

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机科学与技术

离散数学

吴晟 主编 郭洪 副主编

清华大学出版社



高等学校教材
计算机科学与技术

离散数学

吴晟 主编 郭洪 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分为数理逻辑、关系、图论、代数系统及组合分析初步 5 个部分,其中包括命题逻辑、谓词逻辑、非经典逻辑、集合、二元关系、函数、图论、代数系统以及组合计数等内容。本书既注重各部分内容之间的联系,又注重基础理论及其实际应用。各章配有小结及大量的例题分析,除第 2 章外每章配有两套习题,习题一供学习者熟悉本章概念、理论和方法;习题二供学习者进行自我检测。

本书可作为高等院校计算机及其相关专业的本科生、研究生教材,也可供从事计算机工作的科学技术人员以及相关人士使用或参考,还可用作大学毕业生的考研复习用书。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

离散数学/吴晟主编. —北京:清华大学出版社,2007.10

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-15421-1

I. 离… II. 吴… III. 离散数学—高等学校—教材 IV. O158

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 098361 号

责任编辑:梁颖 李玮琪

责任校对:时翠兰

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18 字 数:420 千字

版 次:2007 年 10 月第 1 版 印 次:2007 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:024990-01

编审委员会成员

高等学校教材·计算机科学与技术

清华大学	周立柱	教授
	章 征	教授
	王建民	教授
	刘 强	副教授
	冯建华	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈 明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
上海第二工业大学	蒋川群	教授
浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
南京大学	骆 斌	教授
南京航空航天大学	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 侬	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

在 IEEE 和 ACM 共同起草的关于计算学科教学计划(Computing Curricula)2001 中将离散结构列为计算学科 14 个主领域的第一个主领域,这说明了离散结构在计算科学中的重要地位,它是计算机科学与技术基础理论的核心学科。

“离散数学”课程为计算机科学各分支领域解决其基本问题提供了强有力的数学工具。作为各类计算机专业和相关专业的一门核心骨干课程,其主要任务是培养学生的抽象思维能力和逻辑推理能力,并为后续课程,如数据结构、编译原理、数据库原理、人工智能等提供必要的数学基础,为学生今后的继续学习、工作和研究提供必要的数学基础。

本教材较全面地介绍了计算机科学与技术专业及相关专业所需要掌握的离散结构的知识。全书分为数理逻辑、关系、图论、代数系统及组合分析初步 5 个部分,包括了离散数学结构的主要知识体系的基础和多个分支。内容力求通俗、易懂、简明扼要,既注重各部分内容之间的联系,又注重基础理论及其实际应用,特别注重对学生的计算机离散数学运算能力的培养和训练。书中每一章都有典型例题分析和小结,小结总结了本章基本概念,并指出重点、难点。除第 2 章外每章配有两套习题,习题一供学习者熟悉本章概念、理论和方法;习题二有自测题性质,供学习者进行自我检测,完成后可用书后解答进行自我评判。书中内容有助于培养学生严谨科学的思考推理能力,通过练习和自测及时了解自己对课程的掌握程度,以便实时调节学习进度,从而不断提高分析与解决问题的能力。因此,本书适合于自学。

本书可作为高等院校计算机及其相关专业的本科生、研究生教材,也可作为自动化、电子信息工程、测量技术与仪器、管理科学与工程、系统科学与工程等专业的本科生、研究生教材,还可供从事计算机工作的科学技术人员以及相关人事使用或参考,也可用作大学毕业生的考研复习用书。

全书包含大约可在 120 个学时内讲授的内容,使用时可根据不同需要,考虑删选带“*”的章、节及习题。如果删除带“*”的章、节,则可以在 60~80 学时内完成教学。对于计算机专业的本科生,未带“*”的章、节是必学内容。

本书框架由昆明理工大学的吴晟和郭洪讨论制定,吴晟完成第 5、6、10、11 章的编写,郭洪完成第 1、2、7、8 章的编写,云南大学的王亚完成第 9 章的编写,昆明理工大学的周海河完成第 3、4 章的编写。本书中的插图均为昆明理工大学的刘泓滨完成,全书由吴晟统稿并定稿。

在本书编写过程中,参阅了许多国内外离散数学教材和相关文献资料,从中吸取了不少

有用的素材,在此一并向有关作者表示感谢。感谢作者所在学校院、系领导在编写过程中给予的支持,感谢清华大学出版社的大力支持,使本书得以顺利出版。另外,对在书稿编写过程中进行部分录入等工作的昆明理工大学在校硕士研究生赵莉楠、许兵、蔡灿民表示感谢。

限于作者水平,书中不当和疏漏之处在所难免,敬请同行与读者不吝指正。特别期待使用本书作教材的教师和学生对本书的批评、指正和建议。

编 者

2007年4月

第 1 篇 数理逻辑

第 1 章 数理逻辑	3
1.1 命题及命题联结词	3
1.1.1 命题	3
1.1.2 命题联结词	4
1.1.3 命题的符号化	5
1.2 命题公式及命题公式之间的逻辑关系	6
1.2.1 命题公式的定义	7
1.2.2 公式的解释	7
1.2.3 真值表	8
1.2.4 公式的分类	9
1.2.5 公式之间的逻辑关系	9
1.3 谓词与量词	14
1.3.1 个体	14
1.3.2 谓词	14
1.3.3 量词	15
1.3.4 命题的符号化	16
1.4 谓词公式及谓词公式之间的逻辑关系	18
1.4.1 谓词逻辑中的合法符号	18
1.4.2 项	18
1.4.3 谓词公式	19
1.4.4 有关谓词公式的概念	19
1.4.5 谓词公式的解释	20
1.4.6 谓词公式的分类	21
1.4.7 谓词公式之间的逻辑关系	22
1.5 范式	25

1.5.1	主析(合)取范式	25
1.5.2	前束范式	32
1.6	数理逻辑推理理论	33
1.6.1	命题逻辑推理理论	33
1.6.2	谓词逻辑推理理论	38
* 1.7	命题逻辑推理系统 N	43
1.7.1	什么是形式系统	43
1.7.2	命题逻辑推理系统 N	43
1.7.3	N 中的一些基本定理	45
* 1.8	谓词逻辑推理系统 N_L	47
1.8.1	N_L 的构造	47
1.8.2	N_L 中的形式证明	48
1.8.3	N_L 中的一些基本定理	49
小结	.....	51
习题一	.....	51
习题二	.....	54
*第2章	非经典逻辑介绍	57
2.1	模态逻辑	57
2.1.1	模态	57
2.1.2	模态命题的形式化	58
2.1.3	模态命题形式之间的逻辑关系	59
2.2	多值逻辑	60
2.2.1	卢卡西维茨的多值逻辑系统	61
2.2.2	另外一些多值逻辑系统	63
2.3	非单调逻辑	64
2.4	模糊逻辑	65
2.5	道义逻辑	67
2.5.1	道义逻辑系统	67
2.5.2	道义逻辑的等值式与蕴含式	69
小结	.....	69
习题一	.....	69
第2篇 关 系		
第3章	集合基础	75
3.1	集合的概念和表示法	75
3.1.1	集合与元素	75

3.1.2 集合的表示	76
3.2 集合的关系	77
3.2.1 元素的属于关系	77
3.2.2 集合的包含关系	78
3.2.3 集合的相等关系	78
3.2.4 空集	79
3.2.5 全集	79
3.2.6 幂集	80
3.3 集合的基本运算	80
3.3.1 集合的并(\cup)、交(\cap)	80
3.3.2 集合的差集($-$)和绝对补集(\sim)	81
3.3.3 集合的对称差集(\oplus)	82
3.3.4 集合运算的基本性质	82
3.4 包含排斥原理	84
小结	86
习题一	86
习题二	88
第4章 关系	90
4.1 笛卡儿积与序偶	90
4.2 二元关系的定义和表示	91
4.2.1 二元关系的定义	91
4.2.2 几种特殊关系	92
4.2.3 几种常用的关系	92
4.2.4 关系的表示法	93
4.3 关系的运算	94
4.3.1 定义域、值域、域	94
4.3.2 关系的交、并、补、差运算	95
4.3.3 关系逆运算	96
4.3.4 关系的复合运算	96
4.3.5 关系运算的性质	96
4.3.6 关系的幂运算	97
4.3.7 特殊关系运算	98
4.4 关系的性质	99
4.5 关系的闭包	103
4.5.1 关系闭包的定义	104
4.5.2 关系闭包的构造	104
4.5.3 关系闭包的性质	106
4.6 等价关系与集合的划分	107

4.6.1	集合的覆盖和划分	107
4.6.2	等价关系	107
4.6.3	等价类和商集	108
4.7	偏序关系与偏序集	110
4.7.1	偏序关系的定义	110
4.7.2	序关系	111
4.7.3	偏序关系的哈斯图	112
4.7.4	偏序集中的特殊元素	113
	小结	114
	习题一	115
	习题二	117
第5章	函数	120
5.1	函数的概念	120
5.2	函数的性质	121
5.3	函数的运算	124
	小结	126
	习题一	127
	习题二	127

第3篇 图 论

第6章	图论中的基本概念	131
6.1	图与图形	131
6.2	图论中的术语	132
6.2.1	一些图的基本概念和常用术语	132
6.2.2	子图	134
6.2.3	补图	135
6.3	同构	135
6.4	图的连通性	138
6.4.1	通路和回路	138
6.4.2	无向图的连通性	139
6.4.3	有向图的连通性	142
6.5	图的矩阵表示	143
6.5.1	有向图的邻接矩阵	143
6.5.2	有向图的可达矩阵	145
6.5.3	无向图的关联矩阵	145
	小结	147

习题一	147
习题二	149
第 7 章 特殊图	151
7.1 欧拉图	151
7.2 哈密尔顿图	153
7.3 二部图	155
7.4 平面图	159
7.4.1 平面图的基本概念	159
7.4.2 欧拉公式	160
7.4.3 图的可平面性	161
7.5 无向树	162
7.5.1 无向树的概念及性质	163
7.5.2 最小生成树	164
7.6 根树	167
7.7 图的应用	172
7.7.1 计算机鼓轮设计	172
7.7.2 巡回售货员问题	173
7.7.3 关键路径问题	174
7.7.4 通信网络	176
7.7.5 前缀码问题	177
小结	179
习题一	179
习题二	183

第 4 篇 代数系统

第 8 章 代数系统	187
8.1 代数运算及性质	187
8.1.1 代数运算	187
8.1.2 代数系统的定义	188
8.1.3 几个特殊的代数系统	189
8.2 二元运算的性质	190
8.3 代数系统中的特殊元素	190
8.3.1 幂等元和消去元	190
8.3.2 幺元	191
8.3.3 零元	192
8.3.4 逆元	193

8.4 同态与同构	195
小结	199
习题一	199
习题二	201
第9章 几个特殊的代数系统	203
9.1 群论	203
9.1.1 群的定义	203
9.1.2 群的性质	207
9.1.3 特殊群	209
9.1.4 群的同态	213
9.2 环与域	214
9.2.1 环的定义	214
9.2.2 交换律、单位元、零因子、整环	215
9.2.3 除环与域	217
9.3 格与布尔代数	219
9.3.1 格的概念	219
9.3.2 同构格	221
9.3.3 格的性质	221
9.3.4 特殊的格	223
9.3.5 布尔代数	224
小结	226
习题一	227
习题二	229

* 第5篇 组合分析初步

第10章 排列与组合	233
10.1 加法原理与乘法原理	233
10.1.1 加法原理	233
10.1.2 乘法原理	234
10.1.3 加法原理与乘法原理的应用	235
10.2 排列与组合	236
10.2.1 集合的排列	236
10.2.2 集合的组合	239
10.2.3 多重集的排列	242
10.2.4 多重集的组合	244
小结	246

习题一	246
习题二	248
第 11 章 鸽巢原理	249
11.1 鸽巢原理	249
11.1.1 问题的引入	249
11.1.2 鸽巢原理的基本形式	249
11.1.3 鸽巢原理的推广	251
11.2 鸽巢原理的应用	253
11.2.1 制造鸽巢是应用鸽巢原理的关键	253
11.2.2 较复杂问题举例	254
小结	256
习题一	257
习题二	257
附录 各章习题二答案	258
参考文献	265

数理逻辑

数理逻辑是用数学方法来研究推理形式的有效性的学科,它完全具备了数学的两个基本特征——符号化和一义性。任何一门学科都要进行推理和证明,而任何一个推理都有有效和无效的可能。如何保证一个推理是有效的,这不是其他学科的任务,而是逻辑学的任务。逻辑学是一门具有基础性、边缘性特点的学科,它与其他学科一同产生、一同成长并不断成熟。早期的逻辑学是利用自然语言来描述和研究学科内容的,所形成的学科称为形式逻辑(有时也称为语言逻辑)。随着人类思维能力的提高,特别是其他学科的产生和发展,逻辑学充分吸收了数学高度形式化和精确化的特点,并逐步演变出数理逻辑这一分支,它使人们所进行的每一个推理更严格、更精确,也更有普遍性,从而成为其他学科,如计算机科学、人工智能、哲学、语言学、法律学、运筹学、管理学、博弈学等的学习和研究的精良而有效的工具。同时,数理逻辑也是从事某一专业的人,在自己的专业范围内,更严格、更敏捷、更准确地思维的必要工具。事实上,思维的不严密、不精确,无论在日常思维中,还是在专业思维中都是常见的。因此,有必要在学习和运用自己专业知识的同时,学习和运用好逻辑知识,特别是数理逻辑的知识。

本篇所讲述的只是数理逻辑中较初步的、较经典的一部分知识,即命题逻辑与谓词逻辑。这些内容是所有数理逻辑分支的基础和依据,只有较好地掌握了这些内容,才有可能进一步去了解、学习、运用数理逻辑的其他分支的新思想和新成果。事实上,在有些特殊领域里,仅有经典数理逻辑知识还是不够的,因为有的问题和情况仍无法得到合理的解释、描述和解决。因此,本篇的第2章简要介绍了模态逻辑、多值逻辑、非单调逻辑、模糊逻辑等非经典逻辑的基本思想和主要结论。