

清华大学计算机系列教材

计算机 组成与结构

第 3 版

王爱英 主编

清
／
华
／
大
／
学
／
计
／
算
／
机
／
系
／
列
／
教
／
材

清华图



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

清华大学计算机系列教材

计算机组成与结构

(第3版)

王爱英 主编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书共分 12 章,第 1 章~第 10 章主要论述计算机的基本组成原理和结构。内容包括数制和码制,基本逻辑部件,构成整个计算机系统的中央处理器(CPU)、存储器系统和输入输出(I/O)系统等。并注意与当代先进的计算机技术相结合,例如在书中讨论了流水线组织、二级 cache、DRAM 组织的进展、系统总线和外设接口等。

第 11 章全面介绍了各种类型的计算机,诸如微机、便携机、PDA、工作站/服务器、多媒体、并行多处理机和计算机网络等。第 12 章简单介绍了计算机的硬件设计方法。

本书可作为理工科大学学生学习“计算机组成与结构”课程或“计算机组成原理”课程的教科书,也可供从事计算机事业的工程技术人员参考。

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

计算机组成与结构/王爱英主编. —3 版. —北京:清华大学出版社,2000.12

清华大学计算机系列教材

ISBN 7-302-04095-8

I. 计... I. 王... 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(2000)第 75983 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市密云胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:28.5 字数:685 千字

版 次:2001 年 2 月第 3 版 2001 年 3 月第 2 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04095-8/TP·2413

印 数:6001~21000

定 价:32.50 元

第 3 版 前 言

本书是为计算机专业的学生以及从事计算机科学与工程技术的工程技术人员编写的,也适合于电类非计算机专业的学生使用。本书从计算机基本原理讲起,密切注意与当前计算机发展水平相结合,内容广泛,但仍力图贯彻少而精的原则。

本书于 1989 年初次出版,1995 年第 2 版问世。承蒙各界厚爱,在 10 年多的时间内,本书印刷了 16 次,并先后获得电子部和教育部的奖励。众所周知,计算机技术的发展是极为迅猛的,为了更好地为读者服务,我们在第 2 版基础上进行了较大的增删工作,并对一部分内容进行了调整。其目的是跟踪技术的发展,充实一些新内容,并提高可读性,以有利于教学工作的开展,同时更突出重点,删去了一些内容。

在本书中我们把计算机结构定义为系统程序员所能见到的计算机硬件特性,计算机组成则是指计算机硬件的具体实现。

本书的第 1 章~第 10 章是基本部分,着重阐述构成一台计算机的基本原理。由于计算机技术发展很快,某些观点会随着计算机的发展而产生变化,因此希望读者着重于基本原理的理解。例如,对于计算机的各个功能部件,应着重了解它们在整机中的作用以及由此而分配给各部件所要完成的任务,从而正确设计或选用硬件,而不致被众多的、风格各异的计算机结构及组成所迷惑。根据摩尔定律,半导体芯片的集成度每隔 18 个月翻一番,由此可理解计算机技术的发展是必然的。这就可以说明为什么过去仅在大型机中才采用的流水线组织、并行处理、cache 等技术可以移到微处理器芯片中去实现,甚至还可实现二级 cache 和三级 cache;为什么计算机中主存 DRAM 的容量增加得这样快,而且又有多种 DRAM 类型出现。

第 11 章对当前出现的多种计算机诸如笔记本电脑、多媒体 PC、个人数字助理(PDA)等进行了分析,强调其特点。并行处理和计算机网络虽不是本书的重点,却是很重要的,了解一些概念是必要的。

第 12 章简单地讲述了计算机硬件设计的若干问题,目的是扩充知识面,作为计算机专业的学生,今后可能会有一部分人从事硬件设计工作。有一些基础知识后,可在工作中进一步自学。

本书第 2 章和第 4 章(部分)由王尔乾编写,其余各章节由王爱英编写和整理,蔡月茹提供了一部分习题和答案。在此向一切为本书的出版付出劳动的老师和同事们表示感谢。

最后向使用本书作为教材的老师和同学们以及广大的读者表示感谢,正是依靠你们,才使本书的作用得以发挥。

编 者

1999 年 5 月

第 2 版 前 言

本书自第一版出版以来,承蒙各界厚爱,在短短 4 年多时间内已印刷 7 次。被不少学校选为教材,由此我们倍感责任重大。在倾听各界意见和总结本校教学实践经验的基础上,决定对原书进行修改,出版此第 2 版,使之更符合读者的需要。在修订中本书主要考虑以下原则:

1. 继承与改进相结合

鉴于采用本书第 1 版作为教材的教师,为备课已付出了大量精力和时间,同时也为了更好地提高教学质量,本书第 2 版基本上保持原来的体系结构,全书仍分为 12 章,充分体现了学科的承前继后性。但在内容上尽量进行充实和调整,例如将第 3 章的读/写存储器调整到第 7 章的主存储器中;第 4 章增加了有关提高运算速度方法的内容;将第 11 章的流水线组织作为计算机的基本内容调整到第 6 章等。

2. 适应计算机技术的发展

最近几年来,计算机硬件技术发展很快,例如主存储器、磁盘驱动器、磁带机、光盘等都朝着提高容量、提高存储速度和小型化、低功耗方向发展,有关这些内容在第 2 版中得到了反映。并对当前已实际应用的多媒体技术、文字识别、条码技术以及快擦型(Flush)存储器等方面的基本工作原理或关键技术等都进行了介绍。同时删去已经陈旧的技术及相关内容。

3. 补充了习题以适应教学的需要

4. 改善了可读性和易懂性

5. 处理好了教学计划与课程的衔接

如第 11 章前半部分简单扼要地阐明了开放系统和单机系统(微机、便携机、工作站以及 RISC 等方面)的进展、技术和结构。这是将本书前 10 章与当前计算机实际相结合的典型范例。第 11 章的后半部分指出了当前计算机最主要的发展方向:并行处理和计算机网络。第 12 章论述了计算机硬件设计概貌与专用集成电路 ASIC 的设计与实现。以上这些内容是与计算机有关的专业学生所必备的基础知识。如在后续课程中已有安排,则在此仅供参考;如某些学校没有设置相应的后续课程,则建议安排一些时间,结合本校特点进行学习,因限于篇幅,这部分写得比较简单、扼要,希望能起到抛砖引玉的作用。

原书作者王尔乾、王诚负责修改本人原稿。蔡月茹编写了大部分习题,并参加了部分审稿工作。王爱英对本书的其余部分进行了修订,并对全书进行了统编和总审。参加这次修订工作的还有赵青、周继群和孙军等。

感谢清华大学出版社对本书的支持。感谢对本书提出各种意见的专家、教师、学者以及广大读者。

编 者

1994 年 3 月

• II •

第 1 版前言

本书是为计算机专业的学生以及从事计算机科学与技术工作的工程技术人员编写的,也适合于非计算机专业的学生使用。本书从基本原理讲起,力图贯彻少而精的原则。

在本书中,我们把计算机结构定义为系统程序员(包括用汇编语言编写程序的程序员)所能见到的计算机硬件特性,计算机组成则是指计算机硬件的具体实现。

本书的第 1 章到第 10 章是基本部分,着重阐述构成一台计算机的基本原理,举例力求与当前广泛使用的计算机结合。由于计算机的发展很快,某些观点将会随着计算机的发展而产生一些变化,因此,希望读者着重于基本原理的理解。例如,对于计算机的各个功能部件,应着重了解它们在整机中的作用以及由此而分配给各部件所要完成的任务,从而正确选用(或设计)硬件,而不致被众多的、风格各异的计算机结构及组成所迷惑。第 3 章概括了计算机中所用的逻辑电路,在后面的章节中要用到这些电路,对于已经学过数字电路课程的学生,这一章可自学;对于没有学过数字电路的学生,可由教师选择一部分讲解。

第 11 章讨论的 4 个内容(流水线组织、精简指令系统计算机 RISC、并行处理和计算机网络)是当代一般计算机中正在广泛采用的结构。由于篇幅及学时的限制,只能对它们作原理性介绍,目的是给学生指出方向,认识其重要性,以便进一步自学或在后续课程(例如计算机系统结构、并行处理等课程)中深入学习。

第 12 章简单地讲述了计算机硬件设计的过程及若干问题,目的是扩充知识面。现代计算机广泛采用超大规模集成电路,但是目前开这门课的学校不多,作为必修课的更少,为了弥补这一严重不足,本书的最后列入了计算机部件的 VLSI 实现这一节。

综上所述,本书的重点是计算机(单机)的基本组成原理及有关的硬件结构,并对计算机的发展与实现提供了必要的也是最基本的知识。

本书的第 1 章、第 6 章(6.5 节除外)、第 11 章、第 12 章的 12.1 节由王爱英编写,第 2 章、第 4 章由王诚编写;第 3 章、第 12 章的 12.2 节由王尔乾编写;第 5 章及第 6 章的 6.5 节由张忠英编写;第 7 章、第 10 章由相士俊编写;第 8 章、第 9 章由杨士强编写。王爱英对全书进行了统编与审查。周继群等对本书的图、稿进行了审查及校对。

参加本书编写的都是清华大学计算机系的教师,作者在不同程度上(或不同方面)从事过多年有关计算机的教学、设计、研制和推广应用工作。希望同行们和广大读者以及使用本教科书的教师和学生给我们提出中肯的意见。

编 者

1989 年 7 月

目 录

第 3 版前言

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的语言	1
1.2 计算机的硬件	3
1.3 计算机系统的层次结构	4
1.4 电子计算机的发展简史	6
1.5 计算机的应用.....	12
习题	14
第 2 章 计算机的逻辑部件	15
2.1 三种基本逻辑操作及布尔代数的基本公式.....	15
2.2 逻辑函数的化简.....	16
2.2.1 代数化简法.....	16
2.2.2 卡诺图化简法.....	16
2.3 逻辑门的实现.....	18
2.4 计算机中常用的组合逻辑电路.....	18
2.4.1 加法器.....	19
2.4.2 算术逻辑单元.....	21
2.4.3 译码器.....	25
2.4.4 数据选择器.....	26
2.5 时序逻辑电路.....	26
2.5.1 触发器.....	26
2.5.2 寄存器和移位寄存器.....	30
2.5.3 计数器.....	31
2.6 阵列逻辑电路.....	33
2.6.1 只读存储器(ROM)	34
2.6.2 可编程序逻辑阵列(PLA)	36
2.6.3 可编程序阵列逻辑(PAL)	40
2.6.4 通用阵列逻辑(GAL)	41
2.6.5 门阵列(GA)、宏单元阵列(MA)、标准单元阵列(SCA)	44
2.6.6 可编程序门阵列(PGA)	52
习题	57

第 3 章 运算方法和运算部件	59
3.1 数据的表示方法和转换	59
3.1.1 数值型数据的表示和转换	59
3.1.2 十进制数的编码与运算	62
3.2 带符号的二进制数据在计算机中的表示方法及加减法运算	64
3.2.1 原码、补码、反码及其加减法运算	64
3.2.2 加减法运算的溢出处理	69
3.2.3 定点数和浮点数	70
3.3 二进制乘法运算	72
3.3.1 定点数一位乘法	72
3.3.2 定点数二位乘法	78
3.3.3 阵列乘法器	82
3.4 二进制除法运算	82
3.4.1 定点除法运算	82
3.4.2 提高除法运算速度的方法举例	87
3.5 浮点数的运算方法	89
3.5.1 浮点数的加减法运算	89
3.5.2 浮点数的乘除法运算	91
3.6 运算部件	94
3.7 数据校验码	96
3.7.1 奇偶校验码	96
3.7.2 海明校验码	97
3.7.3 循环冗余校验(CRC)码	100
习题	103
第 4 章 主存储器	105
4.1 主存储器处于全机中心地位	105
4.2 主存储器分类	105
4.3 主存储器的主要技术指标	106
4.4 主存储器的基本操作	106
4.5 读/写存储器(即随机存储器(RAM))	107
4.6 非易失性半导体存储器	115
4.7 DRAM 的研制与发展	117
4.8 半导体存储器的组成与控制	119
4.9 多体交叉存储器	124
4.9.1 编址方式	124
4.9.2 重叠与交叉存取控制	125
习题	126

第 5 章 指令系统	127
5.1 指令系统的发展	127
5.2 指令格式	128
5.2.1 指令格式	128
5.2.2 指令操作码的扩展技术	130
5.2.3 指令长度与字长的关系	131
5.3 数据表示	132
5.4 寻址方式(编址方式)	133
5.5 指令类型	137
5.5.1 指令的分类及功能	137
5.5.2 双字长运算(子程序举例)	144
5.6 指令系统的兼容性	145
5.7 精简指令系统计算机(RISC)和复杂指令系统计算机(CISC).....	146
5.7.1 什么是复杂指令系统计算机	146
5.7.2 RISC 的产生与发展	147
5.7.3 RISC 的特点	148
5.8 指令系统举例	148
5.8.1 SPARC 的指令系统	148
5.8.2 Pentium 微处理器指令系统	151
5.8.3 IBM 大型机指令系统	154
5.8.4 PDP11 与 VAX11 基本指令格式简介	155
5.8.5 向量指令举例	156
5.9 机器语言、汇编语言和高级语言.....	158
习题.....	160
第 6 章 中央处理部件 CPU	162
6.1 计算机的硬件系统	163
6.2 控制器的组成	167
6.2.1 控制器的功能	167
6.2.2 控制器的组成	168
6.2.3 指令执行过程	169
6.3 微程序控制计算机的基本工作原理	173
6.3.1 微程序控制的基本概念	173
6.3.2 实现微程序控制的基本原理	174
6.4 微程序设计技术	183
6.4.1 微指令的编译法(编码译码方法)	183
6.4.2 微程序流的控制	185
6.4.3 微指令格式	191
6.4.4 微程序控制存储器和动态微程序设计	194

6.4.5	微程序设计语言	198
6.5	硬布线控制的计算机	199
6.5.1	时序与节拍	200
6.5.2	操作控制信号的产生	201
6.5.3	控制器的组成	204
6.5.4	硬布线控制逻辑设计中的若干问题	206
6.5.5	硬布线控制与微程序控制的比较	208
6.6	控制器的控制方式	209
6.7	流水线工作原理	210
6.8	CPU 举例	214
6.8.1	RISC 的 CPU	214
6.8.2	RISC 的编译系统	223
6.8.3	Pentium 微处理器	224
6.9	计算机的加电及控制过程	225
	习题	228
第 7 章	存储系统	232
7.1	存储系统的层次结构	232
7.2	高速缓冲存储器(cache)	233
7.2.1	cache 存储器工作原理	233
7.2.2	cache 存储器组织	235
7.2.3	cache 存储器举例	238
7.2.4	多层次 cache 存储器	241
7.3	虚拟存储器	243
7.3.1	虚拟存储器概述	243
7.3.2	页式虚拟存储器	244
7.3.3	段页式虚拟存储器	246
7.3.4	虚拟存储器工作的全过程	247
7.3.5	Pentium 处理机的虚拟存储器	249
7.3.6	存储管理部件(MMU)	249
7.4	相联存储器	250
7.5	存储保护	251
	习题	253
第 8 章	辅助存储器	255
8.1	辅助存储器的种类与技术指标	255
8.2	磁记录原理与记录方式	257
8.2.1	磁记录原理	257
8.2.2	磁记录介质与磁头	259
8.2.3	磁记录方式	261

8.3	硬盘存储器	267
8.3.1	硬盘存储器的种类及基本结构	267
8.3.2	硬盘驱动器(HDD)及硬盘控制器(HDC)	268
8.3.3	磁盘 cache	271
8.3.4	磁盘阵列存储器	272
8.3.5	硬盘驱动器的发展动向	273
8.4	软磁盘存储器	274
8.4.1	概述	274
8.4.2	软磁盘片	275
8.4.3	软磁盘的记录格式	276
8.4.4	软磁盘驱动器和控制器	278
8.4.5	软磁盘驱动器发展动向	279
8.5	磁带存储器	280
8.5.1	概述	280
8.5.2	磁带机的结构	280
8.5.3	磁带的记录格式	283
8.5.4	循环冗余校验码(CRC)	284
8.5.5	磁带机的发展动向	286
8.6	光盘存储器	287
8.6.1	光盘存储器种类	288
8.6.2	光盘的读写原理	289
8.6.3	光盘存储器的组成	290
8.7	硬盘、软盘、磁带和光盘存储器的综合比较	291
	习题	292
第9章	输入输出(I/O)设备	294
9.1	外部设备概述	294
9.2	输入设备	295
9.2.1	键盘	295
9.2.2	光笔、图形板和画笔(或游动标)输入	296
9.2.3	鼠标器、跟踪球和操作杆输入	297
9.2.4	触摸屏	298
9.2.5	图像输入设备(摄像机和数字照相机)	299
9.2.6	条形码及其技术	300
9.2.7	光学字符识别(OCR)技术和语音文字输入系统	302
9.3	输出设备——显示器	305
9.3.1	显示设备种类	305
9.3.2	显示技术中的有关术语	308
9.3.3	字符显示器	310
9.3.4	图形和图像显示	312

9.4 输出设备——打印机	313
9.4.1 点阵针式打印机	313
9.4.2 激光打印机	314
9.4.3 喷墨打印机	317
9.4.4 热转印打字机	320
9.4.5 打印机的发展趋势	321
9.5 汉字处理技术	321
9.5.1 汉字编码标准	321
9.5.2 汉字的输入方法	322
9.5.3 汉字的存储	323
9.5.4 汉字的输出	324
习题	325
第 10 章 输入输出(I/O)系统	326
10.1 输入输出(I/O)系统概述	326
10.1.1 输入输出设备的编址及设备控制器的基本功能	326
10.1.2 I/O 设备数据传送控制方式	327
10.2 程序中断输入输出方式	329
10.2.1 中断的作用、产生和响应	329
10.2.2 中断处理	332
10.2.3 程序中断设备接口的组成和工作原理	335
10.3 DMA 输入输出方式	338
10.3.1 DMA 三种工作方式	338
10.3.2 DMA 控制器组成	339
10.3.3 DMA 的数据传送过程	340
10.3.4 软盘接口逻辑电路举例	341
10.4 通道控制方式和外围处理机方式	342
10.4.1 I/O 通道的种类	342
10.4.2 通道型 I/O 处理机(IOP)和外围处理机	344
10.5 总线结构	345
10.5.1 总线类型	346
10.5.2 总线组成	347
10.5.3 微机总线	349
10.6 外设接口	352
10.6.1 IDE 和 EIDE 接口	352
10.6.2 SCSI 接口	353
10.6.3 其他外设接口	355
习题	358

第 11 章 计算机系统	361
11.1 计算机系统概述	361
11.1.1 计算机系统的分类	361
11.1.2 提高计算机系统运算速度的方法	361
11.1.3 开放系统	362
11.1.4 计算机系统的性能评测	363
11.2 微机系统	365
11.2.1 Intel 微处理器及个人计算机	365
11.2.2 PC 的分类	371
11.2.3 家用 PC	374
11.2.4 嵌入式计算机(工业 PC 和军用计算机)	375
11.2.5 智能卡	377
11.2.6 绿色计算机	378
11.3 工作站和服务器	378
11.3.1 工作站	378
11.3.2 服务器	380
11.4 多媒体计算机	380
11.4.1 概述	380
11.4.2 多媒体计算机系统的组成	381
11.4.3 多媒体计算机系统的关键技术	382
11.4.4 视频和音频信息的获取和回放	383
11.4.5 多媒体计算机的用途与实例	384
11.5 超级标量处理机、超级流水线处理机和超长指令字处理机	384
11.6 向量处理机	387
11.7 阵列处理机和多处理机系统	389
11.7.1 SIMD 并行处理机系统(阵列处理机系统)	389
11.7.2 多处理机系统	390
11.7.3 SGI Origin 多处理机体系结构	393
11.8 计算机网络	397
11.8.1 什么是计算机网络	397
11.8.2 网络的组成	398
11.8.3 网络协议	400
11.8.4 Internet(因特网)	402
习题	404
第 12 章 计算机硬件设计和实现导论	406
12.1 计算机硬件的总体设计	406
12.1.1 计算机硬件设计过程	406
12.1.2 指令系统的模拟与仿真	410

12.1.3 微程序设计自动化.....	411
12.1.4 逆向工程的概念.....	412
12.2 专用集成电路 ASIC 设计概述.....	412
12.2.1 专用集成电路的设计过程.....	413
12.2.2 硬件描述语言(VHDL).....	415
习题.....	421
习题答案	423
参考文献	437

第 1 章 计算机系统概论

1.1 计算机的语言

科学技术的高度发展,导致了计算机的诞生。在现代化社会中,计算机已深入到人类工作与生活的各个角落。计算机与其他机器一样,是人类和自然作斗争以及从事各项社会活动的工具。由于它具有计算、模拟、分析问题、操纵机器、处理事务等能力,所以被看作是人脑的延伸,是一种有“思维”能力的机器,从这点出发,计算机又被称为“电脑”。但是一切机器,包括计算机在内,都是人类智慧的结晶,都是人创造的,同时又受人的操纵与控制。

人们经常用语言(或文字)来表达思想、交流经验、互通信息。其中汉语、英语、法语等是使用人数最多的语种。人类相互交流信息所用的语言称为自然语言,但是当前的计算机还不具备理解自然语言的能力,于是人们希望找到一种和自然语言接近,并能为计算机接受的语言,这种语言被称为计算机的高级语言。从计算机的发展历史来看,最初在计算机中使用的不是高级语言,由于它难以理解,使用困难,因而需要改进,这样才导致了高级语言的诞生。

常用于科学计算和数据处理的高级语言有:C, BASIC, FORTRAN, ALGOL, PASCAL, COBOL 和 Ada 等。常用于人工智能的语言有 LISP 和 PROLOG 等。用这些语言编写的程序是由英文字母、数字、运算符号等按照一定的语法规则组成的。然而目前的通用计算机不会直接执行用高级语言编写的程序,而是先将其翻译成机器能执行的语言,称为机器语言(由二进制代码表示的指令组成),再在机器上运行,因此解题的过程可归结为:

- (1) 程序员用高级语言编写程序;
- (2) 将程序与数据输入计算机,并由计算机将程序翻译成机器语言程序,保存在计算机的存储器中;
- (3) 运行程序,输出结果。

存储器是计算机中用以存放原始数据、程序以及中间运算结果的设备,最后的处理结果也往往先暂时存放在存储器中,然后再输送出去。存储器分成一个个单元,每个单元有自己的编号,称为该单元的地址。数据或指令以二进制代码形式存放在存储器中。

在计算机中能执行的程序是由指令组成的,因此计算机执行程序的过程,实际上就是按照给定次序执行一组指令的过程。

一条指令通常分成两部分:

- (1) 操作码 规定该指令执行什么样的运算(或操作),因此被命名为操作码。
 - (2) 地址码 规定对哪些数据进行运算,通常表示的是数据地址,因此被称为地址码。
- 当前,计算机指令类型很多,各条指令的功能差异很大,并不局限于对数据进行运算,甚至有的指令不需要地址,因此地址码的含义是灵活多变的。我们将在第 5 章指令系统专门讨论这个问题。

由于二进制码不易辨认,因此往往用符号来表示一条指令,例如加法运算指令可用符号表示如下:

ADD A,B

其中 ADD 为指令的操作码,A,B 为两个操作数的地址码,并隐含指定将运算结果送到地址 A 或 B 中。假如 A 中已存放有十进制数 2,B 中为 3,并默认运算结果送 A,那么执行本条指令以后,A 中的内容将更换成 5,B 中的内容保持不变,仍为 3。

用机器语言编写程序,比用高级语言麻烦得多,那是因为一条机器指令的功能比一条高级语言的语句功能弱很多而造成的,例如用 BASIC 语言编写的程序,执行语句

LET $d = b^2 - 4 * a * c$

即可得到 $d = b^2 - 4ac$ 的值,而用机器语言则需要五条指令才能实现。当用符号来表示指令时,其程序如下:

程序	注释(运算结果)
1. MUL B B	; b^2 送入 B
2. MUL A E	; $4a$ 送入 A
3. MUL A C	; $4ac$ 送入 A
4. SUB B A	; $b^2 - 4ac$ 送入 B
5. MOV D B	; $b^2 - 4ac$ 从 B 传送到 D
A a	
B b	
C c	
D d	
E 4	

其中 1~5 为指令,MUL 为乘法指令的操作码,SUB 为减法指令,MOV 为传送指令。A,B,C,D,E 分别表示存储数 a,b,c,d 及常数 4 的地址,上述这些指令统称为算术逻辑运算指令。

指令前面的序号表示指令的执行顺序,也表示该指令在存储器中的相对位置,必须按此顺序将指令存放在相邻的存储单元中。

例如,第 1 条指令存放在地址为 n 的存储单元中,则其后继的指令依次存放在 $n+1$, $n+2$, $n+3$ 和 $n+4$ 的存储单元中。编制程序时还需考虑求得 d 值后机器如何运行问题。如果此时已不再需要进行其他工作,则在 $n+5$ 可安排一条停机指令或动态停机指令(等待指令)。动态停机指令不完成任何有效的具体操作,仅使计算机处于“空转”状态,待有某些特定信号(如中断信号,见本书第 10 章)来到时,才转到相应的程序入口继续运行。如果此时还需要进行其他工作,则从 $n+5$ 开始继续编制程序,或者安排一条转移指令,将程序转到需执行处。

数据地址 A,B,C,D 和 E,从原则上讲,相互之间不受约束,即可存放在主存储器任何有空闲的地方。但习惯上经常也是顺序安放的。于是可将程序改写如下:

n	MUL	$n+7$	$n+7$	$n+6$	a
$n+1$	MUL	$n+6$	$n+10$	$n+7$	b
$n+2$	MUL	$n+6$	$n+8$	$n+8$	c
$n+3$	SUB	$n+7$	$n+6$	$n+9$	d
$n+4$	MOV	$n+9$	$n+7$	$n+10$	4

$n+5$ HLT

HLT 为停机指令。

1.2 计算机的硬件

组成计算机的基本部件有中央处理器 CPU(运算器和控制器)、存储器和输入输出设备。

输入设备用来输入原始数据和处理这些数据的程序。输入的信息有数字符、字母和控制符等,人们经常用 8 位二进制码来表示一个数字符(0~9)、一个字母(A,B,C,⋯,X,Y,Z)或其他符号,当前通用的是 ASCII 码,它用七位二进制码来表示一个字符,最高的一位可用于奇偶校验或作其他用处。在计算机中,一般把 8 位二进制码称为一个字节。在我国使用的计算机,一般有处理汉字的能力,在本书第 9 章作进一步说明。

输出设备用来输出计算机的处理结果,可以是数字、字母、表格、图形等。最常用的输入输出设备是显示终端和打印机,终端设备采用键盘作为输入工具,处理结果显示在屏幕上,而打印机则将结果打印在纸上;除此以外,为了监视人工输入信息的正确性,在用键盘输入信息时,将刚输入的信息显示在屏幕上,如有错误,可及时纠正。

存储器用来存放程序和数据,是计算机各种信息的存储和交流中心。存储器可与 CPU、输入输出设备交换信息,起存储、缓冲、传递信息的作用,在这里,我们要注意把存储单元的地址和存储单元里存放的内容(数据或指令)区分开。

存储器又有主存储器和辅助存储器之分。当前在计算机上运行的程序和数据是存放在主存储器中的。

中央处理器又叫 CPU,在早期的计算机中分成运算器和控制器两部分,由于电路集成度的提高,现在已把它们集成在一个芯片中。

运算器是对信息或数据进行处理和运算的部件,经常进行的是算术运算和逻辑运算,所以在其内部有一个算术及逻辑运算部件(ALU)。算术运算是按照算术规则进行的运算,例如加、减、乘、除、求绝对值、求负值等。逻辑运算一般是指非算术性质的运算,例如比较大小、移位、逻辑乘、逻辑加等。在计算机中,一些复杂的运算往往被分解成一系列算术运算和逻辑运算。

当 CPU 处理的数据局限于整数时,这个 CPU 有时被称为整数运算部件 IU。为了快速而有效地对实数进行处理,在某些计算机中专门设置了浮点运算部件。

控制器主要用来实现计算机本身运行过程的自动化,即实现程序的自动执行。在控制器控制之下,从输入设备输入程序和数据,并自动存放在存储器中,然后由控制器指挥各部件(运算器、存储器⋯⋯)协同工作以执行程序,最后将结果打印输出。作为控制用的计算机则直接控制对象。

在计算机中,各部件间来往的信号可分成三种类型,即地址、数据和控制信号。通常这些信号是通过总线传送的,如图 1.1 所示。CPU 发出的控制信号,经控制总线送到存储器和输入输出设备,控制这些部件完成指定的操作。与此同时,CPU(或其他设备)经地址总线向存储器或输入输出设备发送地址,使得计算机各个部件中的数据能根据需要互相传送。输入输