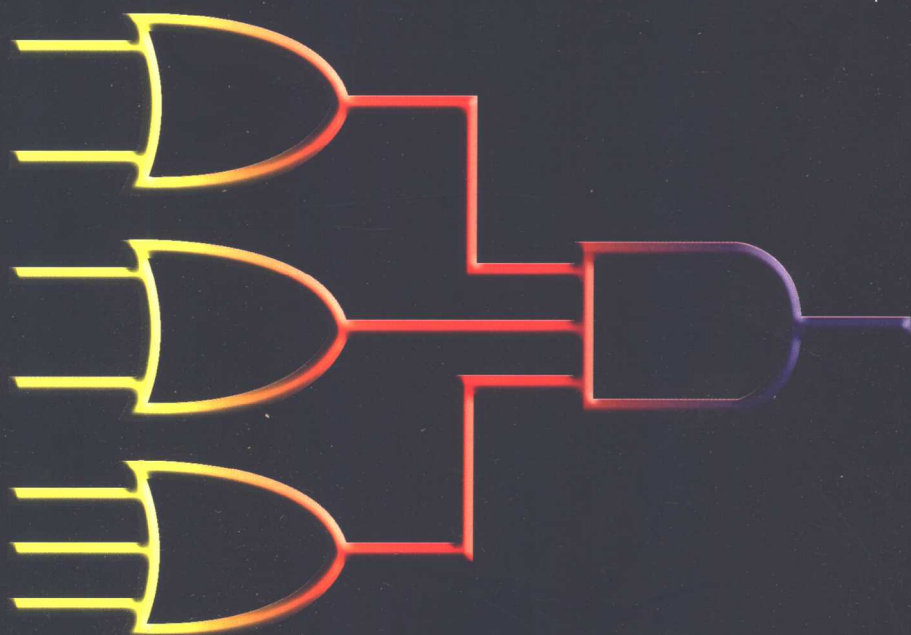


逻辑设计基础

(第2版)

Alan B. Marcovitz 著

殷洪玺 刘新元 禹莹 等 译



INTRODUCTION TO LOGIC DESIGN

Second Edition

清华大学出版社

世界著名计算机教材精选

逻辑设计基础

(第2版)

Alan B. Marcovitz 著

殷洪玺 刘新元 禹莹 等译

清华大学出版社
北 京

Alan B. Marcovitz

Introduction to Logic Design, Second Edition

EISBN: 0 07 286516-4

Copyright © 2005 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition is published and distributed exclusively by Tsinghua University Press under the authorization by McGraw-Hill Education (Asia) Co., within the territory of the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾)独家出版发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2005-5113

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

逻辑设计基础/(美)马科维奇(Marcovitz, A. B)著;殷洪玺,刘新元,禹莹等译.—2版.—北京:清华大学出版社,2006.3

(世界著名计算机教材精选)

书名原文:Introduction to Logic Design

ISBN 7 302 12491-4

I. 逻… II. ①马… ②殷…③刘…④禹… III. 电子计算机—逻辑设计—教材 IV. TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006654 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010 62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 龙啟铭

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 33.5 字 数: 793 千字

版 次: 2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12491-4/TP·8009

印 数: 1~3000

定 价: 58.00 元

本书的特色举例

在编写本书的过程中,处处考虑学生的需要。它重点强调的是基础和通过实例教学。作者认为,学习逻辑设计最好的方法是研究和求解大量的设计问题,给学生实践的机会。下面一些特点正是为了达到以学生为主这个目的。

- 例子 若干有助于使概念清晰和易于理解的简易例子,密切贯穿于每一章。
- 卡诺图 灵活的使用卡诺图帮助学生抓住开关代数的基本原理。
- 习题 每章都有很多习题,用彩色条加以标识,部分习题答案在附录 B 中。
- 解题实例 这是本书的另一特色,在每一章后面的大量的解题实例使学生能够看到概念如何应用于解决实际问题。
- 章末测验 “本章测验”一节用于帮助学生衡量自己是否掌握了本章的关键内容。测验题的答案见附录 C。
- 设计 用标准小规模和中规模集成电路芯片和可编程逻辑器件设计是本书的主要特点之一。
- 时序系统 作者还给出了有特色的时序系统的设计方法。
- 实验室 四种类型的实验室实验使实际电路和理论有机结合,学生可以充分利用传统的动手操作的硬件实验;用 Windows 系统的模拟板或苹果电脑的模拟板;采用两个流行的电路设计程序之一,LogicWorks 或 4Altera Max + plus II 进行的模拟实验室作业。
- 多输出问题 本书介绍了用卡诺图、奎恩-麦克路斯基法和迭代合意法等求解多输出问题的多种方法。

译者序

《逻辑设计基础》是计算机、电气工程及通信、电子等专业学生的一门重要的技术基础课。以上这些专业的许多专业课程,都需要应用到本门课程所讲授的知识。因此,学好本门课程,是对以上各个专业学生的一个基本要求。要学好本门课程,需要掌握好三个环节,即:理论、习题和实验。为了帮助中国学生学好这门课程,清华大学出版社引进了由美国佛罗里达大西洋大学 Alan B. Marcovitz 教授编著的《逻辑设计基础》(第2版)。该书紧紧抓住这些教学环节,理论与实践并重,是一本很有特色的教材。本书全面系统地阐述逻辑设计的核心内容,尤其突出了系统的分析和设计方法。译者认为,本教材的特点体现在如下几个方面。

1. 内容深入浅出

问题的讲授总是从给读者一个粗略的总体概念开始。譬如,第1章即给出组合逻辑设计的过程,使读者对逻辑设计有一个初步了解,不致使学生在后面内容的学习中对问题感到茫然。然后,介绍逻辑设计过程中各个步骤所需的理论、工具和方法,再到整个系统的设计。做到由浅入深,从个别到一般,在后面逐步把内容扩展开来,一直到把问题介绍得十分透彻。不但在整本书的内容上突出了这些特点,在某些方法的介绍上也是如此。譬如,在逻辑函数化简时,如果一个逻辑函数式有多个最优解,不是只给出一个最优解,而是给出所有可能的最优解。许多习题,如果有多个最优解,在括号中给出最优解的数目,要求学生求出全部最优解,而不是只满足于求得一个解。

2. 注重方法

纯粹的理论和方法的介绍,会使读者感到枯燥。本书采用了两种方式将读者带入正确方法学的轨道:一种是首先给出一个以上的逻辑设计的实际问题,然后告诉读者要得到该问题的实际逻辑电路,需要一步一步如何做;另一种是先通过很简单的小例题的解答,提炼出分析问题和解决问题的具体方法,并加以深化。许多具体生动的例子,使学生感到逻辑设计这门课实用且有趣。为帮助学生学好这门课,深入系统地掌握它的理论和方法,提供了引人入胜的学习环节。此外,对于解决同一个问题,提供了多种解决该问题的方法和途径。譬如,对于组合逻辑的化简,介绍了代数化简法、卡诺图化简法、奎恩-麦克路斯基化简法、迭代合意化简法,等等,体现了“条条大路通罗马”的思想,使读者逐步提高了技能,掌握了方法,并比较所使用的各种方法的优点及其局限性。

3. 实用性强

这主要体现在三个方面:一是书中有大量的例题、解题实例和习题,使学生学习和掌

握书中介绍的各种方法和技巧,便于自学;二是分析和设计所用的电路大多是商用集成电路芯片,使学生在 学习过程中即完成了从原理电路到真实电路的过渡,提高实际应用能力;三是在附录中介绍了 4 种实验平台,提供许多实验室作业,使学生能理论联系实际,进一步巩固所学知识,增强实际工程方面的能力。

4. 优化设计

优化设计既可降低实现成本,又能减小电路的体积和提高电路的可靠性。这是本书贯彻始终的基本思想。从逻辑函数的化简求最优解,到组合逻辑电路设计时所用的门数最少、芯片数最少、芯片的种类最少、芯片之间的连线最少,再到时序电路设计时通过状态化简和状态分配,使所用存储电路最少、组合逻辑最少,等等,都体现了这一思想。完成每一个设计,作者都要计算成本,做到“斤斤计较”,力求最节省,使学生在 学习这样一门专业基础课的时候,就不知不觉地养成一个“经济头脑”,在从事实际设计工作时,力争最优。

5. 适于作为大学生的教材

本书是作者多年教学工作的总结,其手稿征求过美国许多大学同行们的意见,并且利用前期的书稿,由作者本人及其同事进行过多个轮次的教学。最后经过多所大学的同行审阅,几经修改才正式出版。由此可见,美国大学教授们对待自己编写的教材,态度的确非常认真。在书的前言部分,作者给出了各部分内容的参考学时数,及根据不同具体情况对内容的取舍,供教师们在教学中参考。因此,本书非常适合作为大学生的教材或教学参考书。

6. 便于自学,并可作为考研复习教材

在每一章,除了给出大量的例题、解题实例和习题外,还有一个本章测验,并给出测验的参考时间和测验题的答案,可帮助学生检验对该章的理论、技术和方法掌握的情况和熟练程度。对于每章的典型习题,在书末给出了答案,便于学生检验所做习题的对错。这样一来,可以防止学生做习题时钻入死胡同,为学生节约了大量的时间。

正是这样一些特点,使得本书还便于自学。除了可作为全日制大学生的教材之外,也适合于参加成人教育、网络教育的大学生作为教材或教学参考书。对于有志于考研或研究生继续深造的学生,也是一本用于复习的难得的好书,它可帮助你收到事半功倍的效果。

本书原版的一些插图,为彩色印刷,某些部分使用红色、绿色或灰色,用以突出其中某一部分。很遗憾,由于技术条件所限,译著未能采用彩色印刷,这样在看插图时会带来一些不便。原书有个别印刷错误,译者在翻译时已逐一做了改正。

本书的前言及第 1 章由杨匡汉教授翻译;第 2、3、4、5、6 章由殷洪玺博士翻译;第 7、8 章和本书的中、英文术语对照表由刘新元博士翻译;第 9 章和附录 A、B、C 由禹莹高工翻译。殷洪玺博士对全书译稿做了统一审定。

由于译者水平有限,加之时间匆促,译文中的不妥之处,希望广大读者给予批评指正。最后,译者对清华大学出版社,特别是龙啟铭编辑对本书翻译工作的大力支持和帮助表示由衷感谢。

译 者

2005 年 11 月于燕园

前 言

本书是计算机科学、计算机工程和电气工程等专业的学生学习逻辑设计的入门教程。学习本教程不需要任何先决条件,虽然先学习一门工程导论课或者初级程序设计课会有所帮助。

本书强调基础知识。通过大量实例进行讲授。作者认为,学习逻辑设计的惟一途径便是做大量的设计例题。因此,除了在正文中列举大量例题之外,每章都另有一些解题实例,既有问题,也有答案。同时还附有大量练习(部分习题的答案在附录 B 中给出)和每章的测验题(答案在附录 C 中)。此外,还安排有一系列实验,以便把理论和实践紧密联系起来。附录 A 中列举了进行这些实验所需的实验室标准硬件配置(芯片、开关、灯和导线)、适用于 PC 机或苹果机的模拟板和两个制作原理图的工具。本课程可以单独讲授,不做实验。但是,如果能配合做 8~10 个精心选择的实验,学生将会受益匪浅。

虽然计算机辅助工具已经广泛用于大型系统的设计,但是学生必须先打好基础。作为一门导论课,本书提供的基础绰绰有余。本书的原理图制作练习和第 8 章关于硬件设计语言部分使学生可以顺利过渡到基于计算机辅助设计工具的下一门课程。

出于本书叙述的需要,第 1 章首先对数制做一简单扼要的回顾。已经学过这部分内容的学生,可跳过 1.1 节,直接学 1.2 节。然后着手讨论组合系统设计过程中的各个步骤,以及如何编制真值表。

第 2 章介绍开关代数和利用通用门——与门、或门、非门、与非门、或非门、异或门和同或门(AND、OR、NOT、NAND、NOR、Exclusive-OR、Exclusive-NOR)实现开关函数。这里关心的是它们的逻辑性能,而非它们的电子实现。

第 3 章讨论用卡诺图进行化简。本章提供多种解题方法(可多达 6 个变量),既有单输出,也有多输出的题目。

第 4 章介绍两种求解组合逻辑问题的运算方法:奎恩-麦克路斯基方法和迭代合意法(Iterated Consensus)。这两种方法都给出一个函数或一组函数的全部质蕴含项,然后用同样的列表法求出最简与或解。

第 5 章是关于更大规模组合系统的设计。本章介绍了几种市场上可以买到的较大规模的器件,包括加法器、比较器、译码器、编码器、优先权编码器和数据选择器。接着讨论逻辑阵列的应用——只读存储器(ROM)、可编程逻辑阵列(PLA)、可编程阵列逻辑(PAL),从而实现中规模组合系统。最后,本章有两个较大系统的设计。

第 6 章介绍时序系统。首先介绍锁存器和触发器的特性,然后讨论分析时序系统特性的方法。

第 7 章介绍时序系统的设计过程。接着研究计数器的特殊情况。最后,便是对文字

问题的求解,详细介绍如何对文字表述的问题编制状态表和状态图。

第8章讨论更大规模的时序系统。首先研究移位寄存器和计数器的设计,然后介绍可编程逻辑器件(PLD),接着讨论用于设计较复杂系统的三种方法,即算法状态机图(ASM, algorithmic state machine diagrams)、单次编码和硬件设计语言(HDL, Hardware Design Languages)。最后,给出两个较大系统的例子。

第9章研究状态化简和状态分配问题。首先介绍用列表法进行状态化简,然后介绍利用分割法进行状态化简和状态分配,从而简化所用的组合逻辑。

本书的一大特点是提供了大量的解题实例。每一章都有大量例题,用以阐明书中介绍的各种方法。对于每一个例题都进行了详细的求解。学生应在不参考本书答案之前,自行求解每一个例题,然后才将自己的答案和本书的答案相比较。

本书每一章还有一整套习题。部分习题的答案在附录B中。授课教师可以通过我们的网站得到全部答案。此外,每章还有一套测验题,测验题的答案见附录C。

本书的另一个特点便是在附录中提供了许多实验室作业,在附录A中。有4个操作平台:基于硬件的逻辑实验室(利用芯片、导线等);硬件实验室模拟器,使学生可以在计算机屏幕上“连接”导线;还有两个电路制作程序——LogicWorks 4 和 Altera Max + plusII。关于这两个程序,书中有详尽的说明,使学生可以完成多种实验。本书还有26个实验室作业,其中一些有多个选项,教师可以任意采用某些选项,以改变作业的细节。

我们使用本教材作为一门4学分的课程。每周授课三个半小时,外加8个实验室作业(实验室由研究生助教管理,每周开放40小时,学生可以随时前往做实验。由研究生助教评定成绩)。在授课过程中,我们讲了如下各个章节:

第1章:全部。

第2章:全部(2.11除外)。

第3章:全部。

第4章:如果时间允许,放在期末。

第5章:全部(5.8节除外)。但有一个打分设计题需要参考这部分内容,分值占10%,学生通常分成2或3人一组来完成。

第6章:全部。

第7章:全部。

第8章:8.1节、8.2节和8.3节。有时根据8.7节安排第二个作业。

第9章和第4章:有时候我们还会剩一点时间来讲其中一部分,但是从来未能二者兼顾。

要是学时不够,2.10节可以压缩,3.5节可以略去而不影响连续性。3.6节的内容用到5.7.2节中讨论PLA。第5章和其他各章联系不大,虽然这部分内容对学生今后会有用处,教师可在内容上做一些取舍。第6章和第7章的SR和T触发器可以删去。7.2节和7.3节,即使删去,关系也不大。同第5章的情况一样,教师可在第8章的内容上做一些取舍。如果时间有限,可以只讲9.1节。如果时间多一些,可以跳过9.1节,讲9.2节和9.3节,即利用分割法进行状态化简。

致谢

我要感谢我的妻子 Allyn 对我的鼓励,以及由于我埋头著述而使她长期忍受寂寞。我在佛罗里达大西洋大学的几位同事读过我的部分手稿,并且利用我前期的书稿进行过教学。我要特别感谢 Mohammad Ilyas、Imad Mahgoub、Oge Marques、Imad Jawhar、Abhi Pandya 和 Shi Zhong 等人的帮助。此外,我要表达对 Mohammad Ilyas、Roy Levow 和 Borko Fuhrt 三位主任的谢意,他们的教学任务安排使我能够完成本书的写作。我特别要感谢我的学生们,正是他们给予了我写这样一本比较合适的教材的动力,本书前期的草稿也让他们吃了不少苦头,他们还提了许多建议和改进意见。我还要感谢 Visram Rathnam 对 Altera 工具这一节所做的贡献。

参与本书审阅的有:

Michael McCool 滑铁卢大学

Pinaki Mazumder 密歇根大学

Nick Phillips 南伊利诺伊大学

Gary J. Minden 堪萨斯大学

Daniel J. Tyllavsky 亚利桑那州立大学

Nadar I. Rafla 波塞州立大学

Dan Stanzione 克莱姆森大学

Frank M. Candocia 佛罗里达国际大学

Lynn Stauffer 索诺玛州立大学

Rajeev Barua 马里兰大学

上述各位审稿人提出了许多意见和建议,他们的宝贵意见使本书增色不少。最后, McGraw-Hill 出版社的工作人员,特别是 Carlise Paulson、Melinda Dougharty、Jane Mohr、Betsy Jones、Barbara Somogyi、Rick Noel、Sandy Ludovissy、Audrey Reiter 和 Dawn Bercier 对于本书的最终出版起了不可替代的作用。互动写作公司的 Michael Bohrer-Clancy 也做出了很大贡献。

艾伦·马科维奇

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 数制的简单回顾	2
1.1.1 八进制数和十六进制数	5
1.1.2 二进制加法	7
1.1.3 有符号数	9
1.1.4 二进制减法	12
1.1.5 二进制码(BCD)	13
1.1.6 其他编码	15
1.2 组合系统的设计过程	17
1.3 无关条件	19
1.4 列真值表	20
1.5 实验室	23
1.6 解题实例	24
1.7 习题	33
1.8 本章测验题	36
第 2 章 开关代数与逻辑电路	38
2.1 开关代数的定义	38
2.2 开关代数的基本性质	41
2.3 代数函数的处理	43
2.4 用与门、或门和非门实现逻辑函数	47
2.5 从真值表到代数表达式	51
2.6 卡诺图初步	54
2.7 反函数和或与式	60
2.8 与非门、或非门和异或门	63
2.9 代数表达式的化简	68
2.10 代数函数的处理及与非门实现	74
2.11 更一般的布尔代数	80
2.12 解题实例	82
2.13 习题	99
2.14 本章测验题	105
第 3 章 卡诺图	108
3.1 用卡诺图求解最简与或表达式	111

3.1.1	卡诺图法 1	111
3.1.2	卡诺图法 2	117
3.2	无关项	122
	卡诺图法 3	124
3.3	或与式	125
3.4	最省门的电路实现	128
3.5	五变量和六变量的卡诺图	130
3.6	多输出问题	136
3.7	解题实例	145
3.8	习题	166
3.9	本章测验题	170
第 4 章	函数的最简化算法	174
4.1	单输出问题的奎恩-麦克路斯基方法	174
4.2	单输出问题的迭代合意法	177
4.3	单输出问题的质蕴含项表	180
4.4	多输出问题的奎恩-麦克路斯基方法	187
4.5	多输出问题的迭代合意法	190
4.6	多输出问题的质蕴含项表	192
4.7	解题实例	196
4.8	习题	214
4.9	本章测验题	215
第 5 章	较大规模的组合逻辑系统	216
5.1	组合逻辑电路中的延时	216
5.2	加法器和其他算术运算电路	218
5.2.1	加法器	218
5.2.2	减法器 and 加/减法器	221
5.2.3	比较器	221
5.3	译码器	222
5.4	编码器和优先权编码器	227
5.5	数据选择器	228
5.6	三态门	230
5.7	门阵列——ROM、PLA 和 PAL	231
5.7.1	用只读存储器进行设计	234
5.7.2	用可编程逻辑阵列进行设计	235
5.7.3	用可编程阵列逻辑进行设计	237
5.8	较大规模电路的例子	239
5.8.1	七段显示(第一个主要的例子)	240
5.8.2	差错编码系统	246
5.9	解题实例	248

5.10 习题	275
5.11 本章测验题	284
第 6 章 时序系统的分析	288
6.1 状态表和状态图	289
6.2 锁存器和触发器	291
6.3 时序系统的分析	298
6.4 解题实例	305
6.5 习题	314
6.6 本章测验题	320
第 7 章 时序系统的设计	322
7.1 触发器的设计方法	326
7.2 同步计数器的设计	338
7.3 异步计数器的设计	347
7.4 生成状态表和状态图	350
7.5 解题实例	361
7.6 习题	375
7.7 本章测验题	381
第 8 章 求解更大规模的时序问题	383
8.1 移位寄存器	383
8.2 计数器	387
8.3 可编程逻辑器件(PLD)	392
8.4 用 ASM 图进行设计	396
8.5 单次编码	399
8.6 硬件设计语言	399
8.7 更复杂的例子	402
8.8 解题实例	407
8.9 习题	413
8.10 本章测验题	416
第 9 章 时序电路化简	418
9.1 列表法进行状态化简	419
9.2 分割法	426
9.2.1 分割的性质	429
9.2.2 求 SP 分割	429
9.3 用分割法进行状态化简	432
9.4 状态分配	437
9.5 解题实例	443
9.6 习题	456

9.7 本章测验题	460
附录 A 实验室实验	462
A.1 硬件逻辑实验室	462
A.2 WinBreadboard™ 和 MacBreadboard™	465
A.3 LogicWorks 4 简介	466
A.4 Altera Max+plus II 简介	470
A.5 一组逻辑设计实验	472
A.5.1 基于第2章内容的实验	473
A.5.2 基于第5章内容的实验	474
A.5.3 基于第6章内容的实验	476
A.5.4 基于第7章内容的实验	478
A.5.5 基于第8章内容的实验	478
A.6 在本书正文和实验中提到过的芯片的布局	479
附录 B 部分习题答案	484
附录 C 每章测验题答案	506
中、英文术语对照表	517

第1章 导 论

本书是一本关于数字系统设计的书,这里的设计是指逻辑设计。数字系统是一个其中所有信号均用离散值表示的系统,计算机和计算器就是明显的例子,但是大多数电子系统都包含大量的数字逻辑。在数字系统内部,通常用二值信号工作,该二值信号可以记为0和1。虽然多值系统已经实现,但是二值系统更可靠,因此几乎所有的数字系统都用二值信号。这样的系统如图1.1所示,它可有任意个输入($A, B, \dots$)和输出($W, X, \dots$)。



图 1.1 一个数字系统

除了所示的数据输入之外,一些电路还要求有定时信号,称为时钟(实际上只是一种按一定速率在0和1之间交替改变的输入信号)。在第6章将对时钟信号进行详细讨论。

数字系统的一个简单例子如图1.1所示。

例 1.1

一个系统有三个输入 A, B, C 和一个输出 Z 。当且仅当^①两个输入为1时, $Z=1$ 。

数字系统的输入和输出表示真值。有时,如在例1.1中,这些值自然是二进制,即它们取两个值中的一个。另外一些情况下,它们可能是多值的,例如,在本课程中,输入可能是十进制数,而输出可能用字母表示。每个数都可用一组二进制数字来表示(经常叫做“位”)。这个过程是指把输入和输出编码为二进制(在后面将详细讨论)。

这些二进制量的物理意义可能代表两种电压之一,例如在实验室实现时,逻辑0代表0V或接地,逻辑1代表5V。这些将在附录A.1中讨论。它也可以是:可以在一个方向或另一个方向的一个磁场(像在磁带中那样),一个在上、下两个位置的开关(对于输入来讲),或一个灯的开或关(对于输出来讲)。除了专门在实验室的实验讨论和要把文字描述变为更正式的表述之外,在行文时将只关心0和1,而与物理表示无关。

可以用表格的形式描述一个物理系统的行为,如例1.1。因为只有8种可能的输入组合,可以把它们全列出来,并给出每一种组合对应的输出。这样的表称为真值表,如表1.1所示。真值

表 1.1 例 1.1 的真值表

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

^① “当且仅当”(if and only if, iff),意思是:只有满足条件时输出才是1,如果条件不满足输出不是1(意味着一定是0)。

表(及另一个类似的问题)将留待后面章节研究。

另外三个例子如例 1.2、例 1.3 和例 1.4 所示。

例 1.2

一个系统有 8 个输入,代表 2 个 4 位二进制数。该系统有 1 个 5 位的输出,代表 2 个数之和(每个输入数的可能范围为 0~15,输出数的范围为 0~30)。

例 1.3

一个系统有 1 个输入 A 、1 个时钟及 1 个输出 Z ,当且仅当在连续三个时钟节拍里输入是 1 时,输出才为 1。

例 1.4

一个更复杂的系统是一个交通控制器。最简单的情况是只有两条街道,在一段固定时间里每个街道上的灯是绿的,然后在另一个固定时段变黄,最后变红。该系统除了时钟以外没有其他输入,有 6 个输出,在每个方向上一个输出对应一种颜色(每个输出可以控制多个灯泡)。交通控制器可以有比这更多的输出,例如如果有左转弯信号。还有,当有车遇到红灯等待或绿灯通过时,可以有几个输入指示。

前两个例子是组合系统,即输出仅取决于现时刻输入的值。在例 1.1 中,假如知道 A 、 B 、 C 现时刻的值,就能确定现在的 Z 值^①。例 1.3 和例 1.4 是一个时序系统,即它要求有存储器,因为需要知道此前输入的某些情况(先前的时钟节拍)。

在本书的前半部分,将集中讨论组合系统,时序系统留待后面讨论。正像所看到的,时序系统由存储器和组合逻辑两部分构成。因此,在能开始设计时序系统之前,需要能够设计组合系统。

这里要特别提一下,一般自然语言,特别是英语,不是一种非常精确的语言。前面给出的例子留有一些解释的余地。在例 1.1 中,是指如果三个输入都是 1 时,输出为 1 呢?还是恰好仅有两个输入是 1 时,输出为 1 呢?两种理解都可以。当填写真值表时,就必须确定下来,这里解释为两个或两个以上。因此,当所有的三个输入都是 1 时,输出也是 1。在本书的例题中,将尽可能的精确。但是即便如此,不同的人还有可能以不同的方式来理解这个例题。

归根到底,需要对逻辑系统进行更精确的描述。在前两章讨论组合系统和第 6 章讨论时序系统时,将努力这样做。

1.1 数制的简单回顾

本节介绍数制中的一些问题,主要是为了理解本书其余部分所需要的那些问题。本节将只讨论整数问题。如果在其他课程中已经学习过这方面的内容,可以跳过这一节,直

^① 在实际系统中,输入和输出之间稍有延迟。就是说,如果输入在某一瞬间发生变化,输出的变化将稍微滞后,其延迟时间一般在纳秒范围内(10^{-9} 秒)。我们几乎总是不考虑这些延时,第 5 章将再讨论此问题。

接学习 1.2 节。

整数通常用位数系统书写,其中每一个数字表示一个幂级数中的一个系数。

$$N = a_{n-1}r^{n-1} + a_{n-2}r^{n-2} + \cdots + a_2r^2 + a_1r + a_0$$

式中: n 为数字的位数, r 为数制的基或基数, a_i 为系数, 系数均为整数, 其范围为:

$$0 \leq a_i < r$$

对于十进制来说, $r=10$, 而 a_i 为 $0 \sim 9$ 中的任一数字。对于二进制来说, $r=2$, 而 a_i 为 0 或 1。在计算机文件中, 通常还用八进制($r=8$)和十六进制($r=16$)。在二进制中, 数字通常称为“位”(又称比特, bit, 是 binary digit 的缩写)。

因此, 十进制数 7642 (有时写作 7642_{10} , 以强调其基数为 10, 即十进制)代表:

$$7642_{10} = 7 \times 10^3 + 6 \times 10^2 + 4 \times 10 + 2$$

而二进制数:

$$\begin{aligned} 101111_2 &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 \\ &\quad + 1 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1 \\ &= 32 + 8 + 4 + 2 + 1 = 47_{10} \end{aligned}$$

从最后这个例子^①可以清楚看出如何从二进制转换成十进制, 只要求出幂级数的值即可。为了转换快捷, 要记住 2 的各个幂次, 这样就不必每一次都去计算。要是能够记住 2 的前 10 个幂次, 就会节约大量时间。表 1.2 列出了 2 的前 20 个幂次。

经常会用到前 16 个二进制正整数, 有时还会用到前 32 个二进制正整数, 如表 1.3 所示(同十进制一样, 打头的 0 一般都省略, 但在前 16 个整数中, 仍然列出 4 位, 包括打头的 0)。当一个二进制正整数的存储位置的位数确定之后, 加上打头的 0 才能得到正确的位数。

请注意, 比 2^n 少 $1(2^n - 1)$ 的二进制数由 n 个 1 构成, 例如, $2^4 - 1 = 1111 = 15$; $2^5 - 1 = 11111 = 31$ 。

一个 n 位二进制数可表示 $0 \sim 2^n - 1$ 之间的一个正整数。因此, 一个 4 位的二进制数可为 $0 \sim 15$ 间的任一整数。一个 8 位的二进制数可为 $0 \sim 255$ 间的任一整数。一个 16 位的二进制数可为 $0 \sim 65535$ 间的任一整数。

把一个十进制数转换成二进制数时, 要考虑十进制数字的幂次, 然后把其中的每个数字转换成二进制, 即:

$$746 = 111 \times (1010)_{10} + 0100 \times 1010 + 0110$$

但是这样做需要用二进制乘法, 也颇费时间。

有两种利用十进制的便捷算法。第一种算法是把该十进制数减去小于该数的 2 的最大幂次, 并在二进制数的相应位置记入 1。对余数做同样处理。其 2 的幂次大于余数时, 在相应位置记入 0。

表 1.2 2 的幂次

n	2^n	n	2^n
1	2	11	2 048
2	4	12	4 096
3	8	13	8 192
4	16	14	16 384
5	32	15	32 768
6	64	16	65 536
7	128	17	131 072
8	256	18	262 144
9	512	19	524 288
10	1 024	20	1 048 576

^① 1.6 节为解题实例, 其中有本章所讨论的每种类型的问题的更多实例。以后各章也都有一节解题实例。