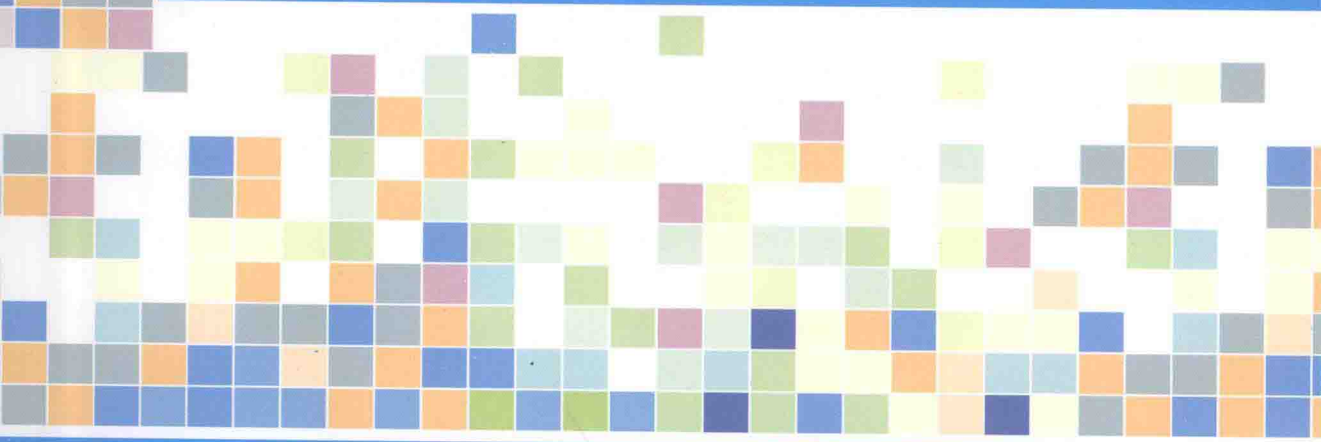




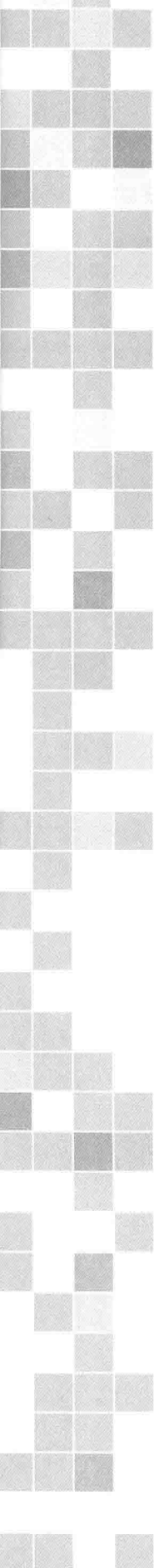
21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

新编计算机操作系统 双语教程

朱天翔 王溪波 编著



清华大学出版社



21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

新编计算机操作系统 双语教程

朱天翔 王溪波 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材的创新点是采用双语制,提供中英文教学素材,适应高等院校所提倡的双语教学模式,响应国际型人才培养战略的要求。在内容的编排上,每章后面将本章的主要概念、原理和算法附上英文教学内容。既可作为高等院校计算机相关专业的计算机操作系统课程的双语教材,也可供广大师生自学之用。

本书介绍了计算机操作系统的基本概念、原理和相关的技术。从计算技术的产生到操作系统的发展,从单机批处理操作到多道程序系统的实现,由浅入深、循序渐进,构成计算机操作系统的整体架构。全书共分8章,分别介绍计算机操作系统的基本概念;讲述处理机的管理内容,包括进程管理、进程同步、进程通信等;介绍内存管理和虚拟存储器的实现;阐述文件管理、设备管理的相关知识。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

新编计算机操作系统双语教程:汉、英/朱天翔等编著.--北京:清华大学出版社,2016

21世纪高等学校计算机教育实用规划教材

ISBN 978-7-302-43821-2

I. ①新… II. ①朱… III. ①操作系统-双语教学-高等学校-教材-汉、英 IV. ①TP316

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第119127号

责任编辑:付弘宇 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20.75 字 数:504千字

版 次:2016年7月第1版 印 次:2016年7月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:44.50元

前 言

1946 年世界上第一台计算机的面世开启了人类信息化文明的新时代。现今世界正在被以计算机技术为核心的信息化文明深深地影响和改变。

计算机是实现信息化的重要工具。操作系统是覆盖在计算机硬件之上的第一层系统软件。学习操作系统知识体系，对于计算机相关专业的本科生至关重要。

双语教学是目前各高等院校提倡的教学模式，是培养学生成为国际型人才的重要的教学手段。本教材采用双语制，每章后面将本章的主要概念、算法附上英文教学内容，为双语教学提供方便，有利于学生专业外语能力的提高。

学习计算机操作系统知识体系主要分为四个阶段：① 学习某一种具体的操作系统（如 Windows XP）的使用；② 学习计算机操作系统的基本原理；③ 通过学习研究某一种操作系统（如 Linux）的具体实现来体验计算机操作系统的基本原理；④ 操作系统的编程训练，在某一种具体的操作系统源代码中加入自己的个性化代码，培养开发大中型计算机软件所必备的编程能力和团队协作精神。

本书对应的是上述第二个阶段的教学环节，即为高等院校计算机及相关专业本科生的“计算机操作系统”课程提供双语授课教材。全书贯穿操作系统的核心概念、原理和各种算法，使学生了解计算机系统中硬件、软件的相互配合及高效率工作的原理。

全书共 8 章，第 1 章介绍计算机操作系统的基本概念；第 2~4 章主要讲述处理机的管理，分别阐述进程管理、进程同步、进程通信等内容；第 5、6 章讲述内存管理和虚拟存储器的实现；第 7 章阐述文件管理的相关内容；第 8 章介绍设备管理的相关内容。

本教材的编写过程中，得到了沈阳工业大学和清华大学出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢！此外，朱琪、李康泰、常欣、王传鹰等同志在本教材的编撰、整理和绘图等工作中，都付出了许多艰辛的劳动，为本教材的出版做出了许多贡献，谨向上述各位表示衷心的感谢！

本教材难免会有疏漏及不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016 年 5 月

目 录

第 1 章 操作系统引论	1
1.1 计算机的基本工作原理	1
1.1.1 自动计算	1
1.1.2 计算机基础	1
1.2 操作系统的产生	5
1.2.1 早期计算机的使用	5
1.2.2 批处理系统	6
1.2.3 分时系统	8
1.2.4 实时系统	9
1.3 操作系统的概念	9
1.3.1 操作系统的定义	9
1.3.2 操作系统与计算机其他软件及硬件的关系	10
1.3.3 操作系统的使用	11
1.4 操作系统的引导	11
1.5 操作系统特征	13
1.6 操作系统组成	14
1.6.1 处理机管理	14
1.6.2 内存管理	15
1.6.3 文件管理	16
1.6.4 设备管理	17
Chapter 1 Introduction to Computer	18
1.1 The Basic Principle of Computer	18
1.1.1 Computer Architecture	18
1.1.2 Computer System	19
1.2 Operating System Concepts	20
1.2.1 Operating System Definitions	20
1.2.2 Use of the Operating System	21
1.2.3 Operating System Several Related Concepts	22
1.3 System Components	23
1.3.1 Process Management	23

1.3.2	Memory Management	24
1.3.3	File-System Management	25
1.3.4	I/O Systems	26
	习题	26
第 2 章	进程管理	29
2.1	计算机程序的执行	29
2.1.1	计算机程序执行	29
2.1.2	多道程序的执行	30
2.2	进程	30
2.2.1	进程概念的引入	30
2.2.2	进程的概念	31
2.2.3	进程与程序的关系	31
2.2.4	进程的特征	32
2.3	进程控制块	32
2.3.1	进程控制块概述	32
2.3.2	进程控制块的内容	32
2.3.3	Linux 的进程控制块	33
2.3.4	进程控制块的组织方式	34
2.4	进程的状态	35
2.4.1	进程基本状态	35
2.4.2	进程基本状态的转换	36
2.4.3	带挂起的进程状态	37
2.5	进程控制	38
2.5.1	进程的创建	38
2.5.2	进程的终止	40
2.6	处理机调度	41
2.6.1	处理机调度的层次	41
2.6.2	进程调度的功能及实现方式	43
2.7	调度算法	45
2.7.1	调度算法的性能评价准则	45
2.7.2	先来先服务调度算法	46
2.7.3	短作业优先调度算法	47
2.7.4	高优先权优先调度算法	49
2.7.5	基于时间片的轮转调度算法	50
2.8	实时调度	52
2.8.1	实时调度的基本条件	53
2.8.2	实时调度算法	55

Chapter 2 Process Management	58
2.1 Process Concepts	58
2.1.1 Process Concepts	58
2.1.2 Process and Program	58
2.2 Process Control Block	59
2.2.1 Process Control Block	59
2.2.2 Process Control Block Contents	59
2.3 Process State	60
2.3.1 Basic States of a Process	60
2.3.2 Process State Change	61
2.3.3 Process State with the Pending	62
2.4 Operations on Processes	63
2.4.1 Process Creation	63
2.4.2 Termination of Process	64
2.5 CPU Scheduling	65
2.5.1 Queues and Schedulers	65
2.5.2 Schedule Criteria	68
2.5.3 First-Come, First-Served Scheduling	69
2.5.4 Shortest-Job-First Scheduling	70
2.5.5 Priority Scheduling	72
2.5.6 Round-Robin Scheduling	73
习题	74
第3章 进程同步	78
3.1 计算机程序的并发执行	78
3.1.1 程序的并发执行	78
3.1.2 前趋图	80
3.2 进程同步	81
3.2.1 临界资源与临界区	81
3.2.2 信号量	82
3.2.3 进程同步	83
3.2.4 改进的信号量机制	84
3.3 经典同步问题	88
3.3.1 生产者-消费者问题	88
3.3.2 读者-写者问题	91
3.3.3 哲学家问题	93
3.4 死锁	94
3.4.1 死锁的产生	94

3.4.2	预防死锁.....	96
3.4.3	死锁的检测与解除.....	101
3.5	管程.....	103
Chapter 3	Process Synchronization	106
3.1	Process Synchronization	106
3.1.1	Critical Section.....	106
3.1.2	Semaphore.....	106
3.2	Classic Problems of Synchronization.....	110
3.2.1	Producer-Consumer (Bounded-Buffer) Problem	110
3.2.2	The Readers-Writers Problem.....	111
3.3	Deadlocks.....	113
3.3.1	Causes of Deadlocks	113
3.3.2	Deadlock Avoidance.....	115
习题		119
第 4 章	进程通信与多线程	126
4.1	进程通信.....	126
4.1.1	共享存储区通信.....	126
4.1.2	消息传递系统.....	127
4.1.3	管道通信.....	130
4.1.4	Socket 通信.....	131
4.2	多核技术.....	134
4.2.1	并行计算机.....	135
4.2.2	多核处理器.....	136
4.2.3	操作系统对多核处理器的支持方法.....	137
4.3	线程与线程管理.....	139
4.3.1	线程.....	139
4.3.2	线程管理.....	141
4.4	多线程的实现.....	143
4.4.1	典型的实现方式.....	143
4.4.2	用户级线程实现.....	145
4.4.3	核心级线程实现.....	146
Chapter 4	Interprocess Communication and Multi-Threading	148
4.1	Interprocess Communication	148
4.1.1	Shared-Memory Systems	148
4.1.2	Message-Passing Systems.....	148
4.1.3	pipe.....	150

4.1.4	Socket Communication	151
4.2	Multiprocessor Systems	151
4.3	Threads	152
4.3.1	Motivation	152
4.3.2	Multithreading Models	153
习题		154
第 5 章	内存管理	155
5.1	重定位	155
5.2	分区式管理	156
5.2.1	单一连续区分配	157
5.2.2	固定分区分配	157
5.2.3	可变式分区	159
5.3	分页式管理	164
5.3.1	分页的基本工作原理	164
5.3.2	动态地址变换	166
5.3.3	快表	168
5.3.4	两级和多级页表	169
5.4	分段式管理	171
5.4.1	分段的基本工作原理	171
5.4.2	地址变换	172
5.4.3	分段管理的信息共享	173
5.5	段页式管理	174
5.5.1	段页式的基本工作原理	174
5.5.2	地址变换	175
Chapter 5	Memory Management	177
5.1	Address Binding	177
5.2	Continuous Memory Allocation	179
5.3	Paging	181
5.3.1	Basic Method	181
5.3.2	Caching	183
5.3.4	Hierarchical Paging	185
5.4	Segmentation	185
习题		187
第 6 章	虚拟存储器	192
6.1	虚拟存储器概述	192
6.1.1	虚拟存储器的引入	192

6.1.2	交换技术	193
6.2	请求页式管理	195
6.2.1	程序的局部性原理	195
6.2.2	工作集	195
6.2.3	缺页中断	196
6.2.4	地址变换	197
6.2.5	物理块的分配	199
6.2.6	调页策略	201
6.3	页面置换算法	202
6.3.1	最佳置换算法	202
6.3.2	先进先出页面置换算法	203
6.3.3	最近最久未使用置换算法	203
6.3.4	Clock 置换算法	205
6.3.5	其他置换算法	206
6.4	请求段式管理	207
6.4.1	段表机制	207
6.4.2	缺段中断机制	207
6.4.3	地址变换机制	208
6.4.4	分段的共享与保护	208
Chapter 6	Virtual Memory	210
6.1	Virtual Memory Concept	210
6.1.1	Background	210
6.1.2	Shared Pages and Swapping	211
6.2	Demand Paging	213
6.2.1	Locality Model	213
6.2.2	Working-Set Model	213
6.2.3	Page Faults	214
6.2.4	Address Translation	215
6.2.5	Allocation of Frames	216
6.3	Page Replacement Algorithms	217
6.3.1	First In First Out Page Replacement	217
6.3.2	Optimal Page Replacement	218
6.3.3	Least-Recently Used Page Replacement	219
6.3.4	Clock (Second Chance) Algorithm	220
	习题	221
第 7 章	文件管理	225
7.1	文件和文件系统	225

7.1.1	文件	225
7.1.2	文件系统	226
7.2	文件的逻辑组织和物理存储	227
7.2.1	文件的逻辑结构	227
7.2.2	文件的物理存储	229
7.3	存储空间的管理	232
7.3.1	空闲表法	233
7.3.2	空闲块链表法	233
7.3.3	位示图法	233
7.3.4	成组链接法	234
7.4	文件目录	236
7.4.1	文件控制块	236
7.4.2	索引节点	236
7.4.3	目录结构	237
7.5	文件的共享与保护	239
7.5.1	文件的共享	240
7.5.2	文件的保护	240
7.5.3	文件的保密	241

Chapter 7 File Management..... 243

7.1	File and File System	243
7.1.1	File Concept	243
7.1.2	File-System	245
7.2	File Structure and Storage	246
7.2.1	File Structure	246
7.2.2	Allocation Methods	248
7.3	Free-Space Management	251
7.3.1	Bit Vector	251
7.3.2	Linked List	252
7.3.3	Grouping	252
7.3.4	Counting	253
7.4	Directory	253
7.4.1	Inodes	253
7.4.2	Directory Structure	254
	习题	254

第 8 章 设备管理..... 259

8.1	I/O 系统的硬件	259
8.1.1	I/O 设备	259

8.1.2	设备控制器	260
8.1.3	I/O 通道	262
8.2	I/O 控制方式	263
8.2.1	程序 I/O 方式	263
8.2.2	中断控制方式	263
8.2.3	直接存取方式	264
8.2.4	I/O 通道方式	264
8.3	I/O 软件	265
8.3.1	I/O 软件的设计目标和层次结构	265
8.3.2	用户层的 I/O 软件	266
8.3.3	设备独立性软件	266
8.3.4	设备驱动程序	267
8.3.5	中断处理程序	268
8.4	缓冲管理	269
8.4.1	缓冲技术概述	269
8.4.2	单缓冲和双缓冲	270
8.4.3	循环缓冲	271
8.4.4	缓冲池	273
8.5	设备分配	274
8.5.1	设备分配中的数据结构	274
8.5.2	设备分配应考虑的因素	275
8.5.3	独占设备分配程序	277
8.5.4	SPOOLing 技术	277
8.6	磁盘存储器管理	279
8.6.1	磁盘存储器简述	279
8.6.2	磁盘调度算法	280
8.6.3	独立磁盘冗余阵列	283
Chapter 8 I/O Systems		285
8.1	I/O Hardware	285
8.2	I/O Control	286
8.2.1	Polling	286
8.2.2	Interrupts	287
8.2.3	Direct Memory Access	288
8.3	Principles of I/O Software	288
8.3.1	Goals of I/O Software	289
8.3.2	Interrupt Handlers	289
8.3.3	Device Drivers	290
8.4	Buffering and Device Management	291

8.4.1 I/O Scheduling 291

8.4.2 Buffering 292

8.4.3 Streaming 293

8.4.4 Spooling and Device Reservation 294

习题 295

习题参考答案 298

参考文献 317

操作系统是控制和管理计算机软硬件资源，合理地组织计算机工作流程，方便用户使用的系统软件。操作系统是配置在计算机硬件上的第一层软件，是硬件系统功能的首次扩充。它在计算机系统中占据了非常重要的地位，人们常把计算机的操作系统称为“人机接口”。

1.1 计算机的基本工作原理

1.1.1 自动计算

人类在蒙昧时代就已具有识别事物多寡的能力。原始人在采集、狩猎等生产活动中首先注意到一只羊与许多羊、一头狼与整群狼在数量上的差异。通过一只羊与许多羊、一头狼与整群狼的比较，逐渐认识到它们之间存在着某种共通的东西（即它们的单位性）。当对数的认识变得越来越明确时，人们感到有必要以某种方式来表达事物的这一属性，于是导致了记数。由记数到算数运算，逐步发展成为当今庞大的学科——数学。

数学的发展解决人们生产实践过程中的许多问题，从简单的买菜到复杂的导弹弹道的计算。数学已经渗透到人们生活的各个领域，为人类的发展做出了巨大贡献。

对于一些非常复杂的计算人们可以找到求解的方法，但是计算过程可能需要极大的工作量。例如导弹弹道的计算，其计算工作量可能需要几千人年。在这种情况下，人们就梦想着有一种机器，能够帮助人们自动计算。它能按照人们的求解方法，不厌其烦地、快速地计算，求出问题的解。

计算机的诞生，实现了人们自动计算的梦想。计算机（Computer）是一种能够按照事先存储的程序，自动、高速地进行大量数值计算和各种信息处理的现代化智能电子设备。它不仅具有计算的功能，还有逻辑判断、高速运算、大容量储存、记忆、输入、输出及处理等与人脑类似的功能。现代的计算机已不能与我国古老的算盘和早期的机械、机电计算机同日而语，称其为电脑可谓名符其实。1945年底，世界上第一台电子计算机在美国宾夕法尼亚大学诞生。这台电子计算机安装有18000多个电子管，重30多吨，运算速度是每秒5000次。

1.1.2 计算机基础

1. 进位计数制

所谓进位计数制是指按进位的原则进行计数。目前常用的进位计数制有十进制、二进制、八进制、十六进制等。

十进制中的数包括 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，其进位规则为逢十进一。

二进制中的数包括 0、1，其进位规则为逢二进一。

八进制中的数包括 0、1、2、3、4、5、6、7，其进位规则为逢八进一。

十六进制中的数包括 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，其进位规则为逢十六进一。

基数：某种数制中使用的数字的个数。例如：十进制数的基数是十；二进制数的基数是二；八进制数的基数是八；十六进制数的基数是十六。

数位：在某种数制中，数字在一个数中所处的位置称为数位。例如十进制数中包含个位、十位、百位、千位等。

位值：位值也叫权（位权），任何一个数都是由一串数字（符号）表示的，其中每一位所表示的值除其本身的数值外，还与它所处的位置有关，由位置决定的值就叫权。

不同进制中的权是不一样的，例如：十进制数中 10^0 、 10^1 、 10^2 、...；二进制数中 2^0 、 2^1 、 2^2 、...；八进制数中 8^0 、 8^1 、 8^2 、...；十六进制中 16^0 、 16^1 、 16^2 、...

例 1-1 一个二进制数 $(11011.101)_2$ ，求这个数各位权的表示。

解：

数	1	1	0	1	1	0	1	0	1
数位	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
权	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}

即 $(11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$ 。由此我们可以得出一个结论：对于 M 位进制，整数的权为 M^i ，从右向左， $i=0, 1, 2, 3, \dots$ ；小数的权为 M^I ，从左向右， $I=-1, -2, -3, \dots$ 。

2. 二进制

二进制是计算机技术中广泛采用的一种数制，由 18 世纪德国数理哲学大师莱布尼兹首先使用。二进制数据用 0 和 1 两个数码来表示，它的基数为 2，进位规则是“逢二进一”，借位规则是“借一当二”，当前计算机系统使用的基本上是二进制系统。数值计算可以采用任意进制，即二进制同十进制的计算都可以得到正确的结果。

二进制系统具有以下特点：

(1) 二进制数容易用物理器件实现，低电平和高电平这两个物理状态就可以分别代表 0 和 1；

(2) 二进制数具有良好的可靠性，因为只有两个物理状态，数据传输和运算过程中，不容易因为干扰而发生错误；

(3) 二进制运算法则简单；

(4) 二进制中使用的 1 和 0，可分别用来代表逻辑运算中的“真”和“假”，可以很方便地实现逻辑运算。

3. 布尔代数

布尔 (Boole George) 是英国数学家及逻辑学家。他是鞋匠之子，十六岁时在私立学校教数学，到 1835 年他自己开办了一所中等学校。在这个时期，他对数学产生了浓厚的兴趣，一边教书，一边自修高等数学。1849 年（尽管他没有学位）被任命为科克的女王学院的数学教授。1854 年，他出版了《思维规律的研究》一书，其中完满地讨论了这个主题并

奠定了现在所谓的符号逻辑的基础。在布尔代数里，布尔构思出一个关于 0 和 1 的代数系统，用基础的逻辑符号系统描述物体和概念。这种代数为今后数字计算机开关电路设计提供了最重要数学方法。

在数学上可以证明，任何复杂的逻辑关系，都可以由布尔代数表达的“与”“或”“非”三种基本逻辑组合而成。二进制、布尔代数为计算机的产生打下了坚实的基础。一个复杂的逻辑关系的电路，可以化简为“与”“或”“非”三种基本的开关电路实现，数字逻辑作为一门新的研究科目出现了。一个复杂的计算机的基本功能的逻辑可以通过数字逻辑电路得以实现。

4. 计算机体系结构

数学、逻辑学、电子学理论以及工程技术的飞速发展，使电子计算机的研制成为可能。那么究竟应该采用什么样的模式，什么样的体系结构来实现电子计算呢？冯·诺依曼提出了一套可行的计算机体系结构的设计。冯·诺依曼理论的要点是：数字计算机的数制采用二进制；计算机应该按照程序顺序执行。人们把冯·诺依曼的这个理论称为冯·诺依曼体系结构。从世界上第一台电子计算机（ENIAC）到当前最先进的计算机都是采用的冯·诺依曼体系结构。

根据冯·诺依曼体系结构构成的计算机，必须具有如下功能：把需要的程序和数据送至计算机中；必须具有长期记忆程序、数据、中间结果及最终运算结果的能力；能够完成各种算术、逻辑运算和数据传送等数据加工处理的能力；能够根据需要控制程序走向，并能根据指令控制机器的各部件协调操作；能够按照要求将处理结果输出给用户。为了完成上述的功能，计算机必须具备五大基本组成部件，包括：输入数据和程序的输入设备、记忆程序和数据的存储器、完成数据加工处理的运算器、控制程序执行的控制器、输出程序处理结果的输出设备。

虽然计算机的制造技术从计算机出现到今天已经发生了极大的变化，但在基本的体系结构一直沿袭着冯·诺依曼的传统结构，即计算机硬件系统由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备五大部件构成。计算机系统体系结构如图 1-1 所示。图 1-1 中实线代表数据流，虚线代表指令流，计算机各部件之间的联系就是通过这两股信息流动来实现的。原始数据和程序通过输入设备送入存储器，在运算处理过程中，数据从存储器读入运算器进行运算，运算的结果存入存储器，必要时再经输出设备输出，指令也以数据形式存于存储器中，运算时指令由存储器送入控制器，由控制器控制各部件分析处理。

冯·诺依曼体系结构具有如下基本特点：

- (1) 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成；
- (2) 采用存储程序的方式，程序和数据放在同一个存储器中，指令和数据一样可以送到运算器运算，即由指令组成的程序是可以修改的；
- (3) 数据以二进制码表示；
- (4) 指令由操作码和地址码组成；
- (5) 指令在存储器中按执行顺序存放，由指令计数器(即程序计数器 PC)指明要执行的指令所在的单元地址，一般按顺序递增，但可按运算结果或外界条件而改变；
- (6) 机器以控制器为中心，输入输出设备与存储器间的数据传送都通过控制器实现。

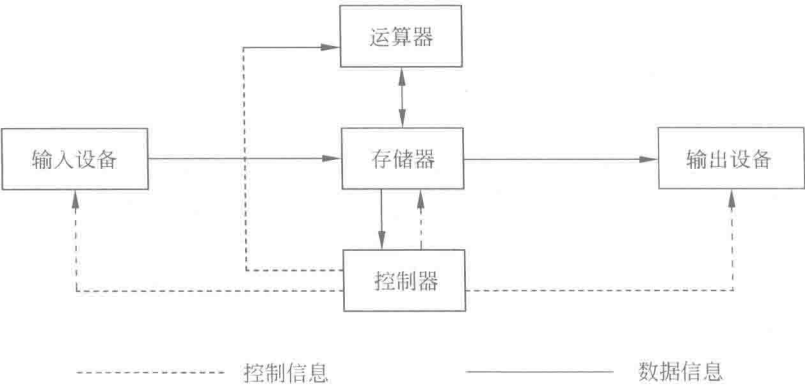


图 1-1 计算机体系结构

5. 计算机系统

一个完整的计算机系统包括硬件系统和软件系统两大部分，如图 1-2 所示。

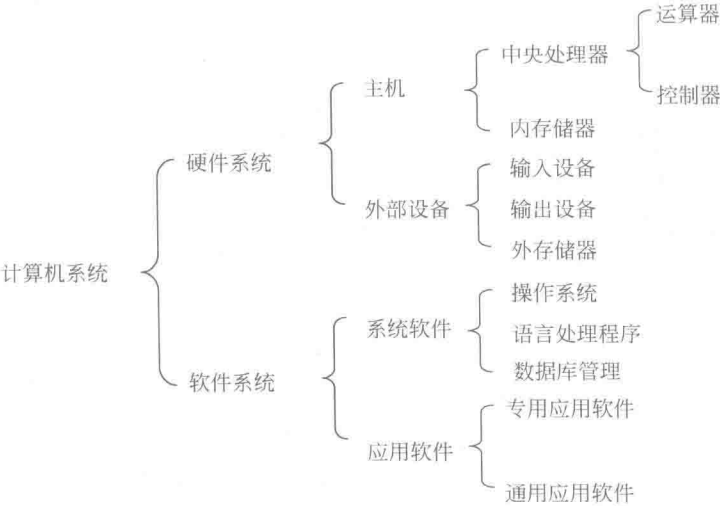


图 1-2 计算机系统

计算机硬件系统是指构成计算机的所有实体部件的集合，通常这些部件由电路（电子元件）、机械等物理部件组成。直观地看，计算机硬件是一大堆设备，它们都是看得见、摸得着的，是计算机进行工作的物质基础，也是计算机软件发挥作用、施展其技能的舞台。

计算机软件是指在硬件设备上运行的各种程序以及有关资料。所谓程序实际上是用户用于指挥计算机执行各种动作以便完成指定任务的指令的集合。用户要让计算机做的工作可能是很复杂的，因而指挥计算机工作的程序也可能是庞大而复杂的，有时还可能要对程序进行修改与完善。因此，为了便于阅读和修改，必须对程序作必要的说明或整理出有关的资料。这些说明或资料（称之为文档）在计算机执行过程中可能是不需要的，但对于用户阅读、修改、维护、交流，这些程序却是必不可少的。因此，也有人简单地用一个公式