



面向21世纪计算机专业本科系列教材

数字逻辑

Digital logic

(第二版)

欧阳星明 主编



华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

面向 21 世纪计算机专业本科系列教

数 字 逻 辑

(第二版)

主 编 欧 阳 星 明

编 者 欧 阳 星 明 陈 传 波 章 勤 李 昕

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑(第二版). 欧阳星明 主编
武汉:华中科技大学出版社,2005年3月
ISBN 7-5609-3344-0

I. 数 …

II. 欧阳…

III. 数字逻辑-高等学校-教材

IV. TP302.2

数字逻辑(第二版)

欧阳星明 主编

责任编辑:沈旭日

封面设计:潘 群

责任校对:刘 飞

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北省新华印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:23.25

字数:400 000

版次:2005年3月第2版

印次:2005年3月第13次印刷

定价:29.80元

ISBN 7-5609-3344-0/TP·558

(附赠光盘一片)

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书以飞速发展的数字集成电路为背景,将数字电子技术和数字逻辑电路的有关知识融为一体,系统地介绍了数字系统逻辑电路分析与设计的基本知识、理论和方法,并阐述了采用各种不同规模的逻辑器件进行分析与设计的详细过程。全书内容包括基本知识、逻辑代数基础、集成门电路与触发器、组合逻辑电路、同步时序逻辑电路、异步时序逻辑电路、中规模通用集成电路、可编程逻辑器件和综合设计举例等内容。

本书体系新颖、结构合理、取材先进、文句精练、题例丰富。随书配有光盘一片,内含实验演示和学习自评,并编写了与教材配套的教辅教材《数字逻辑学习与解题指南》。此外,研究开发了相应的数字逻辑虚拟实验软件、多媒体 CAI 课件、远程网络课件、视频课件和试题库等,构成了一个集理论教学、实践教学以及自学、自测等环节为一体的立体化教学系统。

本书可作为高等学校计算机、电子工程、自动化、通信等专业“数字逻辑”课程的教材,也可作为成人教育相关课程的教材,并可供相关专业科技人员参考。

面向 21 世纪计算机教材出版指导委员会

主任 陈火旺 沈绪榜 邹寿彬
委员 (以姓氏笔画为序)
 王长胤 韦 敏 卢开澄 卢正鼎
 齐 欢 刘太林 何炎祥 张 峰
 杨传谱 苏锦祥
秘书 沈旭日

面向 21 世纪计算机专业本科系列教材编委会

主任 何炎祥 卢正鼎
委员 (以姓氏笔画为序)
 卢炎生 肖德宝 陈 珉 张 峰
 贺贵明 姜新祺 熊前兴
秘书 沈旭日



总 序

自 1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 诞生以来,计算机硬件系统经过了电子管、晶体管、小规模集成电路和大规模集成电路等几个阶段,正遵循着摩尔定律高速地发展:1998 年,速度最快的个人 PC 微处理器是 Intel 450MHz 的 Xeon, 1999 年速度最快的已达 800MHz;1997 年 2.1GB 的磁盘容量已经很不错了,1999 年则已突破 10GB……软件方面,无论是操作系统、数据库系统,还是编程语言、应用软件,更是频繁地更新换代,令人眼花缭乱。

与此同时,作为计算机与通信技术结合的产物——计算机网络得到了迅速发展,特别是 Internet 技术的广泛应用,使得计算机网络的规模越来越大,网上主机数目一直保持每 3 年增长 10 倍的速率,Internet 上的数据流量则保持着平均每半年就翻一番的增长速率,信息网络已交叉纵横整个世界,将偌大的世界连成了一个“地球村”。

计算机技术日新月异的进步,对现有的计算机专业的教学模式提出了挑战,同时也带来了前所未有的机遇。深化面向 21 世纪的教学改革,寻求一条行之有效的途径,培养跨世纪的高素质的科技人才,已是当务之急。如果说教学内容、课程体系的改革是教学改革的重点和难点,那么,教材建设则是其不可或缺的重要组成部分。华中理工大学出版社敏锐地抓住了这一点,在其倡议和组织下,我们经过研究、讨论和对教学经验进行总结,规划了这套“面向 21 世纪计算机教材”。为了满足各级各类学校人才培养的需要,这套教材计划包括计算机专业类教材和非计算

机专业类教材,从层次上则可划分为研究生层次、本科生层次、高职高专层次、中职中专层次、中小学层次等若干个子系列,将陆续分批出版。

当今世界,信息革命方兴未艾,知识经济已见端倪,教育观念正面临从注重以知识为主体向以能力为主体的转变。我们在对教材进行规划和评审时,尤其注重把提高学生素质、培养学生的应用能力和创新能力作为首要的评价标准,同时注意教材的特色和教学的实用性,反映最新的教学和科研成果,体现时代特征。

限于水平和经验,这批教材的编写、出版还存在不足,希望使用教材的学校、教师和学生以及其他读者积极提出批评意见,以便我们及时更新、修订,以满足读者要求。

面向 21 世纪计算机教材出版指导委员会主任

陈火旺 (中国科学院院士,国防科技大学教授)

沈绪榜 (中国科学院院士,华中理工大学教授)

邹寿彬 (华中理工大学教授,副校长)

2000 年 2 月 10 日

人们已普遍认识到:21 世纪是信息时代,以计算机为核心的信息技术是 21 世纪科技发展的大趋势。那么,作为计算机专业人才培养基地的大学计算机专业,如何适应这种发展,培养出符合时代要求、具有创新能力的人才呢?这是近年来计算机教育界讨论的热门话题,也是我们长期思考并努力探索的课题。

教材是人才培养的基础。在华中理工大学出版社的倡议和委托下,我们自 1998 年下半年起就开始讨论、筹划编写一套适应 21 世纪人才培养需要的计算机本科专业系列教材。在此基础上,我们组织了武汉大学、华中理工大学、华中师范大学、武汉测绘科技大学、武汉水利电力大学、武汉交通科技大学等院校的部分教师共同编写了这套“面向 21 世纪计算机系列教材”,以期总结我们在教学内容和课程体系改革方面的体会和做法,在适应 21 世纪的教材建设方面作出自己的努力。

值得欣慰的是,在教材的编写过程中,全国计算机专业教学指导委员会、中国计算机学会教育委员会联合推出了“计算机学科教学计划 2000”(简称“2000 教程”),这就更增强了我们编好这套教材的信心。在编写过程中,我们吸收了其中与我们内容相异的新内容。因此,也完全可以说,这套教材是与“2000 教程”完全配套的教材。

我们这套系列教材的编写计划分为两个阶段:第一阶段,在 2000 年内出版“2000 教程”中所涉及的所有专业课和部分专业基础课教材;第二阶段,在 2000 年以后出版与这套教材相配套的实践课和实验课教材,以及教学辅导书。

我们希冀这套教材具有以下特点:

1. 基础性和先进性相结合。与其他学科相比,计算机学科的一个显著特点就是知识内容更新更快,这对教学内容的选取、课程知识结构的构建提出了挑战。基于大学教育应努力实现知识、能力、素质三者辩证统一的目标,我们把编写的重点放在基础知识、基本技能和基本方法上,希望提高学生的理论素养和分析问题、解决问题的能力;与此同时,注重介绍最新的技术和方法,以拓展学生的知识面,激发他们学习的积极性和创新意识。

2. 理论性与应用性相结合。理论是规律的表现形式,良好的理论素养是应用的前提,而掌握理论的目的就是应用。在教材的编写过程中,我们注意了理论的系

统性,在讲深讲透主要知识的基础上,各门课程知识点的选取做到尽量广一些;融理论性和应用性于一体,在阐述理论的同时,尤其注意理论方法的讲授,以培养学生应用理论和技术的能力。此外,精心设计了比较多的习题,以加强应用能力和创造能力的培养。

3. 时代性和实用性相结合。力求精简旧的知识点,增加新的知识点,使整个知识建立在“高”、“新”平台上,体现教材的时代特征。但是,并不片面追求“高”、“新”,而是实事求是地充分考虑一般高校目前所拥有的教学设备、师资条件,注重教材的实用性。我们以为,教材建设不可能毕其功于一役,而必须根据学科的发展和客观环境以及条件的变化不断努力和改进。需要说明的是,与“2000 教程”相比,我们根据人的认识规律和教学安排的需要,将有些课程进行了划分或合并,以便于教师根据需要灵活安排。

4. 科学性与通俗性相结合。概念原理、新技术的阐述力求准确、精练;写作风格上尽量通俗易懂、深入浅出、图文并茂,增加可读性,便于学生自学。

如果说科学技术快速发展是 21 世纪的一个重要特征的话,那么,教学改革将是 21 世纪教育工作永恒的主题,是需要不断探索的课题。我们要达到以上目标,还需要不断地努力实践和完善。欢迎使用这套教材的教师、学生和其他读者提出宝贵意见。

最后,衷心感谢参加这套教材编写的所有作者所贡献的成果和辛勤的汗水,对为这套教材的编写提供支持的有关学校、院系的领导和老师表示诚挚的谢忱!感谢华中理工大学出版社为本系列教材的出版所付出的艰辛和努力!

面向 21 世纪计算机专业本科系列教材编委会主任

何炎祥 (武汉大学教授)

卢正鼎 (华中理工大学教授)

1999 年 11 月 20 日

第二版前言

时代的发展和技术的进步,对传统的教育体系和人才培养模式提出了新的挑战。面向 21 世纪的高等教育正在对专业结构、课程体系、教学内容和教学方法进行系统的、整体的改革,教材建设是改革的重要内容之一。我们正处在一个信息的时代,各行各业对信息学科人才的需求越来越大。如何为社会培养更多的具有创新能力、解决问题能力和高素质的信息学科人才,是目前高等教育的首要任务之一。

“数字逻辑”是信息学科各专业本、专科学生必修的一门专业技术基础课。设置本课程的主要目的是:使学生掌握数字系统分析与设计的基本知识与理论,熟悉各种不同规模的逻辑器件,掌握各类逻辑电路分析与设计的基本方法,为数字计算机和其他数字系统的硬件分析与设计奠定坚实的基础。为满足教学的需求,国内外出版了大量相关的教科书,这些教科书各具特色,其中有许多被公认是十分优秀的作品。然而,该领域的教科书一般都受摩尔定律影响,即便是最优秀的教科书也必须不断更新、完善。本教材第一版是参照全国高校计算机专业教学指导委员会、中国计算机学会教育委员会与全国高等学校计算机教育研究会联合推荐的《计算机学科教学计划 2000》的指导思想,从传授知识和培养能力的目标出发,结合作者长期从事教学与科研的经验及本课程教学的特点、要点和难点编写的;2000 年出版发行之后受到了广大读者的关爱,在 4 年多的时间里先后 12 次印刷。然而,随着信息技术的飞速发展和教学改革不断深入,在教材使用过程中我们深感其仍存在许多不尽人意的地方,常常不免有愧对读者之感,希望不断加以改进和完善。本次修订就是在第一版的基础上进行的。

数字集成电路是数字计算机和各类数字系统功能实现的物质基础,本教材以高速发展的数字集成电路为纽带,将数字电子技术和数字逻辑的有关知识融为一体,较完整地阐述了各种不同规模的数字集成电路及其在数字系统逻辑设计中的应用,力图使学生在掌握逻辑设计基本理论和方法的基础上,了解数字器件的更新换代对数字系统设计方法产生的重要影响以及新的发展趋势、不断掌握新的技术,以适应数字技术快速发展的需要。全书共分 9 章,内容可归纳为四大部分。第一部分主要介绍数字系统逻辑设计的基本知识、基本理论和基本逻辑器件,由 1~3 章组成;第二部分以小规模集成电路为基础,详细讨论了组合逻辑电路和时序逻辑电路分析与设计的经典方法,由 4~6 章组成;第三部分重点介绍常用中规模通用

集成电路、大规模可编程逻辑器件及其在逻辑设计中的应用,包括常用中规模组合逻辑电路、中规模时序逻辑电路、信号产生与变换电路、常用可编程逻辑器件以及 20 世纪 90 年代出现的 ISP 技术等内容,由 7、8 两章组成;第四部分综合运用该课程所学知识,进行了实际问题设计举例,意在进一步将理论知识与实际应用紧密结合,达到学以致用目的,在第 9 章完成。本教材的本科教学参考学时数为 80 学时(含 16 学时左右实验),不同专业和不同层次可按课程学时数的多少和实际需求,由任课教师根据具体情况对教材内容,尤其是对标题前注有星号(*)的部分进行适当取舍。

为了满足教学与自学的需要,随书配有光盘一片,内含实验演示和学习自评,并编写了与教材配套的辅导教材《数字逻辑学习与解题指南》。此外,还研究开发了相应的数字逻辑虚拟实验软件、多媒体 CAI 课件、远程网络课件、视频课件和试题库等丰富的教学资源,构成了一个集理论教学、实践教学以及自学、自测等环节为一体的立体化教学体系。使用者可根据需要对各项教学资源灵活选用。

本书由欧阳星明主编,陈传波、章勤和李昕参与了部分编写工作。在本书的编写过程中,得到了华中科技大学计算机学院领导和同事的许多关心,“数字逻辑”课程教学小组的秦磊华、孙百勇、刘景宁、唐九飞等老师,以及外校的雷晓平、王槐斌、喻成等老师对该书内容的组织提出了许多宝贵的意见,华中科技大学出版社为本书的出版给予了大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误难免,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2004 年 12 月于华中科技大学

目 录

第 1 章 基本知识	(1)
1.1 概 述	(1)
1.1.1 数字系统	(1)
1.1.2 数字逻辑电路的类型和研究方法	(4)
1.2 数制及其转换	(6)
1.2.1 进位计数制	(6)
1.2.2 数制转换	(9)
1.3 带符号二进制数的代码表示	(12)
1.3.1 原码	(13)
1.3.2 反码	(14)
1.3.3 补码	(15)
1.4 几种常用的编码	(16)
1.4.1 十进制数的二进制编码	(16)
1.4.2 可靠性编码	(18)
* 1.4.3 字符编码	(21)
习题一	(22)
第 2 章 逻辑代数基础	(23)
2.1 逻辑代数的基本概念	(23)
2.1.1 逻辑变量及基本逻辑运算	(24)
2.1.2 逻辑函数及逻辑函数间的相等	(27)
2.1.3 逻辑函数的表示法	(28)
2.2 逻辑代数的基本定理和规则	(29)
2.2.1 基本定理	(29)
2.2.2 重要规则	(31)
2.2.3 复合逻辑	(33)
2.3 逻辑函数表达式的形式与变换	(35)
2.3.1 逻辑函数表达式的基本形式	(35)

2.3.2	逻辑函数表达式的标准形式	(36)
2.3.3	逻辑函数表达式的转换	(39)
2.4	逻辑函数化简	(42)
2.4.1	代数化简法	(42)
2.4.2	卡诺图化简法	(44)
* 2.4.3	列表化简法	(55)
习题二		(59)
第 3 章	集成门电路与触发器	(62)
3.1	数字集成电路的分类	(62)
3.2	半导体器件的开关特性	(64)
3.2.1	晶体二极管的开关特性	(64)
3.2.2	晶体三极管的开关特性	(68)
3.3	逻辑门电路	(71)
3.3.1	简单逻辑门电路	(71)
3.3.2	TTL 集成逻辑门电路	(74)
3.3.3	CMOS 集成逻辑门电路	(87)
3.3.4	正逻辑和负逻辑	(92)
3.4	触 发 器	(94)
3.4.1	基本 R-S 触发器	(95)
3.4.2	常用的时钟控制触发器	(100)
* 3.4.3	不同类型时钟控制触发器的相互转换	(112)
习题三		(115)
第 4 章	组合逻辑电路	(118)
4.1	组合逻辑电路分析	(118)
4.1.1	分析方法概述	(119)
4.1.2	分析举例	(119)
4.2	组合逻辑电路设计	(122)
4.2.1	设计方法概述	(122)
4.2.2	设计举例	(123)
4.2.3	设计中几个实际问题的处理	(127)
4.3	组合逻辑电路的险象	(136)
4.3.1	险象的产生	(136)

4.3.2 险象的判断	(138)
4.3.3 险象的消除	(140)
习题四	(142)
第5章 同步时序逻辑电路	(144)
5.1 时序逻辑电路概述	(144)
5.1.1 时序逻辑电路的结构	(144)
5.1.2 时序逻辑电路的分类	(145)
5.1.3 同步时序逻辑电路的描述方法	(147)
5.2 同步时序逻辑电路分析	(149)
5.2.1 分析方法和步骤	(149)
5.2.2 分析举例	(150)
5.3 同步时序逻辑电路设计	(157)
5.3.1 设计的一般步骤	(157)
5.3.2 完全确定同步时序逻辑电路设计	(159)
* 5.3.3 不完全确定同步时序逻辑电路设计	(174)
5.3.4 同步时序逻辑电路设计举例	(180)
习题五	(187)
第6章 异步时序逻辑电路	(191)
6.1 异步时序逻辑电路的特点与分类	(191)
6.2 脉冲异步时序逻辑电路	(192)
6.2.1 脉冲异步时序逻辑电路的结构模型	(192)
6.2.2 脉冲异步时序逻辑电路的分析	(192)
6.2.3 脉冲异步时序逻辑电路的设计	(196)
6.3 电平异步时序逻辑电路	(202)
6.3.1 电平异步时序逻辑电路的结构模型与描述方法	(202)
6.3.2 电平异步时序逻辑电路的分析	(205)
6.3.3 电平异步时序逻辑电路的竞争	(207)
* 6.3.4 电平异步时序逻辑电路的设计	(209)
习题六	(222)
第7章 中规模通用集成电路及其应用	(226)
7.1 常用中规模组合逻辑电路	(226)

7.1.1 二进制并行加法器	(226)
7.1.2 译码器和编码器	(231)
7.1.3 多路选择器和多路分配器	(239)
7.2 常用中规模时序逻辑电路	(246)
7.2.1 集成计数器	(246)
7.2.2 集成寄存器	(253)
7.3 常用中规模信号产生与变换电路	(256)
7.3.1 集成定时器 555 及其应用	(256)
7.3.2 集成 D/A 转换器	(265)
7.3.3 集成 A/D 转换器	(270)
习题七	(273)
第 8 章 可编程逻辑器件	(276)
8.1 PLD 概述	(276)
8.1.1 PLD 的发展	(276)
8.1.2 PLD 的基本结构	(277)
8.1.3 PLD 的电路表示法	(277)
8.2 常用的可编程逻辑器件	(279)
8.2.1 可编程只读存储器	(279)
8.2.2 可编程逻辑阵列 PLA	(285)
* 8.2.3 可编程阵列逻辑 PAL	(290)
8.2.4 通用阵列逻辑 GAL	(298)
8.3 在系统编程技术简介	(310)
8.3.1 ISP 技术的主要特点	(310)
8.3.2 ISP 逻辑器件	(311)
8.3.3 ISP 器件的开发软件与设计流程	(317)
习题八	(320)
* 第 9 章 综合应用举例	(322)
9.1 简单运算器设计	(322)
9.1.1 设计要求	(322)
9.1.2 功能描述	(322)
9.1.3 电路设计	(323)
9.2 时序信号发生器设计	(325)

9.2.1	设计要求	(325)
9.2.2	功能描述	(326)
9.2.3	电路设计	(327)
9.3	地址译码电路设计	(330)
9.3.1	设计要求	(330)
9.3.2	功能描述	(330)
9.3.3	电路设计	(331)
9.4	弹道计时器设计	(335)
9.4.1	设计要求	(335)
9.4.2	功能描述	(335)
9.4.3	电路设计	(336)
9.5	汽车尾灯控制器设计	(339)
9.5.1	设计要求	(339)
9.5.2	功能描述	(339)
9.5.3	电路设计	(341)
9.6	数字钟设计	(344)
9.6.1	设计要求	(344)
9.6.2	功能描述	(344)
9.6.3	电路设计	(345)
习题九		(349)
参考文献		(350)
《数字逻辑》教学资源简介		(351)



基本知识

欢迎来到数字系统设计领域！众所周知，21 世纪是信息的时代，如何对各种各样的信息进行描述、传递、处理和存储呢？应该说，人类迄今为止找到的最佳信息表达形式是“数字”！数字系统已经成为各个领域，乃至人们日常生活的重要组成部分。在我们去研究计算机以及其他数字系统中那些神奇的硬件是如何工作的之前，必须首先了解有关数字系统设计的基本知识。本章在对数字系统基本概念作简单介绍的基础上，重点讨论数字系统中数据的表示形式。

1.1 概 述

1.1.1 数字系统

什么是数字系统？简单地说，数字系统是一个能够对数字信号进行加工、传递和存储的实体，它由实现各种功能的数字逻辑电路相互连接而成。例如，广泛应用于科学计算、数据处理和过程控制等领域的数字计算机就是一种典型的数字系统。

1. 数字信号

在客观世界中，存在各种不同的物理量。按其变化规律可以分为两种类型：一类是连续量，另一类是数字量。所谓连续量是指在时间上和数值上均作连续变化的物理量，例如，温度、压力等。在工程应用中，为了方便处理和传送这种物理量，通常用某一种连续量去模拟另一种连续量，例如，用电压的变化模拟温度的变化等。因此，人们习惯将连续量称为模拟量。表示模拟量的信号称为模拟信号。对模拟信号进行处理的电路称为模拟电路。反之，另一类物理量的变化在时间上和数值上都是离散的，或者说断续的。例如，学生成绩记录，工厂产品统计，电路开关的状态等。这类物理量的变化可以用不同的数字反映，所以称为数字量。表示数