




“十三五”普通高等教育规划教材



计算机组成原理

第 2 版

任国林 编著

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



计算机组成原理

(第2版)



策划编辑：董亚峰 (dyf@phei.com.cn)
责任编辑：董亚峰
封面设计：朝天世纪

ISBN 978-7-121-33462-7



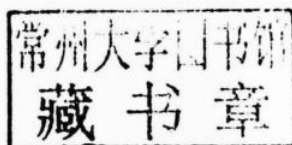
9 787121 334627 >

定价：49.00元

计算机组成原理

(第2版)

任国林 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机的组成及其工作原理。全书共7章，第1章概要介绍计算机的硬件结构、工作过程及性能指标；第2章介绍数据的表示与运算方法，以及运算部件组成；第3章介绍存储系统的层次结构，以及主存、Cache及虚拟存储器的组成与工作原理；第4章介绍指令系统；第5章介绍CPU的组成原理、设计方法，以及指令流水线技术；第6~7章介绍总线及输入/输出系统。

本书内容全面、概念准确、通俗易懂，通过大量例题分析来加深读者对各知识点的理解与掌握，重视知识点的融合及整机概念的形成，兼顾基本原理在新技术中的应用。本书既可作为高等院校计算机专业计算机组成原理课程的教材，也可作为相关专业科技人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 任国林编著. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2018.1

ISBN 978-7-121-33462-7

I. ①计… II. ①任… III. ①计算机组成原理—高等学校—教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第001409号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 董亚峰 特约编辑: 刘 炯

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 481千字

版 次: 2010年2月第1版

2018年1月第2版

印 次: 2018年1月第1次印刷

定 价: 49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：(010) 88254694。

第2版前言

“计算机组成原理”是计算机专业一门重要的硬件基础课程，主要讨论计算机硬件的基本组成及工作原理，对深入理解计算机系统至关重要。

本书是《计算机组成原理》（电子工业出版社，2010年）的第2版。本书有如下三个目标：以现代计算机技术为背景，掌握计算机的基本组成及原理；强调指令执行过程中硬件的协同工作过程，以形成计算机的整机概念；重视CPU等部件的逻辑设计方法，以培养系统设计能力。

本书保留了第1版的框架和风格，对各章内容进行了大幅度的调整、删减及补充，以达到上述目标。例如，数据表示方法以C语言为例进行分析，虚拟存储器中增加MMU相关内容，指令系统兼顾RISC及CISC风格，CPU逻辑设计包含单周期及多周期数据通路、时序系统及中断机构组织，总线互连增加QPI总线、北桥等内容。

全书内容分为7章，按照先了解计算机模型及硬件结构，再讨论各个子系统的组成及工作原理，逐步形成硬件系统的思路来组织。第1章介绍现代计算机的硬件结构、工作过程及性能指标；第2章介绍各种数据的表示方法，以及相应的运算方法组织和逻辑实现；第3章介绍存储系统的层次结构，主存、Cache及虚拟存储器的组成和工作原理；第4章介绍指令格式的组成及各种寻址方式；第5章介绍CPU的基本组成、工作原理，讨论数据通路、控制单元的组织与设计方法，以及流水线的工作原理；第6章介绍总线的传输与控制原理及总线的互连结构；第7章介绍I/O系统的组成及几种I/O方式的原理及组织方法。

本书力求保持内容全面、概念准确、通俗易懂的特点,通过大量的量化分析、逻辑设计来加深读者对基本概念、基本原理的理解和掌握,通过知识点的融合使读者逐步形成整机概念。本书编写过程中,得到了国防科技大学沈立副教授、山东大学杨兴强教授及东南大学杨全胜副教授的大力帮助,陈衍庆等同学也为书稿的绘图做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于计算机结构与组成的理论及技术不断发展,加之作者水平所限,书中不妥及疏漏之处,敬请广大读者及同行批评指正。

作者
2017年10月

目 录

第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机的功能与软硬件	1
1.2 计算机的发展历程	2
1.3 计算机的硬件组成	4
1.3.1 冯·诺依曼计算机	4
1.3.2 计算机的结构与部件	5
1.3.3 计算机的部件互连	7
1.4 计算机系统的层次结构	9
1.4.1 计算机的层次结构	9
1.4.2 软件与硬件的关系	11
1.4.3 计算机的结构与组成	11
1.5 计算机系统的工作过程	12
1.5.1 计算机的工作方式	12
1.5.2 程序执行过程	13
1.6 计算机系统的性能指标	15
习题 1	19
第 2 章 数据的表示与运算	21
2.1 数据的编码	21
2.1.1 数制及其转换	21
2.1.2 机器数及其编码	24
2.1.3 十进制数编码	28
2.1.4 字符编码	29

2.1.5	数据校验码	30
2.2	数据的表示	37
2.2.1	数据的表示方法	37
2.2.2	整数的表示	38
2.2.3	实数的表示	40
2.2.4	非数值数据的表示	44
2.2.5	数据表示举例	46
2.3	定点数的运算	48
2.3.1	常用的逻辑部件	48
2.3.2	加减运算	53
2.3.3	移位运算	57
2.3.4	乘法运算	59
2.3.5	除法运算	67
2.4	浮点数的运算	74
2.4.1	浮点加减运算	74
2.4.2	浮点乘除运算	78
2.5	十进制数的加减运算	80
2.6	运算器的组成	82
2.6.1	ALU 的组成	82
2.6.2	运算器的组织	83
	习题 2	86
第 3 章 存储系统		89
3.1	存储系统概述	89
3.1.1	存储器的分类	89
3.1.2	存储器的主要技术指标	90
3.1.3	层次结构存储系统	91
3.2	半导体存储技术	93
3.2.1	静态存储器	93
3.2.2	动态存储器	97
3.2.3	半导体只读存储器	101
3.3	主存储器	104
3.3.1	主存储器的基本组成	104
3.3.2	主存储器的逻辑设计	105
3.3.3	主存储器与 CPU 的连接	108
3.3.4	提高访存速度的技术	111
3.4	高速缓冲存储器	115
3.4.1	Cache 的基本原理	115

3.4.2	Cache 的地址映射	119
3.4.3	Cache 的替换算法	123
3.4.4	Cache 的写策略	125
3.4.5	Pentium 的 Cache 组织	126
3.5	虚拟存储器	128
3.5.1	存储管理的相关概念	128
3.5.2	虚拟存储器的基本原理	130
3.5.3	虚拟存储器的存储管理	131
3.5.4	页式虚拟存储器的实现	133
	习题 3	137
第 4 章	指令系统	140
4.1	指令系统组成	140
4.1.1	指令功能	140
4.1.2	指令格式	143
4.2	操作数的存放方式	145
4.3	寻址方式	148
4.3.1	指令寻址方式	148
4.3.2	数据寻址方式	148
4.3.3	指令格式分析及其应用	152
4.4	指令系统举例	154
4.4.1	MIPS 指令系统	155
4.4.2	Pentium 指令系统	160
4.5	指令系统发展	163
	习题 4	165
第 5 章	中央处理器	168
5.1	CPU 的组成与工作流程	168
5.1.1	CPU 的功能	168
5.1.2	CPU 的组成	169
5.1.3	CPU 的工作流程	171
5.1.4	指令的执行过程	172
5.2	数据通路的组织	175
5.2.1	数据通路的组成	175
5.2.2	数据通路的设计方法	182
5.2.3	单周期数据通路的设计	184
5.2.4	多周期数据通路的设计	190
5.3	控制器的组成	193

5.3.1	控制器的基本结构	193
5.3.2	时序信号的形成	195
5.3.3	μ OP 控制信号的形成	199
5.4	硬布线控制器的设计	199
5.4.1	控制单元的设计步骤	200
5.4.2	单周期控制单元的设计	201
5.4.3	多周期控制单元的设计	202
5.5	微程序控制器的设计	205
5.5.1	微程序控制思想	205
5.5.2	微程序控制器的组成与工作原理	206
5.5.3	微指令格式	208
5.5.4	微程序控制单元的设计	211
5.6	异常及中断的处理	214
5.6.1	异常及中断的基本概念	214
5.6.2	异常及中断的处理过程	215
5.6.3	支持异常处理的 CPU 设计	218
5.7	指令流水线技术	219
5.7.1	指令流水线概述	220
5.7.2	指令流水线的冒险处理	223
5.7.3	指令流水线的设计	229
5.7.4	指令流水线的并行技术	234
	习题 5	236
第 6 章 总线		240
6.1	总线概述	240
6.1.1	总线的分类	240
6.1.2	总线的特性	242
6.1.3	总线的性能指标	242
6.1.4	总线的操作过程	243
6.2	总线仲裁	245
6.2.1	集中式仲裁	245
6.2.2	分布式仲裁	247
6.3	总线定时与传输	248
6.3.1	总线定时方式	248
6.3.2	总线传输模式	251
6.3.3	总线标准	252
6.4	总线结构与互连	254
6.4.1	总线结构	254

6.4.2 总线互连	257
习题 6	258
第 7 章 输入/输出系统	260
7.1 I/O 系统概述	260
7.1.1 I/O 系统的组成	260
7.1.2 外设与主机的联系	261
7.1.3 I/O 的传送控制方式	263
7.2 外部设备	265
7.2.1 输入设备	265
7.2.2 输出设备	267
7.2.3 存储设备	271
7.3 I/O 接口	280
7.3.1 I/O 接口的功能	280
7.3.2 I/O 接口的组成	280
7.3.3 对 I/O 接口的访问	282
7.4 程序直接控制 I/O 方式	282
7.4.1 程序查询方式的 I/O 控制流程	282
7.4.2 程序查询方式的 I/O 接口组织	284
7.4.3 直接传送方式的 I/O 组织	285
7.5 程序中断 I/O 方式	286
7.5.1 中断的概念	286
7.5.2 中断接口的组织	291
7.5.3 中断系统的结构	292
7.5.4 多重中断与中断屏蔽的组织	294
7.6 DMA 方式	297
7.6.1 DMA 的传送方式	297
7.6.2 DMA 接口的功能与结构	299
7.6.3 DMA 的传送过程	300
7.6.4 DMA 接口的组织	301
习题 7	304
参考文献	307

第1章 计算机系统概述

本章主要讨论计算机的基本组成、工作过程及性能指标，使读者对计算机系统有一个简单的整机概念，为后续章节的学习打下基础。

1.1 计算机的功能与软硬件

电子计算机是一种能够自动对各种信息进行处理的高速装置。

电子计算机有电子模拟计算机和电子数字计算机两种类型。电子模拟计算机的数值用连续的物理量表示，计算过程也是连续的，如早期的电表等，其运算精度及运算能力都有限。电子数字计算机的数值用多位数字表示，它模仿算盘，采用按位及跳动式计算方式，运算精度及运算能力都较高，且具有逻辑判断功能。通常所说的计算机都是指电子数字计算机。

1. 计算机的功能

计算机的基本功能包括数据处理、数据存储和数据传送。

(1) 数据处理。指计算机应能够进行算术运算、逻辑运算，以满足各种计算需求；处理的数据除数值数据、逻辑数据外，还应包含文字、符号、视频和音频等多种类型数据。数据处理功能是计算机最基本的功能。

(2) 数据存储。指计算机应能够长期保存数据，以实现数据的多次使用。为了便于管理，数据通常以文件形式存放在存储器中。数据存储功能是计算机采用自动工作方式的根本保证。

(3) 数据传送。指计算机应能够进行内部部件之间、计算机系统之间的数据交换。数据传送功能是计算机应用必备的功能。

计算机的设计目标是一个用户可定制工具，而不是一个简单的电子设备。为了实现可定制目标，计算机应能够自动执行用户编制的程序，利用计算机的基本功能，来实现用户定制的功能。因此，计算机的功能都是通过执行程序来实现的。

计算机程序由若干有序的指令组成，可以表示用户的处理需求及处理步骤，进而可以模拟人类思维过程，因此，计算机又常被称为电脑。

2. 计算机的软硬件

众所周知，计算机系统由“硬件”和“软件”两大部分组成。

“硬件”是计算机系统中看得见、摸得着的实体部分，包括输入、输出、存储、处理等部件或设备，都由电子元器件、光/机/电等设备组成，不同部件可以实现不同的操作或处理功能。但硬件实现哪些功能、何时实现，都是由当前执行的指令来决定的，硬

件通过控制器产生相应的控制信号,来控制指令所约定功能的实现部件。

“软件”指计算机系统中看不见摸不着的、由用户预先编制的、需要实现特定功能的程序,程序由有序的指令串组成,可表示处理步骤及每步所含的操作。为了便于实现程序的多次使用,通常将程序存放在存储器中,使用时从存储器中取出即可。硬件通过自动执行程序中的指令,来实现软件所约定的功能。

可见,计算机系统中,软件以硬件为平台,即软件的功能依靠硬件实现;硬件以软件为窗口,即硬件的性能依靠执行软件反映。因此,计算机系统的性能通常用硬件平台上的软件性能来评价。

1.2 计算机的发展历程

计算机从问世到现在不过 70 余年,已经改变了人们的工作和生活方式,甚至改变了社会结构,堪称 20 世纪最有影响力的发明。在人类科技史上,还没有哪一种学科的发展可以与计算机相提并论。

对于计算机的发展历史,人们习惯用“代”来描述,但代的划分没有统一的标准,常见的分代标准是计算机所采用的基本器件类型。按照这种分代方法,计算机的发展共经历了 4 代。

1. 计算机的发展历程

1) 第一代计算机(1946—1958年)

第一代计算机采用电子管作为基本器件,存储器采用声延迟线或磁鼓。

第一台计算机为 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer, 电子数字积分和计算机),在 1946 年诞生,由美国宾夕法尼亚大学为美国国防部弹道研究实验室设计和制造,是人类文明发展史上的里程碑。

ENIAC 采用十进制进行数据的表示与运算,每秒可进行 5000 多次加法运算。ENIAC 有两个缺点:一是存储器容量太小,只能存放 20 个 10 位十进制数;二是编程使用线路连接方式,每次解题都要人工通过改变开关状态及插拔电缆来编程,使用极不方便。ENIAC 重达 30 t,占地 170 m²,共使用 18000 多个电子管,耗电量达 140 kW。

为了克服 ENIAC 的不足,作为 ENIAC 设计顾问的数学家冯·诺依曼,1945 年提出了存储程序(stored-program)方式的计算机方案,其基本思想是:程序和数据预先存放在存储器中,程序执行时,计算机自动、逐条地取出指令并执行。该计算机方案奠定了现代计算机的基本结构,一直沿用至今。

20 世纪 50 年代后期,计算机的应用范围已经从军用扩展到了民用,形成了计算机工业。美国 IBM 公司是计算机行业的领路者,其销量已超过 1000 台,运算速度在每秒数千次至上万次之间。

第一代计算机采用机器语言编程,尚无软件的概念,没有操作系统及高级语言。因此,只有专业人员才能使用计算机。

2) 第二代计算机(1958—1964年)

第二代计算机采用晶体管作为基本器件,采用磁芯存储器。

20世纪50年代末起,由于计算机的主要器件采用晶体管,因而计算机的体积小、功耗低、速度快、可靠性高,而且价格不断下降。同时,计算机开始采用磁芯存储器,使计算机速度得到了进一步地提高。运算速度已达到每秒几万次至几十万次。

第二代计算机的软件有了较大的发展,出现了单道批处理操作系统和多种高级语言,如FORTRAN、COBOL等。计算机在很多领域、特别是科学计算领域有了较为广泛的应用。

3) 第三代计算机(1964—1971年)

第三代计算机采用中小规模集成电路作为基本器件,仍采用磁芯存储器。

20世纪60年代中期,微电子技术的诞生使计算机步入了集成电路时代。第三代计算机主要采用小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)作为基本器件,计算机的体积、功耗、价格进一步下降,而速度、可靠性有大幅度提高,运算速度在每秒数十万次至近百万次之间。

第三代计算机的软件中,出现了多道批处理操作系统和分时操作系统,数据库等新技术也已得到广泛的应用。

第三代计算机的主要特点是通用化、系列化、标准化。通用化指计算机在科学计算、数据处理、实时控制方面的应用效率都较高。系列化指出现了档次不同但软件兼容的计算机,方便系统升级。标准化指计算机采用标准的输入/输出接口,除中央处理器独立设计外,其余部件都可采用积木式结构装配。

4) 第四代计算机(1971年至今)

第四代计算机采用超大规模集成电路作为基本器件,采用半导体存储器。

20世纪70年代初起,伴随着微电子学的飞速发展,出现了大规模集成电路(VLI)、超大规模集成电路(VLSI),其集成度也从几千个晶体管/片发展到上千万个晶体管/片。同时,半导体存储器取代了磁芯存储器,并不断向大容量、高速度发展,高速缓存、虚拟存储器等技术相继出现,也进一步提高了存储器的性能。伴随着流水线、多处理机等并行技术的采用,计算机的运算速度已飞速提升,从Intel处理器的发展可见一斑。2010年,中国“天河1号”的运算速度已达到2500亿万次/s。

第四代计算机的软件发展有目共睹,操作系统功能更加完善,网络、人工智能等技术使计算机功能更加强大、性能更加优越。

第四代计算机的一个显著特点是计算机的发展方向由统一走向了分裂,分别向大型、微型两个方向发展。微型机的出现形成了计算机发展史上的又一次革命,计算机进入了几乎所有的行业,改变了人们的工作和生活方式。

虽说这一代计算机采用的也是集成电路,但计算机已从高级计算工具发展成一门影响社会的新兴学科,据此划分为第四代,那是理所当然的。

2. 计算机的发展趋势

从第四代计算机起,计算机的发展方向正加速走向两极分化。

一极是微型计算机向更微型化、网络化、智能化方向发展,如掌上机、嵌入式系统等。更微型化可增加计算机的应用范围,便于计算机渗透到国民经济和社会生活的各个领域。网络化可扩展和加速信息的流通,通过共享资源提升计算机的性能,促进社会进

入信息时代和普适计算时代。智能化可模拟或部分代替人的智能活动,通过提供自然语言的人机接口,便于机器人的广泛应用。

另一极是大型计算机向巨型化、并行化、超高速方向发展,这是一个国家科技水平、经济实力、军事实力的象征。并行化可有效提高计算机的计算能力,如解决流体力学、海洋工程等规模较大的大型问题;巨型化以并行化为基础,还需要其他相关先进技术(如制造)的支持;超高速可提高计算机的计算速度,如解决天气预报、地震预报、激光武器等限时要求的大型问题。

1.3 计算机的硬件组成

1.3.1 冯·诺依曼计算机

早期的 ENIAC 计算机存储容量很小,编程采用线路连接方式,很不方便。1946年,数学家冯·诺依曼提出了以存储程序为核心的计算机模型,该计算机模型一直沿用至今。通常称该计算机模型为冯·诺依曼模型(结构),将采用该思想设计的计算机为冯·诺依曼计算机。

下面从硬件结构、工作方式、存储器结构三个方面进行介绍。

1. 硬件结构

冯·诺依曼计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成,其结构如图 1.1 所示,运算器、控制器常合称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。

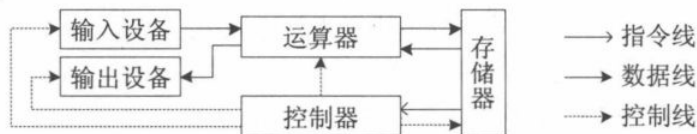


图 1.1 冯·诺依曼计算机的结构

其中,输入设备、输出设备负责程序和数据的输入、输出;存储器负责存储程序和数据;运算器负责处理数据;控制器负责指挥和控制各部件协调工作,以实现程序的预期功能。由于输入/输出与运算器进行数据交换,因此,计算机以运算器为中心。

2. 工作方式

冯·诺依曼计算机采用“存储程序”工作方式。存储程序的基本思想是:程序和数据预先存放在存储器中,机器工作时,自动、逐条地从存储器中取出指令并执行。

由数字电路所学可知,向存储器发出操作命令,一定延迟后存储器就可以完成操作;只要连续地向存储器发出操作命令,存储器就可以被连续访问。因此,程序和数据存放在存储器中,为计算机自动工作奠定了基础。

由程序设计经验可知,程序是由若干条指令组成的指令序列,指令类型有顺序型、转移型两种,程序的执行顺序由序列中每条指令的类型及执行结果决定。因此,程序执行时,必须逐条执行指令,不能同时执行多条指令,且下条指令地址由当前指令产生。

又由于程序存放在存储器中，因此，执行指令时，必须先将指令取到 CPU 中，CPU 分析指令（所含内容），然后才能执行指令（实现约定的具体操作）。

因此，程序执行过程可以看作一个循环的指令执行过程，循环变量为指令地址，如图 1.2 所示。其中，指令执行过程又可分为取指令、分析指令、执行指令三个阶段，当前指令由指令地址取得，并产生下条指令的指令地址。

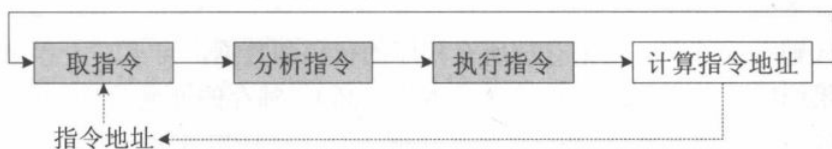


图 1.2 冯·诺依曼计算机的程序执行过程

3. 存储器结构

冯·诺依曼计算机中，存储器可以存放程序和数据，因此，计算机中只需一个存储器。根据存储程序工作方式的要求，存储器需要按地址进行访问。由于存储器中无须区分指令和数据（CPU 中才需要区分），因此，存储器可为由定长单元组成的一维空间。

可见，存储器应为由定长单元组成的一维空间，存储器按地址进行访问。通常，存储器地址为线性地址，即地址是连续的非负整数，如 $\{0, 1, 2, \dots\}$ 。

冯·诺依曼计算机还有其他一些特点，可归纳为如下几点：

- (1) 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成；
- (2) 指令和数据都采用二进制表示，运算也采用二进制方式；
- (3) 存储器为由定长单元组成的一维空间，按地址进行访问；
- (4) 程序由指令序列组成，程序和数据都存放在存储器中；
- (5) 指令由操作码和地址码组成，操作码指明操作的类型，地址码指明操作数在存储器中的地址；

(6) 机器工作时，自动、逐条地从存储器中取出指令并执行；

(7) 机器以运算器为中心，输入/输出设备与存储器的数据传送都经过运算器完成。

现代计算机大都采用冯·诺依曼计算机结构，因此，深入理解冯·诺依曼计算机的基本思想，对计算机组成原理的学习至关重要。

1.3.2 计算机的结构与部件

现代计算机大都采用冯·诺依曼计算机结构，但逐步在其基础上进行改进，以提高系统的性能。现代计算机的基本组成如图 1.3 所示，现代计算机结构的主要特点是以存储器为中心、多种存储器共存。

采用以存储器为中心的硬件结构，可以实现数据传送与数据处理的并行，使 CPU 专注于执行程序，以此来提高计算机的性能。

采用多种存储器共存的存储器结构，可以解决存储器日益突出的速度-容量-价格矛盾，如用主存储器（Main Memory）、辅助存储器（Secondary Memory）来代替冯·诺依曼计算机中的存储器。主存储器（主存或内存）用来存放程序执行时的代码和数据，

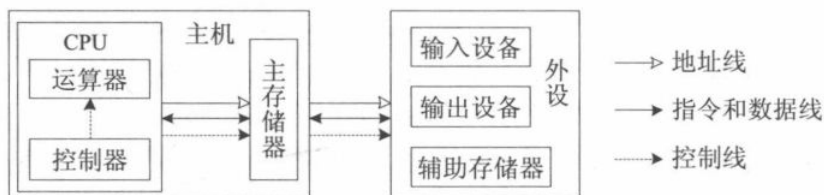


图 1.3 现代计算机的基本组成

辅助存储器（辅存或外存）用来存放所有程序的代码和数据，可见，主存是辅存的缓冲器。计算机组织时，主存的速度较快（成本也较高），辅存的速度较慢（成本也较低），且主存容量远小于辅存容量，CPU 只直接访问主存，这样做既可以提高 CPU 的访存速度，又可以使存储器的成本较低。

现代计算机中，通常将 CPU 和主存储器合称为主机，将输入设备、输出设备及辅助存储器合称为外部设备，如图 1.3 所示。

下面，简要介绍各部件的功能、工作方式，注意相关术语及基本概念的理解。

1. 存储器

存储器的主要功能是存储信息，可以通过操作实现信息的写入和读出。

现代计算机中，存储器由主存、辅存构成，计算机硬件中的存储器通常指主存，而将辅存归类为一种外部设备。

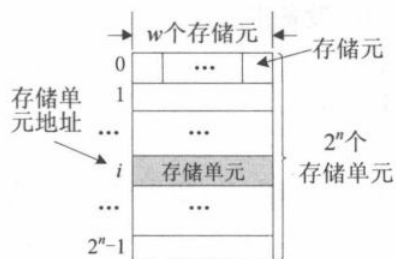


图 1.4 存储器的存储空间

由于存储器为由定长单元组成的一维空间，因此，存储器的存储空间可抽象为如图 1.4 所示的结构。可见，存储空间由若干个存储单元（Supercell）构成，每个存储单元由多个存储元（Cell）构成，每个存储元可以存储一位二进制信息（0 或 1）。

由于存储器按地址进行访问，由图 1.4 可见，每次访问的是一个存储单元，因此，访问地址为存储单元地址。存储器的外部引脚必须包含地址引脚、命令

引脚、数据引脚。

通常，将存储单元所存放的信息称为存储字，将存储单元所能存放的二进制位数称为存储字长或存储单元长度，因而，存储器的容量 = 存储单元个数 × 存储单元长度，例如，图 1.4 中存储器的容量为 $2^n \times w$ 位。

对存储器的操作通常只有读、写两种。读操作时，先向存储器发出地址及读命令，存储器根据访问地址来选择存储单元，并将所选存储单元的存储字送到数据引脚。写操作时，先向存储器发出地址及写命令，然后向存储器发出所写数据，存储器根据访问地址来选择存储单元，并将数据引脚上的数据写入所选存储单元。

2. 运算器

运算器的主要功能是对信息或数据进行处理或运算，并暂存处理或运算结果。

由于最频繁的运算为算术运算和逻辑运算，而算术运算是在逻辑运算基础上实现的，故两种运算常用同一个部件来实现，因此，运算器中都包含一个算术逻辑单元