



跨世纪计算机实用技术丛书

PC 平台新技术 MMX

——开发编程指南

吴乐南 主编

东南大学出版社

PC 平台新技术 MMX (上册)

——开发编程指南

吴乐南 主编 黄风英 主审
王大兴 高斌 陆飞 李学东
许晶 魏强 刘琳 张振梅 黄征
编

东南大学出版社

内 容 提 要

JS143/3

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》实际上分为上、下两册,内容相对独立。本书是上册介绍 MMX 处理器的体系结构、数据类型、指令集、程序设计和软件优化等内容,是利用 MMX 进行技术开发的基础;下册则集中给出 MMX 技术在语音识别、图像处理、多媒体通信、音像解压缩、三维动画和视频游戏等方面的典型应用实例,是编程开发的深入,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直接参照。全书既是“多能奔腾”新增汇编指令的开发编程指南,也可作为高等院校相关专业师生学习新型微机体系结构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
责任印制 王小宁

PC 平台新技术 MMX ——开发编程指南

吴乐南 主编

*

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 丹徒县印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 9.25 字数 237 千

1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN 7—81050—252—2/TP·36

定价:18 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 自推出 32 位的 80386 芯片以来最重大的变化。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 技术的台式机和笔记本电脑,而今后所有 Intel 体系结构的新型 CPU 都将包含 MMX 技术。

MMX 采用 SIMD 技术,一条指令能处理多个数据,大大提高了软件运行速度,将 PC 提升到了图形工作站的处理速度,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和通信工作,有可能在通用 PC 平台上用高级语言实现。因此,基于 MMX 的软件产品和软件开发将成为今后几年 PC 应用中的一个热点。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。全书分上、下两册,本书是上册阐述编程基础,是 MMX 软件的开发与编程指南,而下册为具体应用编程实例,内容相对独立。

上册内容编排为 9 章和 5 个附录,讨论 PC 平台新技术 MMX 的开发与编程。

第 1 章概述 MMX 技术及其基本特点。

第 2 章简要浏览一下具有 MMX 技术的奔腾系列(多能奔腾)和高能奔腾系列(Pentium Pro I)处理器的内部结构和流水线。

第 3 章介绍 IA MMX 指令集,逐一描述了指令、助记符及指令符号,全面展示了这些功能强大的新指令。

第 4 章是应用程序设计模型,通过描述软件规范以及 IA MMX 技术的体系结构和数据格式,从而规定了编写 MMX 代码的具体步骤。

第 5 章为系统程序设计模型,讨论了与操作系统的接口,以及与 IA 的兼容性。

第 6 章提供了有助于开发快速高效代码的准则和注意事项,以及有关一般优化、指令调度与选择、高速缓冲存储器及存储器优化的信息,重在讨论对 MMX 技术软件编程的优化以及如何使用新指令以显著提高应用程序的性能。

第 7 章是 MMX 代码开发策略,回顾了在应用中建立 MMX 程序的步骤。

第 8 章给出几个具体编码的例子,以方便读者开始编制自己的 MMX 代码。而范围广泛的应用实例将在下册集中给出,并与本书配套。

第 9 章则针对 MMX 的性能监控,详细描述了性能监控计数器及其功能。

此外,为了方便读者查阅,书末的 5 个附录分别汇总了 IA MMX 指令集一览表、指令格式与编码、指令集与助记符一览表、指令集操作码变换图以及 MMX 技术开发工具一览表。

全书既是“多能奔腾”和“P I”新增汇编指令的开发编程指南,也可作为高等院校相关

专业师生学习新型微机体系结构的补充教材和参考书。通过本书上册对于 IA MMX 技术及其指令集的了解,再参照本书下册提供的各种具体应用实例,从事多媒体通信和信息处理等应用软件开发的技术人员即可直接在日益普及的 MMX 台式机、笔记本电脑甚至 PCTV 一体机上,编程实现各种视听一体、图文并茂的多媒体通信和娱乐功能,而这些高质量的实时处理能力在过去却需要额外配置复杂的附加硬件才能完成。

为使这一新技术早日用于我国的科教事业和软件产业,本书主要内容直接取材于 Intel 公司提供的光盘资料。上册的基本素材由王大兴、高斌、陆飞、李学东、许晶、魏强、刘琳、张振梅等同志翻译;吴乐南进行了最后的内容增删、章节调整和全书的统稿;排版工作由王大兴完成,冯滔给予了及时的帮助。

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并撰写了主题词,在此谨向他们表示衷心的感谢。

作为“跨世纪计算机实用技术丛书”的第一本,本书的成书比较仓促,且限于编者的水平,疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1997 年 6 月 8 日于南京

目 录

1	概述	1
1.1	什么是 MMX	1
1.2	MMX 的由来	2
1.3	MMX 的基本特点	2
1.3.1	引入新的数据类型	2
1.3.2	采用 SIMD 技术	3
1.3.3	新增 64 位寄存器	3
1.3.4	保持兼容性	3
1.3.5	配置高效指令,增强应用性能	4
1.3.6	降低处理器开销	4
1.4	本书内容的组织	5
2	处理器结构和流水线的基本概念	6
2.1	超标量和动态执行结构的流水线	6
2.1.1	超标量(奔腾系列)流水线	6
2.1.2	动态执行(高能奔腾系列)流水线	8
2.2	高速缓冲存储器	11
2.3	分支目标缓存器	12
2.4	写缓存器	13
3	IA MMX 扩展指令集	14
3.1	扩展指令集概述	14
3.1.1	紧缩数据	14
3.1.2	饱和运算与环绕处理方式	14
3.1.3	指令分类	15
3.1.4	操作数规定	17
3.2	指令句法	17
3.3	指令格式	18
3.4	如何阅读本章指令	18
3.4.1	指令助记符及概要描述表	18
3.4.2	指令操作	19
3.4.3	指令描述	20
3.5	指令集	20
3.5.1	EMMS(清除 MMX 状态)	20

3.5.2	MOVD(32 位数据传送)	21
3.5.3	MOVQ(64 位数据传送)	23
3.5.4	PACKSSWB/PACKSSDW (有符号字饱和紧缩成字节/双字饱和紧缩成字)	24
3.5.5	PACKUSWB(无符号字饱和紧缩成字节)	26
3.5.6	PADDB/PADDW/PADDD(紧缩字节/字/双字的带环绕加)	28
3.5.7	PADDSB/PADDSW(有符号紧缩字节/字的带饱和加)	30
3.5.8	PADDUSB/PADDUSW(无符号紧缩字节/字的带饱和加)	32
3.5.9	PAND(按位与)	34
3.5.10	PCMPEQB/PCMPEQW/PCMPEQD (紧缩字节/字/双字的相等比较)	35
3.5.11	PCMPGTB/PCMPGTW/PCMPGTD (紧缩字节/字/双字的大于比较)	38
3.5.12	PMADDWD(紧缩字乘法累加)	40
3.5.13	PMULHW(紧缩字相乘取高位)	42
3.5.14	PMULLW(紧缩字相乘取低位)	44
3.5.15	POR(按位或)	45
3.5.16	PSLLW/PSLLD/PSLLQ(紧缩字/双字/4 字的逻辑左移)	47
3.5.17	PSRAW/PSRAD(紧缩字/双字的算术右移)	49
3.5.18	PSRLW/PSRLD/PSRLQ(紧缩字/双字/4 字的逻辑右移)	51
3.5.19	PSUBB/PSUBW/PSUBD(紧缩字节/字/双字的带环绕减)	53
3.5.20	PSUBSB/PSUBSW(紧缩字节/字的有符号带饱和减)	56
3.5.21	PSUBSB/PSUBUSW(紧缩字节/字的无符号带饱和减)	58
3.5.22	PUNPCKHBW/PUNPCKHWD/PUNPCKHDQ (紧缩字节/字/双字的高位拆封)	60
3.5.23	PUNPCKLBW/PUNPCKLWD/PUNPCKLDQ (紧缩字节/字/双字的低位拆封)	62
3.5.24	PXOR(按位异或)	65
4	应用编程模型	66
4.1	数据格式	66
4.1.1	数据存储格式	66
4.1.2	IA MMX 寄存器数据格式	66
4.1.3	IA MMX 指令和浮点标志字	67
4.2	前缀	67
4.3	使用 IA MMX 代码编写应用程序	67
4.3.1	检测 IA MMX 技术是否存在	67
4.3.2	EMMS 指令	68
4.3.3	IA MMX 技术过程接口和函数接口	68
4.3.4	使用 IA MMX 和 FP 指令编写代码	69
4.3.5	多任务操作系统环境	70
4.3.6	IA MMX 应用程序代码中的异常处理	70

4.3.7	寄存器映射	70
5	系统编程要点	71
5.1	现场切换	71
5.1.1	协同多任务操作系统	71
5.1.2	抢先多任务操作系统	71
5.2	异常	72
5.3	与现有软件环境的兼容性	73
5.3.1	寄存器别名	73
5.3.2	FP 和 MMX 指令对 FP 标志字的影响	74
5.3.3	现场切换支持	76
5.3.4	FP 异常	76
5.3.5	调试功能	76
5.3.6	指令集的仿真	76
5.3.7	操作系统中的异常处理	76
6	MMX 代码开发准则	77
6.1	规则和建议	77
6.1.1	规则	77
6.1.2	建议	77
6.2	一般优化问题	78
6.2.1	寻址方式	78
6.2.2	对齐	80
6.2.3	带前缀的操作码	81
6.2.4	高能奔腾系列处理器的部分寄存器延时	81
6.2.5	分支预测信息	83
6.3	调度	84
6.3.1	一般配对规则	85
6.3.2	整数配对规则	85
6.3.3	MMX 指令配对规则	88
6.4	指令选择	89
6.4.1	使用存储器访问指令	89
6.4.2	指令长度	90
6.5	高速缓冲存储器的优化	91
6.5.1	行填充顺序	91
6.5.2	高速缓冲存储器行的数据对齐	91
6.5.3	写分配的作用	91
6.6	存储器优化	93
6.6.1	部分存储器访问	93
6.6.2	增加存储器填充和视频填充的带宽	95

7	MMX 代码开发策略	97
7.1	制订计划	97
7.2	哪部分代码将从 MMX 技术中获益	97
7.3	是整数型代码还是浮点型代码	98
7.4	EMMS 准则	98
7.5	测试 MMX 技术是否存在的 CPUID 用法	99
7.6	数据对齐	99
7.7	堆栈对齐	99
7.8	数据组织	100
7.9	调试最终应用	101
8	MMX 编码技术	102
8.1	数据拆封	102
8.1.1	无符号数拆封	102
8.1.2	有符号数拆封	102
8.2	数据紧缩	103
8.2.1	带饱和的交叉紧缩	103
8.2.2	不带饱和的交叉紧缩	104
8.3	非交叉拆封	104
8.4	复数与常数相乘	105
8.5	数的绝对差	106
8.5.1	无符号数的绝对差	106
8.5.2	有符号数的绝对差	106
8.6	绝对值	107
8.7	数值的截取	107
8.7.1	对任意符号数范围截取符号数	107
8.7.2	对任意无符号数范围截取无符号数	108
8.8	生成常量	109
9	MMX 性能监控	110
9.1	奔腾系列性能监控事件	110
9.1.1	性能监控事件	110
9.1.2	MMX 指令事件的描述	113
9.2	高能奔腾系列性能监控事件	115
9.3	RDPMC 指令	120
	附录 A IA MMX 指令集一览表	122
	附录 B IA MMX 指令格式和编码	123

附录 C IA MMX 指令集助记符一览表	128
附录 D IA MMX 指令集操作码图	131
附录 E IA MMX 技术开发工具一览表	135
参考文献	136

1 概述

●MMX ●MMX 技术 ●IA

实时连续地处理声音和影像等媒体信息的要求使个人计算机(PC)不堪重负,以前是通过开发专用的数字信号处理器(DSP; Digital Signal Processor)来分担中央处理器(CPU)的工作,使总体性能得以提高。当然,成本也相应地提高了。而美国 Intel(英特尔)公司通过引入 MMX 技术,提升了 CPU 的主体信号处理(NSP; Native Signal Processing)能力,使得没有 DSP 或专用加速芯片的 PC 机也能既好又廉地实时处理多媒体信息,对有关的软件和硬件带来巨大的冲击。

1.1 什么是 MMX

MMX(Microprocessor Media Extension)是 Intel 公司为提高 PC 机用软件来处理多媒体和通信的能力而推出的新一代处理器技术,是对 Intel 体系结构(IA; Intel Architecture)指令集的扩展,它通过在“奔腾”(Pentium)或“高能奔腾”(Pentium Pro)处理器中增加 8 个 64 位(bit)寄存器和 57 条新指令来实现。

基于 Pentium 的 P55C 芯片已于 1997 年 1 月 9 日正式推出,中文名称为“多能奔腾”;而更高级的 Pentium II(基于 Pentium Pro,简称 P II,原称 Klamath)处理器芯片也紧跟其后于同年 5 月 8 日推出。Intel 的主要竞争对手 AMD 和 Cyrix 也都推出了含有 MMX 技术的处理器,国内外许多厂家都推出了基于 MMX 技术的台式机和笔记本电脑,据称今后 Intel 推出的所有 CPU 都将包含 MMX 技术。

1972 年,4004 微处理器的出现,引发了一场改变我们生活的革命:8008、8080、8086、8088、80286、i386、i486、Pentium、Pentium Pro 直至带有 MMX 技术的 Pentium 和 P II(采用双总线结构,含有 750 万个晶体管),Intel 微处理器以每 18 个月便性能翻番而创造了著名的“摩尔定律”。MMX 技术被认为是 Intel 公司自推出 32 位的 i386 芯片以来最重大的变化。MMX 通过采用单指令多数据(SIMD; Single Instruction Multi Data)技术,一条指令就能处理多个数据,大大提高了软件运行速度,将 PC 提升到了一般图形工作站才具有的可视计算能力,使得通常需要借助专用加速硬件或通用 DSP 才能完成的复杂实时信号处理工作,有可能在通用 PC 平台上用高级语言即可编程实现。例如,美国 Motorola 公司展示了基于 MMX 平台软件实现的 V. 34 声音/数据调制解调器(MODEM),由于可省去专用的 MODEM 芯片,用户仅用软件即可升级到 56 kb/s 的 MODEM 新技术,这比更换硬件 MODEM 不仅成本低,而且更容易;而美国 Compcore 多媒体技术公司则开发了用于新一代数字激光视盘(DVD)的解码软件 Soft DVD,可在基于 MMX 平台的 PC 机上用软件实现

DVD 视频的 MPEG-2 解码(每秒 25 帧以上)和音频的 Dolby(杜比)AC-3 解码,具有欣赏 DVD 所需的全部功能。因此,基于 MMX 的软件产品和软件开发将成为今后几年 PC 应用中的一个热点,许多 PC 外设的功能将被纳入到 CPU 中用软件实现。

1.2 MMX 的由来

MMX 技术的构想源于 IA 处理器设计师和软件开发商的共同努力。面对着应用软件对于处理器硬件日益增高的要求,他们首先一起分析了大量的实际应用程序,如图形、MPEG 视频、音乐合成、语音压缩、语音识别、图像处理、游戏、视频会议等。然后,他们将这些应用程序分解,从中找出计算最为密集的例程。接下来,再利用先进的计算机辅助工程(CAE)工具来详细分析这些例程。大量分析的结果表明,在这些不同类别的软件中存在着一些共同的基本特征,主要是:

- 小整数类型(例如 8 位图形像素和 16 位音频样本);
- 不长的但高度重复的循环(例如 DCT 和 FFT);
- 频繁的乘法累加(例如 FIR 滤波和矩阵运算);
- 计算密集型算法(例如三维图形和视频压缩);
- 高度并行的操作(例如图像处理)。

针对这些共性要求,设计了一套基本通用的整数指令,可简便地应用于各种多媒体和通信应用程序,这就是 MMX 技术。

1.3 MMX 的基本特点

MMX 技术通过增加新的通用指令和定义新的 64 位数据类型使微型计算机平台性能达到一个新水平,同时又与基于 IA 平台的软件和操作系统保持兼容。

1.3.1 引入新的数据类型

IA MMX 技术的主要数据类型为紧缩定点整数。定点数值的小数点是隐含的,便于用户控制以得到最大的灵活性。

MMX 定义了下列 4 种新的 64 位数据类型及其紧缩表示,示意如图 1-1:

- 紧缩字节: 8 个字节紧缩在一个 64 位中;
- 紧缩字: 4 个字紧缩在一个 64 位中;
- 紧缩双字: 2 个双字紧缩在一个 64 位中;
- 4 字: 一个 64 位。

MMX 指令可以对这些紧缩的数据值进行操作。

型,对操作系统是透明的。MMX 处理器 100%地与所有现有的 IA 微处理器兼容,现有的各种应用软件可原封不动地在采用 MMX 技术的处理器上继续正常运行。

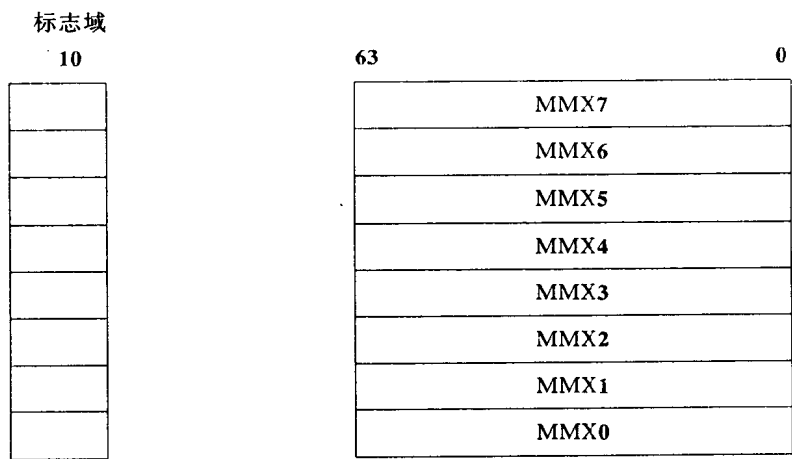


图 1-2 MMX 寄存器组

1.3.5 配置高效指令,增强应用性能

在目前的高级媒体、通信和图形等应用程序中均含有能对短数据类型实现循环操作的复杂算法,IA MMX 技术直接面向这些程序的应用需求,在其指令集中引入了新的通用指令。这些指令可并行地对多个紧缩在 64 位中的不同类型(8 位、16 位和 32 位)数据元素进行算术运算和逻辑运算。一条 MMX 指令能同时操作 8 个字节,且一个时钟周期能执行两条指令,这意味着一个时钟周期能处理完 16 字节的数据元素。这些指令通过采用密集计算算法,对一小段数据进行局部化操作和循环操作,从而增强了应用程序的性能。几乎所有靠重复和循环方式对整数数据进行计算的应用都能从 MMX 技术中获益。

例如,大多数音频数据用 16 位(一个字)来表示,MMX 用一条指令能同时操作 4 个字;图形、图像信息通常用与调色板相应的 8 位(单字节)来表示,而一条 MMX 指令能同时操作 8 个字节。因此,MMX 将大大提高计算机在许多应用领域的性能,如二维图形、三维图形、图像处理、视频处理、多媒体通信、语音识别、语音合成、音像解压缩和虚拟现实等。

1.3.6 降低处理器开销

除提高性能外,MMX 技术还为其它功能释放了附加的处理器周期,使得过去依赖额外硬件的应用,现在只用软件就能执行。降低处理器开销能更好地进行并行操作,这一特色已被今天的许多操作系统所利用。根据 Intel 的分析,对于某些功能,性能改进的幅度为 50%~400%,相当于一个新一代处理器所带来的性能提高。在软件内核里,已观察到 3~5 倍以上的更大的加速。

1.4 本书内容的组织

假设读者已熟悉 IA 的软件模式和汇编语言编程。在此基础上,本书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。范围广泛而具体的应用实例将在下册集中给出。作为全书的上册,本书描述了 IA MMX 指令集,介绍了有关 MMX 技术的体系结构特征、数据类型和数据格式、应用程序设计模型和 MMX 技术系统程序设计模型,讨论了对 MMX 技术软件编程的优化及其理由,解释了如何使用新指令以显著提高应用程序的性能。书中所包含的编程技术和例子也将有助于读者学习编制自己的应用代码。

上册由 9 章和 5 个附录组成。

第 2 章概述了具有 MMX 技术的奔腾和高能奔腾处理器的结构和流水线。

第 3 章介绍 IA MMX 指令集。详细描述了指令、助记符及指令符号,全面展示了这些功能强大的新指令(包括图解)。

第 4 章应用程序设计模型,描述了软件规范及 IA MMX 技术的体系结构,规定了编写 MMX 代码的具体步骤。

第 5 章系统编程要点,讨论了 MMX 与操作系统的接口以及 MMX 与 IA 的兼容性。

第 6 章 MMX 代码开发准则,提供了一个有助于读者开发速度快、效率高的代码准则以及若干注意事项,还提供了有关一般优化、指令调度与选择、高速缓冲存储器及存储器优化的信息。

第 7 章 MMX 代码开发策略,回顾了在建中建立 MMX 程序的步骤。

第 8 章 MMX 编码技术,包含了几个具体编码的例子,有助于读者开始编制 MMX 代码。

第 9 章 MMX 性能监控扩充,详细描述了性能监控计数器及其功能。

附录 A 是 IA MMX 指令集一览表,按功能汇总了各指令。

附录 B 列举了指令格式与编码,并有详细的指令操作剖析及其支撑的数据类型。

附录 C 为指令集与助记符一览表,总结了操作数类型、16 进制编码和使用的格式。

附录 D 为 IA MMX 指令集操作码图,提供了详细的操作码变换图。

附录 E 给出了现有 MMX 技术开发工具的一览表。

最后给出了有关的参考文献,供读者进一步深入研究时参考。