

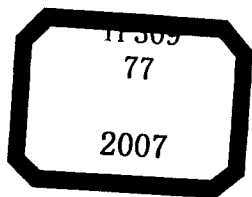
高等院校信息与计算科学专业系列教材

信息安全与密码学

徐茂智 游林 编著



清华大学出版社



高等院校信息与计算科学专业系列教材

信息安全与密码学

徐茂智 游林 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍信息安全与密码学的基础理论与基本应用。信息安全的核心是密码学,所以密码学也是本书的重点。全书由绪论、信息安全初步、信息安全技术、传统密码学、公钥密码算法、Hash 函数、计算复杂性理论、零知识证明与比特承诺、基于身份的公钥密码学、数字签名、密钥管理和密码学中的基本数学知识(附录)组成,共 11 章及一个附录。所涉及的内容基本上涵盖了现代密码学的基本概念、基本算法,以及信息安全的基本知识。附录是对数论基本知识,以及群、环、域等一些基本代数概念的简单介绍。本书每章均配有习题,便于检验和加深学生对所学内容的理解和掌握。

本书可作为数学、计算机科学、通信、电子工程等相关专业的本科高年级学生或研究生一个学期课程的教材或参考书。

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

信息安全与密码学 / 徐茂智,游林编著. --北京:清华大学出版社,2007.1

(高等院校信息与计算科学专业系列教材)

ISBN 978-7-302-13958-4

I. 信… II. ①徐…②游… III. ①信息系统—安全技术—高等学校—教材②密码—理论—高等学校—教材 IV. ①TP309②TN918.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 120358 号

责任编辑:范素珍

责任校对:白 蕾

责任印制:孟凡玉

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 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:140×203 印 张:9.25 字 数:227 千字

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

印 数:1~4000

定 价:17.00 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:013013-01

高等院校信息与计算科学专业系列教材

编辑委员会名单

主编 张平文

编委 (按姓氏笔画排序)

白峰杉 (清华大学数学科学系)

张平文 (北京大学数学科学学院)

张林波 (中国科学院数学与系统科学研究院)

张兆田 (国家自然科学基金委信息学部)

姜 明 (北京大学数学科学学院)

查红彬 (北京大学信息科学技术学院)

责任编辑 范素珍

序 言

数学科学不仅是自然科学的基础,也是一切重要技术发展的基础。电子计算机的发明及计算技术的发展都以数学为其理论基础。计算机技术的发展使得数学的应用更加直接和广泛,同时也正在改变人们对数学的传统认识。数学素质已成为今天培养高层次创新人才的重要基础。

计算数学是一门随着计算机发展而形成的学科,研究如何应用计算机有效地求解各类计算问题的方法和理论,其中涉及的计算问题主要来源于科学研究和工程设计,因此人们又称这门学科为科学计算。今天,计算和实验、理论分析一起成为当今科学活动的主要方式。在物理、化学、力学、材料科学、环境科学、信息科学和生物科学等领域,计算方法和技术已经成为被广泛接受的科学研究手段,这一系列计算性的分支学科统称为计算科学。现在,计算在科学研究和工程设计中几乎无处不在,对科技的发展起到举足轻重的作用。由于计算数学的发展已有 50 多年的历史,在教学科研方面有着深厚的积累,传统的教材建设也相对比较规范。伴随着计算机技术突飞猛进的发展,特别是超大规模计算机平台的建立和使用,以及科学研究中不断增长的对计算方法和技术的请求,传统的计算数学教材已不能满足教学的需要。

信息化已成为当今世界发展的重要趋势,也是衡量一个国家现代化水平的重要标志。信息科学可以理解为信息获取、传输、处理与控制的科学。我国信息科学发展的时间相对较短,但发展迅猛。发展信息科学需要数学基础,当然也离不开计算机科学。由于信息科学的多学科交叉的特点,在不同院校和专业,信息科学都

得到了一定的发展。但也正是这些原因,使得信息科学的学科定位,尤其是教材建设百家争鸣,缺乏统一的规范,为教学带来了很大的实际困难。

教育部 1998 年颁布的普通高等院校专业目录中,“信息与计算科学专业”被列为数学类下的一个新专业。这一新专业的设置很好地适应了新世纪以信息和计算技术为核心的数学人才的培养。然而,作为一个新专业,对其专业内涵、专业规范、教学内容与课程体系等有一个认识与探索的过程。教育部数学与统计学教学指导委员会经过多年艰苦细致的工作,对一些问题有了比较明确的指导意见,发表了《关于信息与计算科学专业办学现状与专业建设相关问题的调查报告》及《信息与计算科学专业教学规范》(讨论稿)(见《大学数学》第 19 卷 1 期(2003))。按照新的教学规范,信息与计算科学专业是以信息技术和计算技术的数学基础为研究对象的理科类专业。其目标是培养学生具有良好的数学基础和数学思维能力,掌握信息与计算科学基础理论、方法与技能,能解决信息技术和科学与工程计算中实际问题的高级专门人才。

近年来在教育部领导下,高等院校每年大量扩大招生,从而使我国的高等教育从精英化向大众化转变。现在全国大约有 400 所高校开办了“信息与计算科学专业”,每年招收 3 万名左右的本科生。其中大部分学校缺乏从事该领域教学科研经验的教师,对专业的定位和课程设置也不太明确。即使是全国一流的高校,也是偏向于单一学科,新专业没有一个完整的切实可行的教学大纲,适合交叉学科专业的教材极其匮乏。

“信息与计算科学专业”属于数学类,前两年的课程基本上是明确的,教材也很多。本套系列教材重点满足后两年的专业课程设置需求。由于重点高校大部分有自己的课程体系和教材建设,本系列教材主要针对普通高等院校开办的该类专业。依据教育部“强基础,宽口径,重实际,有侧重,创特色”的办学指导思想,清华

大学出版社组织的《高等院校信息与计算科学专业系列教材》编委会成员对专业定位、课程设置、教材内涵等进行了深入的探讨,并邀请有多年教学和科研经验的教师编写系列教材。特别是北京大学姜明教授等对涉及信息科学的教材建设花费了大量心血,在此对他们表示感谢。

为适应不同类型院校和不同层次要求的课程需求,教材建设也需要多样化和层次化。我们相信,该系列教材的出版对缓解本专业教材的紧缺局面,逐步形成专业定位与课程设置,推动信息与计算科学的发展,培养适应时代发展的交叉学科人才,提高中国数学教育水平起到一定的作用。

张平文

2005年7月6日

前 言

计算机技术的快速发展促进了网络技术的迅速发展与广泛应用。通过网络传输或获取信息,已从军事、政治、外交等重要领域日益普及到人们日常生活的各个领域。因而,保障信息在网络传输的过程中不受各种干扰破坏或不发生泄露,已成为当今信息时代的一个重要问题。

当然,在存储信息或对信息进行处理时也可能遭受到无意或恶意的破坏。保障信息的安全就是要保护信息在传输、获取、存储、处理以及使用的过程中,信息的机密性、完整性、不可抵赖性和可用性不受到无意或恶意破坏。

保障信息安全的技术可分为承载数据的系统安全、数据安全及事务安全3个方面。系统安全包括访问控制、防火墙、物理隔离等保护技术,入侵检测、安全审计、漏洞扫描、病毒扫描等检测技术,还包括负载均衡、冗余备份等恢复技术。而密码技术通过加密、鉴别、身份识别、数字签名等机制构成数据安全、事务安全的基本工具集。密码技术和访问控制技术共同构成信息安全保护的核心技术。没有密码学就没有信息安全。

本书介绍信息安全与密码学的基本概念及一些基本知识。在前3章对信息安全的一些知识进行了介绍,为信息安全准备了一些重要的应用背景。后续章节重点讲述的是现代密码学的基本理论。

在选材原则上,本书对目前应用比较广泛,或是当前研究热点的密码体制、算法或安全协议做了较详细的讲述。而对其他一些影响程度不大,或应用范围不广的密码体制或算法,则只做了摘要

性的介绍。

全书由绪论、信息安全初步、信息安全技术、传统密码学、公钥密码算法、Hash 函数、计算复杂性理论、零知识证明与比特承诺、基于身份的公钥密码学、数字签名、密钥管理和密码学中的基本数学知识(附录)组成,共 11 章及一个附录。所涉及的内容基本上涵盖了现代密码学的基本概念、基本算法,以及信息安全的基本知识。

在绪论中简要介绍了古典密码术中的 4 个著名的密码: Caesar 密码、Vigenère 密码、Playfair 密码、Hill 密码,以及 7 种著名的密码机: Vernam 密码机、ENIGMA 密码机、SIGABA 密码机、B-21 密码机、M-209 密码机、TYPEX 密码机、PURPLE 密码机。在附录中介绍了密码学中所涉及的一些基本数论知识及代数知识,以便于读者阅读。

考虑到本书是为数学、计算机科学、通信、电子工程等相关专业开设信息安全与密码学课程的教学需要而编著的,所以在编写过程中,力求内容简明扼要、条理清晰、通俗易懂。同时本书对于如 Hash 函数等方面的一些新的研究成果也做了简单的介绍。

本书在写作过程中得到国家自然科学基金网络与信息安全重大项目(批准号 90104004)、国家 973 项目(批准号 1998030420),以及北京数盾信息科技有限公司的支持和资助。同时得益于与北京大学安全与密码工程研究中心王杰教授、赵春来教授,以及许多研究生的共同讨论,在此一并表示感谢。

本书是在作者多年从事信息安全与密码学的研究与教学的基础上编写而成的,并经多次修改,但疏漏与不妥之处在所难免,诚望读者与同行专家、学者不吝予以批评指正。

作 者

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信息安全	1
1.1.1 信息安全的目的	1
1.1.2 信息安全中攻击的基本类别	2
1.1.3 信息安全的基本模型	4
1.1.4 信息安全研究的基本内容	5
1.2 密码学	5
1.2.1 密码学发展简史	6
1.2.2 密码体制分类	20
1.2.3 密码体制的攻击类型	22
1.2.4 密码学的基本术语	22
1.2.5 密码学的基本模型	23
1.2.6 密码学与信息安全的关系	24
习题	24
第 2 章 信息安全初步	26
2.1 引言	26
2.2 身份识别	29
2.2.1 基于物理形式的身份识别技术	29
2.2.2 基于密码技术的身份识别协议	30
2.3 机密性保护	31
2.3.1 机密性保护粒度	31
2.3.2 机密性保护方法	32

2.4	数据完整性保护	32
2.4.1	完整性保护粒度	32
2.4.2	完整性保护方法	33
2.5	不可抵赖性	34
2.6	访问控制	35
2.6.1	访问控制粒度	35
2.6.2	访问控制策略	36
2.6.3	访问控制实现机制与方法	40
	习题	43
第3章	信息安全技术	45
3.1	保护技术	45
3.1.1	加密技术	45
3.1.2	数字签名	46
3.1.3	访问控制	47
3.1.4	身份识别	47
3.1.5	通信量填充与信息隐藏	48
3.1.6	路由控制	49
3.1.7	公证	49
3.1.8	安全标记	49
3.2	检测技术	50
3.2.1	数据完整性	50
3.2.2	事件检测与安全审计	51
3.3	恢复技术	52
3.3.1	运行状态恢复	52
3.3.2	数据恢复	52
3.4	信息安全体系	53
3.4.1	信息安全技术体系	54

3.4.2	信息安全组织体系	56
3.4.3	管理体系	57
习题		57
第4章	传统密码学	58
4.1	传统密码学的基本知识	58
4.1.1	机密性要求	60
4.1.2	完整性要求	60
4.2	DES 加密算法	61
4.2.1	初始置换 IP	63
4.2.2	圈函数	64
4.2.3	密钥扩展	67
4.2.4	脱密	69
4.2.5	DES 的安全性	69
4.3	三重 DES	70
4.4	AES	71
4.4.1	数学基础	72
4.4.2	Rijndael 的状态、密钥和圈密钥	74
4.4.3	圈变换	75
4.4.4	密钥扩展	77
4.4.5	加/脱密流程图	78
4.5	其他算法	79
4.5.1	IDEA	79
4.5.2	Blowfish	81
4.5.3	RC5	83
4.5.4	CAST-128	83
习题		84

第 5 章 公钥密码算法	87
5.1 RSA 密码算法	89
5.1.1 算法的描述	89
5.1.2 计算方面	93
5.1.3 安全性方面	95
5.2 ElGamal 算法	96
5.2.1 ElGamal 算法描述	96
5.2.2 离散对数问题与 ElGamal 密码体制的安全性	97
5.3 椭圆曲线密码体制	98
5.3.1 有限域上的椭圆曲线	99
5.3.2 Menezes-Vanstone 椭圆曲线密码体制	103
5.3.3 椭圆曲线离散对数问题与安全性	105
5.4 Diffie-Hellman 算法	106
5.4.1 Diffie-Hellman 算法描述	106
5.4.2 Diffie-Hellman 算法举例	106
5.4.3 Diffie-Hellman 算法的椭圆曲线版本	107
5.5 MH 背包公钥密码系统	107
5.5.1 背包(Knapsack)问题	108
5.5.2 MH 背包公钥密码系统描述	109
5.6 其他公钥密码算法简介	110
5.6.1 Rabin 公钥密码体制	110
5.6.2 Goldwasser-Micali 概率公钥密码体制	111
5.6.3 NTRU 公钥密码体制	113
习题	116
第 6 章 Hash 函数	120
6.1 Hash 函数的性质	121

6.2	Hash 函数 MD5	121
6.2.1	MD5 算法描述	122
6.2.2	MD5 算法的安全性	126
6.3	Hash 函数 SHA-1	127
6.3.1	SHA-1 算法描述	128
6.3.2	SHA-1 算法的安全性	130
6.4	基于分组密码的 Hash 函数	131
6.4.1	构造 Hash 函数的一般性原则	131
6.4.2	基于分组密码算法构造 Hash 函数	132
	习题	133
第 7 章	计算复杂性理论	136
7.1	图灵机	137
7.2	语言、问题、算法及计算复杂度表示	139
7.3	P、NP 与 NP-完全问题	142
7.3.1	三类问题的相关定义	143
7.3.2	P 类问题和 NP 类问题举例	146
7.4	单向函数与陷门单向函数	148
7.4.1	单向函数	148
7.4.2	陷门单向函数	150
	习题	152
第 8 章	零知识证明与比特承诺	155
8.1	零知识证明	156
8.1.1	零知识证明协议示例	156
8.1.2	零知识证明协议的定义	160
8.2	基于零知识证明的身份识别协议	166
8.2.1	Schnorr 身份识别协议	166

8.2.2	Fiat-Shamir 身份识别协议	167
8.2.3	Okamoto 身份识别协议	169
8.3	比特承诺	171
8.3.1	比特承诺方案的数学构造	171
8.3.2	利用对称密码算法的比特承诺方案	172
8.3.3	利用单向函数的比特承诺方案	173
8.4	NP-问题的零知识证明简述	177
	习题	177
第9章	基于身份的公钥密码学	178
9.1	基于身份的签名	179
9.1.1	Shamir 的基于身份的数字签名体制的 构成	180
9.1.2	Shamir 的基于身份的数字签名体制的算 法描述	180
9.1.3	Shamir 的基于身份的数字签名体制安全 性分析	182
9.2	利用椭圆曲线的 Weil 对的基于身份的公钥密 码体制	183
9.2.1	超奇异椭圆曲线与 Weil 配对	183
9.2.2	DDH 问题与 CDH 问题	185
9.2.3	利用 Weil 配对的基于身份密钥共享 体制	187
9.2.4	利用 Weil 配对的三方 Diffie-Hellman 密 钥协议	190
9.3	Boneh 与 Franklin 的基于身份的公钥加密 体制	191

9.3.1 Boneh 与 Franklin 的公钥加密体制的 构成.....	191
9.3.2 Boneh 与 Franklin 的公钥加密体制的 算法描述.....	192
9.3.3 公开系统环境中的 Boneh 与 Franklin 的 公钥加密体制.....	195
习题.....	197
 第 10 章 数字签名	198
10.1 RSA 数字签名方案	199
10.1.1 RSA 数字签名算法描述	200
10.1.2 RSA 数字签名算法安全性考虑	200
10.2 ElGamal 数字签名方案.....	202
10.2.1 ElGamal 数字签名算法描述.....	202
10.2.2 ElGamal 数字签名算法安全性考虑.....	203
10.3 数字签名标准 DSS	203
10.3.1 DSA 数字签名算法描述	204
10.3.2 DSA 数字签名算法安全性考虑	205
10.4 椭圆曲线数字签名算法.....	205
10.4.1 椭圆曲线数字签名算法 ECDSA 描述.....	206
10.4.2 椭圆曲线数字签名算法 ECDSA 安全 性考虑.....	207
10.5 基于离散对数问题的一般数字签名方案.....	208
10.5.1 基于离散对数问题的一般数字签名方 案描述.....	208

10.5.2	基于离散对数问题的一般数字签名方 案的几点说明	209
10.6	盲数字签名方案	210
	习题	213
第 11 章	密钥管理	214
11.1	密钥管理绪论	214
11.2	基于传统密码体制的密钥分发	217
11.2.1	ANSI X9.17 标准	217
11.2.2	Kerberos 协议	219
11.3	基于公钥密码体制的密钥分发	220
11.3.1	简单型的秘密密钥分发	221
11.3.2	具有身份鉴别能力型的秘密密钥 分发	221
11.3.3	混合型的秘密密钥分发	222
11.3.4	Diffie-Hellman 密钥交换协议	223
11.3.5	Blom 密钥交换协议	223
11.4	量子密钥分配协议	224
11.5	公钥密码的密钥管理	228
11.5.1	X.509 证书标准	229
11.5.2	认证机构及其信任链	231
11.5.3	密钥与证书管理	234
11.5.4	黑名单 CRL	237
	习题	239
附录 A	密码学中的基本数学知识	241
A.1	数论基本知识	241
A.1.1	整除与素数	241