

全国高等院校信息管理专业系列教材

计算机组成原理教程

张基温 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是针对信息管理专业本科生应具备的计算机硬件知识而编写的一本教材。全书共分六章:第 1 章介绍计算机的概貌和基本组成原理;第 2 章介绍计算机内容的信息表示和运算基础;第 3 章~第 5 章分别介绍存储系统、处理机技术和输入/输出系统;第 6 章介绍计算机体系结构及其发展。

本书概念清晰、涉及面广,取材贴近当前计算机的新技术和新思想,内容安排符合教学规律并且不要求以电子线路等作为其先修课,适合作为信息管理专业的教材,也可以作为计算机软件、计算机应用、工业自动化和管理工程等专业的教材,也可供有关工程技术人员和自学者使用。

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。

书 名: 计算机组成原理教程

作 者: 张基温编著

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

因特网地址: www.tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京环球印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京科技发行所

责任编辑: 范素珍

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 372 千字

版 次: 1998 年 1 月 第 1 版 1998 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02787-0/TP·1454

印 数: 0001~8000

定 价: 16.00 元

出版说明

20世纪三四十年代,长期摸索前进的古老的计算技术与刚走向成熟的电子技术结合。这一结合,不仅孕育了新一代计算工具——电子计算机,还产生了当时谁也没有料到的巨大效应:电子计算机——这种当初为计算而开发出来的工具,很快就超出计算的范畴,成为“信息处理机”的代名词;人类开始能够高效率地开发并利用信息;信息对人类社会的作用得以有效地发挥,并逐步超过材料和能源成为人类社会的重要支柱;信息产业急剧增长,信息经济高度发展,社会生产力达到了新的高度;人们的信息化意识不断加强,人类在信息资源方面开始更加激烈的竞争,社会发展走上信息化轨道。

科学技术是第一生产力,教育是基础。为了加速社会信息化的过程,以培养信息资源开发人才为目标的信息管理专业应运而生。

从与信息有关的学科纵向来看,信息管理处于信息学、信息技术、信息管理、信息经济、信息社会学这个层次的中间,它下以信息学和信息技术为基础,上与信息经济和信息社会学相关联。从其涉及的学科横向来看,它处在管理学、信息科学与技术、系统科学等有关学科领域的交叉点上。它对技术有极高的要求,又要求对组织的深刻理解和对行为的合理组织,反映了科学与人本融合的特点。这种交叉和融合正是信息管理的最重要特征,是别的学科或专业难以取代和涵盖的。

我国的信息管理专业创建于20世纪70年代末。在不到20年的时间里,已发展到150多个点,成为培养信息化人才的主要摇篮。其发展速度之快、影响之深远已令世人和学术界刮目相待。

然而,作为一个新的学科,这个专业的课程体系、教学内容以及教学方法都需要经历一个逐步完善、逐步成熟的过程。特别是教材的建设更需要经过长期的实践和探索。没有这样一个过程,具有专业特点、符合中国实际的教材是不可能产生的。近20年来大家一直在课程体系的完善和建设有自己专业特点的教材方面不断进行探讨。1991年全国10所财经类院校的经济信息管理专业负责人会聚在太原召开第一次教学研讨会。以后,1993年在大连、1995年在武汉、1997年在烟台,又有更多的院校参加了这一研讨。在讨论中,各校的同志们一致认为,教材建设是当务之急,它不仅直接体现和落实培养目标,同时也是学科建设的根本所在,目前一些课程缺乏专业特点,简单搬用其他专业教材的状况急需改变。在武汉会议上,这一共识得到了到会的国家教委有关部门负责同志的赞许,清华大学出版社也对此表示了热情的支持。会议确定了首批计划编写八九本教材,由张基温教授主持实施,由清华大学出版社出版。在实施过程中,还聘请了魏晴宇、陈禹两位教授作为顾问。

经过两年多的工作,在全国许多高等院校的同仁共同努力下,其中7本已完成初稿。我们希望这批教材的问世,将能够抛砖引玉,对各校信息管理专业的建设与发展有所裨益。

近20年来的实践使我们对信息管理专业的重要性和困难有了切身的体会。一方面,席卷全球的信息化大潮把信息管理推到了时代发展的前沿,信息、信息管理、信息系统已经成为全社会关注的热点。这为信息管理专业的建设创造了良好的外部条件,提供了难得的机

遇。另一方面,信息技术的迅速发展与普及,多种社会经济因素的互相渗透和影响,前所未有的许多新问题、新情况的出现,又给这个专业的发展带来了很大的困难。我们深感责任之重大和任务之艰巨。在这套教材问世之时,我们再次表示这样一个心愿:希望与全国的同行共勉,为祖国信息化建设的宏伟事业多添一块砖,多加一块瓦,多出一份力,培养出更多的优秀人才。

由于如上种种原因,这套教材当然不会是完整的,也不会是完美的。它必然要不断补充、不断修改、不断完善。因此,对于它的任何修改意见,都是我们非常盼望的。希望能够在这套教材出版后,收到更多的意见和建议,使之逐步走向成熟。

全国高校计算机基础教育研究会
财经信息管理专业委员会
信息管理专业教材编委会

1997.9

前 言

从信息技术的角度,信息管理专业属亚计算机类专业。对计算机专业,一般要开设如下一些硬件类课程:数字逻辑、计算机原理、计算机外部设备、计算机体系结构、微型计算机原理、计算机接口技术等。信息管理专业与计算机专业的不同,它还要开设管理类课程。让信息管理专业的学生熟悉信息系统中硬件子系统的结构,掌握其参数的选择技术很有必要,但又没有学时能像计算机专业那样安排很多的软件类课程。因此,这门课定位于信息管理专业的必修核心课,其内容应以计算机系统结构为主线,以计算机原理为重点的一门硬件综合性课程。

对计算机系统结构的研究,有两个不同的角度:从软件开发(在机器语言或汇编语言级进行软件设计的)人员的角度和从计算机设计人员的角度。前者关心的是怎样合理地进行硬软件功能的分配,为软件人员提供更适合的环境;后者关心的是怎样实现分配给硬件的功能和指标,通过部件的逻辑设计、物理实现和合理地连接,提高计算机系统的性能价格比。考虑到信息管理专业的培养目标,本书的讨论涉及了这两个方面,但不涉及电路细节。由于信息管理专业还要开设计算机网络,这部分内容也不列入本书。

哈尔滨工业大学胡铭曾教授、山东大学毕庶本教授先后仔细地审阅了本书的初稿,提出了宝贵的、重要的修改意见,并给予笔者以热情的鼓舞。在本书即将出版之际,谨向他们表示诚挚的谢意。

本书涉及面广,既要讲清计算机的系统结构和工作原理,又要力求反映计算机科学中的新技术和新思想,还要考虑学时数的限制,加之作者的水平有限、成书仓促,错误和问题难免,希望得到更多的批评和建设性意见。

张基温

1997年8月

目 录

第 1 章	Neumann 计算机概述	1
1.1	Neumann(诺依曼)计算机体系的确立	1
1.1.1	人类计算工具的进步	1
1.1.2	Neumann(诺依曼)计算机体系结构原理	4
1.1.3	Neumann 计算机的基本组成	5
1.2	Neumann 计算机的工作过程	7
1.2.1	程序对计算机的控制	7
1.2.2	控制的实现	8
1.2.3	计算机的解题过程	9
1.3	计算机系统组成	12
1.3.1	计算机的软件和硬件	12
1.3.2	总线与硬件体系结构	13
1.3.3	系统举例——IBM PC 系统结构	15
1.3.4	计算机系统性能	20
1.3.5	计算机技术的进展	21
	习题	24
第 2 章	信息表示与运算基础	26
2.1	二进制运算及其实现	26
2.1.1	二进制数与十进制数间的转换	26
2.1.2	二进制算术	27
2.1.3	加法器	28
2.1.4	逻辑运算与逻辑电路	30
2.1.5	八进制、十六进制和二-十进制码	33
2.2	机器数	34
2.2.1	符号数及其编码	34
2.2.2	机器数的浮点与定点表示法	37
2.3	非数值数据编码	39
2.3.1	ASCII 字符编码	39
2.3.2	汉字编码	40
2.3.3	语音编码	42
2.4	指令码	43
2.4.1	指令与指令系统	43

2.4.2	寻址方式	47
2.4.3	Intel 8086 指令系统	51
2.5	抗干扰编码.....	55
2.5.1	奇偶校验码	55
2.5.2	海明码	57
2.5.3	循环冗余校验码(CRC)	58
	习题	60
第3章	存储系统	68
3.1	分级存储体系的形成.....	68
3.1.1	对存储系统的性能要求	68
3.1.2	存储系统的分层结构	70
3.1.3	虚拟存储器	72
3.1.4	Cache-主存结构	74
3.2	主存储器组成.....	77
3.2.1	半导体记忆元件	77
3.2.2	主存储器结构	81
3.2.3	并行存储结构	84
3.2.4	并行系统中的存储组织	87
3.2.5	相联存储器	88
3.3	辅助存储器.....	90
3.3.1	辅助存储器的主要技术指标	90
3.3.2	磁表面存储原理	91
3.3.3	磁盘存储器	93
3.3.4	磁带存储器	98
3.3.5	光盘存储器	99
3.3.6	磁盘阵列 RAID	104
	习题.....	105
第4章	处理器技术	108
4.1	控制器基本逻辑	108
4.1.1	指令的时序.....	108
4.1.2	控制器的基本组成.....	110
4.1.3	组合逻辑控制器.....	111
4.1.4	微程序控制器.....	114
4.2	流水线技术	115
4.2.1	提高计算机处理能力的基本思路.....	115
4.2.2	流水线结构.....	117
4.2.3	流水线中的访存冲突和相关处理.....	119

4.2.4	流水线中的多发射技术.....	122
4.2.5	Pentium CPU	123
4.2.6	流水线向量处理机.....	126
4.3	RISC 技术	130
4.3.1	RISC 的产生	130
4.3.2	RISC 技术要点	133
4.3.3	Power PC	138
4.3.4	RISC, CISC, VLIW 技术的融合	139
4.4	阵列处理机	140
4.4.1	计算机并行技术的进步与开发策略.....	140
4.4.2	阵列处理机的特点与结构.....	141
	习题.....	143
第 5 章 输入/输出系统		145
5.1	外部设备	145
5.1.1	外部设备分类及其发展.....	145
5.1.2	字符输入设备.....	148
5.1.3	字符输出设备.....	149
5.1.4	图形/图象设备	151
5.1.5	语音处理设备.....	157
5.1.6	虚拟现实技术.....	158
5.1.7	调制解调器.....	160
5.1.8	流通领域用外部设备.....	162
5.2	数据传送的控制方式	165
5.2.1	直接程序传送控制.....	165
5.2.2	程序中断控制.....	167
5.2.3	DMA 控制	175
5.2.4	通道控制.....	180
5.3	接口	185
5.3.1	外部设备与主机的连接.....	185
5.3.2	并行通信和并行接口.....	187
5.3.3	串行通信和串行接口.....	189
5.3.4	缓冲技术.....	191
	习题.....	192
第 6 章 计算机系统结构		194
6.1	总线	194
6.1.1	总线类型及其通信方式.....	194
6.1.2	总线的组成与仲裁.....	197

6.1.3	总线特性与性能指标.....	199
6.1.4	设备总线.....	202
6.1.5	系统总线.....	204
6.1.6	局部总线.....	205
6.2	多机系统	208
6.2.1	Flynn 计算机系统分类	208
6.2.2	共享总线的多机系统.....	210
6.2.3	共享存储器的多处理机系统.....	212
6.3	非 Neumann 计算机	212
6.3.1	数据流计算机.....	213
6.3.2	归约机.....	217
6.3.3	智能计算机.....	218
6.3.4	人工神经网络计算机.....	222
	习题.....	228
	参考文献	229

第 1 章 Neumann 计算机概述

1.1 Neumann(诺依曼)计算机体系的确立

1.1.1 人类计算工具的进步

人类的劳动和智慧创造了工具,用以扩展并延伸自己的功能:用机械工具扩展并延伸四肢的功能;用测试工具扩展并延伸五感的功能;计算工具则是脑功能的扩展和延伸。

随着生产力水平不断提高、科学技术的不断进步,人类对数学以及计算工具的依赖越来越大、要求越来越高,科学技术为计算工具所提供的物质和技术支持也越来越大。迄今为止,从扩展和延伸自己大脑功能的角度,人类利用计算工具已经历了记数—计数—高精度和高速度计算—自动并更高速度地处理更复杂问题等四个阶段;从计算机的物理结构的角度,计算机已经历了手工—机械—电子—……等阶段。图 1.1 为人类计算工具的进步概况图。

图 1.1 计算工具的发展概况

1. 手工时代

远古时期,人类没有文字,只能通过刻木记事、结绳记事、穴石记事的方法记载发生过的事件。但是随着时间的推移,刻痕、绳结、石块所代表的具体事件不可分辨时,留下的便是事件多少的记载。这便是“数”的开始。显然,这个时期的“记事”不过是“记数”而已,用以记事的刻痕、绳结、石块实质上是记数的工具。

人类社会的生产力稍有提高,从刻木记事、结绳记事、穴石记事中获得的简单的“多”与

“少”的概念,便不能再满足要求了。为了对数进行准确的比较,多数人选择了最自然、最熟悉、使用起来最方便的十指对数进行度量。从此,人类由记数进步到计数,人的十指除了劳动之外还兼了计数和计算的工具。人类用十指扩展了自己大脑的计算功能。这种天赋的计算工具迄今还常被人们用来进行简单的计算。

用十指计数,产生了相应的十进制计数法。在此基础上,逐步形成了今天的具有一整套公理和计算方法的数学体系。

2. 机械时代

当生产力进一步发展到十个手指提供的运算精度不能满足科学和技术需要的时候,人们便不得不开始寻找非自然的计算工具。算盘便是历史上有记载的、最早的、功能较完善的机械式计算工具。如图 1.2 所示,算盘由边、梁、档、珠四部分组成,每一档模拟一个人,每档梁上的两个珠子模拟了一个人的双手,梁下 5 个珠子模拟了一只手的 5 个指头,增加档数便可成倍地提高运算的精度。

图 1.2 算盘的构成

用算盘计算称为珠算。珠算除了要使用算盘之外,还要使用口诀。口诀是针对算盘的结构特点设计的基本操作集,用今天计算机的术语,可以称为算盘的指令系统或珠算语言。对不同的计算,要使用这个指令系统中的操作的不同序列。

珠算的发明是人类计算工具史上的一次大飞跃,它的科学性经住了长期实践的考验,在今天仍然有着极其顽强的生命力。这是中华民族对人类文明的重大贡献之一。据记载,公元前五六世纪,我国便开始使用算盘了。十五十六世纪我国的算盘传至日本,并影响于欧洲,激励了各国计算工具的发展。

在欧洲,人们所知道的最早能做加、减法的计算机是 Pascal 于 1642 年设计的。这种机器曾在法国用于计算税收取得了很大的成功。1673 年数学家 Leibnitz 改进了 Pascal 的设计,为其增加了乘、除运算。这两种机器发明较早,可惜由于当时的生产技术水平还不能提供廉价、精密的零件,使得大约经历了两个世纪,直到 19 世纪手摇计算机才得以商品化生产。

这一时期计算工具的特点是,机器要由人按照一定的步骤操作,每一步运算都要靠操作者供给操作数,决定进行什么样的操作并安排计算结果。人们常说的“算盘珠子不拨不动”,就是这种计算工具工作原理的生动写照。计算过程中频繁的人工干预大大限制了计算的速度,并把人束缚于机器。随着科学技术的发展和生产力的进一步提高,人们开始期待新的革命性的计算工具,实现自动运算,减少人的干预,把科学家和技术人员从繁杂的计算过程中解放出来。这一愿望最早由英国数学家 Charies Babbage 进行了尝试。

1812 年, Babbage 设计了一种被称为 Babbage 分析机的自动计算机。Babbage 设想的这台分析机由“工厂”和“仓库”两部分组成。“仓库”分为 1000 排,每排有 50 只齿轮,齿轮的不

同位置表示不同的数据;用当时提花机上编织复杂图案用的穿孔卡片略加修改后作为计算步骤和数据的输入;最后排出打印用的铅字作为计算结果的输出。Babbage 还建议机器应具有操作者事先不知道的、从几种方案中选择某一种方案的能力。用今天的计算机术语可以把 Babbage 的设计思想概括为:

- CPU——“工厂”
- 存储器——“仓库”
- 卡片输入
- 打印输出
- 条件转移
- 计算机程序

Babbage 分析机的蓝图提出了自动计算机必须包含的 5 大功能:输入、处理、存储、控制、输出,为现代自动计算技术找出了一条道路:计算机只有具有了记忆功能,能记住数据和要进行的操作步骤,并按这些步骤的规定对机器进行自动控制,才能按这些步骤实现自动计算。遗憾的是,由于当时的技术条件所限,这台分析机最终没有能够造出来。不过,Babbage 仍无愧为计算机之父。

3. 电子时代

1854 年,英国数学家 George Boole 发表了《布尔代数》,把逻辑理论建立在了“0”、“1”两种值和“与”、“或”、“非”三种基本逻辑运算(关于这三种运算第 2 章再作介绍)之上,为采用二进制的数字计算机提供了理论基础。

1919 年,W. H. Eccles 和 F. W. Jordan 用两只三极电子管接成了 E-J 双稳态触发器,提供了用电子元件表示二进制数的能力,为计算机提供了新的元件。20 世纪 40 年代,无线电技术和电子工业进入高度活跃期,从而进一步打开了电子技术与计算技术相结合的道路。这期间,虽然也曾经出现或提出过一些按 Babbage 的设想制造的继电器式计算机(如 1937 年美国贝尔实验室 George Stibitz 和哈佛大学 Howard Aiken 的工作),但是由于电子工业的迅速掘起,这些计算机刚刚诞生便立即黯然失色。

1939 年 12 月,美国依阿华大学的物理学教授 J. V. Atanasoff 首次试用电子元件按二进制逻辑制造一台电子管数字计算机。这项工作曾因战争一度中断,1942 年才又在研究生 Clifford Berry 的帮助下制成一台很小的电子管计算机 ABC(atanasoff berry computer)。

1943 年 4 月,由于当时的第二次世界大战急需高速、准确的计算工具来解决弹道计算问题,按照与美国陆军阿伯丁弹道试验室的合同,宾夕法尼亚大学摩尔电工学院,开始试制一台被称为 ENIAC(electronic numerical integrator and computer)的电子数字计算机。J. W. Mauchly 和 J. P. Eckert 按 Atanasoff 的方案,于 1946 年 2 月 15 日制造出了这台机器。ENIAC 共用了 18 800 个电子管,体积为 3 000 立方英尺,耗电 150 千瓦,重达 30 吨,占地 170 平方米,真算是一个庞然大物。它把运算速度提高到每秒钟能做 5 000 次加法运算,但却仅仅能完成一些特定的运算,还不具备 Babbage 所预见的自动通用机的特征;它还不具备内存功能,每一步计算都要把各个部件重新连接;为了重新计算一个问题往往要用几天的时间去改变线路。总之,它还称不上是一台自动计算机。这些缺陷引起了著名数学家 John Von Neumann 的注意。Neumann 等人经过认真研究提出了现代计算机的模型。

1.1.2 Neumann(诺依曼)计算机体系结构原理

Neumann 曾是 ENIAC 的顾问。在 ENIAC 研制之时, Neumann 和他的同事详细地讨论过 ENIAC 的不足。1946 年 6 月 Neumann 等发表了一份《关于电子计算装置逻辑结构初探》的报告。这份报告, 提出了以二进制和程序存储控制为核心的通用电子数字计算机体系结构原理, 奠定了当代电子数字计算机体系结构的基础。

1. 二进制原理

通常我们使用的十进制计数法的基本特点是:

- 用 10 个符号表示数: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;
- 计数时遵循“逢十进一”的规则。

电子计算机虽然很复杂, 但其基本元件都可以看作是电子开关。每个电子开关只有两个状态“开”(或高电位)、“关”(或低电位)。如果把这两个状态分别用“1”、“0”表示, 则计算机中的所有信息, 不论是数据还是命令, 都统一地由“1”与“0”的组合表示。由于只要两个符号, 所以遵循“逢二进一”的计数规则。表 1.1 为部分二进制数与十进制数的对应关系。

通常, 把 8 个二进制位称为一个字节(byte), 把表示一个具有独立意义的信息(如一个具体的数字、一条命令)的二进制位数称为字长。目前, 计算机的字长都是字节的整数倍, 如一字节(8 位)字长, 二字节(16 位)字长, 四字节(32 位)字长。

还需指出, 二进制的思想起源于中国的八卦图。Leibnitz 曾悉心对它进行过研究, 并对他的计算机的研制成功产生过影响。1842 年, 英国著名诗人拜伦的女儿 Ada Augusta Lovelace 伯爵夫人帮助 Babbage 研制分析机时, 也曾建议用二进制存储取代原来设计的十进制存储。

2. 程序存储控制原理

程序存储控制原理的基本思想是: 计算机要完成自动解题任务, 必须能把事先设计的、用以描述计算机解题过程的程序记住(存储起来), 然后再按程序规定的步骤控制计算机的工作过程。这与 Babbage 的结论是相同的。按照程序存储控制原理, 计算机必须有如下 5 大功能:

(1) 输入/输出功能 计算机必须有能力把原始数据和解题步骤接受下来(输入), 把计算结果与计算过程中出现的情况告诉(输出)给使用者。

(2) 记忆功能 计算机应能够“记住”人所提供的原始数据和解题步骤以及解题过程中的一些中间结果。

(3) 计算功能 计算机应能进行一些最基本的运算, 以组成人们所需要的一切计算。

表 1.1 部分二进制数与十进制数的对应关系

二进制数	十进制数
0	0
1	$1=2^0$
10	$2=2^1$
11	3
100	$4=2^2$
101	5
110	6
111	7
1000	$8=2^3$
1 0000	$16=2^4$
10 0000	$32=2^5$
.....
100 0000 0000= 1K	$1024=2^{10}$
1M	2^{20}
1G	2^{30}
1T	2^{40}

(4) 判断功能 计算机在进行一步操作之后,应当有能力从预先无法确定的几种方案中选择一种操作方案的能力。如计算

$$a + \begin{cases} a + b & b \geq 0 \\ a - b & b < 0 \end{cases}$$

时,计算机应能根据解题过程中得出的 b 的符号确定下一步进行的运算是“+”还是“-”。

(5) 自我控制能力 计算机应能保证程序执行的正确性和各部件之间协调。

Neumann 理论奠定了现代计算机的基础。按照 Neumann 理论制成的计算机称之为 Neumann 计算机。

3. Neumann 电子计算机的主要特点

采用 Neumann 体系结构和电子元件的结果,使电子计算机具有如图 1.3 所示的基本特点。

图 1.3 Neumann 计算机主要特性

1.1.3 Neumann 计算机的基本组成

如前所述,按照 Neumann 理论建立起来的当代计算机,应当具有输入/输出功能、记忆功能、计算功能、判断功能和自我管理功能。从功能模拟的角度,Neumann 计算机通常由与上述功能对应的功能部件组成,这些部件主要包括输入/输出设备、存储器和中央处理部件(CPU——central processing unit)。它们之间的关系如图 1.4 所示。

图 1.4 计算机组成框图

1. 输入/输出(I/O)设备

输入输出设备是接收外部信息(如输入原始数据和程序——预先编制好的计算步骤)或用来向外部输出信息(如计算结果)的功能部件,如打印机、显示器、键盘、磁带机、扫描仪、鼠标器、光笔、触摸屏、条形码阅读器等。

2. 中央处理部件(CPU)

CPU 是计算机的核心,它主要由运算部件、控制器,外加寄存器组所组成。

(1) 控制器 控制器的主要功能是按时钟提供的统一节拍,把程序中每一条指令所含

的各基本操作进行时序分配,并发出相应的控制信号,驱动各部件按照节拍有秩序地完成规定的操作内容。

(2) 运算部件(ALU) 运算部件是直接进行数据变换与运算的部件。运算部件主要由逻辑电路构成的加法器组成。加法与逻辑运算是运算器最基本的操作,由它们可以进一步实现四则运算(加、减、乘、除)和逻辑操作(逻辑运算、条件运算等)。

(3) 寄存器组 运算部件进行计算需要两个输入——两个操作数,并产生两个输出:结果和运算特征。运算特征也称运算状态,如操作结果是否为零、是正还是负、有无进位、操作是加还是减、……。取得这些操作特征的目的是为了决定下一步的操作。如要计算 $a + b$ 则要根据 b 是正还是负,决定下一步进行加还是减。

早先,计算机每进行一步操作,都要从存储器中取出一对操作数送往运算器中去运算,最后还要把操作结果送回存储器的另外单元保存。但是在一系列的操作过程中,往往某次的操作结果便是下次操作的一个操作数,因此在运算器中设置一个寄存器组用以暂存运算的中间结果,为下一次操作提供一个操作数,可以避免把大量中间结果送回存储器所付出的时间和存储开销。

寄存器组也称通用寄存器组,与之对应的是专用寄存器组。通用寄存器组的主要作用是提供一个小的存储区。这样运算器工作时可以把一定数目的操作数存在通用寄存器中,减少 CPU 对存储器的访问,节省时间,少占存储单元。专用寄存器可以存储一些特定的信息,如指令计数器、指令寄存器、状态标志寄存器等都是专用寄存器。通用寄存器组和专用寄存器组合称 CPU 的寄存器堆。其中,状态标志寄存器

(或称条件码寄存器)用于存放操作的特征。它的每一位都对应一个特征,通过对某个位的测试,为决定后继操作提供一个判断的依据。图 1.5 为运算部件工作示意图。

图 1.5 运算部件工作示意

3. 存储器

存储器是计算机的记忆装置,用以保存程序、原始数据以及中间结果。它有如下特点。

(1) “取之不尽,新来旧去”,即只有存进新的数据才能将旧的数据去掉,所以“存”、“取”的贴切叫法应当是“写”、“读”。

(2) 现代计算机基本上采用线性地址存取方式。如图 1.6 所示,每一个地址对应一个存储单元。存储单元可以按位(bit)或按字节(8 bit)、字、半字、双字等编址。在按字节编址的情况下,每个存储单元存储 1 个字节(1Byte)的信息。

存储器中存储单元的数量称为该存储器的容量(如 640KB, 2MB),它是评价计算机功能的重要指标之一。存储器容量愈大,所能

图 1.6 计算机的线性地址

存储的信息就越多。

(3) 容量、价格、存取速度是评价计算机存储器的三大指标。但三者之间又互相制约:容量大,存取速度就要低;采用存取速度高的元件,成本就高;成本高,就不允许做得容量太大。为此,现代计算机采用分级存储方式来解决这三者之间的矛盾。让存取速度高的存储器与 CPU 直接交换信息(它的价格高,但可以做得小一些,够 CPU 用就可以了);让存取速度稍

低的存储器做它的后援(这一级可以做得大些);再让存取速度更低的做这一级的后援;.....。现代计算机最基本的是两级存储,即把存储器分为主(内)存储器与辅助(外)存储器两级。主存储器采用半导体存储器,辅助存储器采用磁介质存储器。磁盘就是目前广泛使用的一种辅助存储器。为了进一步提高计算机的性能,现代计算机多在主存和 CPU 之间又增加一级比主存速度更高的高速缓冲存储器 Cache,形成三级存储体系。

1.2 Neumann 计算机的工作过程

1.2.1 程序对计算机的控制

1. 程序

程序是为特定问题求解而设计的指令序列。程序中的每条指令规定机器完成一组基本操作。如果把电子计算机完成一次任务的过程比作乐队的一次演奏,那么控制器就好比是指挥,计算机的其它功能部件好比是各个乐器与演员,而程序就好比是乐谱。正像乐队的演出过程是执行乐谱一样,计算机的工作过程就是执行程序的过程,或者控制器是根据程序的规定对计算机实施控制。例如算式

$$a + \begin{cases} b & b \geq 0 \\ -b & b < 0 \end{cases}$$

的解题步骤大致如下:

- Step1: 取 a
- Step2: 取 b
- Step3: 判断:
 - 若 $b \geq 0$, 执行 Step4
 - 若 $b < 0$, 执行 Step6
- Step4: 执行 $a + b$
- Step5: 转 Step7
- Step6: 执行 $a - b$
- Step7: 结束

对于与 Step3 步骤类似的操作,通过指令系统中的条件转移类指令实现。在执行转移指令时,要对状态标志寄存器中的有关内容进行测试。如图 1.7 所示的条件分支转移指令的执行情况是:若转移条件成立,则转至 B 段入口;否则,转至 A 段入口。

按照 Neumann 原理,程序预先与数据一起存放在存储器中。计算机的工作过程,可以归结为从存储器中取出一条指令,然后分析这条指令,完成指令规定的操作内容,再取下一条指令;.....。简而言之,计算机的工作过程是:取指令—分析指令—执行指令—再取下一条指令.....,反复循环直到程序结束。通常把其中的一次循环称为计算机的一个指令周期。

这样就把程序对计算机的控制,归结为每个指令

图 1.7 转移指令