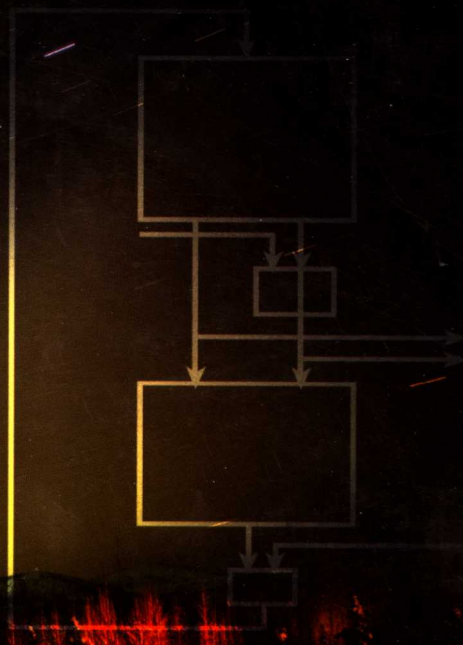
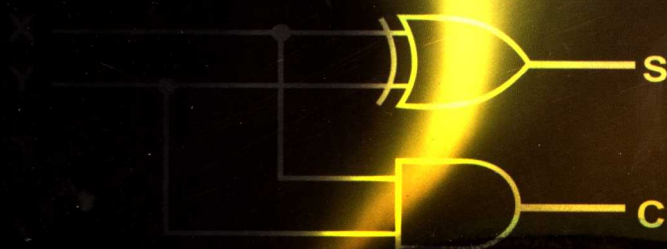


$s = a \oplus b;$

$c = a \& b;$

$s = a \text{ xor } b;$

$c = a \text{ and } b;$



Logic and Computer Design Fundamentals

Third Edition

逻辑与 计算机设计基础

(第三版)

[美] M. Morris Mano 著
Charles R. Kime
汪东 肖枫涛 等译

国外经典计算机科学教材

Logic and Computer Design Fundamentals
Third Edition

逻辑与 计算机设计基础

(第三版)

[美]



Morris Mano
Charles R. Kime

著

汪春 肖枫涛 等译



中国电力出版社
www.infopower.com.cn

Logic and Computer Design Fundamentals, Third Edition (ISBN 0-13-140539-X)

M. Morris Mano & Charles R. Kime

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc.

Original English Language Edition Published by Prentice Hall, Inc.

All rights reserved.

Translation edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD and CHINA ELECTRIC POWER PRESS,
Copyright © 2004.

本书翻译版由 Pearson Education 授权中国电力出版社在中国境内（香港、澳门特别行政区和台湾地区除外）独家出版、发行。

未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2004-5252

图书在版编目（CIP）数据

逻辑与计算机设计基础 / （美）克米著；汪东等译. 北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7-5083-2496-X

I. 逻... II. ①克... ②汪... III. ①数字逻辑 ②电子计算机—设计 IV. TP302

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 097695 号

丛 书 名：国外经典计算机科学教材

书 名：逻辑与计算机设计基础

编 著：（美）M. Morris Mano & Charles R. Kime

翻 译：汪东 肖枫涛 等

责任编辑：陈维宁

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市三里河路 6 号

邮政编码：100044

电 话：（010）88515918

传 真：（010）88518169

印 刷：北京丰源印刷厂

开本尺寸：185×233

印 张：34.5

字 数：756 千字

书 号：ISBN 7-5083-2496-X

版 次：2004 年 11 月北京第 1 版

2004 年 11 月第 1 次印刷

定 价：55.00 元

版权所有 翻印必究

出版说明

新世纪的朝阳刚刚露出丝抹微红，如火如荼的全球信息化浪潮便汹涌而至，让人无时无刻不感受到新一轮产业革命的气息。如何在这场变革中占尽先机，既是对民族信息业的挑战，也是机遇。从而，作为民族信息产业发展基石的高等教育事业就被赋予了比以往更重的责任，对培养和造就我国 21 世纪的一代新人提出了更高的要求。但在计算机科学突飞猛进的同时，专业教材的发展却严重滞后，越来越成为人才培养的瓶颈。同时，以美国为代表的西方国家计算机科学教育经历了充分的发展，产生了一批有着巨大影响力的经典教材，因此，以批判、借鉴的态度有选择地引进这些国外经典计算机教材，将促进国内教学体系和国外接轨，大大推动我国计算机教育事业的发展。

中国电力出版社进入计算机图书市场已有近 6 个年头，通过坚持“高端、精品、经典”战略，致力于与国外著名出版机构合作，出版了大批博得计算机业界和教育界赞誉的作品。通过与信息技术教育界人士的广泛沟通，同时依托丰富的出版资源，中国电力出版社适时推出了“国外经典计算机科学教材”的出版计划。本次教材出版计划是和美国最大的计算机教育出版机构——Pearson 教育集团（Addison-Wesley、Prentice-Hall 等皆为其下属子公司）合作，依托其数十年积累的大批经典教材资源，确保了教材选题的权威经典。

为保证这套教材的含金量，并做到有的放矢，我们在国内组织了由中国科学院、北京大学等一流院校教师组成的专家指导委员会，对高校课程教学体系做了系统、详细的调查，听取了众多教育专家、行业专家的意见，对教育部的教育规划进行了认真研究，并深入了解国外大学实际教学选用的教材状况，对国外教材做了理性的分析，确立了依托国家教育计划、传播先进教学理念、为培养符合社会需要的高素质创新型人才服务，来作为本次“国外经典计算机科学教材”出版计划的宗旨。

我们从 2002 年的下半年开始着手这套教材的策划工作，并多次组织了专家研讨会、座谈会等，分析现有教材的优点与不足，采其精华，并力争体现本套教材的质量和特色。

1. 深入理解国内的教学体系结构，并比照国外相同专业的课程设置，既具有现实的适用性，又立足发展眼光，具备一定的前瞻性。

2. 以计算机专业的核心课程为基础，同时配合专业教学计划，争取覆盖专业选修课程和专业任选课程。

3. 选取国外的最新教材版本，同时对照国内同专业课程的学时要求，对不适用的版本进行剔除，充分满足国内教学要求。

4. 根据专业对口和必须具备同课程教学经验的要求，严格挑选译者，并严把质量关，确保教材翻译的高质量。

5. 通过从原出版社网站下载勘误表及与原书作者进行沟通的方式，对原书中的错误一一做了修改。

6. 对教材出版的后期工作，如审校、编辑、排版、印刷进行了严格的质量把关。

经过专家指导委员会的集体讨论,并广泛听取广大高等院校师生的意见,反复比较,从数百种国外教材中遴选出数十种,列入第一阶段的出版计划。这些教材的作者无一不是学富五车的大师,如 Stallings, Date, Ullman, Aho, Bryant, Sedgewick 等,他们的作品均是一版再版,并被众多国外一流大学如 Stanford University, MIT, UC Bekerley, Carnegie Mellon Univeristy, University of Michigan 等采用为教材。拟订的第一阶段出版计划包括 30 种图书,内容覆盖程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等计算机专业核心基础课程,基本满足国内计算机专业的教学要求。

此外,为了帮助广大任课教师加深对本系列教材的理解,减轻他们的备课难度,我们从国外出版机构引进了大批的课程教学辅助资料,并积极延请国内优秀教师,根据其使用该系列教材中的教学经验,着手编写更加适合国内应用状况的教辅材料。

由于我们对国内高校计算机教育存在认识深度上的不足,在选题、翻译、编辑加工出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议,并期待有更多的人加入到我们的工作中来。我们的联系方式是:

电子邮件: csbook@cepp.com.cn

联系电话: 010-88515918-300

联系地址: 北京市西城区三里河路 6 号中国电力出版社

邮政编码: 100044

译者序

计算机是 20 世纪中期以来发展最为迅猛的科学技术,其应用几乎已经深入到人类生活的各个领域,不但极大地促进了社会生产力的发展,给人类生活带来众多便利条件,而且引起了经济结构、社会结构和生活方式的深刻变化,将人类带入了一个全新的信息时代。计算机科学与其他学科的交叉又不断产生了许多新的学科,推动着科学技术向更广阔的领域发展,对人类社会产生了深远的影响。

1950 年,世界上第一台电子管计算机 ENIAC (电子数字积分计算机) 诞生在美国宾夕法尼亚大学莫尔学院,它使用了 18800 个真空管,占地 1500 平方英尺,重达 30 吨,每秒只能进行 5000 次的加法运算。在经过半个世纪的飞速发展之后,时至今日计算机已经发展到第五代,其中最重要的特点是进行大规模并行处理 (MPP),采用可扩展结构、VLSI 硅片、高密度组装和光技术。其代表机器有 2002 年 NEC 公司推出的 Earth Simulator 系统,其结构主要基于 NEC SX-6 向量处理系统,最高 Linpack 性能为 35.8TFLOPS,比 1999 年世界上所有前 500 强计算机的总性能还要高。

随着计算机技术的不断发展,基本技术的进步对计算机设计的基础理论也产生了重要影响。例如,硬件描述语言和逻辑综合技术已经大大提高了设计过程的自动化程度,人们对于计算速度和低功耗的追求已经改变了某些基本设计理论。本书不但介绍了计算机逻辑与部件的基本设计原理和技术,而且力图反映这些技术的最新进展和发展趋势,使广大读者既能够掌握基础理论又不拘泥于设计陈规。

由加利福尼亚大学的 M. Morris Mano 先生与威斯康星大学的 Charles R. Kime 先生原著的这本《Logic and Computer Design Fundamentals》经过反复修订和再版,已经是第三次与读者见面了。无论对于初次涉及逻辑与计算机设计领域的学生,还是对于讲授计算机设计基本原理的教师,本书都是一本很好的参考。

本书的重点依然在基本概念上,每章后面都附有习题,用于增强读者对基本概念的理解。为了既使读者能够牢固掌握逻辑设计的基本理论,又能够体现一种自底向上的渐进的设计过程,本书对原有章节进行了重新编排。其中,第 1 章到第 6 章介绍逻辑设计,包括组合逻辑电路、算术运算函数与电路和时序电路等基础逻辑的设计方法;第 7 章到第 9 章介绍数字系统设计,涵盖寄存器文件、控制单元和存储器的设计基础;第 10 章到第 14 章直接介绍计算机的设计,包括指令集结构、流水线和相关控制技术、输入输出与通信、存储系统的设计等方面。其中很多新的内容,例如 USB 技术、超流水技术等都是在本书中出现。本书中的图形符号采用的是原书的图形符号,可能与国标符号不完全一致,请读者阅读时加以注意。

本书主要由汪东博士翻译。此外,肖枫涛、吕高峰、孙书为、张绪冰、刘明政、董亚卓、陈宝民、张杰良、肖和平、钟鸣、方小永等也参与了部分章节的翻译工作,在此表示衷心的感谢。全书最后由

汪东统稿。Be Flying 工作室负责人肖国尊负责本书翻译质量和进度的控制与管理。敬请各位读者就本书提供反馈意见，我们希望通过读者的意见来了解自己的不足，以求在今后译作中更多地、更切实际地考虑读者的需要。我们的邮件地址：be-flying@sohu.com

译 者

2004 年 6 月

前 言

本书的宗旨在于使广大读者理解逻辑和计算机设计的基本理论。一方面,其中有许多基本理论数十年都没有改变。另一方面,基本技术的进步也对这些基本理论的应用和所涉及的重点产生了重要影响。硬件描述语言和逻辑综合技术已经大大提高了设计过程自动化的程度,人们对于计算速度和低功耗的要求已经改变了计算机设计的基本理论。

本书第三版在内容上依然以基本理论为重点,但同时也反映了基本技术概念和所涉及的设计过程之间关系的重要性。例如,微程序技术曾经是控制单元的基本设计方法,但本书仅仅将其作为一种实现复杂计算机指令控制单元的设计技术介绍给读者。同样,随着时间的发展,这些基本技术也改变了对一些相关概念的理解。例如,这一版在与非门电路和或非门电路一节就采用了更全面的技术实现方法介绍给读者。

本书依然为广大教师提供了两种选择——既可以讲授 VHDL 和 Verilog 语言的基本内容,也可以完全跳过 HDL (hardware description language, 硬件描述语言) 部分的内容。阐述内容的方法重在讲述 HDL 描述与其描述的实际硬件逻辑之间的一致性。这种重要的方法对于编写用于逻辑综合的 HDL 语言非常关键,但是人们在使用这种方法的过程中,常常会忽略语言本身和流利性方面的很多重要细节。

总而言之,这版《逻辑与计算机设计基础》重点在于介绍使用硬件描述语言、综合与验证技术进行现代逻辑设计的基本理论,同时侧重于介绍计算机设计基本理论的用法。本书的重点依然在基本概念上,并采用手工习题的方式增强读者对这些概念的彻底理解。

为了体现一种不断发展的观点,并更好地处理日益增长的结构化问题和特别长的章,本版另一个重要特点就是对所有的章重新进行了组织。本书第 1 章到第 6 章介绍逻辑设计,第 7 章到第 9 章介绍数字系统设计,第 10 章到第 14 章直接介绍计算机的设计。这种编排既能够使读者牢固掌握数字系统设计的基本理论,又能够体现一种渐进的、自底向上的基础理论发展过程,同时这些理论都能够用于后面几章的自顶向下计算机设计过程。在这 14 章中,其中有 11 章都包含了第二版所没有的新内容,大约 50% 的习题都有改动或更新。本书中的许多内容在网站上都能够找到,网站上既包含这一版提供的新内容也包含从前几个版本中删掉的旧内容。下面给出各章的内容简介:

第 1 章——“数字计算机与信息”介绍了计算机系统和信息的表示方法,其中新增了 Gray 码一节。

第 2 章——“组合逻辑电路”介绍了门电路设计与优化的基本理论和概念,其中新增了多级逻辑优化一节。除了基本的字面上的逻辑门数,本章还将逻辑门输入的数目作为多级逻辑电路中更精确的一种成本评判依据。

第 3 章——“组合逻辑设计”概述了现代逻辑设计的过程,介绍了门电路的特性与延迟,以及一些诸如与非门、或非门、与或非门和或与或非门、异或门和异或非门的使用等技术性问题。本章还介绍了组合逻辑设计过程的详细步骤,包括问题描述、逻辑优化、技术映射与验证。关于技术映射这一部分,本章介绍了 ROM、PLA 和 PAL 等基本技术。FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列) 是学生实验中常用的一种电路实现技术,关于这一部分的内容,本书在网站上给

出,以便适应这一技术在本版的使用过程中的变化要求。

第4章——“组合函数及相应电路”介绍了组合电路中构件块的设计方法。本章已经将 MSI 逻辑的内容删掉了,而侧重于两个方面:1)基本组合函数及其实现方法;2)利用与改进这些函数及其相关实现方法的技术。这种侧重有利于读者更清楚地掌握结构化逻辑设计的基本理论,并将 HDL 综合得到的逻辑结果更形象化地表现出来。本章除了介绍译码、编码、编码变换、选择和分配等电路之外,还介绍了启用、输入固定(input-fixing)等电路技术。本章对各种类型的电路函数都给出了 Verilog 和 VHDL 语言的实现方法。

第5章——“算术运算函数及相应电路”介绍了算术运算函数及其实现技术。除了数字表示、加法、减法和乘法之外,本章还介绍了自增、自减、填充、扩展和移位函数及其实现方法,同时也提供了各种算术运算函数的 Verilog 和 VHDL 描述。

第6章——“时序电路”介绍了时序电路的分析和设计方法。本章介绍了锁存器、主从触发器和边沿触发器,重点介绍 D 型触发器。其他类型的触发器(例如 S-R、J-K 和 T 型)在现代电路设计中用得较少,本章也对其进行了介绍但不作为重点,而将相关的详细内容放在了网站上。同样,本章也为触发器和各种时序电路的实现提供了 Verilog 和 VHDL 描述。

第7章——“寄存器和寄存器传输”将寄存器的实现及其应用技术紧密结合在一起进行介绍。移位寄存器和计数器的设计是基于组合寄存器进行的,相关的内容已经在第4和第5章中进行了介绍。其中只有纹波计数器是全新的内容,这种技术与起源于 MSI 的电路一样,其重要性也是每况愈下。本章还新增了一节介绍寄存器单元的设计技术,这种技术能够使寄存器同时执行多个操作。同样,本章也为各种寄存器的实现提供了 Verilog 和 VHDL 描述。

第8章——“时序与控制”介绍了控制单元的设计技术。本章增加了对 ASM (Algorithmic State Machine, 算法状态机)描述方法的介绍,这种状态机是一种多路分支,类似于 Verilog 与 VHDL 语言中的“case”语句。本章侧重于硬件控制技术,微程序控制技术不再作为重点。

第9章——“存储器基础”介绍了 SRAM、DRAM 以及基本的存储系统技术。新增的关于同步 DRAM 的一节将涉及到当前这些技术的基础知识。读者可以在网站上找到有关 Verilog 和 VHDL 存储器模型。

第10章——“计算机设计基础”介绍了寄存器文件、功能单元、数据通路和两种简化计算机的设计方法。其中一个单周期的计算机,另一个是新增的多周期计算机,本章都做了较为详细的介绍,两者都采用了硬连线的控制技术。

第11章——“指令集结构”介绍了关于指令集结构的许多方面的理论,包括地址计数、寻址模式、体系结构和指令类型。本章采用一些短小的指令代码片段为例,阐述了寻址模式和有关指令其他一些方面的设计方法。

第12章——“RISC 和 CISC 中央处理器”介绍了流水式数据通路和相关控制技术。本章介绍了 RISC(Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机)的设计方法,还介绍了 CISC(Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集计算机)的设计方法。这种设计方法采用微程序控制部件与 RISC 基础相结合的思想来实现复杂指令。

第13章——“输入/输出与通信”介绍了 CPU、I/O 接口和外部设备之间的数据传输问题。本章对键盘、CRT 显示器和硬盘等外设进行了讨论,并用图例说明了键盘接口的设计。另外还讲述了从串行通信到 I/O 处理器等多方面的内容,其中用图说明了 USB(Universal Serial Bus, 通用串行总线)的结构。

第 14 章——“存储系统”特别侧重于对分级存储体系的讲述。其中，介绍了访问局部性的概念，并结合 cache 与主存、主存与硬盘之间的关系进行了阐述。本章还概述了 cache 参数的设计技术。关于存储管理方面，本章侧重讲述了分页和支持虚存的 TLB (translation lookaside buffer, 翻译后援缓冲器) 技术。

本书除了上述内容之外，还有许多丰富的辅助内容，介绍如下：

相关网站 (<http://www.prenhall.com/mano>) 的内容包括下面一些资料：1) 12 个阅读附录，其中包括新增的内容以及从前面几版中删掉的内容；2) 所有例子的 VHDL 和 Verilog 源文件；3) 所有章节的约 1/3 和阅读附录习题的答案；4) 勘误表；5) 第 1 章到第 9 章的 PowerPoint 演示文稿；(6) 本书中复杂图形和表格的投影原件。

设计工具包包括本书大部分国内和国际版本的设计工具，包括由 Xilinx 公司免费提供的 Xilinx ISE Student Edition 软件。读者通过 Xilinx 还可以下载到 ModelSim 逻辑模拟器的 XE demo 版。读者可以使用这些工具输入电路图和状态图，编译并模拟 VHDL 代码、Verilog 代码和电路图，综合 CPLD 和 FPGA 电路实现并对结果进行模拟。如果购买一些成本较低的实验硬件，那么这些工具完全能够满足学生进行基于 CPLD 或 FPGA 实验的各种需求。

教师手册的内容包括关于本书使用中的一些重要建议、获取其他 CAD 工具的信息和所有习题的答案。采用本书作教材的大学教师可以从 Prentice Hall 出版社购买到这本手册。

由于逻辑和计算机设计知识的覆盖面很广，本书可以实现大学二年级许多初级课程的教学目标。第 1 章到第 11 章在省略掉某些内容之后，可以在一个学期的课程中为一般的计算机专业、计算机工程专业、电子工程和工程技术专业的学生讲授硬件的基本知识。第 1 章到第 8 章介绍了逻辑设计的基本知识，电子和计算机工程专业的学生可以在一个学期内学习完。第 1 章到第 10 章再加上一些附录资料提供了更丰富的、更现代的逻辑设计理念，可以在一个学期内讲完。对于计算机工程与科学专业的学生，本书则提供了逻辑与计算机设计的基本理论，整本书可以在两个学期内学习完。整本书的内容再加上适当的附录资料和实验可以先后在逻辑设计和计算机体系结构课程中安排两个学期来讲授。最后，由于本书在内容广度上做了适当处理，因此也特别适合工程师和计算机科学家自学。

很多朋友在本书的写作过程中给予了帮助，其中奥克兰大学的 Richard E. Haskell、圣母玛利亚大学的 Eugene Henry、旧金山州立大学的 Sung Hu、新泽西理工学院的 Walid Hubbi 在本书起草第 1 章到第 8 章时提供了很好很详细的意见和建议，非常感谢他们对本书的改进所做的贡献。威斯康星大学的全体教师和学生也为本书做出了贡献。Jim Smith 教授的建议启发了我们在第 12 章中加入关于 CISC 设计发展方向的问题，Leon Shohet 教授根据其在使用第二版中的体会提供了很好的改进建议。我们还要特别感谢 Eric Weglarz，他从内容和准确性两方面彻底审阅了本书采用的新资料。我们同样要感谢 Eric 和 Jim Liu，他们为教授手册提供了所有新增和有改动的习题的答案。我们特别感谢 Prentice Hall 出版社的全体朋友，感谢他们为本版问世所做的努力。值得一提的还有 Tom Robbins 和 Alice Dworkin，感谢他们的指导和支持，感谢 Eric Frank 在本书的早期所做的贡献，感谢 Daniel Sandin 在本书的出版过程所做的非常有效和有益的工作。

最后，要特别感谢 Val Kime 女士，感谢她在第三版写作时自始至终所表现出的耐心与理解。

M. MORRIS MANO

CHARLES R. KIME

目 录

译者序

前 言

第1章 数字计算机与信息	1
1.1 数字计算机	1
1.2 数值系统	5
1.3 算术运算	9
1.4 十进制码	13
1.5 格雷码	16
1.6 字母数字码	17
1.7 本章小结	19
参考文献	20
习题	20
第2章 组合逻辑电路	22
2.1 二值逻辑和门	22
2.2 布尔代数	25
2.3 标准式	32
2.4 两级电路优化	36
2.5 卡诺图化简	45
2.6 多级电路优化	51
2.7 其他的门类型	55
2.8 异或操作符和异或门	58
2.9 高阻输出	60
2.10 本章小结	62
参考文献	63
习题	63
第3章 组合逻辑设计	69
3.1 设计的概念和设计自动化	69
3.2 设计空间	76
3.3 设计过程	82
3.4 工艺映射	87
3.5 验证	95
3.6 可编程实现技术	98
3.7 本章小结	104
参考文献	104
习题	105
第4章 组合函数及相应电路	111

4.1	组合电路.....	111
4.2	基本的逻辑函数.....	112
4.3	译码.....	116
4.4	编码.....	120
4.5	选取.....	123
4.6	组合函数实现.....	128
4.7	组合电路的 HDL 描述——VHDL.....	138
4.8	组合电路的 HDL 描述——Verilog.....	145
4.9	本章小结.....	150
	参考文献.....	150
	习题.....	151
第 5 章	算术运算函数及相应电路.....	158
5.1	迭代式组合电路.....	158
5.2	二进制加法器.....	159
5.3	二进制减法.....	165
5.4	二进制加法-减法器.....	169
5.5	二进制乘法.....	174
5.6	其他算术运算函数.....	176
5.7	HDL 描述——VHDL.....	180
5.8	HDL 描述——Verilog.....	183
5.9	本章小结.....	184
	参考文献.....	185
	习题.....	185
第 6 章	时序电路.....	189
6.1	时序电路的定义.....	189
6.2	锁存器.....	192
6.3	触发器.....	195
6.4	时序电路分析.....	203
6.5	时序电路的设计.....	211
6.6	其他类型的触发器.....	222
6.7	时序电路的 HDL 表示——VHDL.....	223
6.8	序列识别器的 HDL 描述——Verilog.....	229
6.9	本章小结.....	235
	参考文献.....	235
	习题.....	236
第 7 章	寄存器和寄存器传输.....	244
7.1	寄存器和加载使能.....	244
7.2	寄存器传输.....	247
7.3	寄存器传输操作.....	249
7.4	对 VHDL 和 Verilog 语言使用者的建议.....	251
7.5	微操作.....	252
7.6	对单个寄存器的微操作.....	256
7.7	寄存器单元设计.....	269
7.8	基于多路复用器和基于总线的多寄存器传输操作.....	274

7.9 串行传输及其微操作	277
7.10 移位寄存器和计数器的 HDL 描述——VHDL	280
7.11 移位寄存器和计数器的 HDL 描述——Verilog	281
7.12 本章小结	283
参考文献	283
习题	283
第 8 章 时序与控制	289
8.1 控制单元	289
8.2 算法状态机	290
8.3 ASM 图的实例	293
8.4 硬连线控制	299
8.5 二进制乘法器的 HDL 描述——VHDL	306
8.6 二进制乘法器的 HDL 描述——Verilog	308
8.7 微程序控制	310
8.8 本章小结	312
参考文献	313
习题	313
第 9 章 存储器基础	318
9.1 存储器定义	318
9.2 随机访问存储器	319
9.3 SRAM 集成电路	323
9.4 SRAM IC 阵列	328
9.5 DRAM IC	330
9.6 DRAM 类型	336
9.7 动态 RAM IC 阵列	340
9.8 本章小结	340
参考文献	340
习题	341
第 10 章 计算机设计基础	342
10.1 引言	342
10.2 数据通路	343
10.3 算术/逻辑单元	345
10.4 移位器	350
10.5 数据通路的描述	352
10.6 控制字	354
10.7 一种简化的计算机体系结构	359
10.8 单周期硬连线控制	364
10.9 多周期硬连线控制	370
10.10 本章小结	380
参考文献	380
习题	380
第 11 章 指令集结构	385
11.1 计算机体系结构的概念	385
11.2 操作数寻址	387

11.3	寻址模式	392
11.4	指令集结构	397
11.5	数据传送指令	398
11.6	数据处理指令	401
11.7	浮点计算	404
11.8	程序控制指令	408
11.9	程序中断	411
11.10	本章小结	414
	参考文献	415
	习题	415
第 12 章	RISC 与 CISC 中央处理器	420
12.1	流水数据通路	420
12.2	流水线控制	425
12.3	精简指令集计算机	428
12.4	复杂指令集计算机	446
12.5	有关设计的其他内容	455
12.6	本章小结	459
	参考文献	460
	习题	460
第 13 章	输入/输出和通信	463
13.1	计算机 I/O	463
13.2	简单的外设	464
13.3	I/O 接口	467
13.4	串行通信	473
13.5	传输模式	479
13.6	中断判优	481
13.7	直接存储器访问	484
13.8	I/O 处理器	488
13.9	本章小结	490
	参考文献	490
	习题	491
第 14 章	存储系统	494
14.1	分级存储器体系	494
14.2	访问的局部性	497
14.3	Cache 存储器	498
14.4	虚存	510
14.5	本章小结	515
	参考文献	516
	习题	516
	术语表	519

第 1 章

数字计算机与信息

本书主要介绍两个方面的内容：逻辑设计基础和计算机设计基础。逻辑设计主要涉及的内容是使用逻辑电路设计的数字硬件相关的基本概念和工具，计算机设计主要涉及的内容是设计计算机和其他复杂数字硬件时所需要的辅助概念和工具。通常，我们把计算机和数字硬件统一称为数字系统。所以，这本书的内容主要讲述如何理解和设计数字系统。由于计算机的通用性和复杂性，它为学习数字系统设计中的概念和工具提供了一个理想的工具，另外，由于计算机的广泛应用，它本身也有很大的研究价值。这样，本书的中心就是关于计算机和如何设计计算机的。

计算机不仅是一种工具，而且也是促进学习的催化剂。在本页的背面，我们给出了一个通常称为 PC 机（个人计算机）的分解状态图，我们用这个通用计算机来强调各个组成部分的重要地位和各个部件与整个系统之间关系的重要性。本章后面，我们将讨论通用计算机的各种主要组成部件，介绍各部件与常用于描述计算机的框图之间的关系。

1.1 数字计算机

今天，数字计算机在现代社会中的地位日益显著，以至于我们常说，我们生活在“信息时代”。计算机的使用遍及商务处理、通信、交通运输、医疗和娱乐等各个领域，它检测着天气和我们周围的环境，尤其在工业领域，计算机在产品设计和生产、分配和销售领域中发挥着巨大的作用。同时，计算机又是科学发现和工程研制领域的功臣，没有它，这些发展进步就不可能实现。值得注意的是，要为现代计算机设计新型处理器也要大量地用到计算机。

数字计算机最显著的特点是它的通用性。它可以遵循一系列的指令，也就是程序，对给定的数据进行操作。用户可以根据特定的需要加载或改变程序和数据。由于数字计算机的灵活性，多用途的数字计算机可以执行许多信息处理任务，而且涉及的应用程序范围很广。通用数字计算机是数字系统（digital system）最广为人知的例子。数字计算机的一个典型特征是它可以对信息中的离散元素进行处理，任何含有有限元素的集合都是由离散元素组成的。离散集合的例子很多，如阿拉伯数字中的 10 个十进制数，字母表中的 26 个字母，52 张纸牌和棋盘上的 64 个方格。早期的数字计算机主要用于数值计算，所以使用的离散元素就是这些数字，基于这种应用，所谓的数字计算机（digital computer）就诞生了。

在数字系统中，信息中的离散元素用物理量信号（signal）来表示。最常用的是电信号，如电压

和电流强度。电路中使用一种称为晶体管的电子设备实现对信号的处理。当今，大部分电子数字系统都只使用两个离散值来表示信号，所以常称为二进制 (binary)。

我们一般用电压值的范围表示这两个离散的数值，分别称为 HIGH 和 LOW。输出电压的划分范围和输入电压的划分范围如图 1-1 所示。HIGH 输出电压的范围为 4.0 伏至 5.5 伏，LOW 输出电压的范围为 -0.5 伏至 1.0 伏。高输入电压以 3.0 伏至 5.5 伏的范围认为是 HIGH，低输入电压以 -0.5 伏至 2.0 伏的范围认为是 LOW。输入电压的取值范围宽于输出电压，这样就保证电路性态变化，或者输出信号中增加或减少不希望存在的“噪声”时，仍能够确保其正常工作。

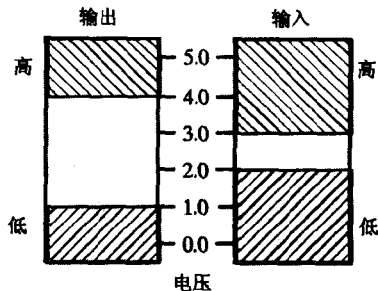


图 1-1 二进制信号电压范围的例子

我们为输入和输出电压的范围定义了很多名称，其中包括 HIGH (H) 和 LOW (L)，TRUE (T) 和 FALSE (F)，1 和 0。很明显，高电压范围用 HIGH 或 H 描述，低电压范围用 LOW 或 L 描述。但是我们知道，TRUE 和 1，FALSE 和 0 的对应关系是可以选择的，可以用 TRUE 和 1 来表示 HIGH 电压范围，用 FALSE 和 0 表示低电压范围，也可以用 TRUE 和 1 来表示 LOW 电压范围，相应的使用 FALSE 和 0 来描述高电压范围。在本书中除非有特殊指明，都假设 TRUE 和 1 对应 HIGH 电压范围 H，FALSE 和 0 对应 LOW 电压范围 L。

为什么要使用二进制呢？对比图 1-1 中的情况，设想系统用 10 个值来表示十进制数字。在这样的系统中，有效电压范围为 0 至 5.0 伏，要把这个范围分成 10 份，每一份的长度为 0.5 伏，电路就必须产生这 10 个范围中每一范围内的输出电压。电路输入必须能够判定输入电压位于这 10 个范围中的哪一个范围内。如果我们希望电路有抗噪声的能力，输出电压对于某个给定的数字表示只能在少于 0.25 伏的范围内变化，并且输入电压之间的界限也只能在少于 0.25 伏的范围内变化。这就需要复杂而昂贵的电路来实现，同时电路在生产和使用中仍然有可能会受到比较小的电压“噪声”或一些小的变动的干扰。因而，这种多值电路的使用是非常有限的。相反，二进制电路在两个输入电压和两个输出电压都发生较大变动时，也能执行正确的电路操作，这使晶体管电路的输出变得很简单，不是 HIGH 就是 LOW，只有两个选择，易于设计，同时可以非常可靠。

1.1.1 信息表示法

既然我们用 0 和 1 表示二进制数值系统，那么它们就是我们定义信号量范围的首选命名方法，我们称一个二进制信号为一位 (bit)。在数字计算机中，信息就是用多位数位表示的。当使用不同的译码技术时，多位数位不但可以用来表示二进制数，而且还可以表示其他的离散型信息。只要安排恰当，多位数位甚至可以用来表示计算机中执行的指令和处理的数据。

离散信息的获取手段有两种,要么从要处理的数据中自然产生,要么通过对连续值离散化得到。例如,在职工工资册中最初就要包含这样的离散型信息:雇员姓名、社会安全代号、每周薪金、收入所得税等等。雇员的薪水是通过一些离散型的数值表示的,例如字母表中的字母(表示雇员姓名)、数字(表示工资)和一些特殊的符号如\$。另一方面,工程师衡量汽车车轮的转速,这个值随时间连续变化,但是在统计表格中的某一个确定时间点上只能为一个确定的值。这样,工程师就量化了这个连续数据,使统计表中的数为离散信息。在这种情况下,如果度量可以转换为电信号,那么对信号在数值和时间上的量化都可以由一个模数转换设备自动完成。

1.1.2 计算机结构

图 1-2 中给出了一个数字计算机的结构图。图中,存储器用于存储程序和输入、输出及中间运算产生的数据。数据通路执行程序规定的算术运算和其他数据处理操作。控制单元监督不同部件间的信息交换。当数据通路与控制单元相结合的时候,组成一个新的部件,我们称之为中央处理单元(central processing unit),也就是 CPU。

用户的程序和数据可以通过像键盘这样的输入设备传递给存储器。由输出设备如 CRT(阴极射线管)监视器输出计算结果,并将结果显示给用户。数字计算机可能会包含不同的输入输出设备,例如硬盘、软盘驱动器、光盘驱动器和扫描仪。这些设备采用一些数字逻辑电路,但是常常也会包括模拟电子电路、光学传感器、CRT 或者 LCD(液晶显示器)和机电设备。

CPU 中的程序控制单元从程序(存储在存储器中的)中逐个地提取指令。对每条指令,控制单元控制数据在相应的通路上流动,以实现每条指令指定的操作。程序和数据都存储在存储器中,数字计算机是一个强有力的系统,它可以执行算术运算,对字母构成的字符串进行操作,经过编程后还可以根据外部和内部条件进行判断。

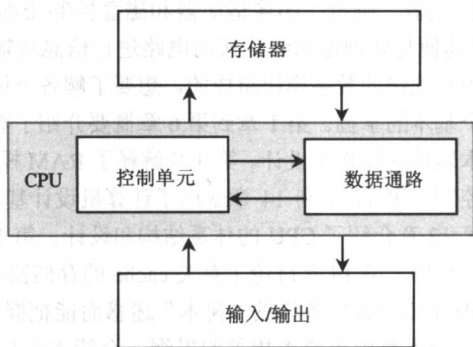


图 1-2 数字计算机结构图

1.1.3 关于通用计算机的其他内容

在这一部分,我们将简要地讨论通用计算机和与图 1-2 中各模块相关联的部件。本章开头的图的左下部分是计算机的核心部分,一个集成逻辑电路,我们称为处理器(processor)。现代处理器的