

数字逻辑

康秉臣 韩佩富 编著

吉林科学技术出版社

数 字 逻 辑

康秉臣 韩佩富 编著

吉林科学技术出版社

【吉】新登字03号

数 字 逻 辑

康秉臣 韩佩富 编著

责任编辑：珂 丽

封面设计：杨玉中

出版 吉林科学技术出版社 787×1 092 毫米 32 开本 13.5 印张
插页 4 292 000 字

发行 吉林省新华书店 1995年3月第1版 1996年12月第2次印刷
印数：7 001—13 000 册 定价：13.00 元

印刷 磐石市印刷厂

ISBN 7-5384-1490-8/TP·29

前 言

本书是根据机电部计算机专业“数字逻辑”课程教学大纲的要求而编写的。

数字逻辑是计算机专业技术基础课之一,是研究数字电路的逻辑设计的理论和方法。熟练地掌握逻辑设计的原理和方法,对于从事研制计算机和应用计算机的广大科技工作者和正在学习的高校计算机应用和计算机软件专业的学生来说都是十分必要的。

本课程是在学习“数字电路”(电子技术基础),离散数学等基础课之后,进一步研究数字系统的逻辑关系,为“计算机组成原理”、“微机系统”和“计算机系统结构”等课程打下基础。

本教材重点阐明数字逻辑的基本概念、基本理论、基本设计和分析方法。本着精讲多练的原则和对学生能力的培养,应加强实践环节。为了使學生受到系统和全貌的教育,从中得到启示,在教材中列举了较多的实例,并配有相应的实验。

本书共计八章,大致可分为三部分:第一部分是绪论、第一章至第四章,主要介绍数制与码制、数字逻辑基础知识、组合逻辑的内容、可靠性编码、布尔函数及其化简、门电路;第二部分是第五章和第六章,在这一部分里介绍了时序逻辑电路含同步时序电路(脉冲型与电平型)的分析方法与设计方法,并对各种触发器及外特性作了介绍,对异步电平型的流程表、总态图以及异步时序电路中的竞争险象和消除险象的方法及措施作了较详细地介绍;第三部分是第七章,介绍了中、大规

模集成电路中常见的典型电路及逻辑设计方法。

本书在讲述方法上力求深入浅出,通俗易懂,并在概念、原理阐述之后,有较丰富的例题供读者思考,帮助启发效仿,使知识系统,便于自学。在目录中有*部分,根据学时,可以不讲或删除某些章节。

本书由吉林工业大学计算机系康秉臣教授担任主编,由东北重型机械学院自控系孟庆有副教授担任主审。其中第一章、第二章、第三章和第四章由韩佩富编写;绪论、第五章、第六章和第七章由康秉臣编写。在编写过程中得到不少同志的支持和帮助,借此表示衷心的感谢。

限于编者水平,加之时间紧迫,书中难免存在一些缺点、错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

出版说明

本书是计算机及应用系列教材之一,本系列教材是根据机械电子工业部教育司领导制订的《计算机及应用专业(函授、大专)人才培养规格》及相应的教学计划的总要求,按由编委会审查各门课程的教学大纲和编写大纲编写而成。参加教材编写的人员都具有丰富的教学经验,各书的主编都由副教授以上职称的教师担任,并经高职称的专家、教授审定,这就为保证这套教材能高质量高水平的出版奠定了基础。

根据需要,《电子计算机及应用专业》大学专科教材有:《BASIC 语》、《离散数学》、《计算机组成原理》、《微型计算机组成原理》、《微型计算机控制系统》、《数据库系统原理》、《电子技术》、《数字逻辑》、《PASCAL 语言》、《数据结构》、《操作系统原理》、《汇编语言程序设计》、《高等数学》、《普通物理》等 14 种书,以后根据需要与可能,将陆续出版一些选修教材。

本系列教材在体现大专层次、成人对象、业余函授等基本特点的同时,也考虑了本科和全日制教学的需要;在取材上立足于三基(基本理论、基本概念、基本技能),着眼于应用,并具有一定的先进性;在叙述上力求可读和易懂。

本系列教材的出版,必将有利于深化成人高等教育的改革和质量的提高。

本系列教材的编写和出版是在机械电子工业部教育司的关心和领导下进行的,在书稿的出版过程中又得到吉林科学

技术出版社的大力支持。在此,对上述单位表示谢意。

《计算机及应用》系列教材编委会

目 录

绪论	(1)
一、概况	(1)
二、数字和模拟	(2)
三、数字系统的特点和用途	(3)
四、数字逻辑的研究范畴	(4)
第一章 数字逻辑设计基础	(10)
§ 1.1 数与数制	(10)
§ 1.2 数制间的转换	(14)
§ 1.3 真值与机器数	(23)
§ 1.4 定点与浮点表示	(30)
§ 1.5 二十进制的表示	(36)
§ 1.6 可靠性的表示	(38)
习题一	(47)
第二章 逻辑代数基础	(48)
§ 1.1 “与”、“或”，“非”逻辑运算	(48)
§ 2.2 逻辑代数的基本公式及三规则	(52)
§ 2.3 逻辑函数的化简——代数法	(58)
§ 2.4 逻辑函数化简的图解法——卡诺图法	(61)
§ 2.5 逻辑函数的几种主要形式	(87)
§ 2.6 异或逻辑与同或逻辑	(95)
§ 2.7 约束项在逻辑化简中的应用	(99)
习题二	(106)

第三章 门电路基础	(110)
§ 3.1 三级管与门和或门	(110)
§ 3.2 TTL 门电路	(114)
§ 3.3 MOS 门电路	(144)
习题三	(158)
第四章 组合逻辑电路	(166)
§ 4.1 组合逻辑电路的分析	(167)
§ 4.2 组合逻辑电路的设计	(169)
§ 4.3 常用中规模组合逻辑电路及应用	(179)
§ 4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	(231)
习题四	(240)
第五章 同步时序逻辑电路	(244)
§ 5.1 时序逻辑概述	(244)
§ 5.2 触发器	(245)
§ 5.3 不同类型的触发器间的转换	(257)
§ 5.4 状态表与状态图	(264)
§ 5.5 同步时序电路的设计概述	(281)
§ 5.6 原始状态表的建立	(282)
§ 5.7 状态化简(隐含表法)	(287)
§ 5.8 状态分配	(294)
§ 5.9 同步时序电路设计举例	(296)
§ 5.10 不完全给定时序电路的状态化简	(317)
习题五	(326)
第六章 异步时序电路	(329)
§ 6.1 脉冲型异步时序电路的分析	(329)
§ 6.2 脉冲型异步电路的设计	(335)
§ 6.3 电平型异步时序电路的分析	(338)

§ 6.4	电平型异步时序电路的设计	(342)
§ 6.5	电平型异步时序电路的设计	(355)
§ 6.6	临界竞争和非临界竞争	(363)
§ 6.7	没有临界竞争的状态分配	(368)
习题六		(378)
第七章	中、大规模集成电路与逻辑设计	(382)
§ 7.1	存贮器(RAM/ROM)	(383)
§ 7.2	用RAM实现时序逻辑	(388)
§ 7.3	用ROM实现组合逻辑	(397)
§ 7.4	可编程逻辑阵列(PLA)	(403)
§ 7.5	用多路器设计逻辑电路	(414)
习题七		(421)
参考文献		(422)

绪 论

一、概 况

电子数字计算机的出现,是 20 世纪的文明标志,它是衡量科学发展,社会进步所达到的水准。“计算机”的涵义已远远超出其本身的概念。它的涵义已由科学计算扩展到数据处理,过程控制智能化仪表,办公自动化,信息传输,数字通讯,CAD、CAM、CAT 及人工智能领域甚至和人类的生活也密不可分。因此当今社会中计算机与各行各业,各个领域的关系越来越密切而且也正是显示出计算机的威力和“神通”。

计算机虽然只有 40 多年的历史,在不到半个世纪的历程中,发展速度是不言而喻的,以其迅猛的速度显示出不可抗拒的力量,而且继续向前发展着。尽管计算机已发展了四代,目前已向五代机发展。计算机的结构,从元件组成上经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模和超大规模集成电路为器件组成运算器、存储器及控制器。但在组成原理上变化并不太大,其基本逻辑仍是以与、或、非门为基本逻辑,并以基本逻辑为主体又进行了扩展,这就成了扩展逻辑。

70 年代以后由于微电子学的发展,大规模和超大规模集成电路的出现使计算机更加小型化,数字技术的可靠性得到保证,可靠性提高,体积缩小,成本降低,使数字技术得到广泛的应用,并且又推动了数字技术,出现了智能仪表、微型计算机、分布式计算机网络、微机阵列等引人注目的新的数字系

统。这些新的系统,会引导我们改变生产,生活方式,改变观念,改善环境,净化心灵,方便生活,促进生产,提高生产率,扩大视野,使测量,计算的精度提高。随着社会的发展,科学的进步,我们越来越和计算机密不可分,将越来越发挥计算机的作用。

二、数字和模拟

数是随着人类对事物的认识过程对客观事物的数量关系的一种抽象。这种抽象是根据客观的事实总结归纳出来的。例如地球上存在着四大洋、五大洲,但地球上并不存在“4”和“5”这个纯粹的数。而在研究数的时候,不能考虑具体事物,它只能表示一种数量概念。

在自然界中存在着两种物理量,一种是连续的,如动物的长声吼叫、汽笛的长鸣、虎克定律范围内的重量与弹簧长度的变化等等均为模拟量,又如计算尺、体温计、表针值的估计也都是模拟量。数字量就是离散量,如算盘中每个算珠在不同的位置所代表的权值不同。

在生产、生活中有的是以模拟量的形式出现的,有的是以数字量形式出现的。但是对于计算机则要求以数字量输入输出。倘若以模拟量输入,必须将模拟量变成数字信号,这就是用数字系统处理模拟信号时,只有将模拟信号转换成数字信号才能被数字系统所接受,以便对这些数字量进行处理,然后再把处理后的数字信号转换成相应的模拟信号,前者称为 A/D 转换(模拟数字转换),后者称为 D/A 转换(数字模拟转换)。

虽然布尔代数最早是为了解决逻辑问题的,但它现在最有意义的还是用来设计数字系统和计算机,因为通常所用的二

值逻辑恰巧是适用数字系统和计算机中的电路。

根据生产和科研的需要,很多地方用到“数字”也有的地方用到“模拟”,因此数字电路应用很广泛,我们将分别有计划地予以介绍。

三、数字系统的特点和用途

1. 数字电路的特点

①所采用的元器件是二值逻辑。无论是输入信号还是输出信号均为二值信号(高电平或低电平、门开或门闭、导通或截止、状态为1或0)。

②组成数字电路(或系统)的主要元器件是基本门电路和由基本逻辑而扩展的逻辑电路;

③数字电路均应用高、低电平信号“1”或“0”状态。

④数字电路的输入信号和输出信号之间符合算术运算和逻辑运算等功能,包含移位、“记忆”和判断功能。

⑤在数字电路中使用的主要方法是逻辑分析及逻辑设计,所用的工具是布尔代数、卡诺图和状态化简。

2. 数字系统的优点

数字系统和计算机则是数字逻辑的典型例子,很多领域广泛地应用数字系统和计算机并达到新水平,自动控制系统,数字系统的组成及精度要求比模拟系统更容易实现、更可靠而且经济,现在采用计算机来仿真、模拟比真正的系统要好得多,因此数字系统具有不少优点。

①数字系统比起模拟系统要灵活、方便造价低和精度高。

②数字系统除可以完成数值计算外,还可完成逻辑运算等。

③要求的精度容易从电路本身得到保证,比模拟电路要

容易,尤其是精度较高时,模拟电路是很难与其相比的。

④数字电路已发展到一个很成熟的阶段,很多器件是系列化、标准化的器件。一般只考虑几个参数指标就可选择。

⑤数字电路(数字系统)因为采用的是高、低电平信号输入,电路只处于“1”或“0”两个状态,不存在线性问题,所以其值表示相对模拟电路是准确的,同时也比模拟电路显得可靠,抗干扰能力较强。

因此数字系统用于测量系统、控制系统和监测、预测、决策、智能仪表、仪器及计算机机器系统、时序电路、逻辑分析仪等许多方面。有限状态自动机也是数字系统的范畴。

四、数字逻辑的研究范畴

一个数字系统包括所选用的元件、电路功能、逻辑和系统设计。

我们所讨论的内容、研究对象以及过程和结论都不涉及量的多少和大小,而是研究参数之间的规律,讨论它们的逻辑关系。

数字逻辑研究范畴大致有以下几个内容:

①因为通常所涉及的逻辑为二值逻辑。比如:“1”和“0”分别表示所代表内容:“真”与“假”、“有”和“无”、“美”与“丑”、“光明”和“黑暗”、“善”与“恶”等所赋的内容。正因如此,这些二值状态都“对立”地代表截然不同的逻辑内容,它恰好与我们的二进制和触发器所表示的两种状态所对应。“1”表示正逻辑的高电平,而“0”则表示负逻辑的低电平。上述种种,我们可用“1”表示真、有、美、光明、善,而“0”则表示:假、无、丑、黑暗。

以上可以归纳出在计算机内部,在一个数字系统内部也

存在着上述情况。事实上,计算机并不能直接接受和执行用高级语言编写的程序,它只能接受“1”和“0”组成的代码。而“0”和“1”便是两个值,又称二值逻辑。二值性的元件不难找到,由触发器组成的逻辑电路就是一个实例,触发器有两个状态,一个是高电平叫“1”状态(截止),另一个是低电平叫“0”状态(导通)。

另外,脉冲的有无也是二值性。上面已经提到的电平的高低,还有在理论符合二值逻辑的开关理论,这是专门的数学工具叫布尔代数。一般数字系统所用到的二值元器件也是不同的,可以用机械装置,也可用射流器件,但是这些使速度的提高受到限制,所以当速度要求较高时应采用的电子器件,这种器件又可分作高速、中速、低速,即可靠又实用,而机械的装置是无法与其相比。正因如此,在近代的数字系统、测量仪表中,都普遍地采用电子数字电路,而电子计算机就是在这个基础上发展起来的。

②多值逻辑。除前边讲过的二值逻辑之外,还有不止是二值逻辑的逻辑,如三态门。在传送信息时,都要经过线路来传送,而一条传输线,只能传送一个信息。为了减少传输线的数目,分时集中通过同一个传输线,将多个信息送到不同的目的地去。三态门具有三种状态,只要在控制端加上启动信号(如高电平)它就可以用作具有逻辑“1”和“0”输出的逻辑门;当控制端无启动信号(如低电平)时,便出现很高输出阻抗的第三状态,当然还有其它多值逻辑。

③模糊逻辑。随着生产发展、科学的进步,特别是生产、科研的实际需要,二值逻辑,多值逻辑的范畴业已不能适应,为此,发展成一种新的领域,这就出现了模糊与模糊推理。

目前人们正在研究让机器具有思维能力;让机器具有象

人一样的推理能力,就必须使机器不仅具有建立在传统上的精确推理能力,还要具有在非标准逻辑上的不精确推理能力,例如建立在模糊逻辑上的推理能力。因此,模糊逻辑与模糊推理的研究,在人工智能领域中,日益受到人们关注和重视。

首先提出模糊集理论的是 Zadeh 教授,吉林大学教授刘叙华在模糊逻辑上模糊推理上也作了深入研究,提出的理论更适合于现行设计,对优化设计具有指导意义。

在 19 世纪末创立了集合理论以后,集合论就构成了算术和逻辑的基础。从此科学家们对所研究的对象进行分类时,很自然地使用集合论,它是一种很准确的概念而毫不含混。但是这种用集合进行分类的方法,在不同情况下,尤其是涉及人类的自然语言情况时,遇到麻烦,有些并不是将一些对象集合进行分类。

用精确的概念描述事物有时会出现困难,用精确的推理获得知识,有时也会得到荒谬的结论。这和著名的“秃子悖论”是一样的。在模糊推理中,每使用一次模糊推理规则,都要付出代价;每推理一步结论的可信度都要降一次。因此,在模糊推理中,一个比较长的推理过程往往是没有价值的。

过分精确的逻辑和数学都有局限性,“所有传统逻辑都习惯地假设所使用的符号是精确的,所以它就不适用于我们这个人间的世界,只能适应于一个理想的天堂……”这是著名的逻辑家 Russell 曾经说过的一段话。

因此 Zadeh 教授认为人类的推理不能完全由严格的具有数学的精确的逻辑来描述,人类推理的力量恰恰在于它能直接掌握并运用不严格的观念。

当然我们承认,世界上的很多模糊现象是由于我们的无知造成的。如果我们承认和接受这种模糊性,掩盖了我们的

无知,则我们就不会通过不必要的努力来认识现象之下的可能精确;反之,如果我们排斥那些本身就是模糊的但却是很有用的概念,有些虽然更精确,但用途很小。所以有的需要用准确的、分明的概念,有的也需要用模糊的概念,其优越性和危险都在于我们对它的概念理解和方法的使用,使用得正确使问题简化显示出优越性,使用得不当会造成对问题的曲解,甚至得荒谬的结论,以致于带来危险性。

制造智能机器,即发展人工智能这门科学,如果还想依赖传统的逻辑和数学,即使不能说的不可能,也必然是有极大的困难。

模糊逻辑与传统的逻辑重要的区别是模糊语言逻辑中命题的真值,是所谓的语言真值,而每一个语言真值都是一个模糊变量,用 $[0, 1]$ 中的一个模糊子集表征。 $[0, 1]$ 中所有的模糊子集组成分配格。因此,从抽象观点看,模糊语言逻辑无非是命题的真值取在格上的逻辑系统称为模糊逻辑。

模糊语言逻辑为模糊推理提供了一个基础。我们所讲的模糊推理是推理的一种模式,其真值与规则都是模糊的,而不是精确的。由此可见模糊推理和我们日常生活中在定义不准确、不完善或无法定量的情况下,使用的推理是相类似的,也许人类的推理,从本质上就是模糊的。

以前所研究的数字逻辑设计大多数是用小规模集成电路来实现的,或者是用小规模的设计方法来实现电路。而使用小规模集成电路实现组合逻辑设计的典型方法是根据给定的逻辑要求建立一个逻辑函数,这就是以真值表的形式给出,然后写出逻辑表达式,并对逻辑表达式进行化简,最后用小规模集成电路去实现此函数。

随着大规模集成电路的出现(在一个单晶硅芯片上集成