密 码 学

第十四讲　密码协议

王后珍

武汉大学国家网络安全学院

空天信息安全与可信计算教育部重点实验室

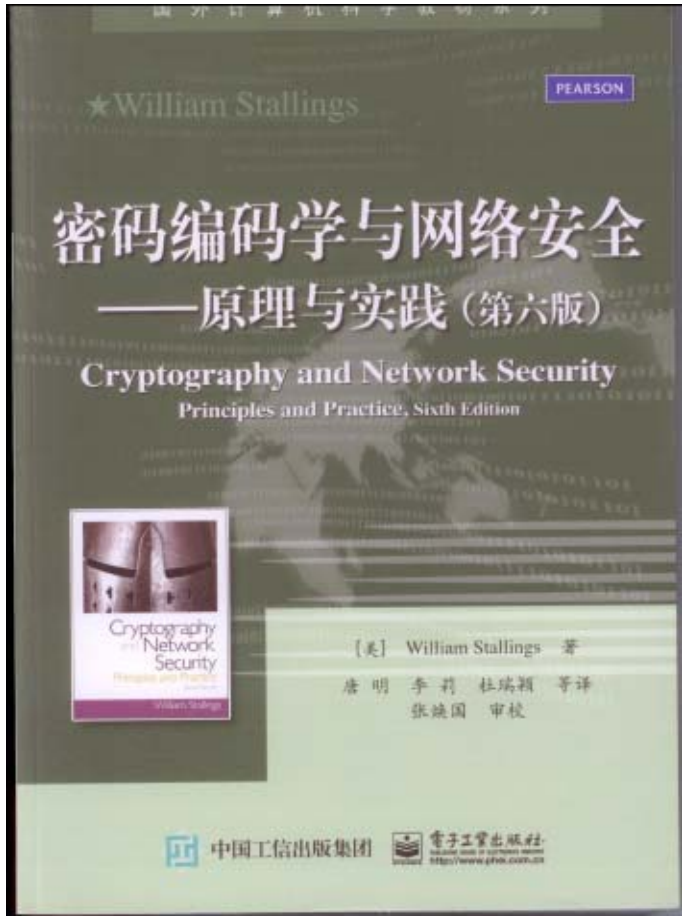
目 录

目 录

教材与主要参考书

教材

参考书



本讲内容

一、密码协议的概念

二、密码协议的设计与分析

一、密码协议的概念

1. 协议的概念

- 所谓协议（**Protocol**），就是指两个或两个以上的参与者为了完成某一特定任务而采取的一系列执行步骤。

这里包含了三层含意：

① 协议是一个有序的执行过程。每一步骤都必须执行，而且执行是依序进行的。随意增加和减少执行步骤或改变步骤的执行顺序，都是对协议的篡改或攻击。

② 协议至少要有两个参与者。虽然一个人可以通过执行一系列的步骤来完成某种任务，但是它不构成协议。

③ 协议的执行必须能完成某种任务。

一、密码协议的概念

- **举例-1：**

  执行本协议，A把数据M安全地传送给B。

  发方A：

  ① A首先查公钥数据库PKDB，查到B的公开的加密钥K_{eB}。

  ② A用K_{eB}加密M得到密文C：$C=E(M, K_{eB})$

  ③ A发C给B。

  收方B：

  ① B接收C。

  ② B用自己的保密的解密钥K_{dB}解密C，得到明文：

  $M=D(C, K_{dB})$。

- 我们已经知道：该协议能确保数据秘密性，不能确保数据真实性。

一、密码协议的概念

2. 协议与算法的比较

- 算法是求解问题的一组有穷的运算规则，这些规则给出了求解特定类型问题的运算序列。算法具有以下特征：

① 有穷性。一个算法总是在运算有穷步之后结束，而且每一步都可以在有穷时间内完成。

② 确定性。算法的每一个步骤都必须有确定的含义，无二义性，并且在任何条件下算法都只有唯一的一条执行路径。

一、密码协议的概念

2. 协议与算法的比较

③ 输入。算法可以有输入，也可以无输入。这些输入是在算法开始执行前提供给算法的。

④ 输出。算法有一个或多个输出。这些输出是与输入有某种确定关系的量。

⑤ 能行性。算法的执行所花费的时间和空间是在现实计算资源条件下可实现的。

一、密码协议的概念

2. 协议与算法的比较

- 协议和算法都是一组有穷的运算或处理步骤。它们都要求具有有穷性、确定性和能行性。
- 协议强调至少要有两个参与者，而且双方之间还要进行通信。而算法却不要求这一点。
- 例如，计算N以内的自然数的和的方法，对一个合数进行因子分解的方法，都是算法，却都不是协议。因为它们都不要求至少要有两个参与者，一个人就可以计算完成。
- 协议强调完成某一特定任务，而算法强调问题求解。换句话说，协议强调处理，而算法强调计算。

一、密码协议的概念

2. 协议与算法的比较

- 协议的执行步骤在粒度上比较粗、比较宏，例如协议的一个步骤可以是执行一个算法。而算法的执行步骤在粒度上比较细，其步骤常常是一些基本运算和操作。
- 由于算法强调计算，所以输入和输出都是一些量。与算法类似，协议也有自己的输入和输出，输入通常是协议执行的一些条件，而输出则是协议执行的结果，结果通常表现为一种状态。
- 总而言之，算法和协议是两种不同层次上的概念。算法是低层次上的概念，而协议是高层次上的概念，协议建立在算法的基础之上。

一、密码协议的概念

PGP协议

- 数据*M*经MD5处理，得到MD5（*M*）
- 利用RSA对HASH(*M*)签名,得到*M*的签名*S*
- 使用ZIP对< *M*, *S* >压缩
- 再用IDEA对压缩数据加密： IDEA(ZIP(*M*, *S*))
- 用RSA对IDEA的密钥加密：RSA(*k*)
- 形成数据：< IDEA(ZIP(*M*,*S*)), RSA(*k*)>
- 将数据转换成ASCII码。

一、密码协议的概念

3. 安全协议

- 协议是网络通信的基础之一。网络通信的各方根据协议进行消息的交互、数据的传递和信息的共享。良好的网络通信协议应当高效和节省，并且能确保信息的安全性。
- 我们称具有安全功能的协议为安全协议。因为密码技术是确保信息安全的关键技术，所以安全协议都采用密码技术。因此，通常又称安全协议为密码协议。
- 在网络通信中，人们利用密码协议实现诸如密钥交换、身份认证、站点认证、报文认证等安全功能。在电子商务中，人们利用密码协议实现安全电子交易。

一、密码协议的概念

3. 安全协议

- 协议的安全性则根据具体的协议不同，而有不同的含义。通常可以包含以下的部分或全部属性：
  - 认证性
  - 秘密性
  - 完整性（真实性）
  - 不可否认性
  - 公平性（电子商务协议要求）

一、密码协议的概念

4. 协议分类

根据密码协议的功能可以将其划分为以下四类：

① 密钥建立协议

网络通信系统中的密钥建立协议，用于在通信的各方之间建立会话密钥。会话密钥是用于保护一次会话通信的密钥。协议中的密码算法可以采用对称密码，也可以采用公钥密码。

② 认证协议

网络通信系统中的认证协议主要包括身份认证协议，通信站点认证协议，报文认证协议等。

一、密码协议的概念

4. 协议分类

③ 身份认证和密钥建立协议

把身份认证和密钥建立结合起来，形成了认证和密钥建立协议。首先进行通信实体的身份认证，然后建立会话密钥，随后通信实体就可以进行保密通信了。这类协议是保密通信中最常用的一类协议。

④ 电子商务协议

在电子商务中通过协议进行电子交易和电子支付，电子商务除了关心秘密性、完整性外，还十分关心交易的公平性。

一、密码协议的概念

4. 协议分类

- 除了以上四种基本类型之外，近年来又出现了一些新的密码协议类型：
  - 涉及多于两方的加密或签名协议。其中比较重要的研究方向有门限密码、属性加密等。
  - 多方安全计算。多个参与方共同完成一个计算任务，其中每一个参与方持有保密的私有输入。目标是正确地完成计算任务，但不能泄露各方自己的私有输入。
  - 零知识证明。设计一种证明方法使证明者能够向验证者证明某一事实，且能使验证者相信其证明是正确的，但证明又不会向验证者泄露证明者关于该事实的具体知识。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 密码协议的安全缺陷
  - 我们给大家介绍了公钥密码的三种基本工作方式。每一种都是一个密码协议：

① 只加密不签名的协议可确保数据秘密性，不能确保数据真实性。

② 只签名不加密的协议可确保数据真实性，不能确保数据秘密性。

③ 先签名后加密的协议可同时确保数据秘密性和数据真实性。

  - 现在我们指出，这些结论在不考虑协议攻击的情况下才是正确的。如果考虑攻击，将会出现新情况。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 举例-2：分析先签名后加密协议

$$A \rightarrow B: E(D(M, K_{dA}), K_{eB})$$

的安全缺陷。

- 第一种攻击：假设B不诚实
- B收到报文后用自己的解密钥K_{dB}解密，可得到$D(M, K_{dA})$。他再用C的公开加密钥K_{eC}加密后发给C。

$$B \rightarrow C: E(D(M, K_{dA}), K_{eC})。$$

- C收到后会以为是A直接与他通信，而不知道是B重发A发给B的消息。
- 原因：报文中没有报文源和宿的标识，没有进行认证。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 举例-2：分析先签名后加密协议

$$A \rightarrow B: E(D(M, K_{dA}), K_{eB})$$

的安全缺陷。

  - 第二种攻击：假设T是攻击者
  - 由于报文中没有时间信息，也不进行报文时间合理性的认证，所以T可以把截获到的以前的A发给B的报文重新发给B，而B不能发现。
  - 为了对抗重放攻击，数据中必须有时间标志信息，并进行时间认证。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 举例-3：分析先加密后签名协议

$$A \rightarrow B: D(E(M, K_{eB}), K_{dA})$$

的安全缺陷。

  - 假设T是攻击者。
  - T截获A发给B的报文。
  - T先用A的公开加密钥验证签名，可得到

$$E(M, K_{eB})。$$

  - T再用自己的保密的解密钥K_{dT}签名后发给B。即

$$T \rightarrow B: D(E(M, K_{eB}), K_{dT})。$$

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 举例-3：分析先加密后签名协议

$$A \rightarrow B: D(E(M, K_{eB}), K_{dA})$$

的安全缺陷。

- B收到后会以为是T直接与他通信，不知道是T重发A发给B的消息。如果M表示某种承诺或凭证，现在的消息是由T签名的，A就会认为这种承诺或凭证关系是A和T之间的，其实应是A和B之间的。
- 此外，T还可以把截获到的以前的A发给B的报文，重播发给B。
- 问题的原因：没有对发送方和收方进行认证，没有对报文的时间进行认证。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 密码协议存在安全缺陷是比较普遍的。估计超过一半的公开协议存在安全缺陷。
- 攻击分类

① 对协议中的密码算法进行攻击。

如：破译密码算法

① 对协议中的密码算法的技术实现进行攻击。

如：测信道攻击

- 防范对密码算法和密码的技术实现的攻击，不属于协议安全的研究内容。
- 在研究协议安全时，总是假设密码算法和密码的技术实现是安全的。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 攻击分类
  - ③ 对协议本身进行攻击。
    如：各种被动或主动攻击
  - ③ 对协议的技术实现进行攻击。
    - 任何协议只有实现成软件或硬件形态，嵌入到系统中去，并且正确应用，才能发挥实际作用。其中任何一个环节出现缺陷，都可能受到攻击者的攻击。
    - 心脏滴血事件。**SSL**是一种网络综合密码协议。**Open-SSL**则是开源的 **SSL** 套件，被全球成千上万的**Web**服务器使用。**SSL**的技术实现存在缺陷，使得可以欺骗服务器泄露机密信息。一次就可以读取服务器内存中**64K**数据，不断地读取，就能获取程序源码、用户的账号密码等敏感信息。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 对协议本身的攻击又可分为被动攻击和主动攻击
  - 被动攻击是指协议外部的实体对协议的全部或部分执行过程实施窃听，收集协议执行中所传送的消息，并分析消息，从中得到自己感兴趣的信息。
  - 攻击者的窃听不影响协议的执行，所以被动攻击难于检测。因此在设计协议时应当考虑的重点是确保协议能够抵抗被动攻击，而不是检测被动攻击。
  - 主动攻击是指攻击者试图篡改协议中传送的消息，插入新的消息，甚至改变协议的执行过程。
  - 显然，主动攻击比被动攻击具有更大的危险性。常见的主动攻击有重放攻击，等。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- **举例-4：分析下面的协议： A→B：M**

①A→B：（ID_A，ID_B，E（M，K_{eB}）），其中ID_A，ID_B是A、B为标识符；

②B→A：（ID_B，ID_A，E（M，K_{eA}）），以表示收到M。

- **攻击这一协议：**

①攻击者T截获A发送给B的消息（ID_A，ID_B，E（M，K_{eB}）），并篡改为（ID_T，ID_B，E（M，K_{eB}））。

②攻击者T将（ID_T，ID_B，E（M，K_{eB}））发送给B。

③B接收到（ID_T，ID_B，E（M，K_{eB}））后根据协议规定，给T返回（ID_B，ID_T，E（M，K_{eT}））。

④T接收（ID_B，ID_T，E（M，K_{eT}）），解密获得消息M。

二、密码协议的设计与分析

1. 密码协议的安全性

- 举例-4
  - 原因之一是，协议的设计不合理，B回送的表示收到数据的报文中含有明文数据*M*。如果回送报文中没有*M*，则攻击者将不能得到*M*。
  - 另一原因是，发方和收方标识符没有与数据*M*加密绑定，以致于可被篡改。
  - 另外，上述协议的报文中也没有时间信息，也不进行时间认证，所以也不能抵抗重播攻击。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 如果在协议设计阶段就充分考虑到一些可能破坏协议安全性的问题，并加以避免，将是有益的。
- 协议的设计原则
  - ① 消息独立完整性原则
    - 协议中的每一消息都应准确地表达出它所想要表达的含义。消息含义的解释应完全由其内容来决定，而不用借助于上下文来推断。
    - 假设协议的一个步骤为**A→B**：***M***，想表达**A**把数据***M***发给**B**。因为***M***没有与**A**和**B**绑定，光从***M***看不出是由**A**发给**B**的，要借助于上下文来分析。这样攻击者就可以替换数据***M***或替换发方和收方。
    - 协议的描述可以用形式化语言来描述，也可以用自然语言来描述。但形式化语言描述更严格。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

② 消息前提准确原则

- 与消息相关的先决条件应当明确给出，并且其正确性与合理性应能得到验证。
- 不仅要考虑消息本身，还要考虑与每条消息相关的条件是否合理，每条消息所基于的假设是否能够成立。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

③ 主体身份标识原则

- 如果一个主体的标识对于某个消息的含义是重要的，就应当在消息中明确地附加上主体的名称。
- 主体的名称可以以明文形式出现。也可以采用加密或签名技术对主体名称进行保护。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

④ 明确加密目的的原则

- 明确采用加密的目的，否则将造成冗余。
- 采用密码算法并不是协议安全的代名词，密码算法的不正确应用可能导致协议出现错误。
- 应用密码算法时必须知道为什么要应用以及如何应用它。
- 加密可以实现多种安全目的，如秘密性、完整性和认证性等，但是在应用时必须确保它能够实现你所希望的某种安全目标。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

⑤ 明确签名原则

- 签名可以确保数据的真实性和抗抵赖。
- 如果需要同时采用签名和加密，应当采用先签名后加密的方式。
- 应当对数据的**Hash**值进行签名，不直接对数据签名。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

⑥ 随机数的使用原则

- 在协议中使用随机数可以认证消息的新鲜性。
- 在使用随机数时，应当明确其所起的作用和属性。
- 问题的关键是随机数最好是真正随机的，至少具有足够安全的伪随机性。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

⑦ 时间戳的使用原则

- 时间戳可用来确保消息的时效性。
- 当使用时间戳时，必须考虑各个计算机的时钟与标准时钟的误差，这种误差不应当影响协议执行的有效性。
- 时间戳依赖于系统中时钟的同步，但是做到这一点是很不容易的。

二、密码协议的设计与分析

2. 密码协议的设计原则

- 协议的设计原则

⑧ 编码原则

- 协议中消息的编码格式与协议安全密切相关，应当明确协议中消息的具体数据格式，而且还要验证这种格式对安全的贡献。

⑨ 最少安全假设原则

- 在进行协议设计时，常常要对系统环境进行风险分析，做出适当的初始安全假设。如认为所采用的密码算法是安全的，认证服务器是可信的，等等。
- 但是注意，初始的安全假设越多，则协议的安全性就越差。这是因为，一旦初始的安全假设的安全性受到威胁，将直接威胁到协议的安全。因此，在协议设计时应当采用最少安全假设原则。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

- 协议安全分析的目的就是要揭示协议是否存在安全漏洞和缺陷。
- 分析的方法有攻击检测方法和形式化分析方法。
- 攻击检测又称为穿透性检测，是一种非形式化的分析方法。它根据已知的各种攻击方法来对协议进行攻击，以攻击是否有效来检测协议是否安全。这种方法的缺点是只能发现已知的安全漏洞和缺陷，不能发现未知的安全漏洞和缺陷。
- 早期主要采用攻击检测。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

- 形式化分析方法

① 形式逻辑方法

- 形式逻辑分析方法是一种基于知识和信仰的分析方法。
- 形式化逻辑以**BAN**逻辑为代表，还包括许多对**BAN**逻辑进行扩充和改进的其他逻辑。
- 这种方法定义了协议的目标，并确定了协议初始时刻各参与者的知识和信仰，通过协议中的发送和接收步骤产生新的知识，运用推理规则得到最终的知识和信仰。如果最终的知识和信仰的语句集合里不包含所要得到的目标知识和信仰的语句时，就说明协议存在安全缺陷。
- **BAN**逻辑简单、直观，使用方便，而且可以成功地发现协议中存在的安全缺陷。但是，由于**BAN**逻辑本身缺少精确定义的语义基础，所以它不能检测对协议的攻击。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

② 模型检测方法

- 把密码协议看成一个分布式系统，每个主体执行协议的过程构成局部状态，所有局部状态构成系统的全局状态。
- 每个主体的收发动作都会引起局部状态的改变，从而也就引起全局状态的改变。
- 在系统可达的每一个全局状态检查协议的安全属性是否得到满足，如果不满足则检测到协议的安全缺陷。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

② 模型检测方法

- 模型检测方法已被证明是一种非常有效的方法。它具有自动化程度高，检测过程不需要用户参与，如果协议存在安全缺陷就能够自动产生反例等优点。
- 但是，因为这一方法是通过穷尽搜索存在攻击的情况下所有可能的执行路径，来发现协议可能存在的安全缺陷，所以它的缺点是容易产生状态空间爆炸问题，因而不适合复杂协议的检测。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

③ 定理证明方法

- 定理证明方法试图证明协议满足安全属性，而不是寻找对协议的攻击。因此，定理证明方法属于正面证明方法。
- 比较有代表性的定理证明方法有**Spi**演算方法、归纳方法、串空间方法等。
- 定理证明方法是一种比较新的协议分析方法，还有很大的发展空间。它的缺点是难于完全自动化。

二、密码协议的设计与分析

3. 密码协议的分析

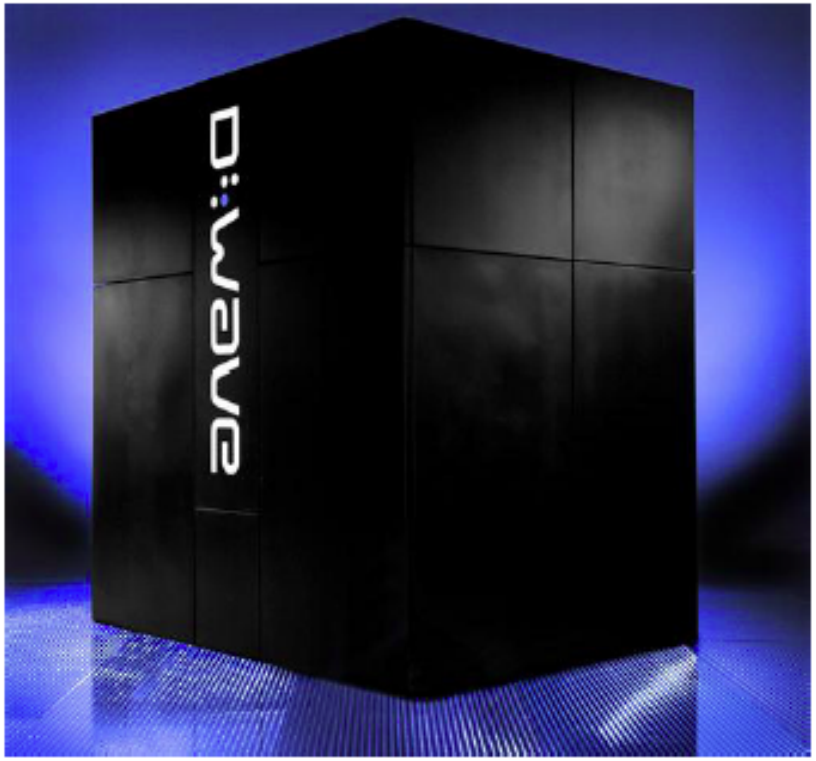
- 协议的形式化分析将协议的描述形式化，借助于人工和计算机分析推理，来判断协议是否安全。
- 形式化分析方法与非形式化分析方法相比，能够全面、深刻地检测协议的细微的安全漏洞和缺陷。
- 它不仅能够发现已知的安全漏洞和缺陷，还能发现未知的安全漏洞和缺陷。
- 目前协议的形式化分析离实际应用还有距离，还需要大力研究。

研究前沿介绍

一、量子计算机发展动向

1、加拿大量子计算机已开始商用

- 《Nature》2011年5月：加拿大D-Wave公司推出世界上首台128量子位（Qbit）商用量子计算机D-Wave One 系统。
- 1000万美元/台，卖给著名军火商洛克希德马丁公司，用于：F35战机分析、新武器开发和雷达、航天、航空器系统测试等。



一、量子计算机发展动向

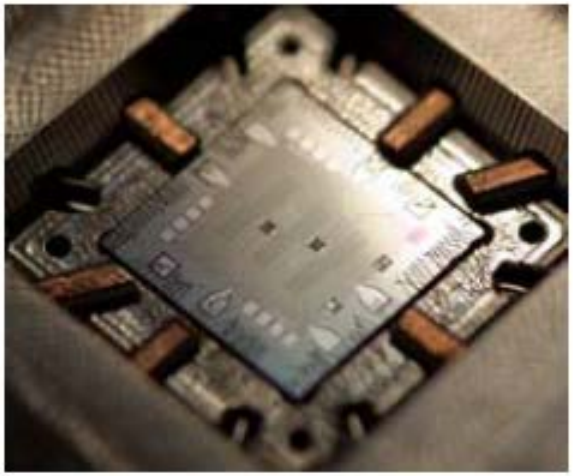
1、加拿大量子计算机已开始商用

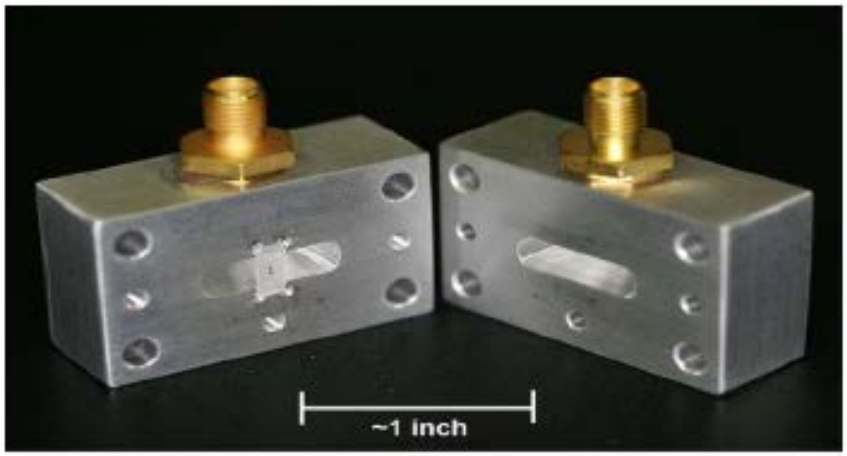
- 2013年初，加拿大D-Wave公司又推出512qbit的D-Wave Two。
- 1500万美元/台，卖给著名信息服务商谷歌公司，用于加速信息搜索的速度和人工智能。
- 根据常规，很可能已开始 1024qbit的系统研发。

一、量子计算机发展动向

1、美国通用量子计算机已出现

- 《Nature》2011年9月报道：UCSB通过量子电路成功实现了冯诺依曼结构的量子计算机。
- IBM找到了可以大规模提升量子计算机规模的一种关键技术





一、量子计算机发展动向

3、斯诺登暴料NSA研制破译密码的量子计算机

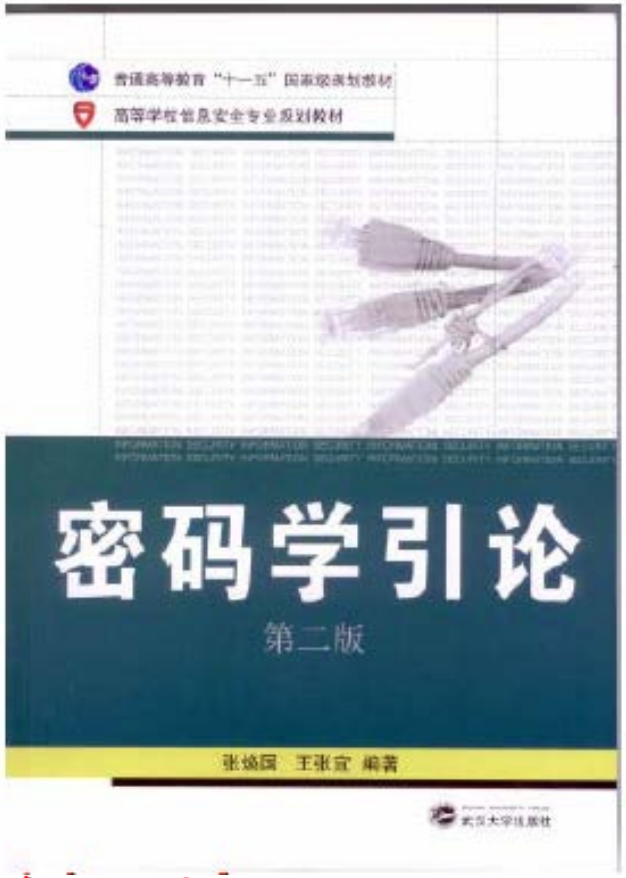
- 对外严格保密
- 外界两种观点
  - 已取得实质进展
  - 遇到技术困难

NSA seeks to build quantum computer that could crack most types of encryption

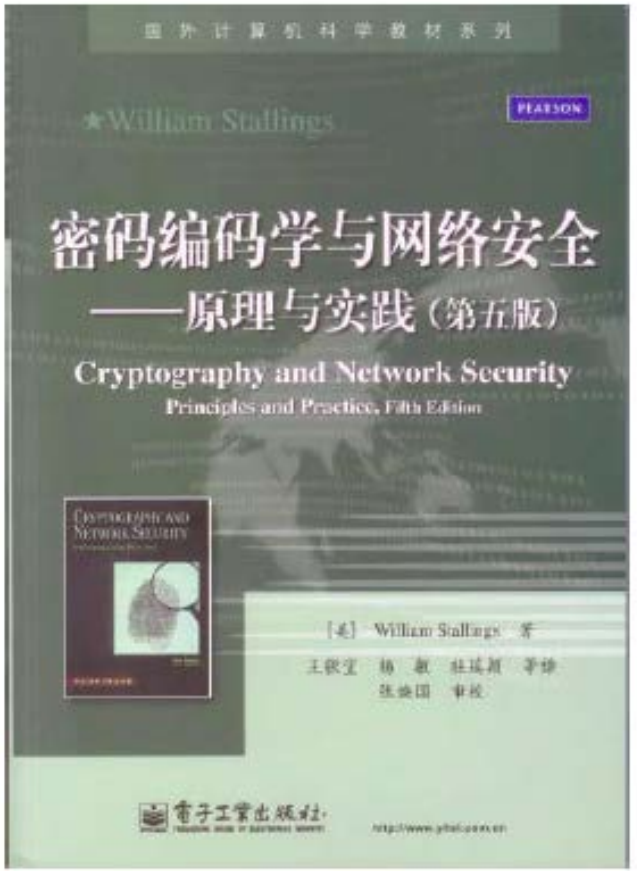
By Steven Rich and Barton Gellman, Published: January 2 E-mail the writers

二、量子计算对密码学的影响

教材



参考书



二、量子计算对密码学的影响

- 密码学的主要研究内容：
  - 序列密码
  - 分组密码
  - 公钥密码
  - Hash函数
  - 数字签名及认证
  - 密钥管理

二、量子计算对密码学的影响

- 目前广泛应用的公钥密码算法：
  - **RSA：基于大整数因子分解难题**
  - **ElGamal: 基于离散对数难题**
  - **ECC : 基于椭圆曲线离散对数难题**

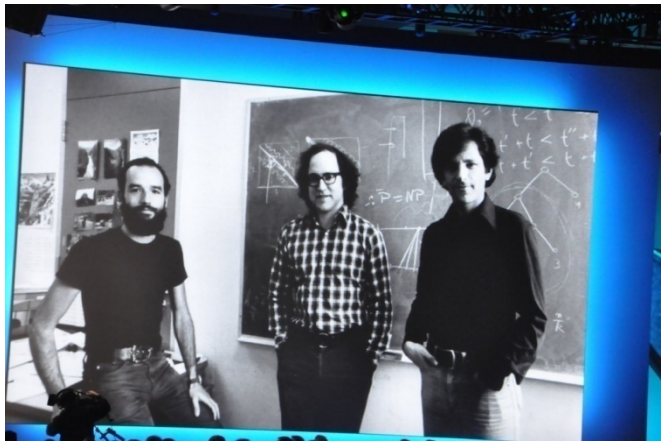
二、量子计算对密码学的影响

◆ RSA密码：

- 1978年美国麻省理工学院的三名密码学者R.L.Rivest,A.Shamir和L.Adleman提出了一种基于大合数因子分解困难性的公开密钥密码，简称为RSA密码。
- RSA密码被誉为是一种风格幽雅的公开密钥密码。既可用于加密，又可用于数字签名，安全、易懂。
- RSA密码已成为目前应用最广泛的公开密钥密码之一。

二、量子计算对密码学的影响

◆ RSA密码：



RSA SECURITY™

RSA® CONFERENCE 2014

RSA®

The Security Division of EMC

二、量子计算对密码学的影响

◆ RSA密码：

①随机地选择两个大素数 p和 q，而且保密；

②计算$n=pq$，将 n公开；

③计算 $\phi(n)=(p-1)(q-1)$，对 $\phi(n)$保密；

④随机地选取一个正整数e，$1< e <\Phi(n)$且（e , $\phi(n)$）=1，将 e 公开；

⑤根据 $ed=1 \mod \phi(n)$，求出d，并对d 保密；

⑥加密运算：$C=M^e \mod n$

⑦解密运算：$M=C^d \mod n$

● 公开加密钥$K_e=<e,n>$，保密解密钥$K_d=<p,q,d,\phi(n)>$

二、量子计算对密码学的影响

◆ **RSA密码：** 基于大整数因子分解数学难题

- 15 = 3 × 5
- 135066410865995223349603216278805969938881475605667027524485143851526510604859533833940287150571909441798207282164471551373680419703964191743046496589274256239341020864383202110372958725762358509643110564073501508187510676594629205563685529475213500852879416377328533906109750544334999811150056977236890927563 = ？ × ？

武漢大学

二、量子计算对密码学的影响

◆ **RSA密码：** 基于大整数因子分解数学难题

保密级别	对称密钥长度（bit）	RSA密钥长度（bit）	ECC密钥长度（bit）	保密年限
80	80	1024	160	2010
112	112	2048	224	2030
128	128	3072	256	2040
192	192	7680	384	2080
256	256	15360	512	2120

二、量子计算对密码学的影响

- 1994年贝尔实验室的Peter Shor提出了一种攻击RSA密码的量子多项式算法。

算法 1: 因子分解的量子算法 (Shor 算法)

Input: 大整数 N.

Output: N 的因子.

Step1: 如果 N 为偶数, 则输出因子 2;

Step2: 随机选取 $a(1 < a < N-1)$, 若最大公因子 $\gcd(a, N) > 1$, 则输出 $\gcd(a, N)$;

Step3: 利用量子算法求出函数 $f(x) = a^x \bmod N$ 的周期, 记为 r;

Step4: 若 r 为偶数且 $a^{r/2} \neq -1 \bmod N$, 则计算 $\gcd(a^{r/2} - 1, N)$ 和 $\gcd(a^{r/2} + 1, N)$, 二者至少有一个必为 N 的因子.

二、量子计算对密码学的影响

- 1994年贝尔实验室的Peter Shor提出了一种攻击RSA密码的量子多项式算法。

算法 1: 因子分解的量子算法 (Shor 算法)

Input: 大整数 N.

Output: N 的因子.

Step1: 如果 N 为偶数, 则输出因子 2;

Step2: 随机选取 $a(1 < a < N-1)$, 若最大公因子 $\gcd(a, N) > 1$, 则输出 $\gcd(a, N)$;

Step3: 利用量子算法求出函数 $f(x) = a^x \bmod N$ 的周期, 记为 r;

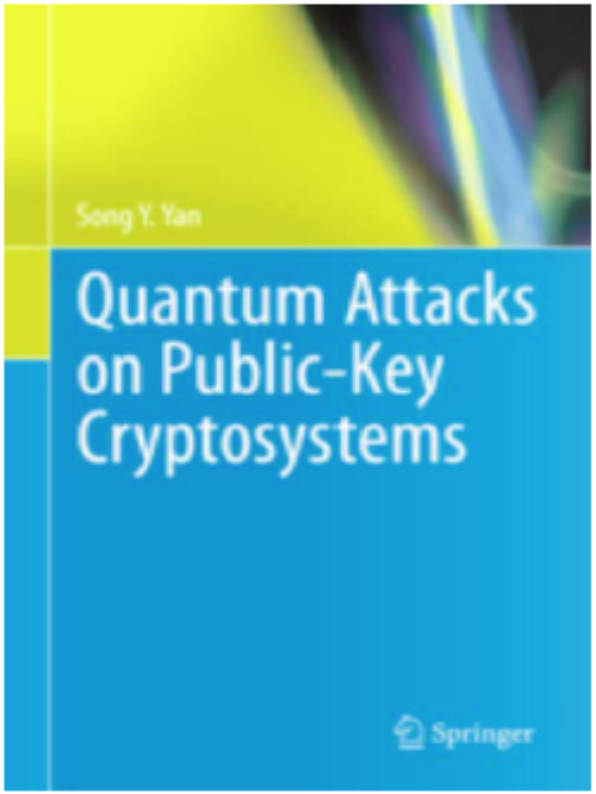
Step4: 若 r 为偶数且 $a^{r/2} \neq -1 \bmod N$, 则计算 $\gcd(a^{r/2} - 1, N)$ 和 $\gcd(a^{r/2} + 1, N)$, 二者至少有一个必为 N 的因子.

二、量子计算对密码学的影响

量子计算机严重威胁公钥密码的安全

- **Shor算法：**
  - 离散傅里叶变换→整数分解、离散对数→有效攻击RSA、ECC、EIGamal、HD等密码
  - 现已扩展到隐藏子群问题（HSP）

- 量子计算时代我们使用什么密码，是摆在我国面前的一个十分紧迫的重大战略问题！



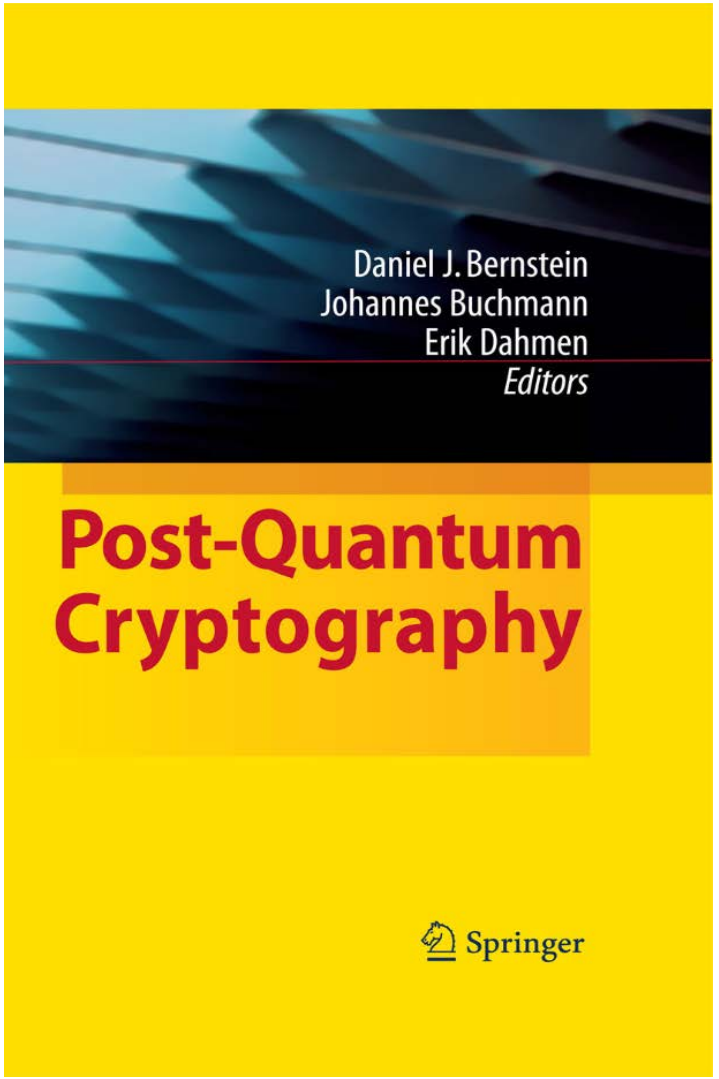
武漢大学

三、抗量子计算密码学的研究

- 计算复杂性理论是基础
  - 电子计算复杂性：P类，NP类，NPC类
  - 量子计算复杂性：QP类，QNP类
    - P类在量子计算环境下变成QP类
    - 一部分NP问题在量子计算环境下变成QP，这是Shor算法有效攻击RSA、ECC、EIGamal、HD密码的依据
    - 一部分NP问题仍是QNP，这是Shor算法不能有效攻击所有密码的依据

三、抗量子计算密码学的研究

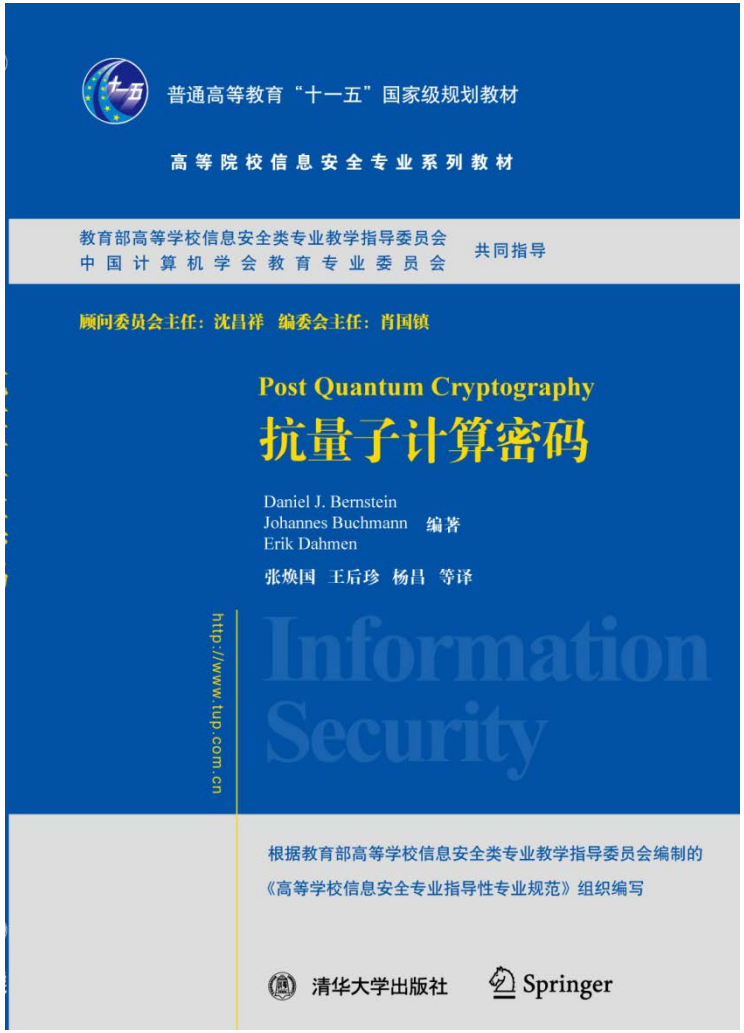
- 量子计算时代我们用什么密码是摆在我们面前的一个十分紧迫的战略问题！
- 抗量子计算密码
  - 量子密码
  - DNA密码
  - 基于量子计算不擅长计算的数学问题的密码



武漢大学

三、抗量子计算密码学的研究

- 目前国际上公认的几种抗量子计算密码
  - Merkle树签
  - 格公钥密码
  - 纠错公钥密码
  - MQ公钥密码



武漢大学

四、重要的研究问题

1、量子计算复杂性

- 哪些NP类问题是QP的？
- 哪些NP类问题仍是QNP的？
- 量子计算复杂性有QNPC类吗？
- 有文献说NPC的问题是QNP的，即是抗量子计算的，这是正确的吗？

四、重要的研究问题

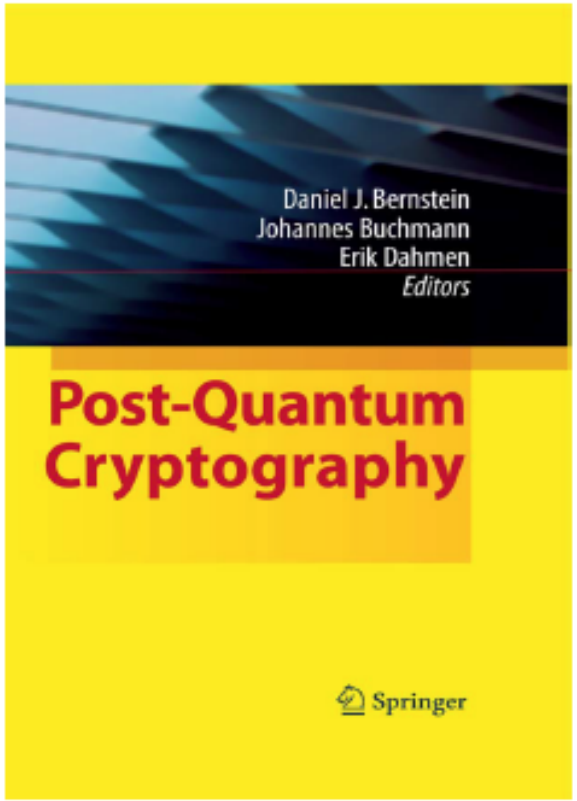
2、量子计算攻击

- 如何进行量子穷举攻击？它的实际攻击能力如何？如何抵抗量子穷举攻击？
- Shor 算法还能攻击什么密码？如何抵抗Shor算法的攻击？
- 其他量子计算算法？

四、重要的研究问题

3、抗量子计算密码

- 目前普遍认为，纠错码密码、QM密码、格密码是抗量子计算的。尚没有证明。如何证明？
- 应当重视其他抗量子计算密码（MQ和格之外的密码）！



四、重要的研究问题

4、基于量子物理困难问题设计抗量子计算密码

- 量子物理中有一些著名的困难问题:
  - 量子态的测量困难问题
  - 量子态的复制困难问题
  - 其他
- 这些问题是非计算的，基于这些问题设计密码是抗量子计算的。如何设计构建密码?

LISS
信息安全研究所

谢 谢 !

谢　谢！