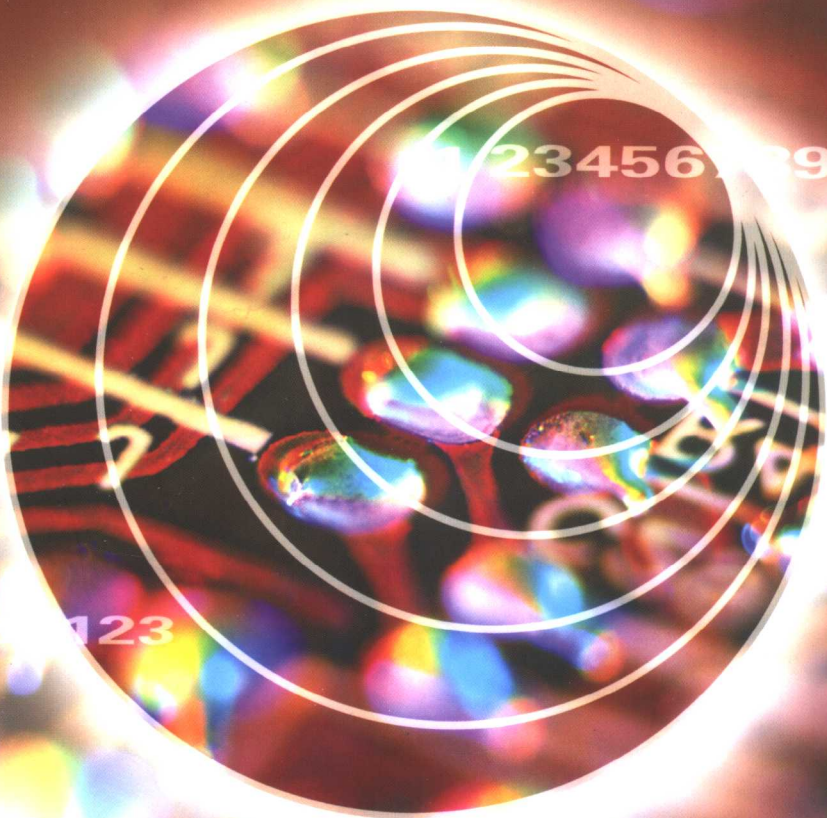


普通高等院校计算机专业（本科）实用教程系列

计算机组成原理

实用教程（第二版）

幸云辉 杨旭东 编著
马桂祥 审



123456789123

23456789123



清华大学出版社

主教材：

- 信息技术基础实用教程（樊孝忠 等编著）
- 数字逻辑实用教程（王玉龙 编著）
- 计算机组成原理实用教程（第二版）（幸云辉 等编著）
- C++ 语言基础教程（徐孝凯 编著）
- 面向对象程序设计实用教程（张海藩 等编著）
- 数据结构实用教程（第二版）（徐孝凯 编著）
- 操作系统实用教程（第二版）（任爱华 等编著）
- 数据库实用教程（丁宝康 等编著）
- 计算机网络实用教程（刘云 等编著）
- 微机接口技术实用教程（艾德才 等编著）
- JAVA 2 实用教程（第二版）（耿祥义 等编著）

辅助教材：

- 数据结构课程实验（徐孝凯 编著）
- 数据结构实用教程习题参考解答（徐孝凯 编著）
- 数据库实用教程习题解答（丁宝康 等编著）
- 面向对象程序设计实用教程习题解答与应用实例（牟永敏 等编著）（配光盘）

选修教材：

- JSP 实用教程（耿祥义 等编著）

ISBN 7-302-07265-5



9 787302 072652 >

定价：30.00 元

普通高等院校

计算机组成原理实用教程

(第二版)

幸云辉 杨旭东 编著
马桂祥 审

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分8章。内容包括计算机系统概述、数码系统、运算方法与运算器、存储系统、指令系统、中央处理器、输入输出设备及输入输出系统等。各章后均附有适当数量的习题和思考题。附录中列出经过多年实践成功开出的5个实验。

本书内容全面、概念清楚、选材适当、结构合理、深入浅出、循序渐进,具有科学性和启发性。反映出作者多年来的教学经验。

本书是普通高等院校计算机各专业的教材,也可供从事计算机工作的工程技术人员自学或参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理实用教程/幸云辉,杨旭东编著.第二版.一北京:清华大学出版社,2004.1

(普通高等院校计算机专业(本科)实用教程系列)

ISBN 7-302-07265-5

I. 计… II. ①幸…②杨… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第083487号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

责任编辑: 徐培忠

封面设计: 付剑飞

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 20.5 字数: 478千字

版 次: 2004年1月第2版 2004年1月第2次印刷

书 号: ISBN 7-302-07265-5/TP·5275

印 数: 3001-6000

定 价: 30.00元

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

序 言

时光更迭、历史嬗递。中国经济带着她足以令世人惊叹的持续高速发展驶入了一个新的世纪,一个新的千年。世纪之初,以微电子、计算机、软件、通信技术为主导的信息技术革命给我们生存的社会所带来的变化令人目不暇接。软件是优化我国产业结构、加速传统产业改造和用信息化带动工业化的基础产业,是体现国家竞争力的战略性产业,是从事知识的提炼、总结、深化和应用的高智型产业;软件关系到国家的安全,是保证我国的政治独立、文化不受侵蚀的重要因素;软件也是促进其他科学发展和提升的基础学科;软件作为20世纪人类文明进步的最伟大成果之一,代表了先进文化的前进方向。美国政府早在1992年“国家关键技术”一文中提出“美国在软件开发和应用上所处的传统领先地位是信息技术及其他重要领域竞争能力的一个关键因素”,“一个成熟的软件制造业的发展是满足商业与国防对复杂程序日益增长的要求所必须的”,“在很多国家关键技术中,软件是关键起推动作用(或阻碍作用)的因素。”在1999年1月美国总统信息技术顾问委员会的报告“21世纪的信息技术”中指出“从台式计算机、电话系统到股市,我们的经济与社会越来越依赖于软件”,“软件研究为基础研究方面最优先发展的领域”。而软件人才的缺乏和激烈竞争是当前国际的共性问题。各国、各企业都对培养、引进软件人才采取了特殊政策与措施。

为了满足社会对软件人才的需要,为了让更多的人可以更快地学到实用的软件理论、技术与方法,我们编著了《普通高等学院计算机专业(专科)实用教程系列丛书》。本套丛书面向普通高等院校学生,以培养面向21世纪计算机专业应用人才(以软件工程师为主)为目标,以简明实用、便于自学、反映计算机技术最新发展和应用为特色,具体归纳为以下几点:

1. 讲透基本理论、基本原理、方法和技术,在写法上力求叙述详细,算法具体,通俗易懂,便于自学。

2. 理论结合实际。计算机是一门实践性很强的科学,丛书贯彻从实践中来到实践中去的原则,许多技术理论结合实例讲,以便学习的理解。

3. 本丛书形成完整的体系,每本教材既有相对独立性,又不相互衔接和呼应,为总的培养目标服务。

4. 每本教材都配以习题和实验,在各教学阶段安排课程设计或大作业,培养学生的实战能力与创新精神。习题和实验可以制作成光盘。

为了适应计算机科学技术的发展,本系列教材将本着与时俱进的精神不断修订更新,及时推出第二版,第三版……。

新世纪曙光激人向上,催人奋进,江泽民总书记在十五届五中全会上的讲话:“大力推进国民经济和社会信息化,是覆盖现代化建设全局的战略举措。以信息化带动工业化,发挥优势,实现社会生产力的跨越式发展”。指明了我国信息界前进的方向。21世纪日趋开放的国策与更加迅速发展科技会托起祖国更加辉煌灿烂的明天。

孙家广
2004年1月

普通高等院校计算机专业(本科)实用教程系列

编 委 会

主 任 孙家广(清华大学教授,中国工程院院士)

成 员 (按姓氏笔画为序)

王玉龙(北方工业大学教授)

艾德才(天津大学教授)

任爱华(北京航空航天大学教授)

刘 云(北方交通大学教授)

幸云辉(北京邮电大学教授)

张海藩(北京信息工程学院教授)

徐孝凯(中央广播电视大学教授)

徐培忠(清华大学出版社编审)

樊孝忠(北京理工大学教授)

丛书策划 徐培忠 徐孝凯

前 言

“计算机组成原理”是计算机系各专业的必修课程之一,属于专业基础课。它为计算机系学生学好后续专业课程起着很重要的作用。

本书在编写过程中力求做到内容全面、概念清楚、选材恰当、结构合理,结合作者本人多年来从事这一课程的教学经验,征求和收集了部分教授、专家的意见和建议,也参考了国内外有关的教材和文献资料。力求符合认识论规律,由浅入深,循序渐进。按照作者本人的思路,深入浅出、图文并茂,具有科学性和启发性。鉴于计算机技术的飞速发展,不断地推出新概念、新技术、新机型和新结构。本教材注重内容的先进性与实用性,在讲授一般原理的同时,注意理论联系实际。

本课程要求在《数字逻辑电路》课程之后开设,因此本教材未再重复有关内容。全书共分9章。第1、2章介绍计算机基础知识,包括计算机的基本组成、主要技术指标、计算机中的数制与码制、数据的表示方法、对于计算机中的检错、纠错码也做了必要的探讨;第3章介绍运算方法与运算器的组成,包括定点数和浮点数的算术运算方法及其实现,结合当前流行的SN74181和SN74182芯片的介绍,对加法器的进位信号的形成做了较详细的论述;第4章介绍存储系统,从一般的半导体读写存储器和只读存储器入手,介绍了并行主存系统、cache-主存存储层次和虚拟存储系统的构成;第5章介绍指令系统,指令系统是计算机系统中软、硬件的交界面,主要讨论了指令格式的优化,介绍几种常用的典型寻址方式;第6章是中央处理器,主要对控制器进行了较深入的探讨,介绍典型的CPU结构,将运算器和控制器结合在一起,最后对计算机中的流水结构作了简要分析;第7章是输入输出设备,介绍几种常用的输入输出设备的基本结构;第8章是输入输出系统,主要介绍输入输出设备与主机交换信息的几种方式;第9章介绍计算机系统结构的新发展,简要介绍了RISC计算机、并行处理机和多处理机系统。最后在附录中列出了成熟开出的5个实验的实验指导书。

本课程的参考学时数为70~80学时,另外增加15学时的实验,打*的章节大专班可以不讲。

全部书稿由马桂祥教授审阅,提出了许多宝贵的修改意见;并征求了许多专家和教授的意见;张杰、靳秀国等同志提供了实验素材,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,加上时间仓促,缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正,我们将不胜感激。

编著者

2004年1月

再版前言

随着计算机技术和硬件的高速发展,基础技术显得特别重要。我们知道万丈高楼平地起,打好地基是很重要的。而“计算机组成原理”作为计算机技术最基础的课程,能为后续计算机软硬件课程打下坚实的基础是特别重要的,对于进一步学习和应用计算机的读者,需要概念特别清楚,结构掌握得更加扎实,思路也要清晰,也就是说,要给初学者更加明确的指导,这就是本书再版的宗旨。

再版与第一版不同之处有以下三个方面:

1. 对第一版内容不够充实之处,再版时适当地增加必要的内容。
2. 对有关“接口芯片”的内容进行了适当的删除,因其详细内容在“微机接口技术”教材中讨论。
3. 删除了第9章内容。因为本章内容属于高档次计算机中专用的一些高技术、高结构,有兴趣者在进一步学习“计算机系统结构”课程中会有所讨论。

本教材已发行2万册,由于读者对本书的信任和支持,提出了不少宝贵意见,这次再版时作者相应地做了补充和修改。作者特别感谢广大读者的建议和意见,书中倘有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2004年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机的发展与应用	1
1.1.1 计算机发展概况.....	1
1.1.2 计算机的应用.....	3
1.2 计算机的组成——硬件和软件	4
1.2.1 计算机硬件的组成.....	4
1.2.2 计算机软件的组成.....	5
1.3 计算机系统的层次结构	7
1.4 计算机的工作过程	8
1.5 计算机系统的主要技术指标.....	10
1.5.1 机器字长	10
1.5.2 运算速度	10
1.5.3 机器容量	11
习题与思考题	12
第 2 章 数码系统	13
2.1 计算机中数据的表示方法.....	13
2.1.1 符号数据的表示方法	13
2.1.2 数值数据的表示方法	14
2.2 机器数的编码格式	18
2.2.1 原码表示法	18
2.2.2 补码表示法	19
2.2.3 反码表示法	23
2.2.4 浮点数的原码、反码和补码表示法	23
2.2.5 移码表示法	24
* 2.2.6 实用浮点数格式	25
2.2.7 十进制数的编码格式	26
2.3 错误检测码	28
2.3.1 奇偶校验码	28
* 2.3.2 海明码	29
* 2.3.3 循环校验码	33
习题与思考题	36

第 3 章 运算方法与运算器	38
3.1 定点加、减法运算及其实现	38
3.1.1 补码加、减法运算方法	38
3.1.2 定点加、减法运算中的溢出问题	41
3.1.3 补码加、减法运算的实现	43
3.2 定点乘法运算及其实现	45
3.2.1 原码一位乘法	45
3.2.2 补码一位乘法	48
3.3 定点除法运算及其实现	54
3.3.1 原码除法运算	54
3.3.2 补码除法运算	60
3.4 浮点数的算术运算方法	64
3.4.1 浮点数的加、减法运算	64
3.4.2 浮点数的乘、除法运算	68
3.5 逻辑运算及其实现	70
3.6 运算器的分析与组成	73
* 3.6.1 并行进位方式的实现	73
* 3.6.2 两级分组“并-并”行进位方式的实现	77
3.6.3 多功能算术逻辑运算单元(SN 74181)	81
* 3.6.4 组间并行进位逻辑(SN 74182)	84
3.6.5 定点运算器的基本结构	86
习题与思考题	90
第 4 章 存储系统	93
4.1 概述	93
4.1.1 主存储器的主要技术指标	93
4.1.2 存储器的层次结构	94
4.1.3 存储器的分类	95
4.2 半导体随机读写存储器(RAM)	96
4.2.1 MOS 存储器的存储元电路	96
4.2.2 双极型存储器的存储元电路	100
4.2.3 半导体读写存储器的基本结构	102
4.2.4 静态 MOS 随机存储器芯片举例	104
4.2.5 动态 MOS 随机存储器芯片举例	106
4.2.6 动态存储器的刷新	108
4.2.7 内存条	110
4.3 半导体只读存储器	111
4.3.1 掩模式只读存储器	111

4.3.2	可编程只读存储器	112
4.3.3	可擦除可编程只读存储器	113
4.3.4	电可擦可编程只读存储器	115
4.4	主存储器的组成与控制	118
4.4.1	主存储器容量的扩充	118
4.4.2	访存地址的译码方式	123
4.4.3	主存储器的编址方式	128
4.4.4	主存储器综合举例	129
* 4.5	提高主存储器性能的措施	133
4.5.1	并行主存系统	133
4.5.2	高速缓冲存储器(cache)	136
4.5.3	虚拟存储系统	140
	习题与思考题	146
第5章	指令系统	148
5.1	指令格式	148
5.1.1	操作码	148
5.1.2	地址码	148
5.2	指令格式的优化	149
* 5.2.1	哈夫曼压缩概念	150
5.2.2	指令操作码的压缩	151
5.2.3	扩展操作码法	154
5.3	寻址方式	155
5.3.1	直接寻址方式	156
5.3.2	寄存器寻址方式	157
5.3.3	间接寻址方式	157
5.3.4	基址寻址方式	159
5.3.5	变址寻址方式	160
5.3.6	块寻址方式(串寻址方式)	161
5.3.7	隐含寻址方式	161
5.3.8	立即寻址方式	161
5.3.9	相对寻址方式	162
5.4	堆栈结构及其寻址	163
5.4.1	硬堆栈	163
5.4.2	软堆栈	164
5.5	指令系统举例	165
5.5.1	指令的分类	165
5.5.2	指令系统举例	167

5.6 指令系统的发展	169
习题与思考题	169
第 6 章 中央处理器	171
6.1 控制方式	171
6.1.1 同步控制方式	171
6.1.2 异步控制方式	171
6.1.3 混合控制方式	171
6.2 指令的执行过程	172
6.2.1 指令周期	172
6.2.2 指令操作流程图	172
6.3 控制器的功能	174
6.3.1 指令控制功能	174
6.3.2 时序控制功能	175
6.3.3 操作控制功能	175
6.4 控制器的组成	175
6.4.1 程序计数器 PC(Programming Counter)	175
6.4.2 指令寄存器 IR(Instruction Register)	175
6.4.3 指令译码器 ID(Instruction Decoder)	175
6.4.4 时序部件	175
6.4.5 微操作控制部件	176
6.4.6 中断系统	176
6.4.7 操作控制台	176
6.5 时序部件	177
6.5.1 脉冲源	178
6.5.2 节拍信号发生器	178
6.5.3 启停逻辑	180
6.6 微操作控制部件	181
6.6.1 组合逻辑控制器	181
6.6.2 微程序控制器	184
* 6.6.3 PLA 控制器	193
6.7 中断系统	195
6.7.1 中断系统的功能	197
6.7.2 中断的分类	197
6.7.3 中断的分级	198
6.7.4 中断排队的实现	199
6.7.5 中断向量的引入	201
6.7.6 一次中断处理的全过程	203

6.7.7 中断系统举例	204
* 6.8 CPU 中的流水结构	205
6.8.1 基本概念	206
6.8.2 流水结构的分类	207
6.9 CPU 结构举例	210
6.9.1 8086 CPU	210
* 6.9.2 80386/80486 CPU	211
* 6.9.3 Pentium 微处理器	212
习题与思考题	214
第 7 章 输入输出设备	216
7.1 键盘输入设备	216
7.1.1 编码键盘	216
7.1.2 非编码键盘	218
7.1.3 IBM PC 机中的键盘	220
7.2 显示输出设备	221
7.2.1 CRT 显示器	221
7.2.2 字符显示器工作原理	223
7.2.3 图形显示器工作原理	225
7.2.4 IBM-PC 序列微型机中的显示系统	227
7.3 打印输出设备	228
7.3.1 打印机的分类	228
7.3.2 点阵式打印机	229
7.3.3 行式打印机	230
7.3.4 激光打印机	231
7.4 汉字处理设备	234
7.4.1 汉字的编码与输入	234
7.4.2 汉字的存储	236
7.4.3 汉字的输出	237
7.4.4 汉字信息处理系统	239
7.5 磁表面存储器	239
7.5.1 磁表面存储器读写信息的原理	239
7.5.2 记录方式	240
7.5.3 磁盘存储器	242
7.5.4 磁带存储器	245
7.6 光盘存储器	247
7.6.1 光盘存储器的分类	247
7.6.2 光盘存储器的记录方式	247

7.6.3 光盘存储器的组成及其工作原理·····	248
习题与思考题·····	250
第 8 章 输入输出系统 ·····	251
8.1 输入输出设备的编址方式 ·····	251
8.1.1 统一编址方式 ·····	251
8.1.2 独立编址方式 ·····	252
* 8.2 总线结构 ·····	253
8.2.1 概述·····	253
8.2.2 总线的控制方式·····	253
8.2.3 总线通信方式·····	255
8.2.4 总线上信息的传送方式·····	257
8.2.5 总线接口·····	258
8.3 输入输出控制方式 ·····	266
8.3.1 程序查询方式·····	266
8.3.2 程序中断方式·····	267
8.3.3 直接存储器访问方式(DMA) ·····	267
8.3.4 通道方式和 IOP 方式 ·····	272
习题与思考题·····	278
附录一 计算机组成原理实验指导书 ·····	279
第一部分 JYS-Ⅲ型实验箱简介 ·····	279
第二部分 实验内容·····	287
附录二 集成电路引脚图 ·····	307
参考文献 ·····	310

第 1 章 绪 论

1.1 计算机的发展与应用

1.1.1 计算机发展概况

电子计算机是一个统称,实际上它被明确地分成两大类:“电子模拟计算机”和“电子数字计算机”。前者是使用连续变化的物理量(例如电流、电压等)来表示数值的大小并参加机内运算,其运算结果自然也是连续变化的物理量;后者是将运算对象数字化成为离散的数字量,用数码进行运算,其运算结果也是离散的数字信息,它运算速度快、运算精度高,现代人们所说的“电子计算机”或“计算机”,都是指“电子数字计算机”,也是本书讨论的对象。

世界上第一台电子数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)可直译为“电子数字积分计算机”。它是在美国陆军部主持下,由美国宾夕法尼亚大学于 1946 年研制成功的。ENIAC 是一个庞然大物,它共用了 18 000 多个电子管,耗电 150 kW,重量达 30t,其运算速度为 5 000 次/s 左右,现在看来它性能不高,但是在计算机发展史上它成为一个重要的里程碑,由它奠定了电子数字计算机的基础,开创了电子数字计算机的新纪元。

从第一台电子数字计算机问世至今只有 50 多年的历史,但其发展速度是世界上其他任何学科无法比拟的。通常根据其使用的主要电子器件,将电子数字计算机分成四个发展时代。

1. 第一代(1946 年~20 世纪 50 年代末期)

这一发展时代的主要特点是使用电子管作为计算机的基本器件。因此它必然是体积大、耗电多、速度慢、可靠性低。初期主要为军事或国防的需要研制计算机,其运算速度一般在每秒运算几千次或上万次。

这一代计算机的主要贡献是:

- (1) 确立了模拟量可以变换成数字量进行计算,开创了数字化技术的新时代。
- (2) 确立了计算机的基本结构。
- (3) 确定了程序设计的基本方法。
- (4) 首创使用阴极射线管(CRT)作为计算机的字符显示器。

2. 第二代 (20 世纪 50 年代末期~60 年代中期)

这一发展时代的主要特点是使用晶体管作为计算机的基本器件,使得计算机的体积缩小、耗电减少、重量减轻、可靠性提高。

这一代计算机的主要贡献是:

- (1) 计算机开始用到图形处理领域,开创了计算机处理文字和图形的新阶段。
- (2) 鼠标器问世,使计算机的输入方式发生了重大变化。
- (3) 开始有了通用机和专用机之分,而且通用机的发展势头很大。
- (4) 多种高级语言投入使用。

我国跳过了电子管计算机时代,从 1958 年开始研制使用晶体管的第二代电子数字计算机。

3. 第三代 (20 世纪 60 年代中期~70 年代初期)

这一发展时代的主要特点是使用中、小规模集成电路(MSI 和 SSI)作为计算机的基本器件。

这一代计算机的主要贡献是:

- (1) 计算机运算速度提高到每秒运算百万次以上。
- (2) 多种更完善的操作系统推向使用。
- (3) 推出“系列机”的概念,较好地解决了计算机的硬件不断更新而软件相对稳定的矛盾,受到用户的普遍欢迎。
- (4) 根据计算机的主要性能(例如字长、运算速度和机器容量等)将计算机分成巨型机、大型机、中型机和小型机等不同型号。

4. 第四代 (20 世纪从 70 年代初期开始)

这一代计算机的主要特点是使用大规模或超大规模集成电路(LSI 或 VLSI)作为计算机的基本器件。作为第四代计算机的典型代表——“微型计算机”应运而生。

1971 年 Intel 公司的第一台微型计算器 4004 问世,应该说这是计算机发展史上的又一个里程碑。从此,微型计算机字长从 4 位→8 位→16 位→32 位→64 位迅速升级,其性能已达到甚至超过 70 年代中、小型计算机的水平。微型计算机以其小巧玲珑、性能稳定、可靠性高、对环境无特殊要求为特点,尤其是价格便宜,吸引了越来越多的用户,显示出很强的生命力,到 80 年代微型计算机进入全盛时期,1989 年由 Intel 公司推出的 80486,其运算速度已经达到 90 MIPS(9 000 万次/s),与同期的某些大型机不相上下,相继推出的 Pentium, Pentium II 和 Pentium III 机器字长已达到 64 位。至此,已经不能用运算速度或机器字长等性能来作为计算机分型的依据了。

90 年代以来,计算机是否应该进入一个更新的时代,目前还没有权威性的说法。有人说应该是多媒体计算机时代、网络计算机时代,计算机集文字、图形、声音、图像于一体。1993 年信息高速公路的提出,促进计算机与通信相结合形成了各种规模的计算机网络,从局域网、城域网、广域网到国际互联网,使得计算机的发展永无止境,前途无量。