	145
4.5	MMX 读取变长码字	145
4.5.1	基本的 MMX 指令	146
4.5.2	MMX 读码字的过程	146
4.5.3	MMX 读码字的性能	149
4.5.4	完整的读取变长码字的 MMX 程序	150
4.6	MMX 实现视频环路滤波	153
4.6.1	MMX 实现过程	153
4.6.2	MMX 实现环路滤波的性能	156
4.6.3	完整的实现环路滤波的 MMX 程序	157

5	MMX 技术在音频处理中的应用	164
5.1	音频信号处理的基本原理	164
5.1.1	子带滤波器原理	164
5.1.2	G.728 建议	165
5.1.3	Levinson-Durbin 算法	166
5.1.4	Schur Weiner 滤波原理	167
5.2	MMX实现MPEG音频解码中的合成子带滤波器	168
5.2.1	合成子带滤波器	168
5.2.2	MPEG音频解码器中的DCT	168
5.2.3	MMX实现音频合成子带滤波	170
5.3	MMX 实现 G.728 算法的码书搜索	172
5.3.1	G.728码书搜索算法	172
5.3.2	MMX搜索程序优化	176
5.3.3	MMX实现码书搜索的性能	186
5.3.4	完整的码书搜索的MMX程序	186
5.4	MMX 实现 Levinson-Durbin 算法	199
5.4.1	输入和输出数据格式	200
5.4.2	误差修正技术	200
5.4.3	用MMX技术实现Levinson-Durbin算法	201
5.4.4	MMX实现Levinson-Durbin算法的性能	206
5.4.5	完整的实现Levinson-Durbin算法的MMX程序	206
5.5	MMX 实现 Schur Weiner 滤波	216
5.5.1	输入与输出数据格式	216
5.5.2	误差修正技术	216
5.5.3	MMX实现Schur算法	216
5.5.4	MMX实现Schur算法的性能	221
6	MMX 技术在语音识别中的应用	223
6.1	语音识别的基本原理	223
6.1.1	L1 和 L2 范数	223
6.1.2	Viterbi译码	224
6.2	MMX 计算 16 位矢量的 L2 范数	226
6.2.1	计算公式	226
6.2.2	MMX程序内核	226

6.2.3	优化配对方案	227
6.2.4	MMX计算L2范数的性能	228
6.2.5	完整的计算 L2 范数的 MMX 程序	229
6.3	MMX 实现 Viterbi 译码	230
6.3.1	Viterbi_MMX函数	230
6.3.2	MMX实现Viterbi译码的性能	236
6.3.3	完整的 Viterbi 译码的 MMX 程序	237
7	MMX 技术在三维图形中的应用	246
7.1	三维图形的基本原理与算法	246
7.1.1	三维几何变换	247
7.1.2	Gouraud 描影算法	248
7.1.3	颜色内插	249
7.1.4	透明覆盖	249
7.2	MMX 实现三维几何变换	250
7.2.1	三维几何变换公式	250
7.2.2	MMX实现三维几何变换	251
7.2.3	MMX 实现三维几何变换的性能	253
7.2.4	完整的实现三维几何变换的 MMX 程序	253
7.3	MMX 实现双线性内插	255
7.3.1	MMX 实现双线性内插的过程	256
7.3.2	MMX 双线性内插程序优化过程	257
7.3.3	MMX 双线性内插的性能	257
7.3.4	完整的实现双线性内插的 MMX 程序	258
7.4	MMX 实现 Gouraud 描影算法	265
7.4.1	MMX 实现 Gouraud 描影算法	265
7.4.2	MMX 实现 Gouraud 描影算法的性能	269
7.5	MMX 实现透明覆盖	269
7.5.1	透明覆盖函数	270
7.5.2	透明覆盖函数的内核	272
7.5.3	MMX 实现透明覆盖性能	274
附录	AANIDCT 源程序	275
参考文献		300

1 绪 论

- MMX 应用领域
- MMX 程序开发

当今，计算环境日新月异，Internet、多媒体以及实时通信等应用程序与先进的32位操作系统的多任务能力相结合，大大扩展了计算机的功能。PC机的应用领域越来越广，如逼真的游戏、视频处理、三维图形、语音处理与识别等。这些应用对微处理器的性能提出了极高的要求，为了满足当今和未来计算机软件日益提高的要求，MMX技术应运而生。

MMX是Intel公司为了提高PC机多媒体功能与通信能力而推出的新一代CPU技术，这是自Intel公司推出32位的80386芯片以来最重大的一次CPU体系结构的变化。MMX技术满足了运算量极大的应用程序对CPU提出的高性能要求，使得软件开发人员可以设计更复杂、更逼真和更实时的程序。Intel公司于1997年1月正式发布了带有MMX技术的Pentium芯片(P55C)，紧接着又发布了Pentium II芯片(Pentium Pro+MMX)。同时，AMD公司和Cyrix公司都宣称将支持MMX技术，这两家公司的带有MMX技术的芯片已经面市。截止到1997年7月，带MMX技术的PC机的市场份额已占到60%以上，到1997年底已上升到90%以上。根据最新得到的消息，Intel公司已经宣布停止生产不带MMX的Pentium芯片。所以，带MMX技术的PC已成为个人计算机市场的主流产品。

1.1 MMX 技术的应用领域

MMX技术非常适合于多媒体和实时通信等应用，具体的应用领域包括：游戏软件、视频处理、三维图形、语音处理与识别和实时通信等。当这些应用采用MMX技术加速以后，速度提高到原来的2~5倍，如表1.1所示。

表 1.1 采用 MMX 技术后的速度提高

应用领域	速度提高(倍)
语音识别	1.8
MPEG-1 视频	1.5
MPEG-1 音频	3.6
图像滤波	4.0
调制解调	2.6
三维几何变换	5.0
三维投影	3.0
视频会议	2.0

1.2 MMX 程序的开发步骤

无论是用 MMX 技术更新现有的应用程序或是开发一个新的应用程序，都必须遵循一定的准则和步骤。下面分别叙述通常开发一个 MMX 程序所需要的 6 个步骤。

1.2.1 确定需要采用 MMX 技术的代码段

并不是所有的应用程序代码都需要用 MMX 技术实现。对于大多数应用，只有很小一部分代码需要用 MMX 技术实现，而这部分代码所占的运行时间却非常大。例如，在静止图像编码中，DCT 所占代码长度不超过 10%，而运行时间却超过 40%。我们可以采用辅助工具(如 Intel 的 VTune)来检测各段代码所占的运行时间。

一般来说，需要用 MMX 技术实现的代码应具有以下几个特点：

- 占用的运行时间较多
- 代码量不大
- 大量的重复循环
- 小整数类型(8 位、16 位或少量的 32 位整数)
- 可并行处理。

1.2.2 选择最适合 MMX 实现的算法

MMX 技术有自己的特点，如 SIMD 和乘法速度大大提高等。而在一个应用程序中，可以有多种不同的实现算法，我们应该根据 MMX 的特点选择最适合其处理的算法。例如快速傅立叶变换(FFT)，大多数快速算法通过减少乘法次数而增加加法次数来达到快速的目的，这在原来的 X86 或奔腾处理器上是合适的，因为它们作乘法运算的时间远远大于作加法运算的时间。但对于具有 MMX 技术的处理器，乘法运算和加法运算的时间是相同的，因而这些算法就不一定是最优的，需要另选适合于 MMX 实现的算法。这种算法应该采用整数类型，算法要简单，有大量的循环并可以并行实现。

1.2.3 确定数据组织形式

明确了算法之后，需要按 MMX 技术的要求安排数据组织形式，以利于实现 SIMD。基本原则是尽量把需要同时处理的数据安排在内存的连续区域，采用 MOVQ 指令一次读或写 64 位数据，从而降低内存访问的次数，提高效率。

以元素为 16 位整数的 4×4 矩阵相乘的数据组织形式为例， $[C]=[A][B]$ ，

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix}$$

为了能够采用 PMADDWD 指令一次计算四个乘法累加， A 矩阵的数据需要按行存储，而 B 矩阵的数据需要按列存储。即在内存中， A 和 B 的存储方式分别为：

a_{11}	b_{11}
a_{12}	b_{21}
a_{13}	b_{31}
a_{14}	b_{41}
a_{21}	b_{12}
$\vdots$	$\vdots$
a_{44}	b_{44}

在存储数据时，还需要注意内存中的数据对齐。对于 MOVQ 指令，一次读或写 64 位数据，所以应尽量安排数据按 64 位(8 字节)对齐，以避免内存操作的延迟。

1.2.4 编写 MMX 代码

在确定了算法和数据组织形式后，就可以着手编写 MMX 代码。一般应有一个对照的 C 语言或普通汇编语言代码，在编写完 MMX 代码后，比较两者的结果，保证无误。

1.2.5 优化 MMX 代码

在完成了 MMX 代码的初步编写之后，还需要对其进行优化，以充分发挥处理器的潜力。优化的主要工作是调整语句的顺序，发挥奔腾处理器超标量执行或奔腾 II 处理器动态执行的性能。优化的另一项重要工作就是消除或尽量减少各种处理器延迟，包括内存访问时的地址互锁造成的延迟，乘法指令结果的延迟访问，内存未对齐造成的延迟等等。可以用调试工具(如 VTune)来察看指令配对情况和各种延迟。

必须注意的是，在优化过程中，要保证代码的正确性，不能因优化而出错。对于优化后的程序，可理解性是非常差的，应加上必要的注释。

1.2.6 测试 MMX 代码的性能

完成 MMX 代码后，可以与原有的程序相比，通过测试了解采用 MMX 技术后的性能提高情况。

1.3 MMX 技术的开发平台

现有的编译器还不能把 C 语言编译成 MMX 指令，所以需要直接编写 MMX 代码。可以采用 Microsoft Masm 6.11d 或更高版本的汇编程序把 MMX 源代码编译成目标代码，用 C 语言编译器或其他高级语言的编译器将不含有 MMX 代码的源代码编译成目标代码，把所有的目标代码连接成可执行程序。

有些高版本的 Visual C++ 编译器，如 VC5.0，已支持 MMX 指令的内嵌汇编，这样可以更方便地开发 MMX 应用程序。

1.4 本书内容的组织

本书是 MMX 技术的应用篇，具体介绍 MMX 技术在一些领域的应用实例，包括基本原理、算法和程序实例。全书共分 7 章和 1 个附录。

第 2 章介绍 MMX 技术在通用数字信号处理领域的应用，包括用 MMX 技术实现矢量的加法运算、逻辑运算、内积运算(矢量点乘)等。在矢量运算的基础上用 MMX 技术实现矩阵运算、数字滤波和卷积。还讲述了 FFT 的 MMX 实现方法。

第 3 章给出 MMX 技术在数字图像处理领域的应用，包括用 MMX 技术实现 RGB 到 YUV 色空间的转换、行滤波与列滤波、中值滤波、彩色图像的 α 混合以及 24 位真彩色到 16 位高彩色的转换。

第 4 章描述 MMX 技术在视频编解码领域的应用，包括用 MMX 技术实现运动矢量估计、运动补偿帧间预测、DCT 与 IDCT、读变长码和视频环路滤波器。

第 5 章讨论 MMX 技术在音频编解码领域的应用，包括用 MMX 技术实现合成子带滤波器、G.728 算法中的码书搜索、Levinson-Durbin 算法和维纳滤波。

第 6 章是 MMX 技术在语音识别中的应用，包括用 MMX 技术计算 L1 均值、L2 均值和实现 Viterbi 译码。

第 7 章讲述 MMX 技术在三维图形领域的应用，包括用 MMX 技术实现三维几何变换、双线性内插、Gouraud 描影算法和透明覆盖。

附录给出了用 MMX 技术实现一种快速 IDCT 的源程序。

最后给出参考文献，供读者进一步研究。

● 矢量运算

● 矩阵运算

● FIR 滤波

● 复数 FFT

数字信号处理是研究用数字运算方法对信号实现滤波、检测、调制、解调以及信号谱分析和处理的学科，是多媒体技术的基础。就其理论而言，数字信号处理是一些算法的集合，许多问题运算量极大，必须研究其快速算法，否则便难以实用，诸如离散傅立叶变换(DFT)、卷积和相关、矩阵运算和滤波等无不如此。

MMX 技术在原有的汇编指令集上增加了新的数据类型和指令，并采用了 SIMD 技术，非常适合于数字信号处理，它使得 PC 机进行数字信号处理的能力成倍提高。

在本章中，我们首先简单介绍数字信号处理的一些基本理论，包括矢量运算、矩阵运算、卷积运算和 FFT 等，然后再详细论述各种算法的 MMX 实现。

2.1 数字信号处理的基本原理

数字信号处理的重点内容是 FFT(快速傅立叶变换)和数字滤波器。

FFT 是数字信号处理中最早和最重要的快速算法之一，是进行 DFT(离散傅立叶变换)时的一种高效算法。在对信号进行频谱分析时，需要大量的 DFT 运算。直接计算 DFT 的运算量很大，不能应用在实际系统中。FFT 将 DFT 的运算次数由 N^2 次减少到 $N \log_2 N$ 次， N 为信号点数，这样就提供了一种计算 DFT 的快速方法，发展了数字频谱分析技术，因而被广泛应用于数字信号处理的许多环节。用 MMX 技术实现 FFT 是本章的重点内容之一。

数字滤波器是数字信号处理中广泛使用的一种线性系统，是数字信号处理的基础之一。许多信号处理过程(如对信号的滤波、检测和预测等)都要用到数字滤波器。最常用的数字滤波器是 FIR(有限冲激响应)滤波器。无限长的输入信号序列进入 FIR 滤波器后，与滤波器系数进行线性卷积，就得到输出信号序列。由于输入信号很长，直接利用线性卷积计算速度很慢，因此通常将输入信号分解成许多段，然后每一段与滤波器系数进行循环卷积。数字滤波器主要的运算时间都用在计算循环卷积上，而循环卷积是由大量的矢量运算组成的，因而矢量运算是数字滤波器和其它运算中最基本的运算单元，本章也把它作为一个重点内容加以讨论。

2.1.1 矢量运算

矢量运算是数字信号处理中基本的数学运算，矩阵运算、卷积运算及数字滤波器等都要用到大量的矢量运算。