



计算机网络 (第7版)

谢希仁 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

第7章 网络安全



7.1	网络安全问题概述
7.2	两类密码体制
7.3	数字签名
7.4	鉴别
7.5	密钥分配
7.6	互联网使用的安全协议
7.7	系统安全：防火墙与入侵检测
7.8	一些未来的发展方向





7.1 网络安全问题概述

- 随着计算机网络的发展，网络中的安全问题也日趋严重。
- 本节讨论计算机网络面临的安全性威胁、安全的内容和一般的数据加密模型。





7.1

网络安全问题概述

7.1.1

计算机网络面临的安全性威胁

7.1.2

安全的计算机网络

7.1.3

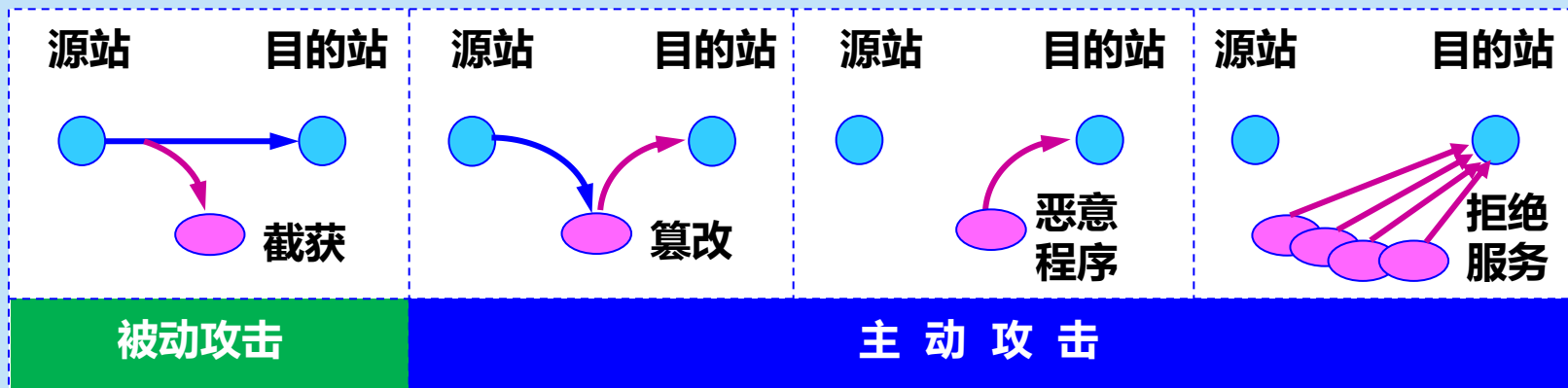
数据加密模型





7.1.1 计算机网络面临的安全性威胁

- 计算机网络上的通信面临以下两大类威胁：**被动攻击**和**主动攻击**。





7.1.1 计算机网络面临的安全性威胁

● 被动攻击

1. 指攻击者从网络上窃听他人的通信内容。
2. 通常把这类攻击称为**截获**。
3. 在被动攻击中，攻击者只是观察和分析某一个协议数据单元 PDU，以便了解所交换的数据的某种性质。但不干扰信息流。
4. 这种被动攻击又称为**流量分析** (traffic analysis)。





7.1.1 计算机网络面临的安全性威胁

● 主动攻击主要有：

1. **篡改**——故意篡改网络上传送的报文。这种攻击方式有时也称为**更改报文流**。
2. **恶意程序**——种类繁多，对网络安全威胁较大的主要包括：计算机病毒、计算机蠕虫、特洛伊木马、逻辑炸弹、后门入侵、流氓软件等。
3. **拒绝服务**——指攻击者向互联网上的某个服务器不停地发送大量分组，使该服务器无法提供正常服务，甚至完全瘫痪。





分布式拒绝服务 DDoS

- 若从互联网上的成百上千的网站集中攻击一个网站，则称为**分布式拒绝服务 DDoS** (Distributed Denial of Service)。
- 有时也把这种攻击称为**网络带宽攻击**或**连通性攻击**。





计算机网络通信安全的目标

- 对于主动攻击，可以采取适当措施加以检测。
- 对于被动攻击，通常却是检测不出来的。
- 根据这些特点，可得出计算机网络通信安全的目标：
 1. 防止分析出报文内容和流量分析。
 2. 防止恶意程序。
 3. 检测更改报文流和拒绝服务。
- 对付被动攻击可采用各种数据**加密**技术。
- 对付主动攻击则需将**加密**技术与适当的**鉴别**技术相结合。





7.1.2 安全的计算机网络

- 网络的安全性是不可判定的。
- 一个安全的计算机网络应达到四个目标：
 1. 保密性
 - 只有信息的发送方和接收方才能懂得所发送信息的内容。
 - 是网络安全通信的最基本的内容，也是对付被动攻击必须具备的功能。
 - 为了使网络具有保密性，需要使用各种密码技术。
 2. 端点鉴别
 3. 信息的完整性
 4. 运行的安全性





7.1.2 安全的计算机网络

- 网络的安全性是不可判定的。
- 一个安全的计算机网络应达到四个目标：
 1. 保密性
 2. 端点鉴别
 - 鉴别信息的发送方和接收方的**真实身份**。
 - 在对付主动攻击中是非常重要的。
 3. 信息的完整性
 4. 运行的安全性





7.1.2 安全的计算机网络

- 网络的安全性是不可判定的。
- 一个安全的计算机网络应达到四个目标：

1. 保密性
2. 端点鉴别
3. 信息的完整性
4. 运行的安全性

- 信息的内容**未被篡改过**。
- 在应对主动攻击中是**必不可少的**。
- 信息的完整性与端点鉴别往往是**不可分割的**。
- 在谈到“鉴别”时，也同时包含了端点鉴别和报文完整性。





7.1.2 安全的计算机网络

- 网络的安全性是不可判定的。
- 一个安全的计算机网络应达到四个目标：

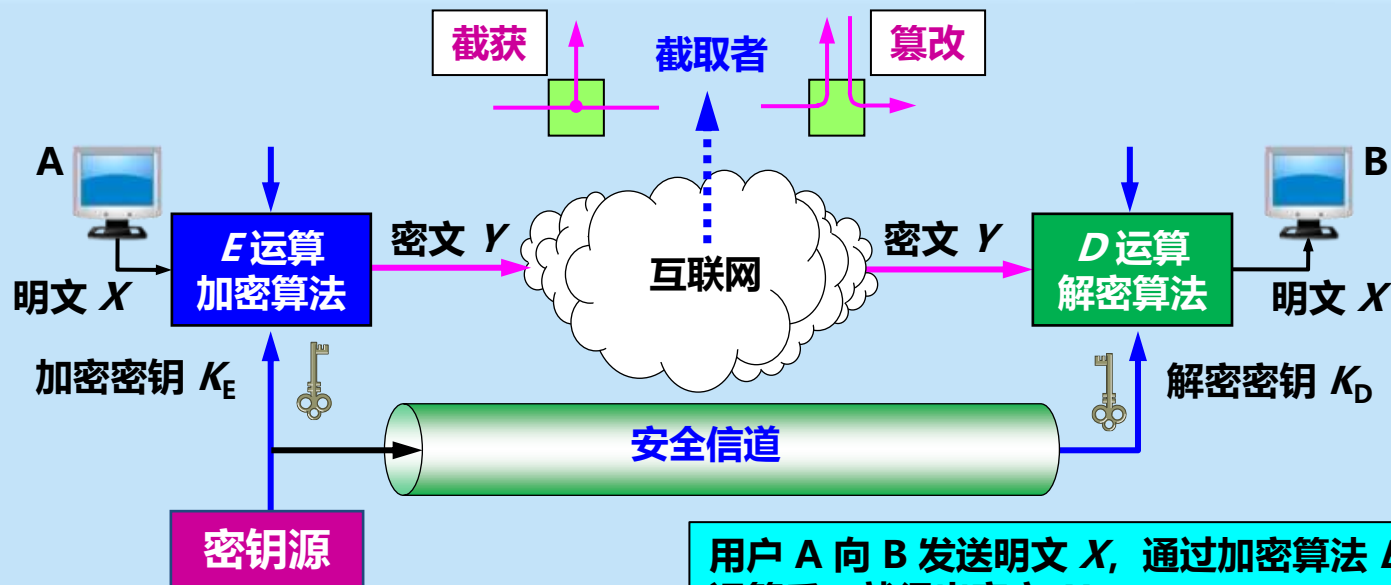
1. 保密性
2. 端点鉴别
3. 信息的完整性
4. 运行的安全性

- 系统能正常运行并提供服务。
- **访问控制** (access control) 对计算机系统的安全性是非常重要的。必须对访问网络的权限加以控制，并规定每个用户的访问权限。





7.1.3 数据加密模型



用户 A 向 B 发送明文 X , 通过加密算法 E 运算后, 就得出密文 Y 。





密钥

- 加密和解密用的**密钥** K (key) 是一串秘密的字符串（即比特串）。
- 明文通过**加密算法** E 和**加密密钥** K 变成密文：

$$Y = E_K(X) \quad (7-1)$$

- 接收端利用**解密算法** D 运算和**解密密钥** K 解出明文 X 。解密算法是加密算法的逆运算。

$$D_K(Y) = D_K(E_K(X)) = X \quad (7-2)$$

- 加密密钥和解密密钥可以一样，也可以不一样。
- 密钥通常由密钥中心提供。
- 当密钥需要向远地传送时，一定要通过另一个安全信道。





一些重要概念

- **密码编码学** (cryptography) 是密码体制的设计学。
- **密码分析学** (cryptanalysis) 则是在未知密钥的情况下从密文推演出明文或密钥的技术。
- 密码编码学与密码分析学合起来即为**密码学** (cryptology)。





一些重要概念

- 如果不论截取者获得了多少密文，但在密文中都没有足够的信息来唯一地确定出对应的明文，则这一密码体制称为**无条件安全的**，或称为**理论上是不可破的**。
- 如果密码体制中的密码不能被可使用的计算资源破译，则这一密码体制称为在**计算上是安全的**。





7.2

两类密码体制

7.2.1

对称密钥密码体制

7.2.2

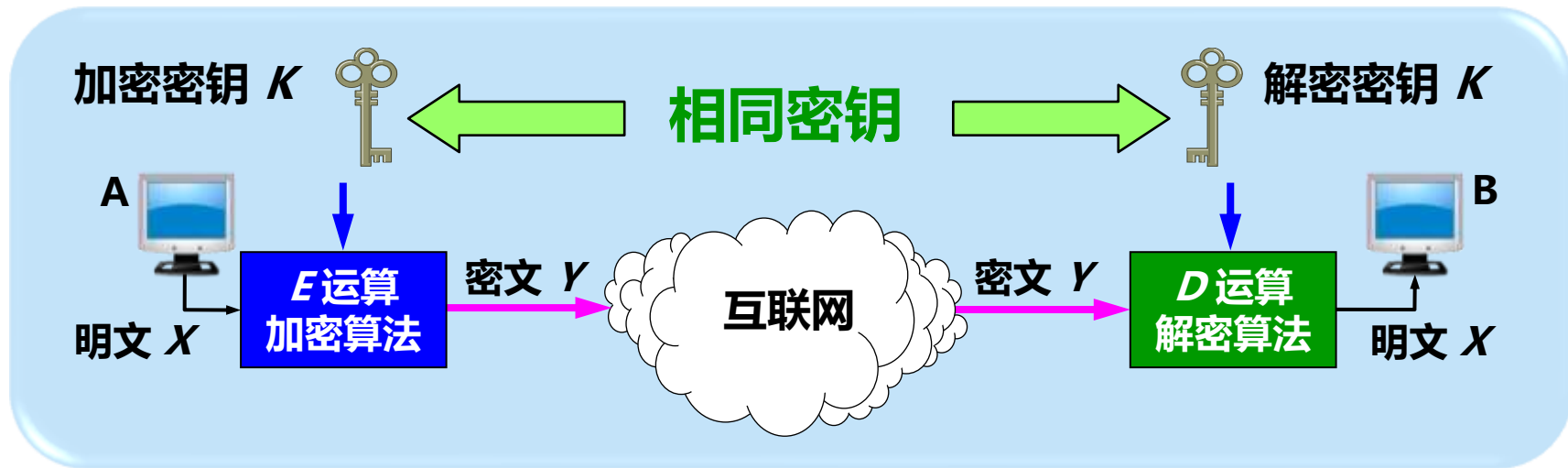
公钥密码体制





7.2.1 对称密钥密码体制

- 所谓常规密钥密码体制，即**加密密钥**与**解密密钥**是相同的密码体制。
- 这种加密系统又称为**对称密钥系统**。





数据加密标准 DES

- 数据加密标准 DES 属于**对称密钥密码体制**，是一种**分组密码**。
- 在加密前，先对整个明文进行分组。每一个组长为 64 位。
- 然后对每一个 64 位 二进制数据进行加密处理，产生一组 64 位密文数据。
- 最后将各组密文串接起来，即得出整个的密文。
- 使用的密钥为 64 位 (**实际密钥长度为 56 位**，有 8 位用于奇偶校验)。





DES 的保密性

- **DES 的保密性仅取决于对密钥的保密，其算法是公开的。**
- **目前较为严重的问题是 DES 的密钥的长度。**
- **现在已经设计出搜索 DES 密钥的专用芯片。56位 DES 已不再认为是安全的了。**

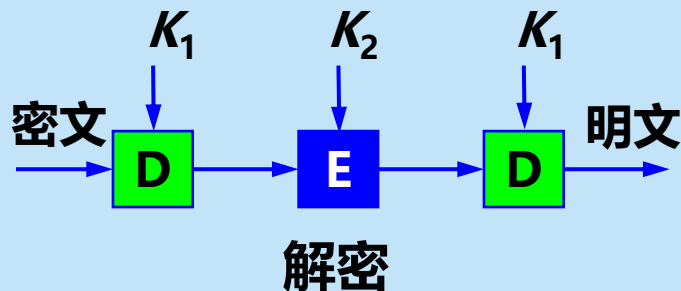
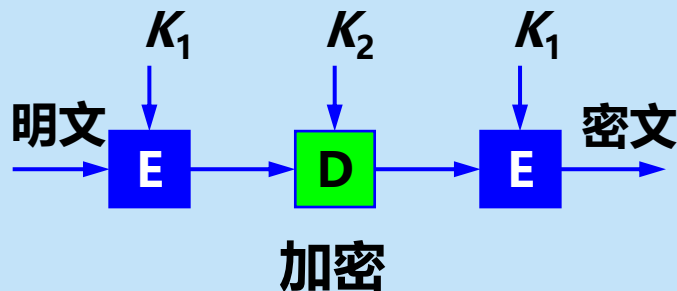




三重 DES

- 使用**两个** 56 位的密钥。
- 把一个 64 位明文用一个密钥加密, 再用另一个密钥解密, 然后再使用第一个密钥加密, 即

$$Y = DES_{K_1}(DES_{K_2}^{-1}(DES_{K_1}(X))) \quad (7-3)$$





7.2.2 公钥密码体制

- 公钥密码体制（又称为公开密钥密码体制）使用**不同的加密密钥与解密密钥**，是一种“由已知加密密钥推导出解密密钥在计算上是不可行的”密码体制。
- 公钥密码体制产生的主要原因：
 1. 常规密钥密码体制的**密钥分配**问题。
 2. 对**数字签名**的需求。





加密密钥与解密密钥

- 在公钥密码体制中，**加密密钥** PK (public key, 即公钥) 是向公众**公开**的，而**解密密钥** SK (secret key, 即私钥或秘钥) 则是需要**保密**的。
- 加密算法 E 和解密算法 D 也都是**公开**的。
- 虽然私钥 SK 是由公钥 PK 决定的，但却不能根据 PK 计算出 SK 。





应当注意

- 任何加密方法的安全性取决于密钥的长度，以及攻破密文所需的计算量。在这方面，公钥密码体制并不具有比传统加密体制更加优越之处。
- 由于目前公钥加密算法的开销较大，在可见的将来还看不出来要放弃传统的加密方法。
- 公钥还需要**密钥分配协议**，具体的分配过程并不比采用传统加密方法时更简单。





公钥算法的特点

- 密钥对产生器产生出接收者 B 的**一对密钥**：加密密钥 PK_B 和解密密钥 SK_B 。
- **加密密钥** PK_B 就是接收者 B 的**公钥**，它向公众公开。
- **解密密钥** SK_B 就是接收者 B 的**私钥**，对其他人都保密。
- 发送者 A 用 B 的**公钥** PK_B 对明文 X **加密** (E 运算) 后，接收者 B 用自己的**私钥** SK_B **解密** (D 运算)，即可恢复出明文：

$$D_{SK_B}(Y) = D_{SK_B}(E_{PK_B}(X)) = X \quad (7-4)$$





公钥算法的特点

- 加密密钥是公开的，但不能用它来解密，即：

$$D_{PK_B}(E_{PK_B}(X)) \neq X \quad (7-5)$$

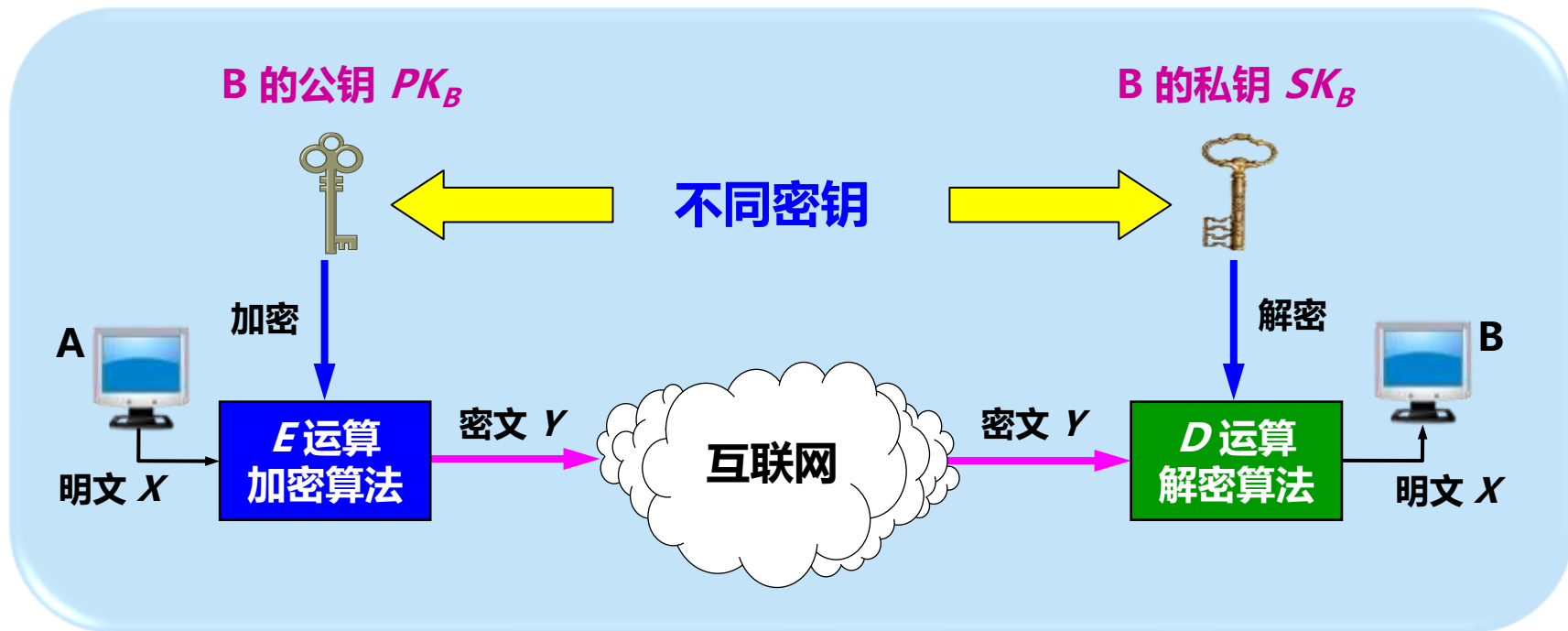
- 加密和解密运算可以对调，即加密和解密是互逆的：

$$E_{PK_B}(D_{SK_B}(X)) = D_{SK_B}(E_{PK_B}(X)) = X \quad (7-6)$$





公钥密码体制





公开密钥与对称密钥的区别

- 在使用对称密钥时，由于双方使用同样的密钥，因此在通信信道上进行**一对一的双向保密通信**，每一方既可用此密钥加密明文，并发送给对方，也可接收密文，用同一密钥对密文解密。这种保密通信仅限于持有此密钥的双方（如再有第三方就不保密了）。
- 在使用公开密钥时，在通信信道上是**多对一的单向保密通信**。





公钥密码体制

- 如果某一信息用**公开密钥加密**，则必须用**私有密钥解密**，这就是实现**保密**的方法
- 如果某一信息用**私有密钥加密**，那么，它必须用**公开密钥解密**。这就是实现**数字签名**的方法





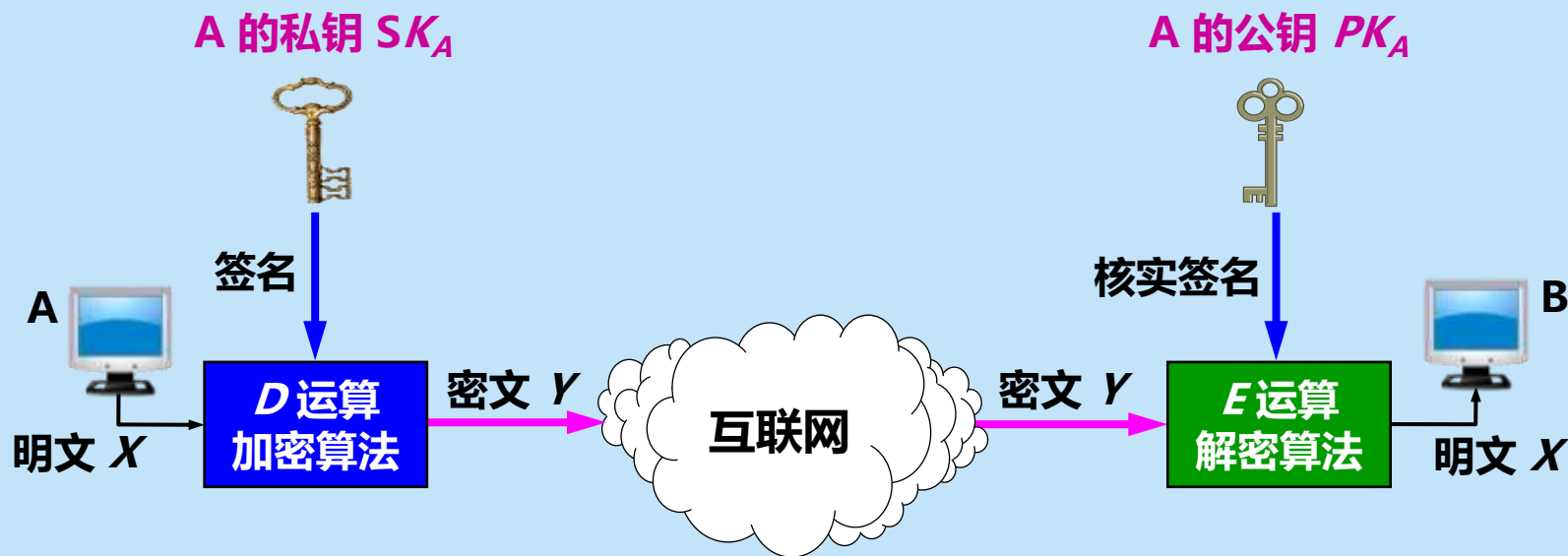
7.3 数字签名

- 用于证明真实性。
- 数字签名必须保证以下三点：
 1. 报文鉴别——接收者能够核实发送者对报文的签名（证明来源）；
 2. 报文的完整性——发送者事后不能抵赖对报文的签名（防否认）；
 3. 不可否认——接收者不能伪造对报文的签名（防伪造）。
- 现在已有多种实现各种数字签名的方法。但采用公钥算法更容易实现。





基于公钥的数字签名的实现





基于公钥的数字签名的实现

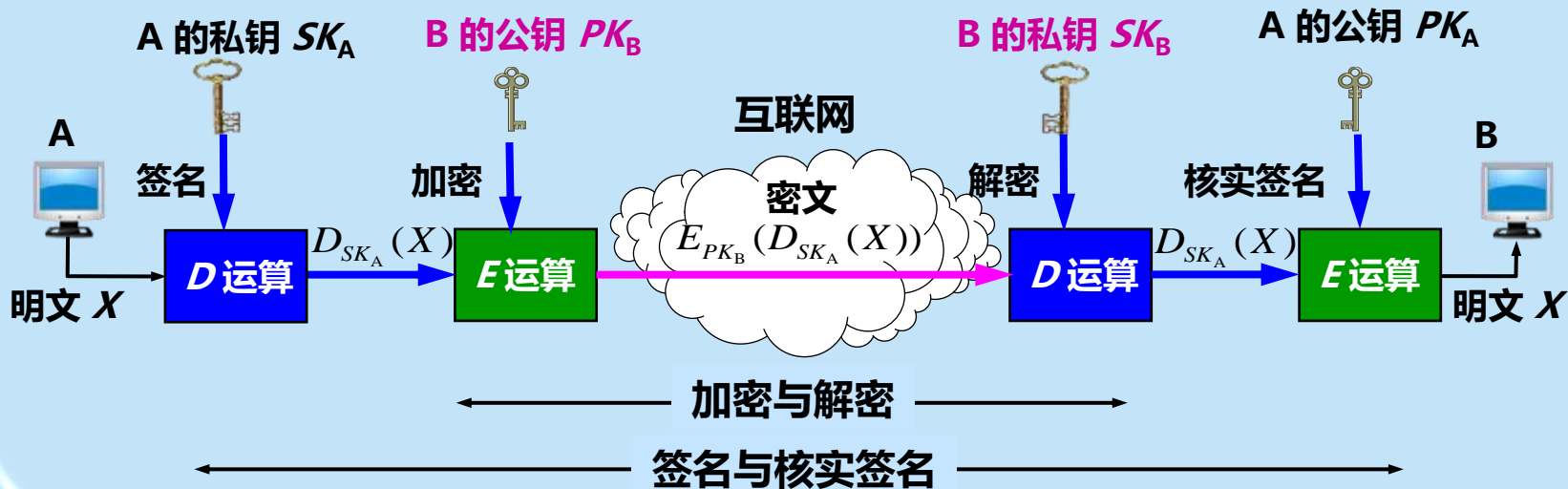
- 因为除 A 外没有别人能具有 A 的私钥，所以除 A 外没有别人能产生这个密文。因此 B 相信报文 X 是 A 签名发送的。
- 若 A 要抵赖曾发送报文给 B，B 可将明文和对应的密文出示给第三者。第三者很容易用 A 的公钥去证实 A 确实发送 X 给 B。
- 反之，若 B 将 X 伪造成 X' ，则 B 不能在第三者前出示对应的密文。这样就证明了 B 伪造了报文。





具有保密性的数字签名

同时实现秘密通信和数字签名





7.4 鉴别

7.4.1

报文鉴别

7.4.2

实体鉴别





7.4 鉴别

- 在信息的安全领域中，对付被动攻击的重要措施是加密，而**对付主动攻击中的篡改和伪造则要用鉴别** (authentication)。
- **报文鉴别**使得通信的接收方能够验证所收到的报文（发送者和报文内容、发送时间、序列等）的真伪。
- 使用加密就可达到报文鉴别的目的。但在网络的应用中，许多报文并不需要加密。应当使接收者能用很简单的方法鉴别报文的真伪。





鉴别与授权不同

- 鉴别与**授权** (authorization) 是不同的概念。
- 授权涉及到的问题是：所进行的过程是否被允许（如是否可以对某文件进行读或写）。





鉴别分类

- 可再把鉴别细分为两种。
- **报文鉴别**：即鉴别所收到的报文的确是报文的发送者所发送的，而不是其他人伪造的或篡改的。这就包含了端点鉴别和报文完整性的鉴别。
- **实体鉴别**：仅仅鉴别发送报文的实体。实体可以是一个人，也可以是一个进程（客户或服务器）。这就是端点鉴别。





7.4.1 报文鉴别

- 许多报文并不需要加密，但却需要数字签名，以便让报文的接收者能够**鉴别报文的真伪**。
- 然而对很长的报文进行数字签名会使计算机增加很大的负担（需要进行很长时间的运算）。
- 当我们传送不需要加密的报文时，应当使接收者能用很简单的方法鉴别报文的真伪。





1. 密码散列函数

- 数字签名就能够实现对报文的鉴别。
- 但这种方法有一个很大的**缺点**：对较长的报文（这是很常见的）进行数字签名会使计算机增加非常大的负担，因为这需要较多的时间来进行运算。
- **密码散列函数** (cryptographic hash function) 是一种相对简单的对报文进行鉴别的方法。





散列函数的两个特点

1. 散列函数的输入长度可以很长，但其输出长度则是固定的，并且较短。散列函数的输出叫做散列值，或更简单些，称为**散列**。
2. 不同的散列值肯定对应于不同的输入，但不同的输入却可能得出相同的散列值。这就是说，散列函数的输入和输出并非一一对应，而是**多对一**的。





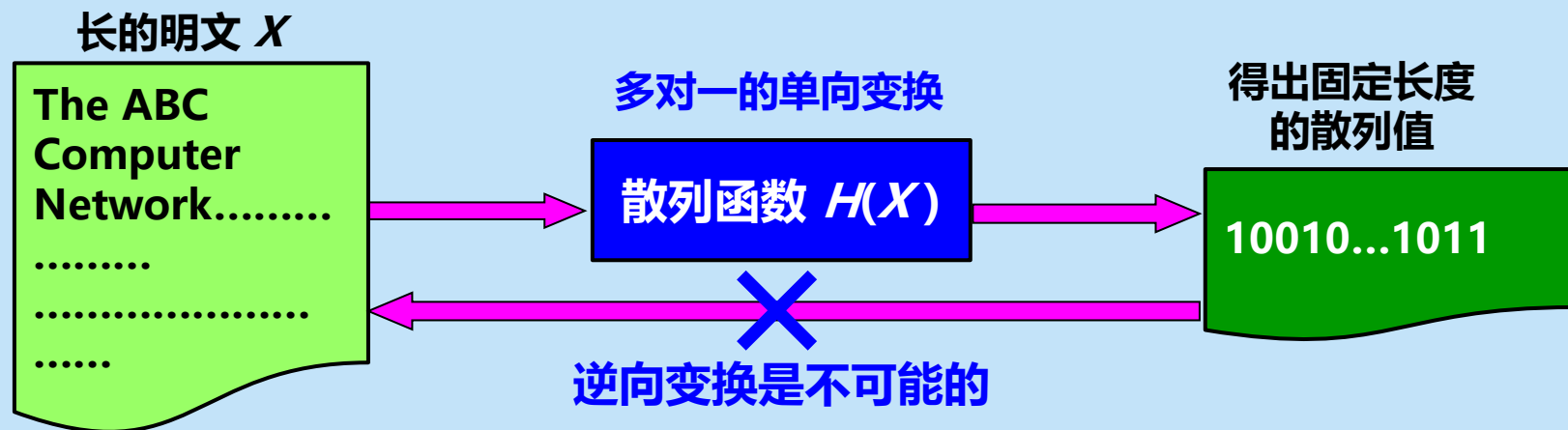
密码散列函数的特点

- 在密码学中使用的散列函数称为**密码散列函数**。
- 特点：**单向性**。
 1. 要找到两个不同的报文，它们具有同样的密码散列函数输出，在计算上是不可行的。
 2. 也就是说，密码散列函数实际上是一种单向函数 (one-way function)。





密码散列函数的特点



散列 $H(X)$ 可用来保护明文 X 的完整性, 防篡改和伪造。





2. 实用的密码散列函数 MD5 和 SHA-1

- 通过许多学者的不断努力，已经设计出一些实用的密码散列函数（或称为散列算法），其中最出名的就是 MD5 和 SHA-1。
- 报文摘要算法 MD5 公布于RFC 1321 (1991年)，并获得了非常广泛的应用。
- SHA-1比 MD5 更安全，但计算起来却比 MD5 要慢些。





MD5 算法

- MD5 是**报文摘要 MD** (Message Digest) 的第 5 个版本。报文摘要算法 MD5 公布于 RFC 1321 (1991 年), 并获得了非常广泛的应用。
- MD5 的设计者 Rivest 曾提出一个猜想, 即根据给定的 MD5 报文摘要代码, 要找出一个与原来报文有相同报文摘要的另一报文, 其难度在计算上几乎是不可能的。
- **基本思想:**
用足够复杂的方法将报文的数据位充分“弄乱”, 报文摘要代码中的每一位都与原来报文中的每一位有关。

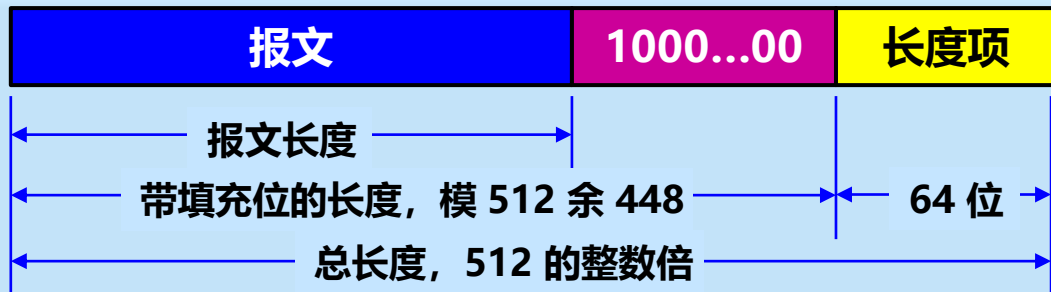




MD5 算法

● 计算步骤:

1. **附加:** 把任意长的报文按模 2^{64} 计算其余数 (64位), 追加在报文的后面 (长度项)。
2. **填充:** 在报文和长度项之间填充 1 ~ 512 位, 使得填充后的总长度是 512 的整数倍。填充的首位是 1, 后面都是 0。





MD5 算法

- 计算步骤 (续) :

3. **分组**: 把追加和填充后的报文分割为一个个 512 位的数据块, 每个 512 位的报文数据再分成 4 个 128 位的数据块。
4. **计算**: 将 4 个 128 位的数据块依次送到不同的散列函数进行 4 轮计算。每一轮又都按 32 位的小数据块进行复杂的运算。一直到最后计算出 MD5 报文摘要代码 (128 位) 。





安全散列算法 (SHA-1)

- 安全散列算法 SHA (Secure Hash Algorithm)是由美国标准与技术协会 NIST 提出的一个散列算法系列。
- SHA 比 MD5 更安全, 但计算起来却比 MD5 要慢些。
- 已制定 SHA-1、SHA-2、SHA-3 等版本。





安全散列算法 (SHA-1)

- 基本思想:

1. 要求输入码长小于 2^{64} 位, 输出码长为 160 位。
2. 将明文分成若干 512 位的定长块, 每一块与当前的报文摘要值结合, 产生报文摘要的下一个中间结果, 直到处理完毕。
3. 共扫描 5 遍, 效率略低于 MD5, 抗穷举性更高。





3. 报文鉴别码 MAC

- MD5 实现的报文鉴别可以防篡改，但不能防伪造，因而不能真正实现报文鉴别。
- 例如：
 - (1) 入侵者创建了一个伪造的报文 M ，然后计算出其散列 $H(M)$ ，并把拼接有散列的扩展报文冒充 A 发送给 B。
 - (2) B 收到扩展的报文 $(M, H(M))$ 后，通过散列函数的运算，计算出收到的报文 M_R 的散列 $H(M_R)$ 。
 - (3) 若 $H(M) = H(M_R)$ ，则 B 就会误认为所收到的伪造报文就是 A 发送的。





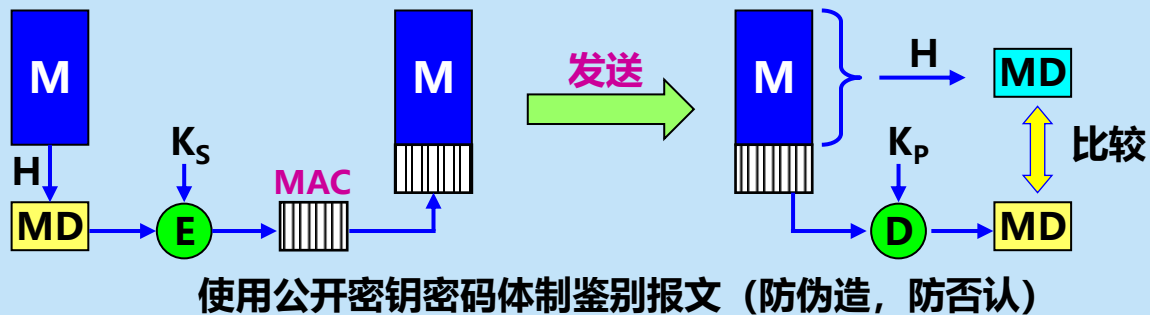
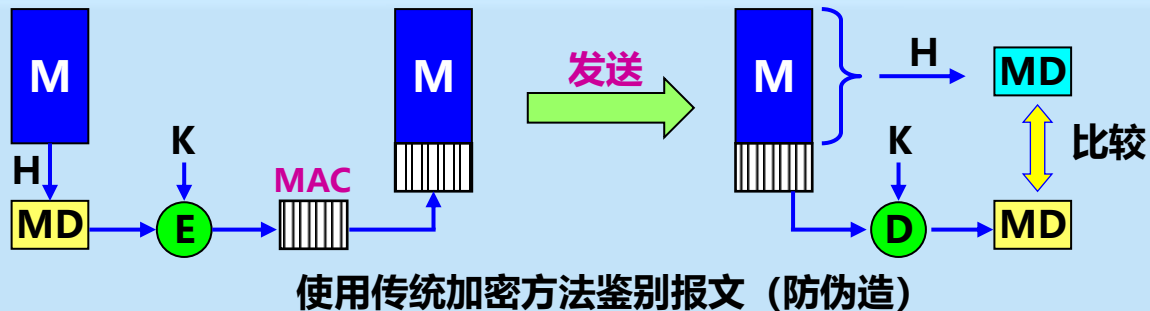
3. 报文鉴别码 MAC

- 为防范上述攻击，可以对散列进行一次加密。
- 散列加密后的结果叫做**报文鉴别码** MAC (Message Authentication Code)。
- 由于入侵者不掌握密钥 K ，所以入侵者无法伪造 A 的报文鉴别码 MAC，因而无法伪造 A 发送的报文。这样就完成了对报文的鉴别。





3. 报文鉴别码 MAC





3. 报文鉴别码 MAC

- 现在整个的报文是**不需要加密**的。
- 虽然从散列H导出报文鉴别码 MAC 需要加密算法，但由于散列 H 的长度通常都远远小于报文 X 的长度，因此这种加密不会消耗很多的计算资源。
- 因此，使用鉴别码 MAC 就能够很方便地保护报文的完整性。





7.4.2 实体鉴别

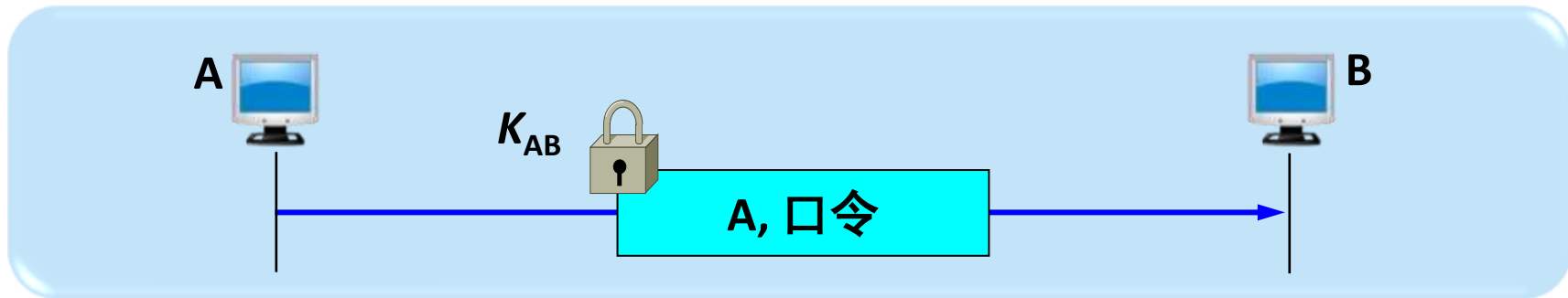
- 实体鉴别与报文鉴别不同。
- 报文鉴别是对每一个收到的报文都要鉴别报文的发送者。
- 实体鉴别是在系统接入的全部持续时间内对和自己通信的对方实体
只需验证一次。





最简单的实体鉴别过程

- 可以使用共享的对称密钥实现实体鉴别。
- A 发送给 B 的报文的被加密，使用的是对称密钥 K_{AB} 。
- B 收到此报文后，用共享对称密钥 K_{AB} 进行解密，因而鉴别了实体 A 的身份。 因为该密钥只有 A 和 B 知道。





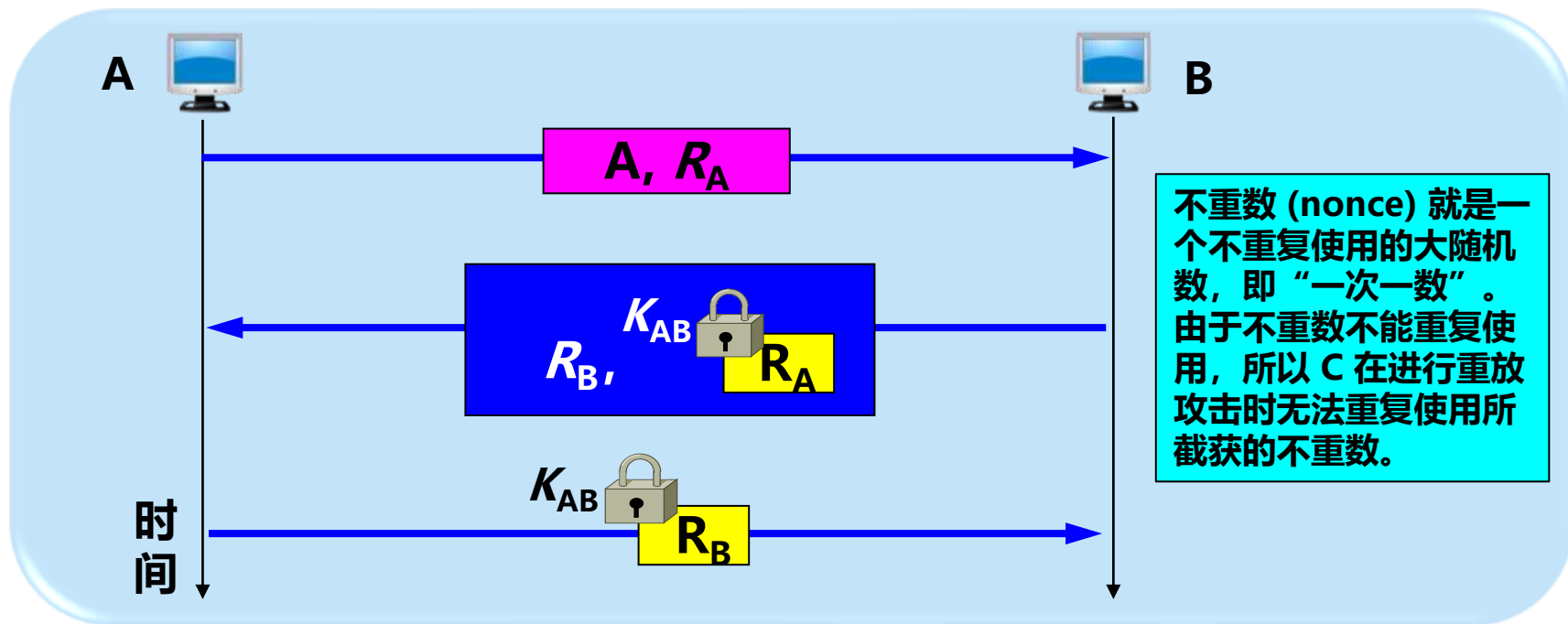
存在明显漏洞

- 入侵者 C 可以从网络上截获 A 发给 B 的报文。
- C 并不需要破译这个报文，而是直接把这个截获的、由A加密的报文发送给 B，使 B 误认为 C 就是 A。然后 B 就向伪装是 A 的 C 发送应发给 A 的报文。
- 这种攻击被称为**重放攻击** (replay attack)。C 甚至还可以截获 A 的 IP 地址，然后把 A 的 IP 地址冒充为自己的 IP 地址（这叫做**IP 欺骗**），使 B 更加容易受骗。



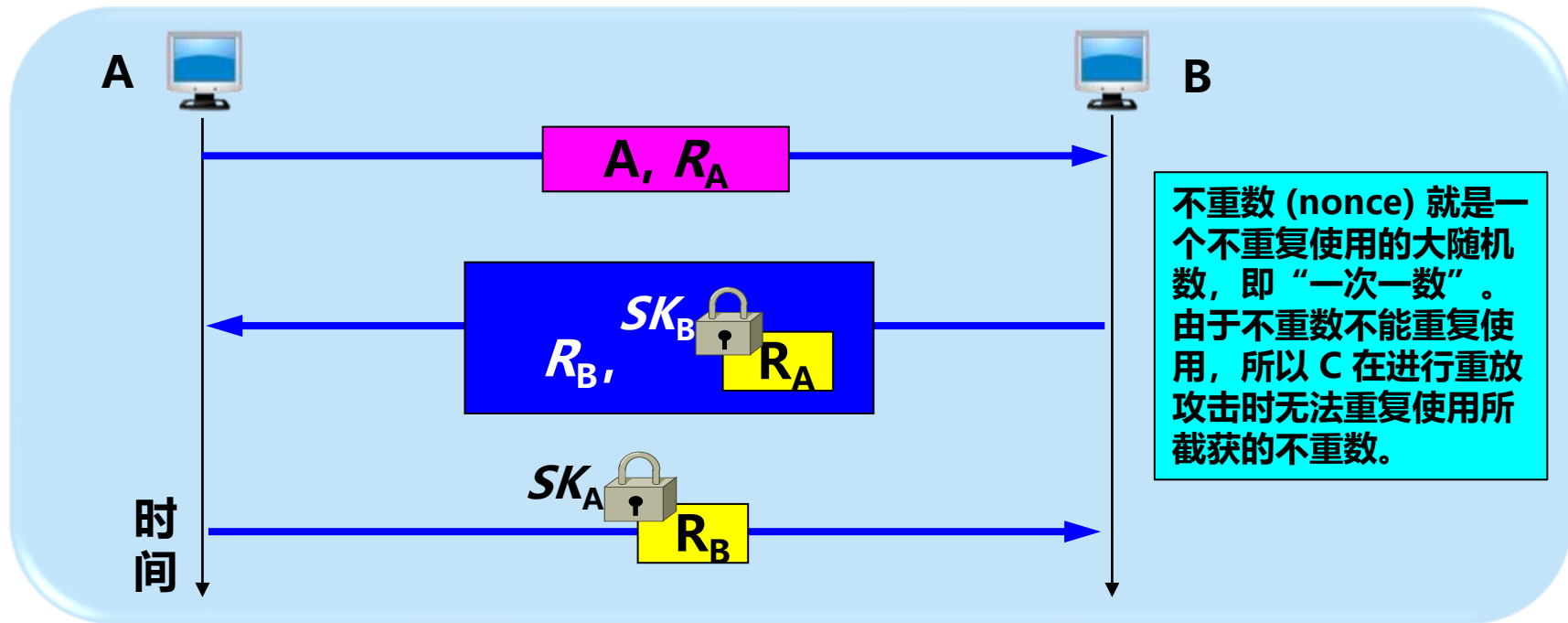


使用不重数进行鉴别





使用公钥体制进行不重数鉴别





使用不重数进行鉴别

- 在使用公钥密码体制时，可以对不重数进行签名鉴别。
- B 用其**私钥**对不重数 R_A 进行签名后发回给 A。A 用 B 的**公钥**核实签名。如能得出自己原来发送的不重数 R_A ，就核实了和自己通信的对方的确是 B。
- 同样，A 也用自己的私钥对不重数 R_B 进行签名后发送给 B。B 用 A 的公钥核实签名，鉴别了 A 的身份。
- **公钥密码体制虽然不必在互相通信的用户之间秘密地分配共享密钥，但仍有受到攻击的可能。**





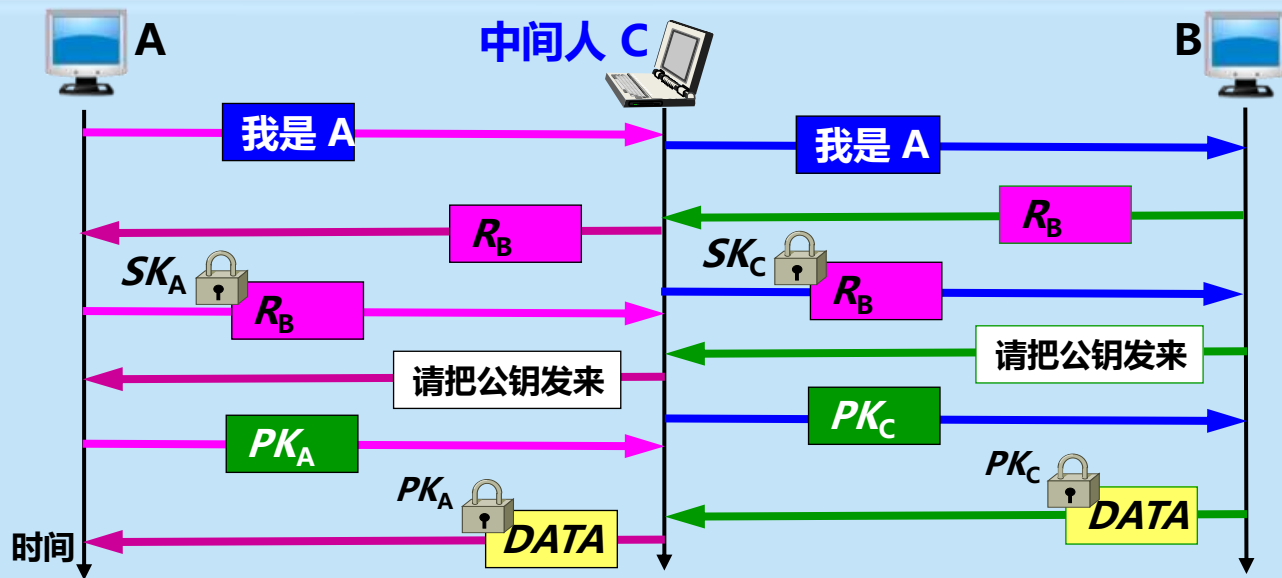
使用不重数进行鉴别

- C 冒充是 A，发送报文给 B，说：“我是 A”。
- B 选择一个不重数 R_B ，发送给 A，但被 C 截获了。
- C 用自己的私钥 SK_C 冒充是 A 的私钥，对 R_B 加密，并发送给 B。
- B 向 A 发送报文，要求对方把解密用的公钥发送过来，但这报文也被 C 截获了。
- C 把自己的公钥 PK_C 冒充是 A 的公钥发送给 B。
- B 用收到的公钥 PK_C 对收到的加密的 R_B 进行解密，其结果当然正确。
于是 B 相信通信的对方是 A，接着就向 A 发送许多敏感数据，但都被 C 截获了。





中间人攻击



由此可见，公钥的分配以及认证公钥的真实性也是一个非常重要的问题。





中间人攻击说明

- A 向 B 发送“我是 A”的报文，并给出了自己的身份。此报文被“中间人”C 截获，C 把此报文原封不动地转发给 B。B 选择一个不重数 R_B 发送给 A，但同样被 C 截获后也照样转发给 A。
- 中间人 C 用自己的私钥 SK_C 对 R_B 加密后发回给 B，使 B 误以为是 A 发来的。A 收到 R_B 后也用自己的私钥 SK_A 对 R_B 加密后发回给 B，中途被 C 截获并丢弃。B 向 A 索取其公钥，此报文被 C 截获后转发给 A。





中间人攻击说明

- C 把自己的公钥 PK_C 冒充是 A 的发送给 B, 而 C 也截获到 A 发送给 B 的公钥 PK_A 。
- B 用收到的公钥 PK_C (以为是 A 的) 对数据加密发送给 A。C 截获后用自己的私钥 SK_C 解密, 复制一份留下, 再用 A 的公钥 PK_A 对数据加密后发送给 A。
- A 收到数据后, 用自己的私钥 SK_A 解密, 以为和 B 进行了保密通信。其实, B 发送给 A 的加密数据已被中间人 C 截获并解密了一份。但 A 和 B 却都不知道。





7.5 密钥分配

7.5.1

对称密钥的分配

7.5.2

公钥的分配





7.5 密钥分配

- 由于密码算法是公开的，网络的安全性就完全基于密钥的安全保护上。因此在密码学中出现了—个重要的分支——密钥管理。
- **密钥管理包括：**密钥的产生、分配、注入、验证和使用。本节只讨论密钥的分配。
- 密钥分配是密钥管理中最大的问题。
- 密钥必须通过最安全的通路进行 分配。





7.5 密钥分配

- **网外分配方式：**派非常可靠的信使携带密钥分配给互相通信的各用户。
- **网内分配方式：**密钥自动分配。

但随着用户的增多和网络流量的增大，密钥更换频繁（密钥必须定期更换才能做到可靠），派信使的办法已不再适用，而应采用网内分配方式。





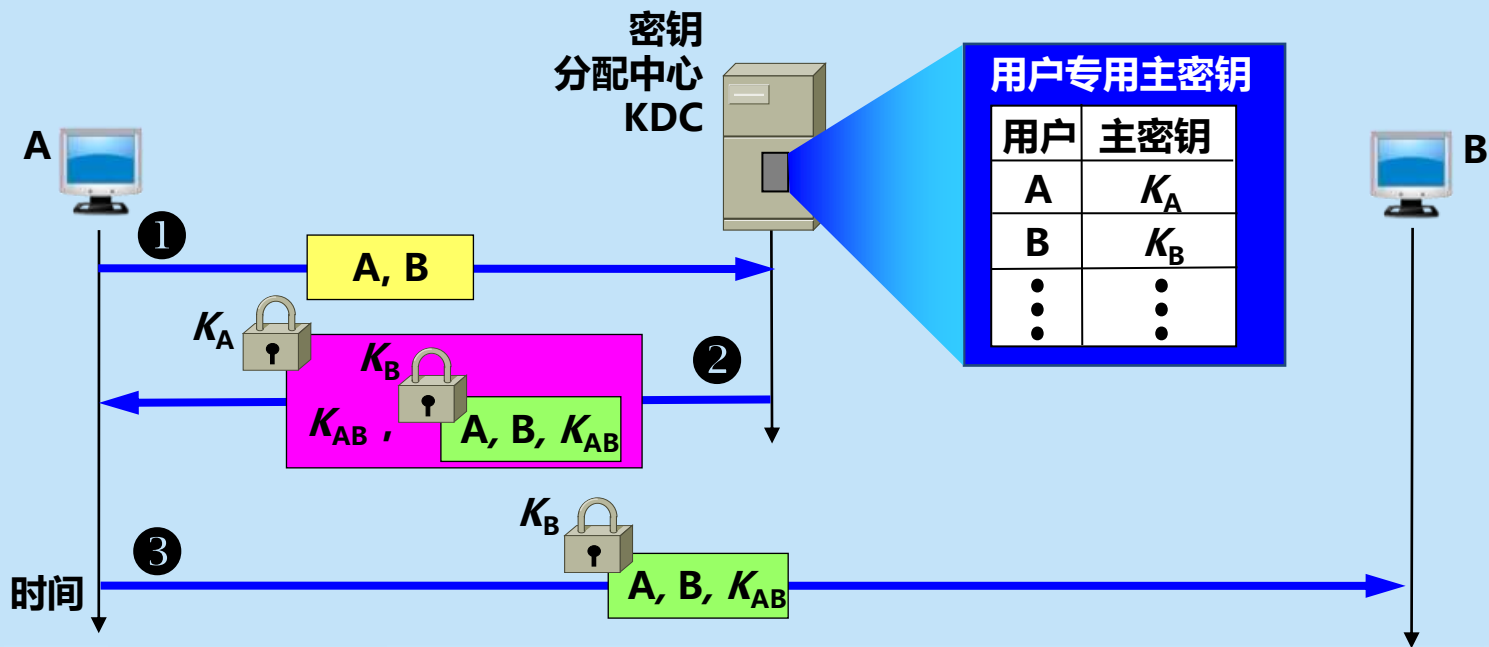
7.5.1 对称密钥的分配

- 目前常用的密钥分配方式是设立**密钥分配中心 KDC** (Key Distribution Center)。
- KDC 是大家都信任的机构，其任务就是给需要进行秘密通信的用户**临时分配**一个会话密钥 (**仅使用一次**) 。
- 假设用户 A 和 B 都是 KDC 的登记用户，并已经在 KDC 的服务器上安装了各自和 KDC 进行通信的**主密钥** (master key) K_A 和 K_B 。
“主密钥”可简称为“密钥”。





对称密钥的分配





对称密钥的分配说明

- 为防止重放攻击, KDC 还可在报文中加入时间戳。
- 会话密钥 K_{AB} 是一次性的, 因此保密性较高。
- KDC 分配给用户的密钥 K_A 和 K_B , 应定期更换, 以减少攻击者破译密钥的机会。

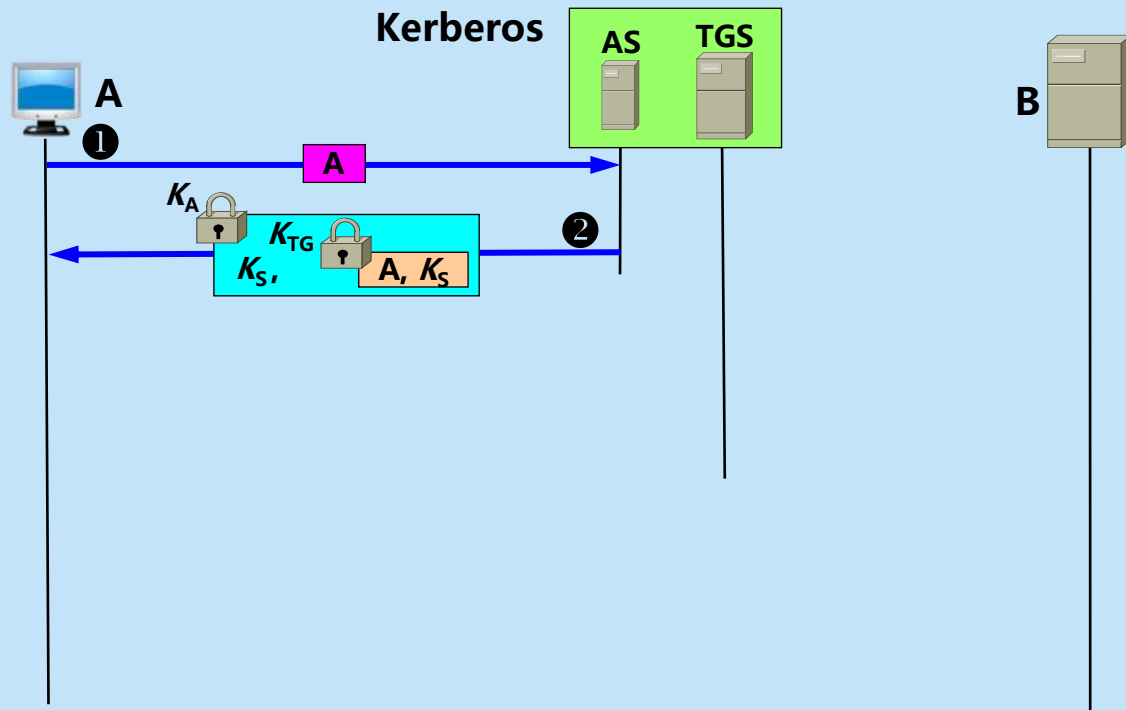


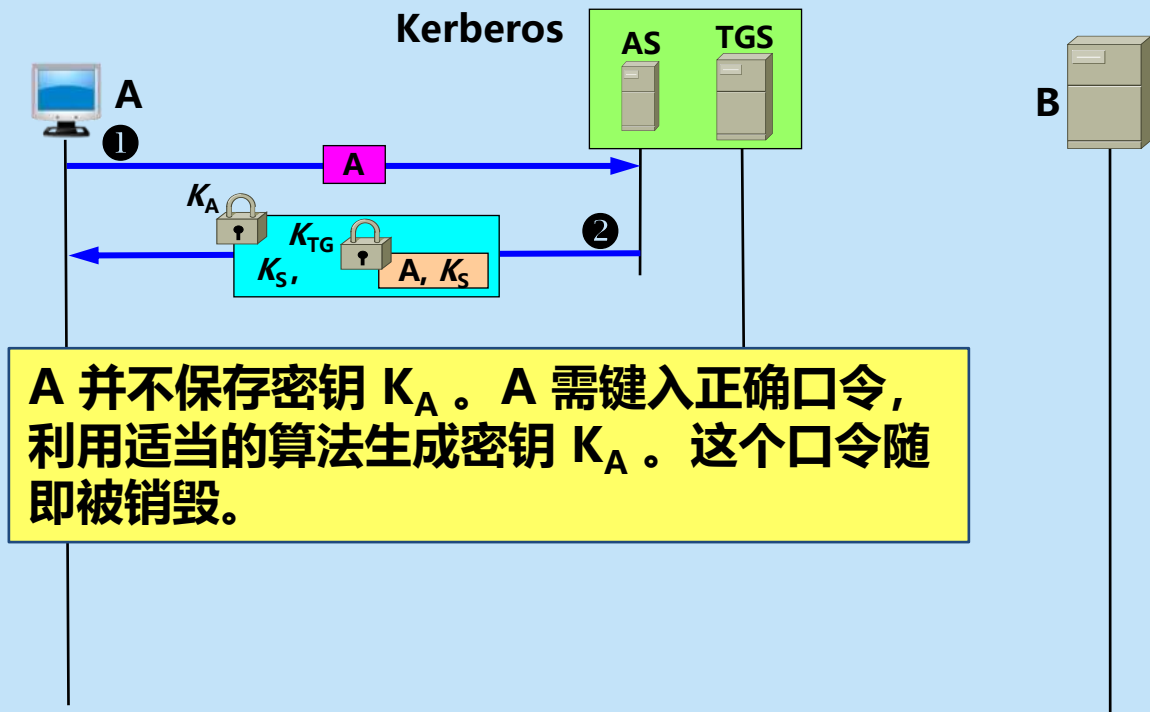


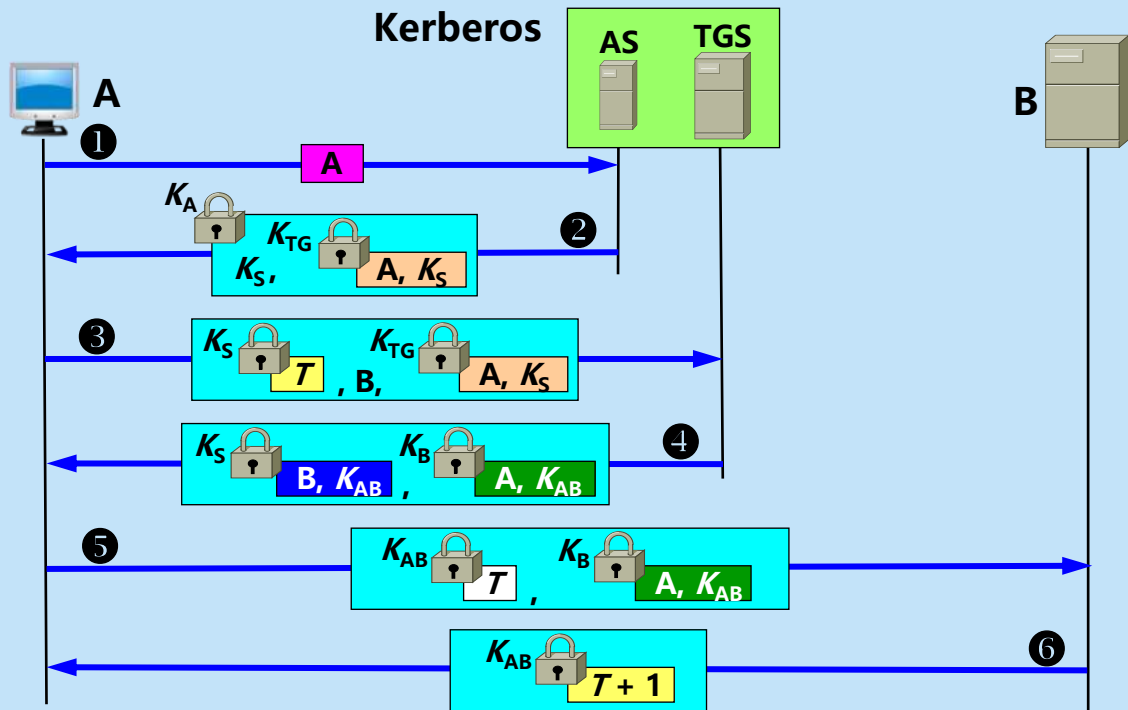
Kerberos

- 目前最出名的密钥分配协议是 Kerberos V5。
- Kerberos 既是鉴别协议，同时也是 KDC，它已经变得很普及，现在是互联网建议标准。
- Kerberos 使用比 DES 更加安全的高级加密标准 AES 进行加密。











Kerberos密钥分配说明

1. A 用明文（包括登记的身份）向鉴别服务器 AS 表明自己的身份。
2. AS 向 A 发送用 A 的对称密钥 K_A 加密的报文，这个报文包含 A 和 TGS 通信的会话密钥 K_s ，以及 AS 要发送给 TGS 的票据（这个票据是用 TGS 的对称密钥 K_{TG} 加密的）。





Kerberos密钥分配说明

3. A 向 TGS 发送三个项目:

- 转发鉴别服务器 AS 发来的**票据**。
- 服务器 B 的**名字**。这表明 A 请求 B 的服务。请注意, 现在 A 向 TGS 证明自己的身份并非通过键入口令 (因为入侵者能够从网上截获明文口令), 而是通过转发 AS 发出的票据 (只有 A 才能提取出)。票据是加密的, 入侵者伪造不了。
- 用 K_S 加密的**时间戳 T** 。它用来防止入侵者的重放攻击。





Kerberos密钥分配说明

4. TGS 发送两个票据，每一个都包含 A 和 B 通信的会话密钥 K_{AB} 。给 A 的票据用 K_S 加密；给 B 的票据用 B 的密钥 K_B 加密。请注意，现在入侵者不能提取 K_{AB} ，因为不知道 K_A 和 K_B 。入侵者也不能重放步骤 3，因为入侵者不能把时间戳更换为一个新的（因为不知道 K_S ）。
5. A 向 B 转发 TGS 发来的票据，同时发送用 K_{AB} 加密的时间戳 T 。
6. B 把时间戳 T 加 1 来证实收到了票据。B 向 A 发送的报文用密钥 K_{AB} 加密。

以后，A 和 B 就使用 TGS 给出的会话密钥 K_{AB} 进行通信。





Kerberos 要求“松散的”同步

- Kerberos 要求所有使用 Kerberos 的主机必须在时钟上进行“松散的”同步。
- 所谓“松散的”同步是要求所有主机的时钟误差不能太大，例如，不能超过 5 分钟的数量级。
- 这个要求是为了防止重放攻击。





7.5.2 公钥的分配

- 在公钥密码体制中，如果每个用户都具有其他用户的公钥，就可实现安全通信。
- 但不能随意公布用户的公钥，因为无法防止假冒和欺骗。使用者也无法确定公钥的真正拥有者。





7.5.2 公钥的分配

- 需要有一个值得信赖的机构——即**认证中心 CA** (Certification Authority), 来**将公钥与其对应的实体（人或机器）进行绑定(binding)**。
- 认证中心一般由政府出资建立。
- 每个实体都有 CA 发来的**证书** (certificate), 里面有公钥及其拥有者的标识信息。
- **此证书被 CA 进行了数字签名**, 是不可伪造的, 可以信任。
- 证书是一种身份证明, 用于解决信任问题。





7.5.2 公钥的分配

- 任何用户都可从可信的地方（如代表政府的报纸）获得认证中心 CA 的公钥，此公钥用来验证某个公钥是否为某个实体所拥有（通过向 CA 查询）。
- 有的大公司也提供认证中心服务。





CA 证书

- CA 证书具有统一的格式, ITU-T 制定了 **X.509** 协议标准, 用来描述证书的结构。
- IETF 接受了 X.509, 仅做了少量的改动, 给出了互联网 X.509 公钥基础结构 PKI (Public Key Infrastructure)。

版本号	区分 X.509 不同版本
序列号	CA 发放, 唯一
签名算法	签署证书所使用的算法和参数
发行者	CA 的 X.509 名字
有效期	包括起始时间和终止时间
主体名	证书持有者的名称及有关信息
公钥	有效的公钥及其使用方法
发行者 ID	任选, 唯一, 标识发行者
主体 ID	任选, 唯一, 标识证书持有者
扩展域	扩充信息
认证机构签名	用 CA 私钥对证书签名





CA 证书的吊销

- 证书不是永久有效，它可以过期，也可以被吊销。
- 有很多原因导致证书被吊销，例如：
 1. 用户的私钥已被泄漏
 2. 该用户不再被该 CA 认证
 3. CA 签署用户证书的私钥已被泄漏
- CA 建立并维护一个证书吊销列表。





7.6

互联网使用的 安全协议

7.6.1

网络层安全协议

7.6.2

运输层安全协议

7.6.3

应用层安全协议





7.6.1 网络层安全协议

- IP 安全性很差：

1. 没有为通信提供良好的数据源鉴别机制；
2. 没有为数据提供强大的完整性保护机制；
3. 没有为数据提供任何机密性保护；
4. 在设计和实现上存在安全漏洞，使各种攻击有机可乘。例如：攻击者很容易构造一个包含虚假地址的 IP 数据报。





7.6.1 网络层安全协议

- IP 几乎不具备任何安全性，**不能保证**：
 1. 数据机密性
 2. 数据完整性
 3. 数据来源认证
- 由于其在设计和实现上存在安全漏洞，使各种攻击有机可乘。例如：攻击者很容易构造一个包含虚假地址的 IP 数据报。
- IPsec 提供了标准、健壮且包含广泛的机制保证 IP 层安全。





1. IPsec 协议

- IPsec 就是 “IP 安全 (security)” 的缩写。
- IPsec 并不是一个单个的协议，而是能够在 IP 层提供互联网通信安全的**协议族**。
- IPsec 是个框架，它允许通信双方选择合适的算法和参数（例如，密钥长度）。
- 为保证互操作性，IPsec 还包含了所有 IPsec 的实现都必须有的一套加密算法。





IPsec 由三部分组成

1. IP 安全数据报格式的两个协议
 - 鉴别首部 AH (Authentication Header) 协议
 - 封装安全有效载荷 ESP (Encapsulation Security Payload) 协议
2. 有关加密算法的三个协议 (在此不讨论)
3. 互联网密钥交换 IKE (Internet Key Exchange) 协议





IPsec 由三部分组成

- AH 协议提供源点鉴别和数据完整性，但不能保密。
- ESP 协议比 AH 协议复杂得多，它提供源点鉴别、数据完整性和保密。
- 使用 ESP 或 AH 协议的 IP 数据报称为 **IP 安全数据报**（或 IPsec 数据报）。
- Ipsec 支持 IPv4 和 IPv6。
- AH 协议的功能都已包含在 ESP 协议中。

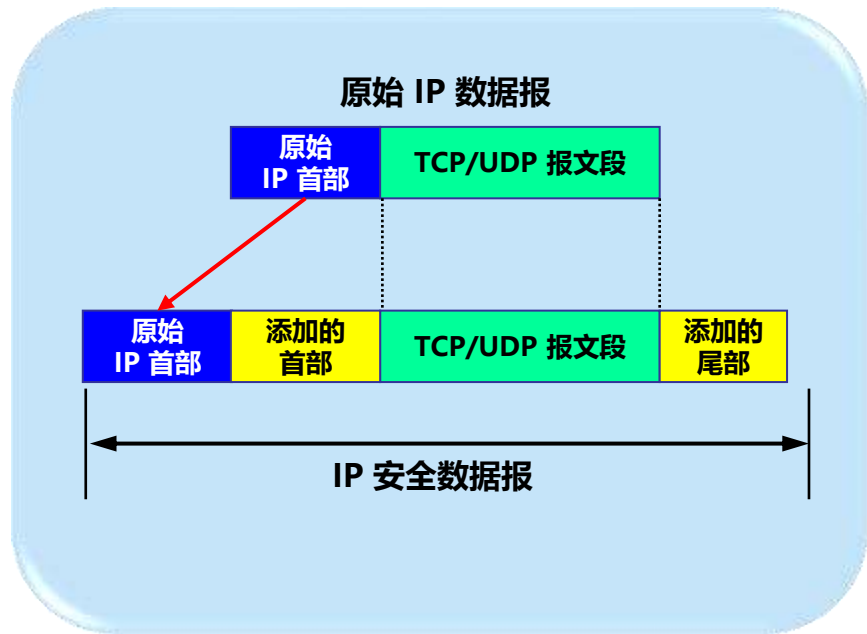




IP 安全数据报有两种工作方式

运输方式 (transport mode)

- 在**整个运输层报文段**的前后分别添加若干控制信息，再加上 IP 首部，构成 IP 安全数据报。
- 适合于主机到主机之间的安全传送。
- 需要使用 IPsec 的主机都运行 IPsec 协议。

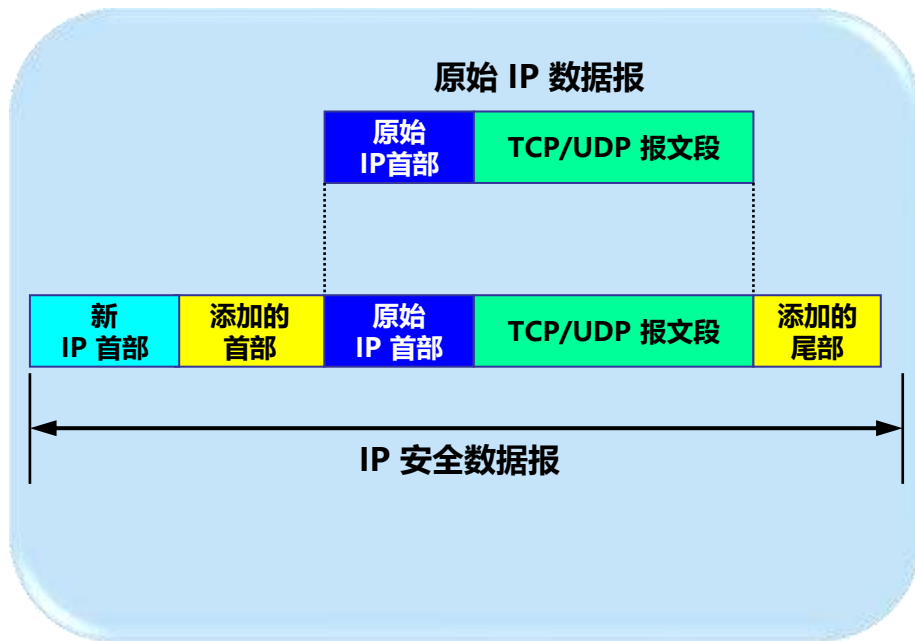




IP 安全数据报有两种工作方式

隧道方式 (tunnel mode)

- 在**原始的 IP 数据报**的前后分别添加若干控制信息，再加上新的 IP 首部，构成一个 IP 安全数据报。
- 需要在 IPsec 数据报所经过的所有路由器上都运行 IPsec 协议。
- 隧道方式常用来实现虚拟专用网 VPN。





IP 安全数据报有两种工作方式

- 无论使用哪种方式，最后得出的 **IP 安全数据报的 IP 首部都是不加密的。**
- 所谓“**安全数据报**”是指数据报的数据部分是经过加密的，并能够被鉴别的。
- 通常把数据报的数据部分称为数据报的**有效载荷** (payload)。





安全关联 SA

- 在发送 IP 安全数据报之前，在源实体和目的实体之间必须创建一条网络层的逻辑连接。此逻辑连接叫做**安全关联** SA (Security Association)。
- IPsec 就把传统互联网无连接的网络层转换为具有逻辑连接的网络层。





安全关联的特点

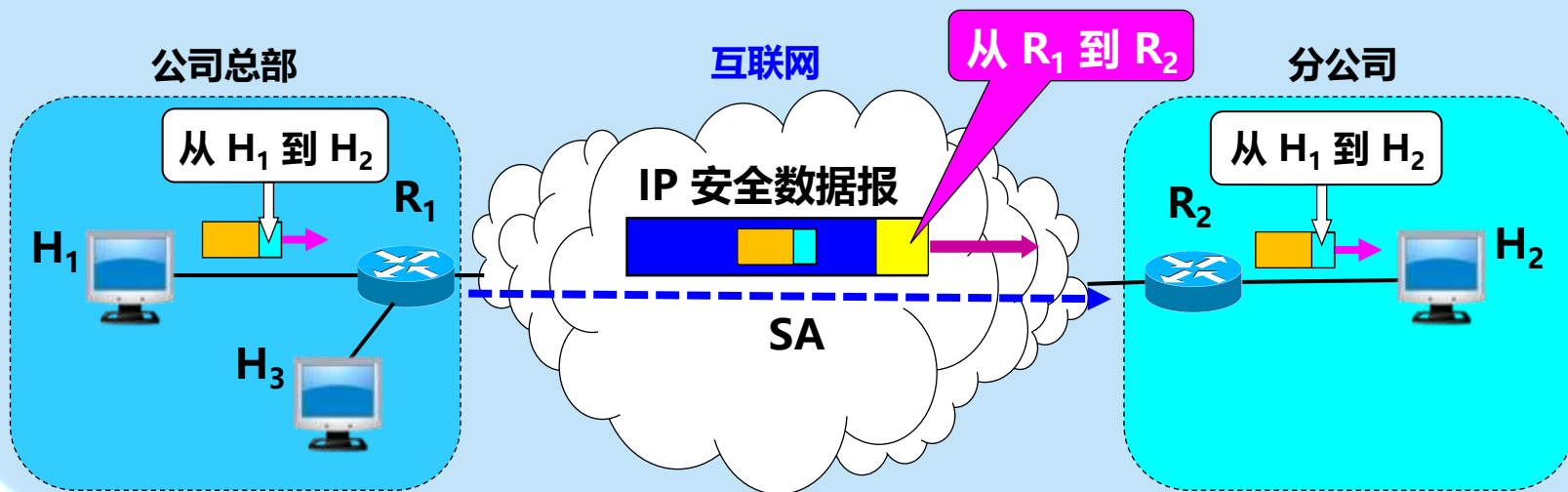
- 安全关联是从源点到终点的**单向连接**，它能够提供服务。
- 在安全关联 SA 上传送的就是 IP 安全数据报。
- **如要进行双向安全通信，则两个方向都需要建立安全关联。**
- 若 n 个员工进行双向安全通信，一共需要创建 $(2 + 2n)$ 条安全关联 SA。





路由器 R_1 到 R_2 的安全关联 SA

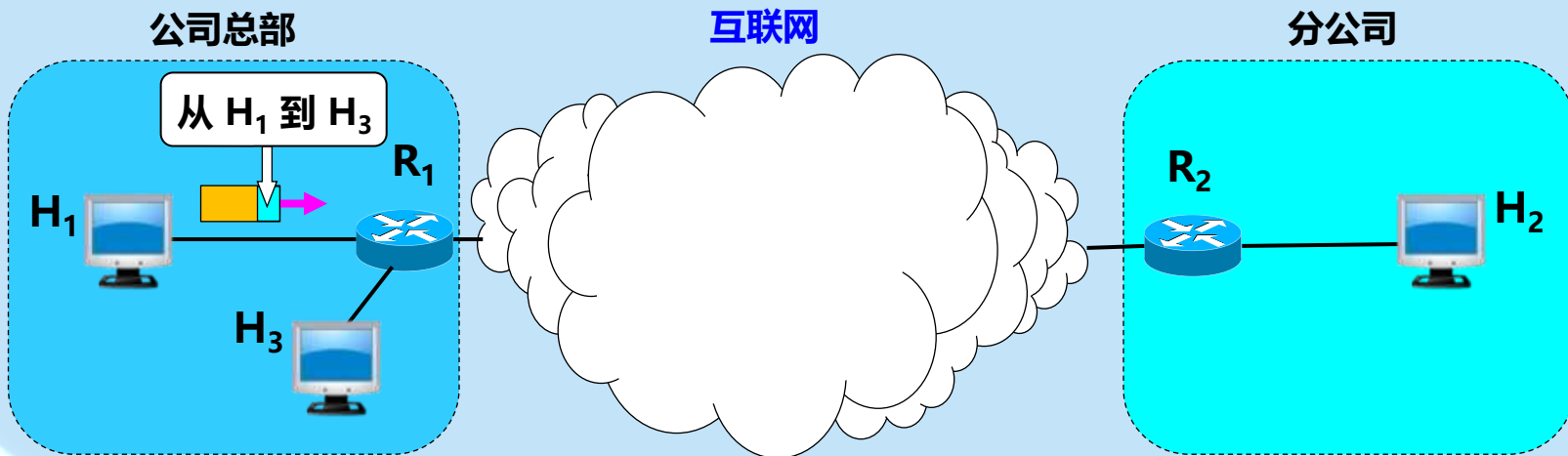
假定公司总部的主机 H_1 要和分公司的主机 H_2 通过互联网进行安全通信。公司总部与分公司之间的安全关联 SA 就是在路由器 R_1 和 R_2 之间建立的。





主机 H_1 到 H_3 之间的通信

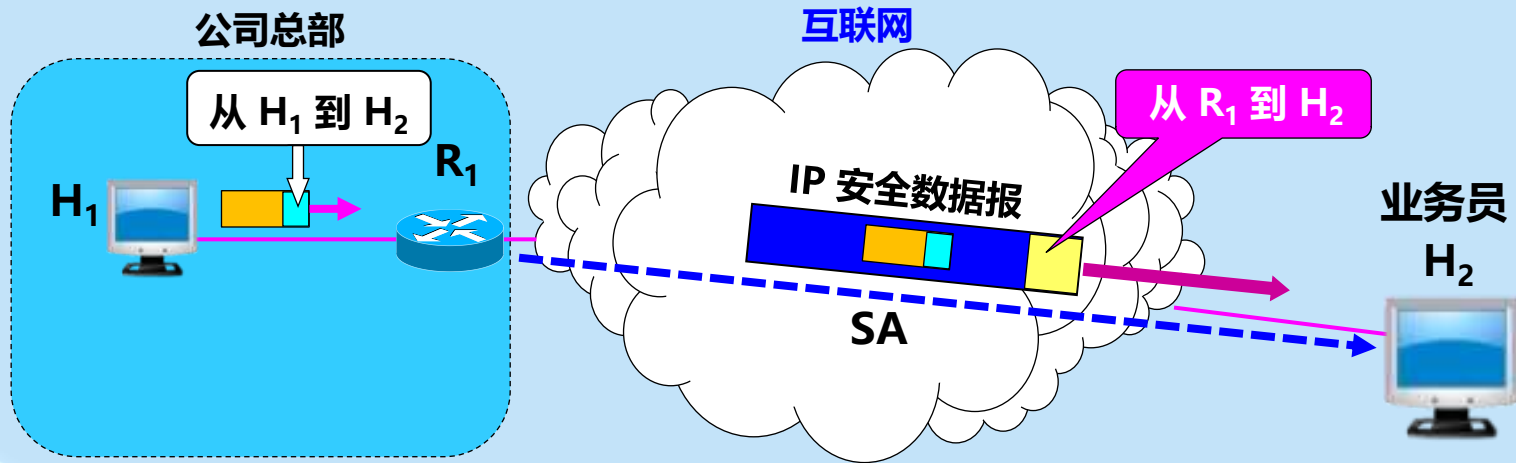
假定公司总部的主机 H_1 要和内部的主机 H_3 进行通信。由于都在公司内部，不需要加密，因此不需要建立安全关联。





路由器 R_1 到主机 H_2 的安全关联 SA

若公司总部的主机 H_1 要和某外地业务员的主机 H_2 进行安全通信，需要在公司总部的路由器 R_1 和外地业务员的主机 H_2 建立安全关联 SA。





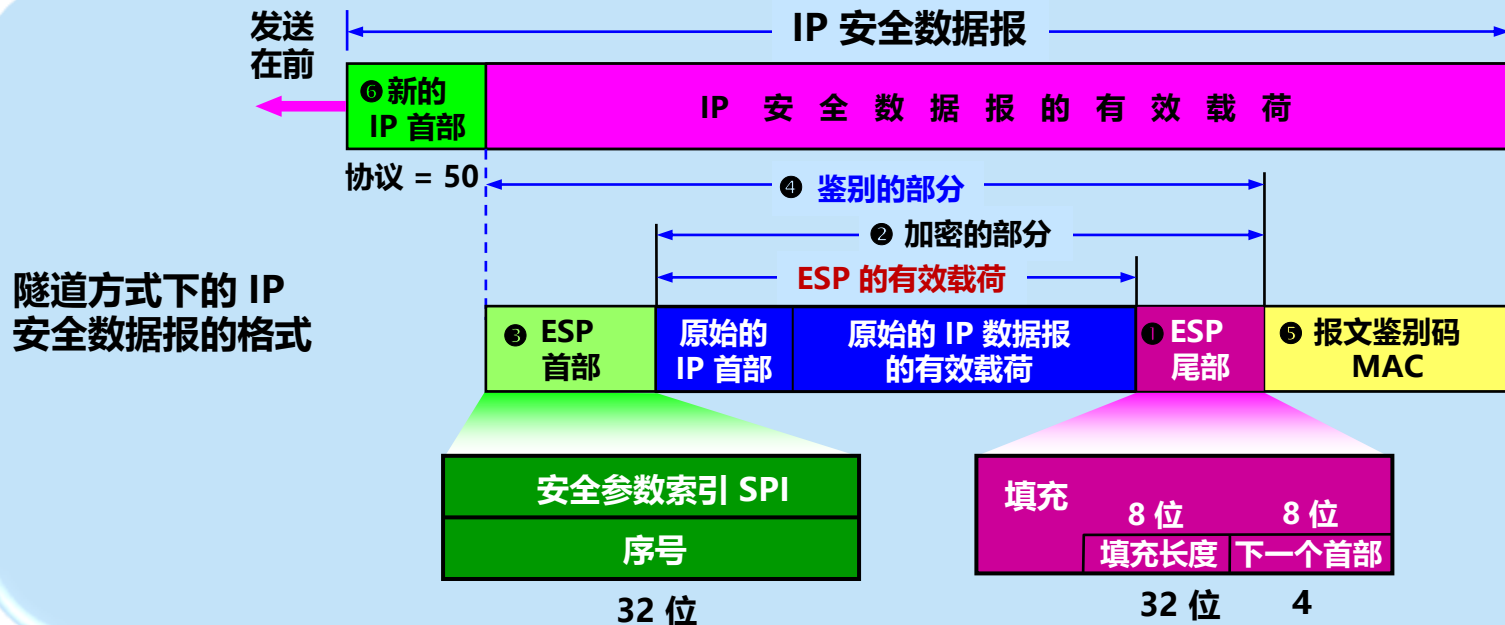
安全关联 SA 状态信息

1. 一个 32 位的连接标识符，称为安全参数索引 SPI (Security Parameter Index)。
2. 安全关联 SA 的源点和终点的 IP 地址（例如路由器 R1 和 R2 的 IP 地址）。
3. 所使用的加密类型（例如，DES 或 AES）。
4. 加密的密钥。
5. 完整性检查的类型（例如，使用报文摘要 MD5 或 SHA-1 的报文鉴别码 MAC）。
6. 鉴别使用的密钥。



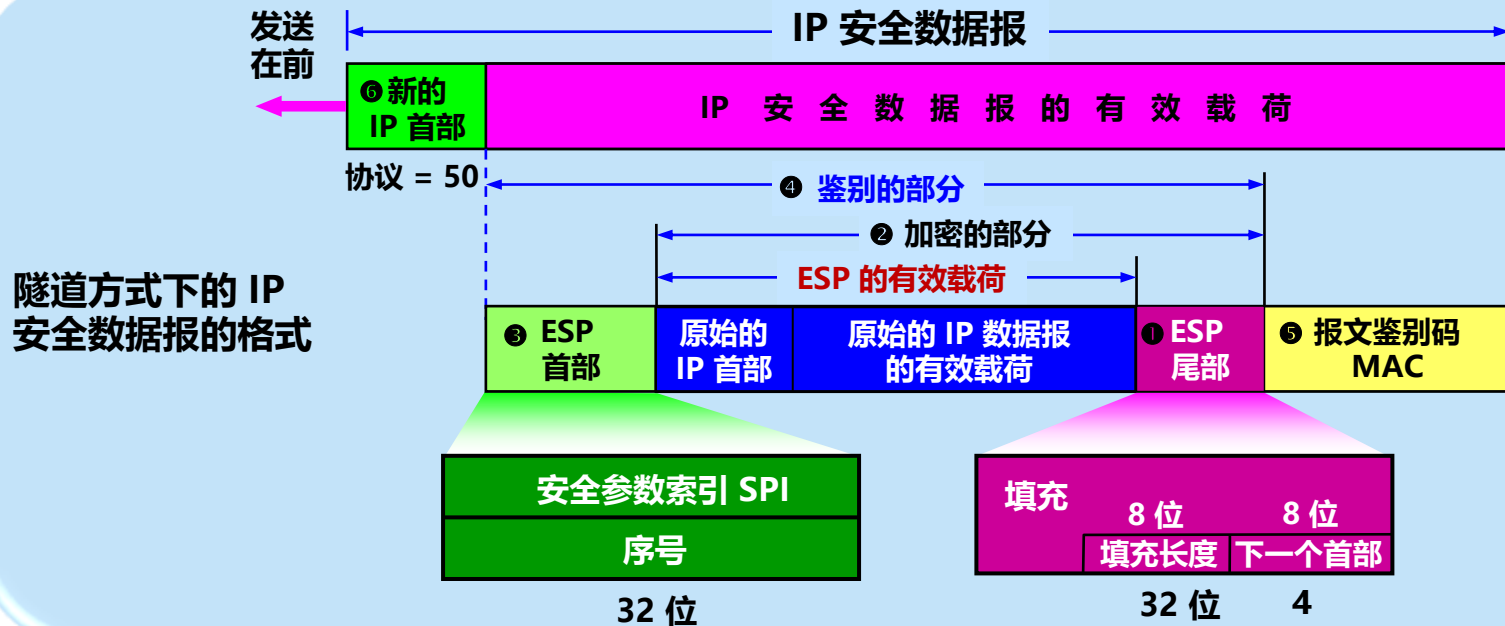


2. IP 安全数据报的格式



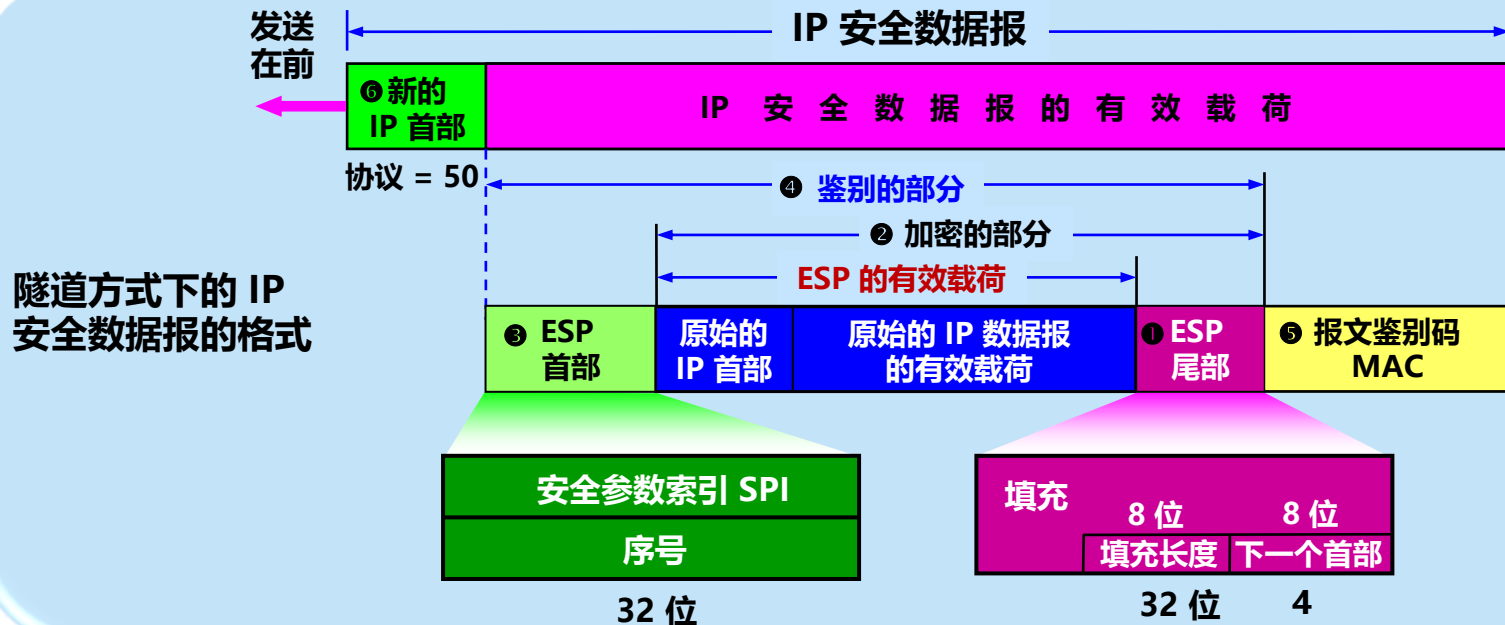


2. IP 安全数据报的格式



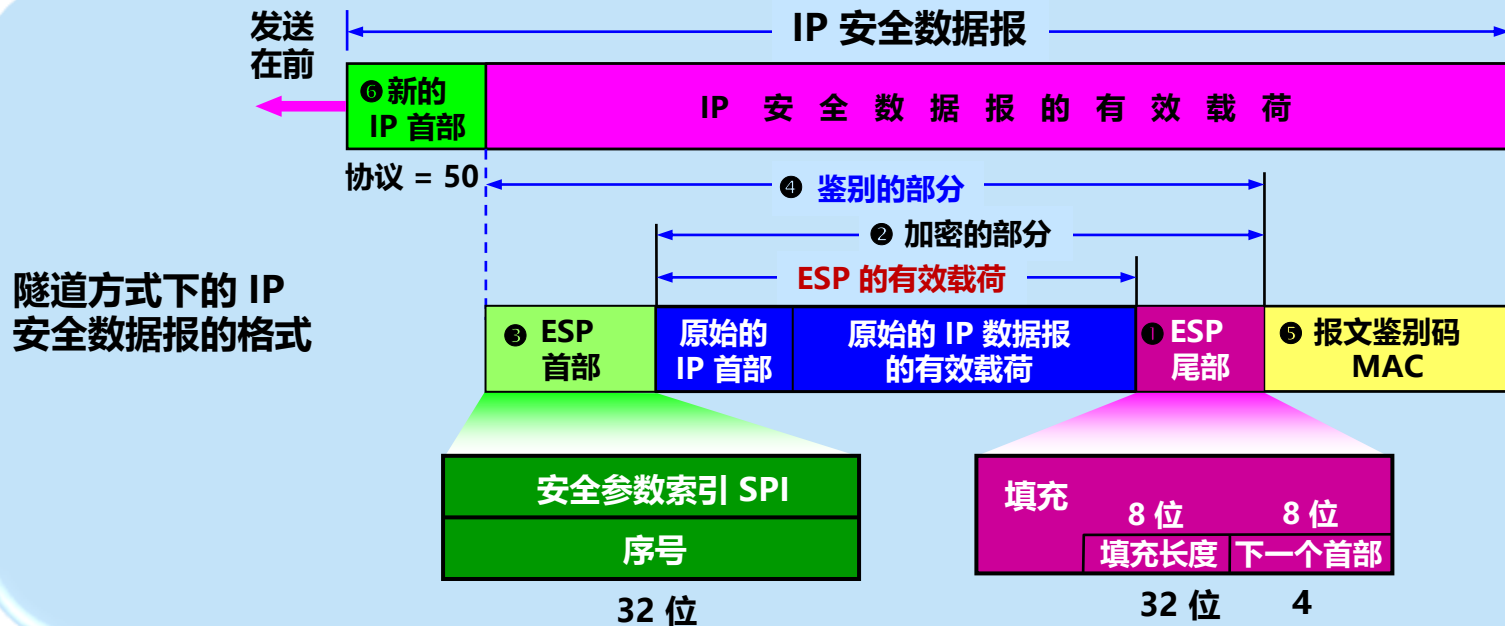


2. IP 安全数据报的格式



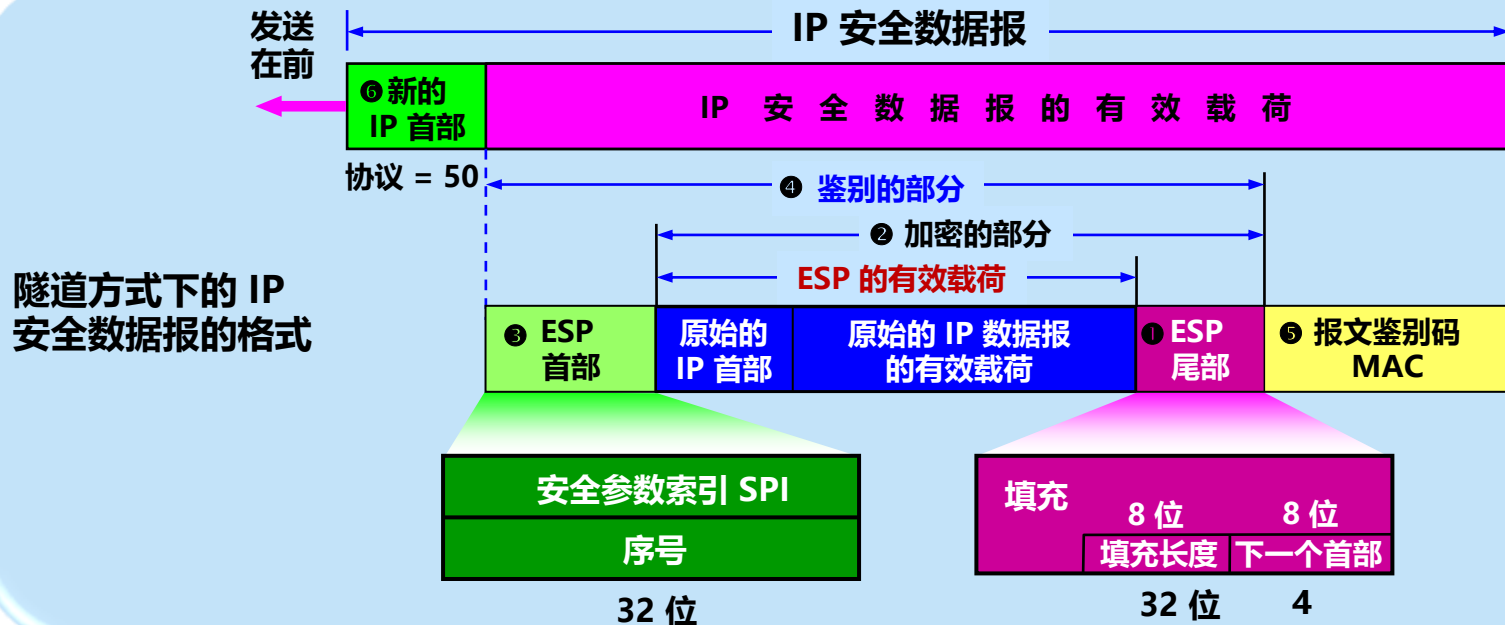


2. IP 安全数据报的格式



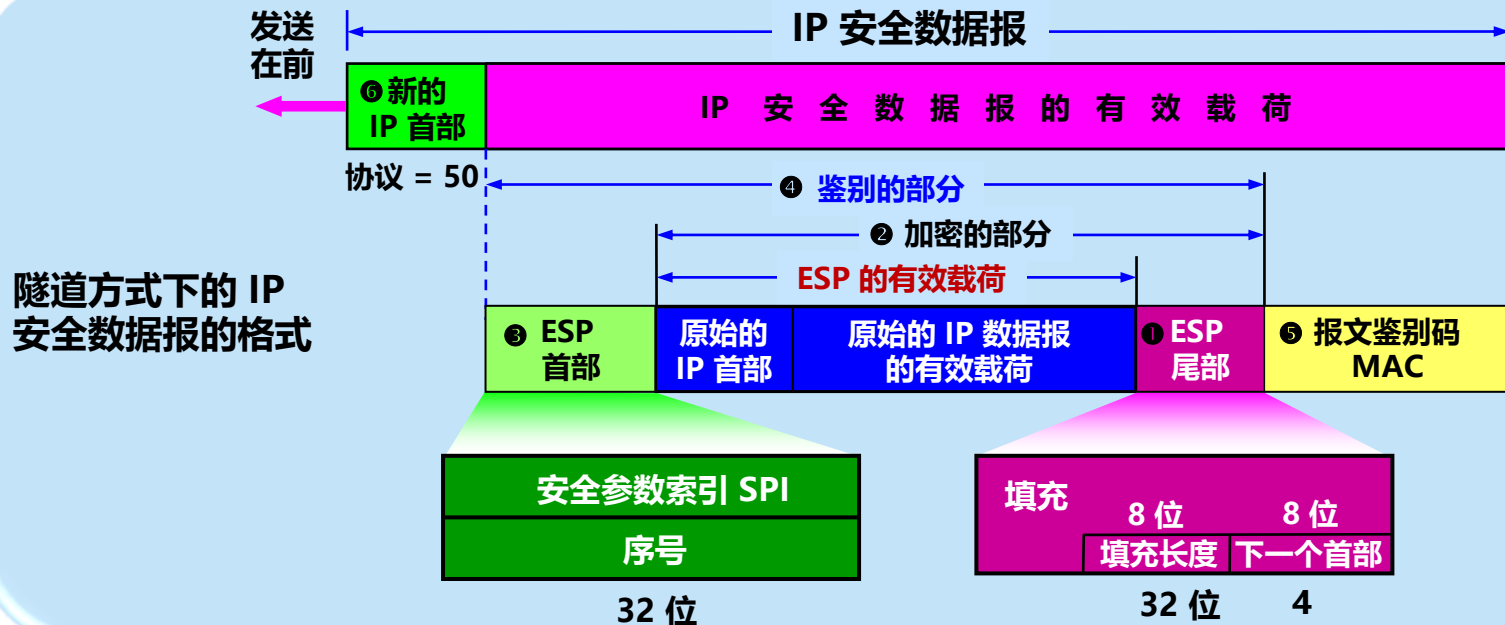


2. IP 安全数据报的格式





2. IP 安全数据报的格式





2. IP 安全数据报的格式

- **注意:**
- 在“原始的 IP 首部”中, 用主机 H_1 和 H_2 的 IP 地址分别作为源地址和目的地址。
- 而在 IP 安全数据报的“新的 IP 首部”中, 用路由器 R_1 和 R_2 的 IP 地址分别作为源地址和目的地址。





3. IPsec 的其他构件

- **安全关联数据库 SAD (Security Association Database)**
 - 存放SA。
- **安全策略数据库 SPD (Security Policy Database)**
 - 指明什么样的数据报需要进行 IPsec 处理。
- **互联网密钥交换 IKE (Internet Key Exchange)**
 - 为 IP 安全数据报创建安全关联 SA。





互联网密钥交换 IKE

- IKE 是个非常复杂的协议，在 2014 年 10 月已成为互联网的正式标准 [RFC 7296]。
- 以另外三个协议为基础：
 1. **Oakley** —— 是密钥生成协议 [RFC 2412]。
 2. **安全密钥交换机制 SKEME** (Secure Key Exchange Mechanism) —— 是用于密钥交换的协议。它利用公钥加密来实现密钥交换协议中的实体鉴别。
 3. **互联网安全关联和密钥管理协议 ISAKMP** (Internet Secure Association and Key Management Mechanism) —— 用于实现IKE中定义的密钥交换，使IKE的交换能够以标准化、格式化的报文创建安全关联 SA。





7.6.2 运输层安全协议

现在广泛使用的有以下两个协议：

- 安全套接字层 **SSL** (Secure Socket Layer)
- 运输层安全 **TLS** (Transport Layer Security)





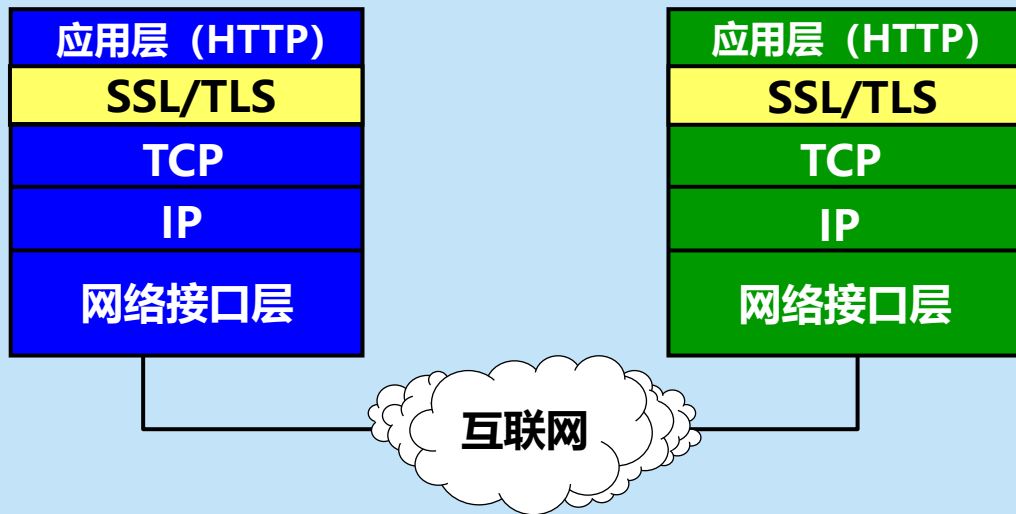
SSL 和 TLS

- **安全套接层 SSL** 由 Netscape 于 1994 年开发，广泛应用于基于万维网的各种网络应用（但不限于万维网应用）。
- SSL 作用在端系统应用层的 HTTP 和运输层之间，在 TCP 之上建立起一个安全通道，为通过 TCP 传输的应用层数据提供安全保障。
- 1996 年发布 SSL 3.0，成为 Web 安全的事实标准。
- 1999 年，IETF 在 SSL 3.0 基础上推出了**传输层安全标准 TLS**，为所有基于 TCP 的网络应用提供安全数据传输服务。





SSL / TLS 的位置



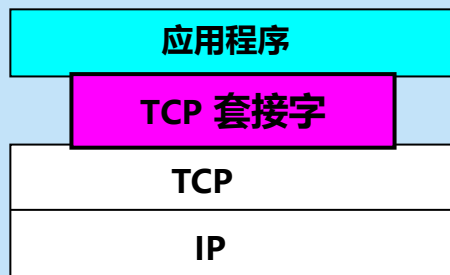
在发送方，SSL 接收应用层的数据，对数据进行加密，然后把加了密的数据送往 TCP 套接字。在接收方，SSL 从 TCP 套接字读取数据，解密后把数据交给应用层。



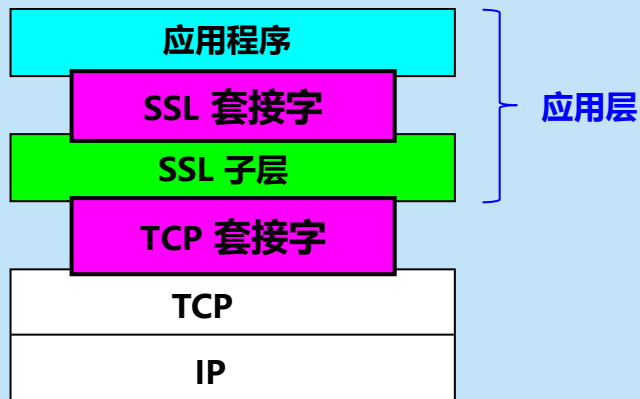


运输层不使用安全协议和使用安全协议的对比

应用层



(a)



(b)





SSL 和 TLS

- SSL / TLS 建立在可靠的 TCP 之上，与应用层协议独立无关。
- SSL / TLS 已被所有常用的浏览器和万维网服务器所支持。
- **SSL / TLS 基本目标：**实现两个应用实体之间的安全可靠通信。





SSL 和 TLS

- 应用层使用 SSL 最多的就是 **HTTP**，但 SSL 并非仅用于 HTTP，而是可用于任何应用层的协议。
- 应用程序 HTTP 调用 SSL 对整个网页进行加密时，网页上会提示用户，在网址栏原来显示 http 的地方，现在变成了 **https**。在 http 后面加上的 s 代表 security，表明现在使用的是提供安全服务的 HTTP 协议（TCP 的 HTTPS 端口号是 443，而不是平时使用的端口号 80）。





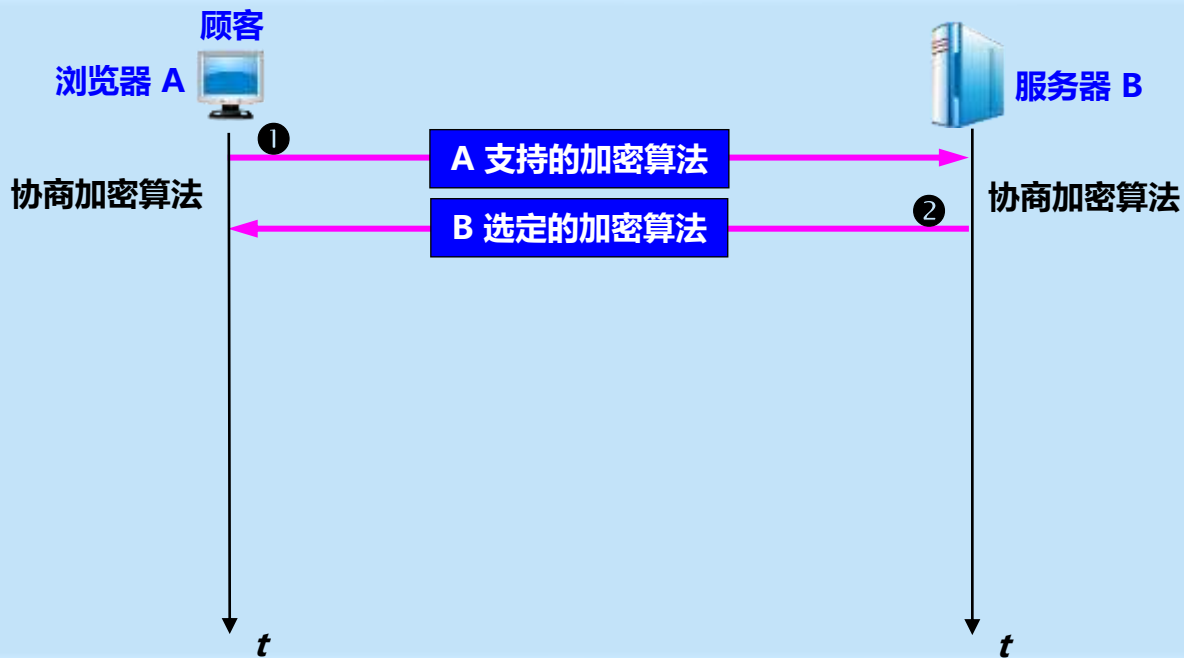
SSL 提供的安全服务

1. **SSL 服务器鉴别**，允许用户证实服务器的身份。支持 SSL 的客户端通过验证来自服务器的证书，来鉴别服务器的真实身份并获得服务器的公钥。
2. **SSL 客户鉴别**，SSL 的可选安全服务，允许服务器证实客户的身份。
3. **加密的 SSL 会话**，对客户和服务器间发送的所有报文进行加密，并检测报文是否被篡改。



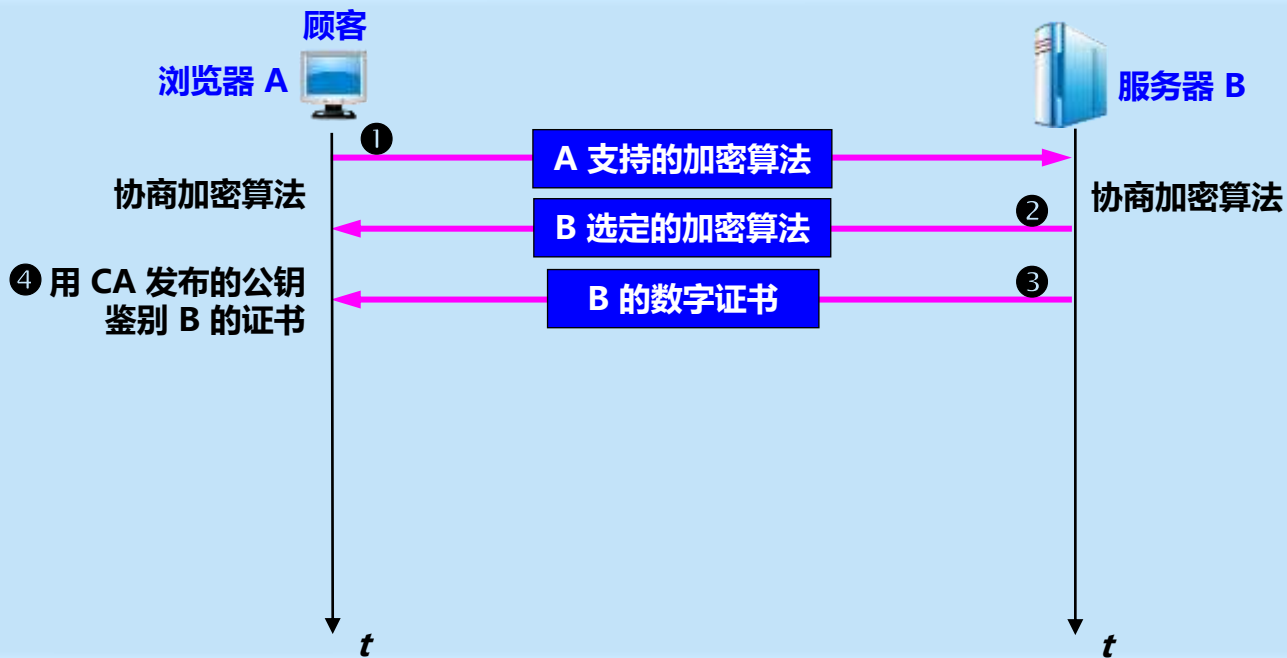


SSL 安全会话建立过程



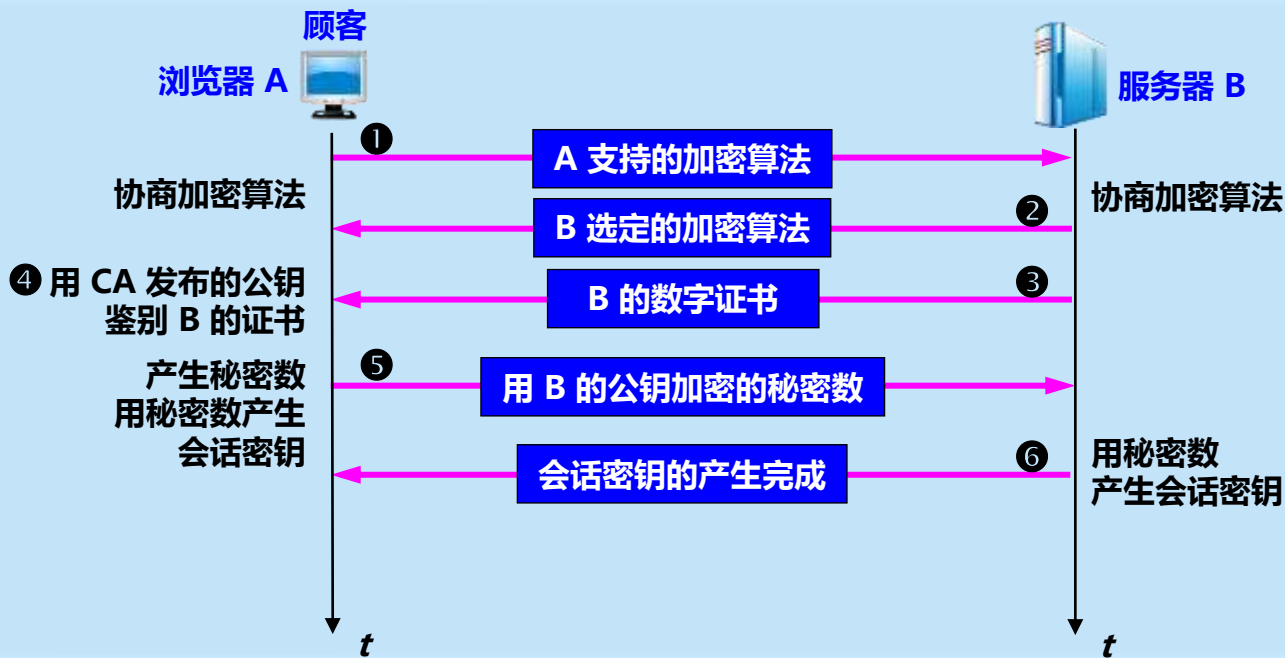


SSL 安全会话建立过程



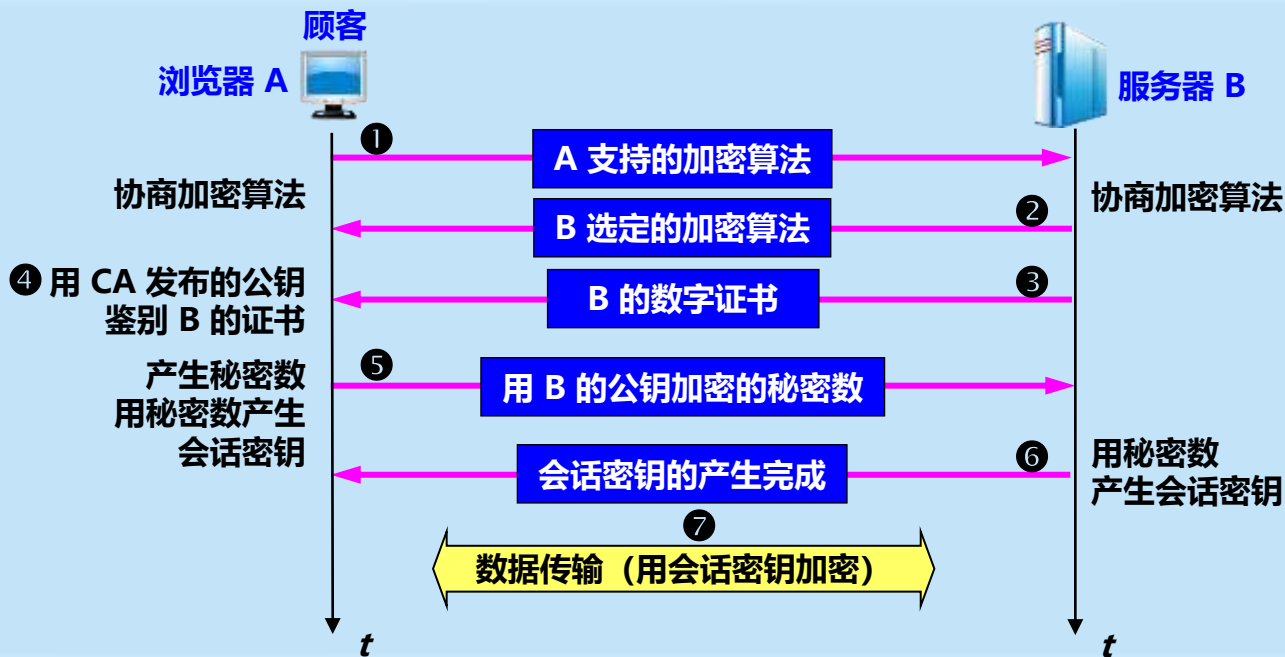


SSL 安全会话建立过程





SSL 安全会话建立过程





SSL 安全会话建立过程

1. **协商加密算法。** ① 浏览器 A 向服务器 B 发送浏览器的 SSL 版本号和一些可选的加密算法。 ② B 从中选定自己所支持的算法（如 RSA），并告知 A。
2. **服务器鉴别。** ③ 服务器 B 向浏览器 A 发送包含其 RSA 公钥的数字证书。 ④ A 使用该证书的认证机构 CA 公开发布的 RSA 公钥对该证书进行验证。
3. **会话密钥计算。** 由浏览器 A 随机产生一个秘密数。 ⑤ 用服务器 B 的 RSA 公钥进行加密后发送给 B。 ⑥ 双方根据协商的算法产生共享的对称会话密钥。
4. **安全数据传输。** ⑦ 双方用会话密钥加密和解密它们之间传送的数据并验证其完整性。





7.6.3 应用层安全协议

- 本节仅讨论应用层中有关电子邮件的安全协议。
- 发送电子邮件是个即时的行为。发送方 A 和接收方 B 并不会为此而建立任何会话。
- 电子邮件安全协议就应当为每种加密操作定义相应的算法，以及密钥管理、鉴别、完整性保护等方法。





PGP (Pretty Good Privacy)

- PGP (Pretty Good Privacy) 是一个完整的电子邮件安全软件包，包括加密、鉴别、电子签名和压缩等技术。
- PGP 并没有使用什么新的概念，它只是将现有的一些算法如 MD5, RSA, 以及 IDEA 等综合在一起而已。
- 虽然 PGP 已被广泛使用，但 PGP 并不是互联网的正式标准。

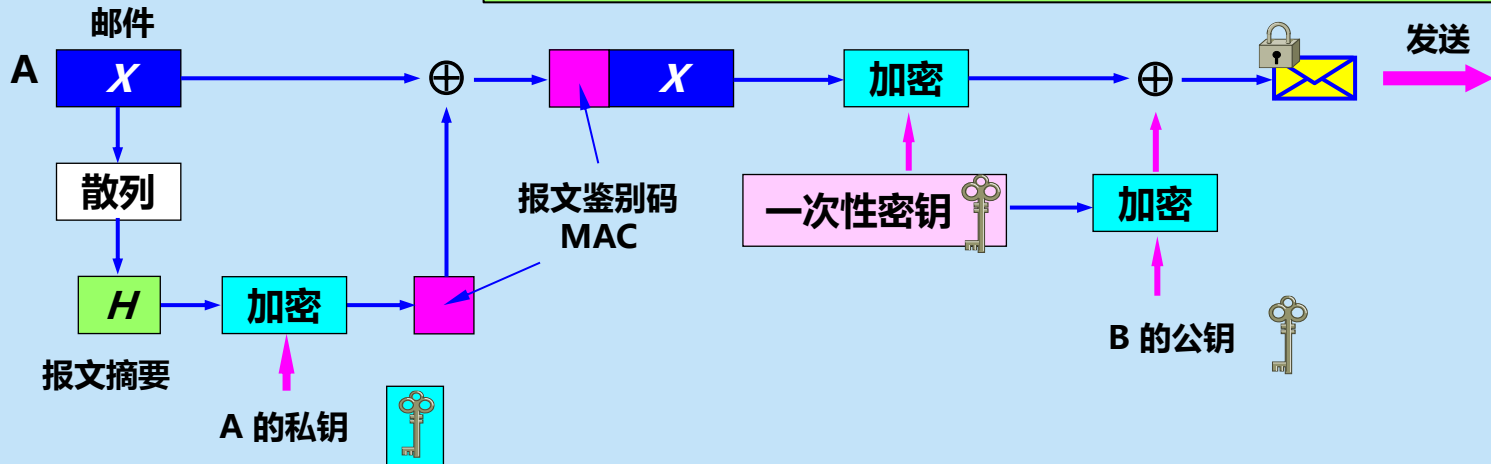




PGP 工作原理

PGP 提供电子邮件的安全性、发送方鉴别和报文完整性。

假定 A 向 B 发送电子邮件明文 X , 使用 PGP 进行加密。
A 有三个密钥: A 的私钥、B 的公钥和 A 生成的一次性密钥。
B 有两个密钥: B 的私钥和 A 的公钥。

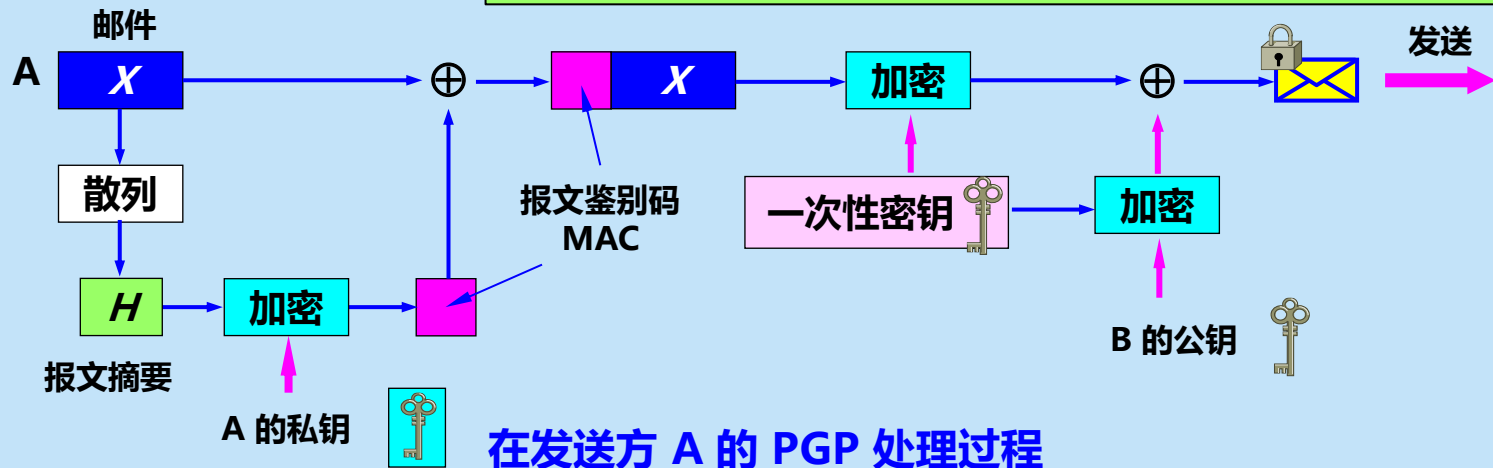




PGP 工作原理

PGP 提供电子邮件的安全性、发送方鉴别和报文完整性。

假定 A 向 B 发送电子邮件明文 X , 使用 PGP 进行加密。
A 有三个密钥: A 的私钥、B 的公钥和 A 生成的一次性密钥。
B 有两个密钥: B 的私钥和 A 的公钥。

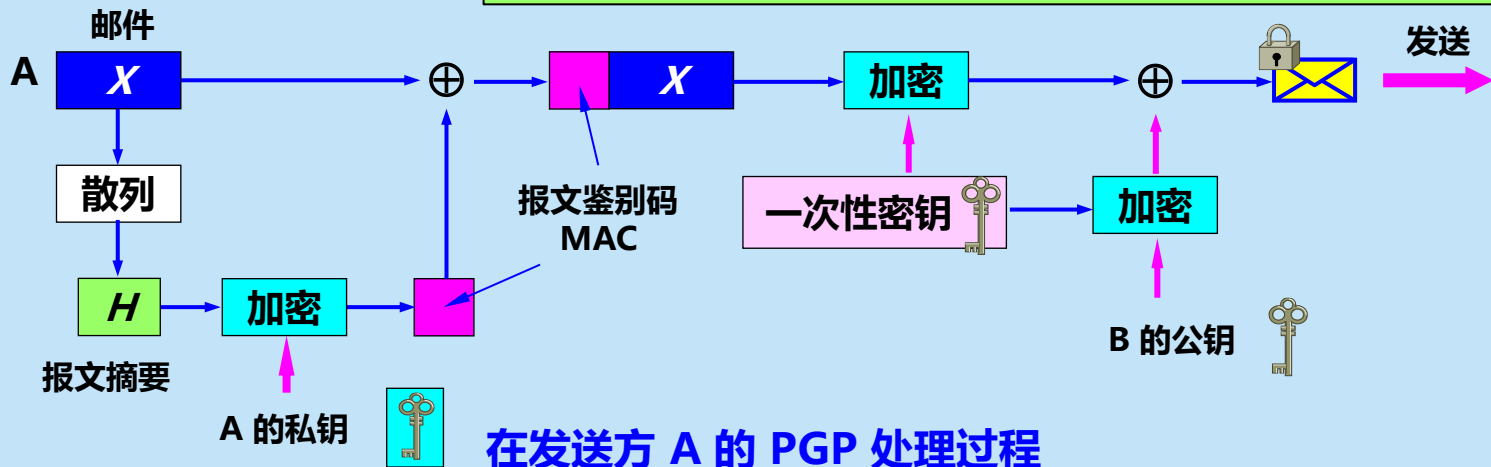




PGP 工作原理

PGP 提供电子邮件的安全性、发送方鉴别和报文完整性。

假定 A 向 B 发送电子邮件明文 X , 使用 PGP 进行加密。
A 有三个密钥: A 的私钥、B 的公钥和 A 生成的一次性密钥。
B 有两个密钥: B 的私钥和 A 的公钥。

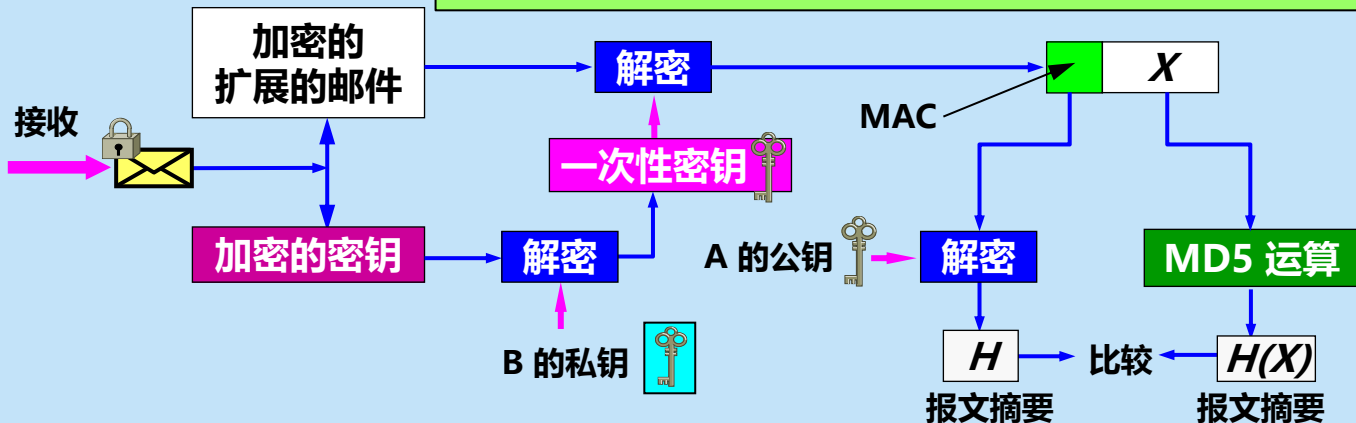




PGP 工作原理

PGP 提供电子邮件的安全性、发送方鉴别和报文完整性。

假定 A 向 B 发送电子邮件明文 X , 使用 PGP 进行加密。
A 有三个密钥: A 的私钥、B 的公钥和 A 生成的一次性密钥。
B 有两个密钥: B 的私钥和 A 的公钥。



在接收方 B 的 PGP 处理过程

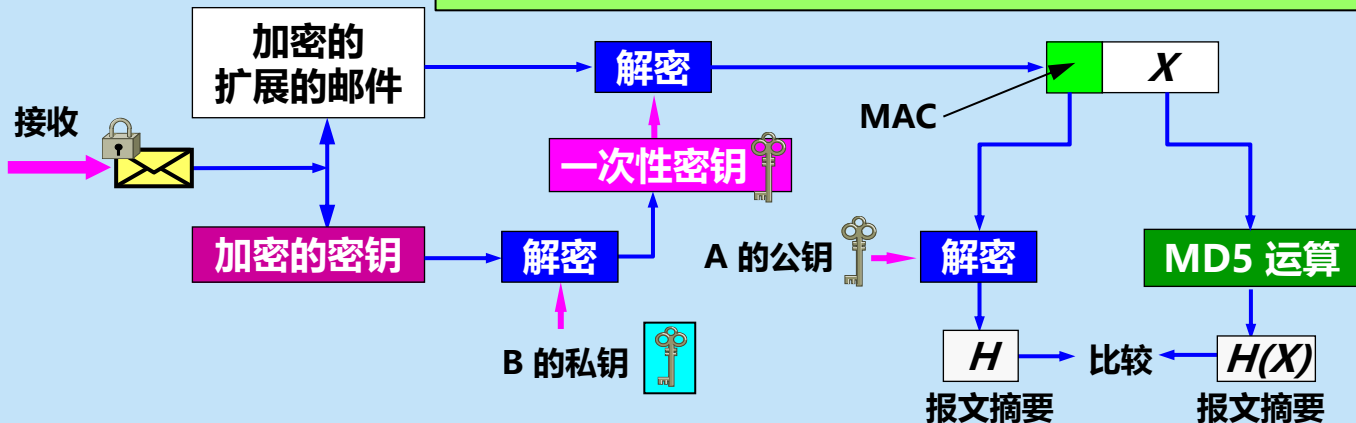




PGP 工作原理

PGP 提供电子邮件的安全性、发送方鉴别和报文完整性。

假定 A 向 B 发送电子邮件明文 X , 使用 PGP 进行加密。
A 有三个密钥: A 的私钥、B 的公钥和 A 生成的一次性密钥。
B 有两个密钥: B 的私钥和 A 的公钥。



在接收方 B 的 PGP 处理过程





发送方 A 的工作

1. 对明文邮件 X 进行 MD5 运算, 得出 MD5 报文摘要 H 。用 A 的私钥对 H 进行加密 (即数字签名), 得出报文鉴别码 MAC, 把它拼接 在明文 X 后面, 得到扩展的邮件 (X, MAC) 。
2. 使用 A 自己生成的一次性密钥对扩展的邮件 (X, MAC) 进行加密。
3. 用 B 的公钥对 A 生成的一次性密钥进行加密。
4. 把加了密的一次性密钥和加了密的扩展的邮件发送给 B。





接收方 B 的工作

1. 把被加密的一次性密钥和被加密的扩展报文 (X , MAC) 分离开。
2. 用 B 自己的私钥解出 A 的一次性密钥。
3. 用解出的一次性密钥对报文进行解密, 然后分离出明文 X 和 MAC。
4. 用 A 的公钥对 MAC 进行解密 (即签名核实), 得出报文摘要 H 。这个报文摘要就是 A 原先用明文邮件 X 通过 MD5 运算生成的那个报文摘要。
5. 对分离出的明文邮件 X 进行 MD5 报文摘要运算, 得出另一个报文摘要 $H(X)$ 。把 $H(X)$ 和前面得出的 H 进行比较, 是否一样。如一样, 则对邮件的发送方的鉴别就通过了, 报文的完整性也得到肯定。





7.7

系统安全： 防火墙与入 侵检测

7.7.1

防火墙

7.7.2

入侵检测系统





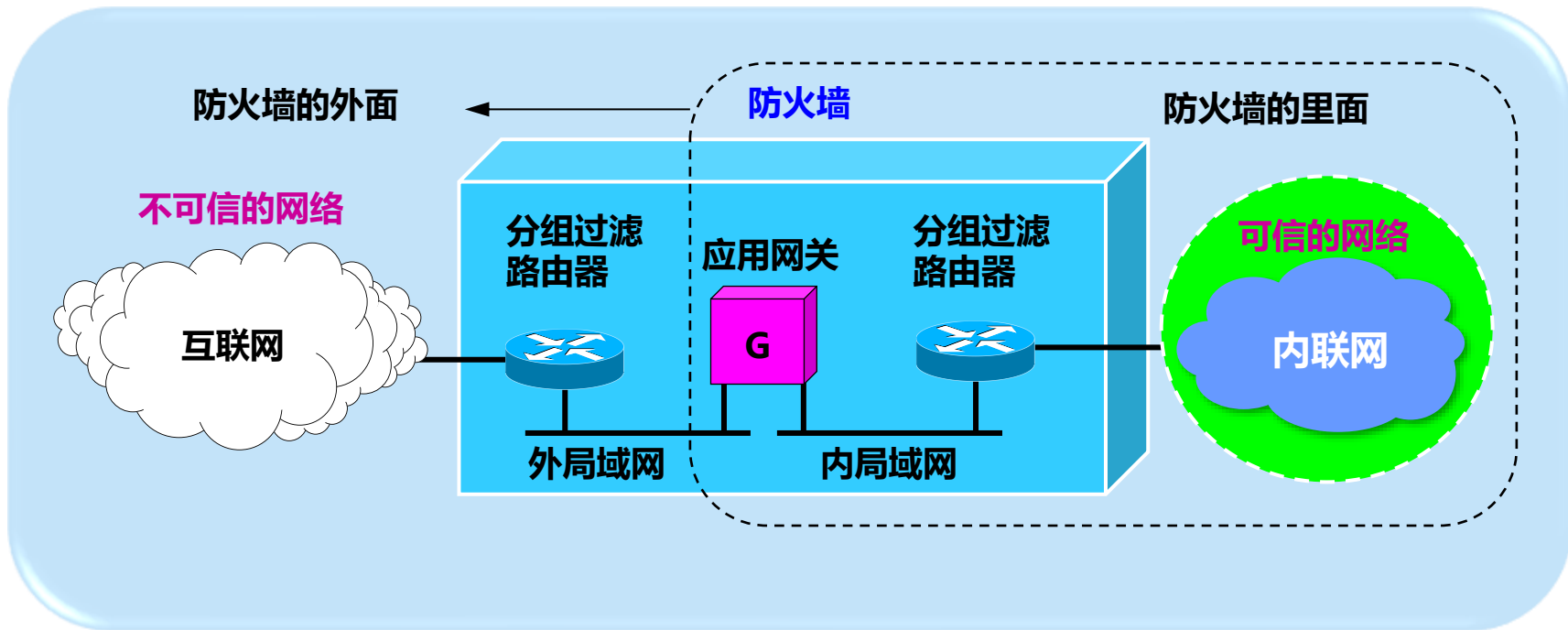
7.7.1 防火墙

- **防火墙**是由软件、硬件构成的系统，是一种特殊编程的路由器，用来在两个网络之间实施**访问控制策略**。
- 访问控制策略是由使用防火墙的单位自行制订的，为的是可以最适合本单位的需要。
- 防火墙内的网络称为“**可信的网络**” (trusted network)，而将外部的互联网称为“**不可信的网络**” (untrusted network)。
- **防火墙**可用来解决内联网和外联网的安全问题。





防火墙在互连网络中的位置





防火墙的功能

- 防火墙的功能有两个：**阻止**和**允许**。
- “**阻止**”就是阻止某种类型的通信量通过防火墙（从外部网络到内部网络，或反过来）。
- “**允许**”的功能与“阻止”恰好相反。
- 防火墙必须能够识别各种类型的通信量。不过在大多数情况下防火墙的主要功能是“**阻止**”。





防火墙技术一般分为两类

● 分组过滤路由器

- ◆ 是一种具有分组过滤功能的路由器，它根据过滤规则对进出内部网络的分组执行转发或者丢弃（即过滤）。过滤规则基于分组的网络层或运输层首部的信息，例如：源/目的 IP 地址、源/目的端口、协议类型（TCP 或 UDP）等。
- ◆ 分组过滤可以是无状态的，即独立地处理每一个分组。也可以是有状态的，即要跟踪每个连接或会话的通信状态，并根据这些状态信息来决定是否转发分组。
- ◆ 简单高效，对用户透明，但不能对高层数据进行过滤。





防火墙技术一般分为两类

- **应用网关也称为代理服务器 (proxy server)**
 - ◆ 它在应用层通信中扮演**报文中继**的角色。
 - ◆ 每种网络应用需要一个应用网关。
 - ◆ 在应用网关中，可以实现基于应用层数据的过滤和高层用户鉴别。
 - ◆ **所有进出网络的应用程序报文都必须通过应用网关。**
 - ◆ 应用网关也有一些缺点：
 - 每种应用都需要一个不同的应用网关。
 - 在应用层转发和处理报文，处理负担较重。
 - 对应用程序不透明，需要在应用程序客户端配置应用网关地址。





7.7.2 入侵检测系统

- 防火墙试图在入侵行为发生之前阻止所有可疑的通信。
- **入侵检测系统 IDS** (Intrusion Detection System) 能够在入侵已经开始，但还没有造成危害或在造成更大危害前，及时检测到入侵，以便尽快阻止入侵，把危害降低到最小。





7.7.2 入侵检测系统

- IDS 对进入网络的分组执行**深度分组检查**，当观察到可疑分组时，向网络管理员发出告警或执行阻断操作（由于 IDS 的“误报”率通常较高，多数情况不执行自动阻断）。
- IDS 能用于检测多种网络攻击，包括网络映射、端口扫描、DoS 攻击、蠕虫和病毒、系统漏洞攻击等。





两种入侵检测方法

- 基于特征的 IDS 维护一个**所有已知攻击标志性特征的数据库**。
- 这些特征和规则通常由网络安全专家生成，由机构的网络管理员定制并将其加入到数据库中。
- 基于特征的 IDS 只能检测已知攻击，对于未知攻击则束手无策。





两种入侵检测方法

- **基于异常的 IDS** 通过观察正常运行的网络流量，学习正常流量的统计特性和规律。当检测到网络中流量某种统计规律不符合正常情况时，则认为可能发生了入侵行为。

至今为止，大多数部署的 IDS 主要是基于特征的，尽管某些 IDS 包括了某些基于异常的特性。





7.8 一些未来的发展方向

- 网络安全是一个很大的领域。对于有志于这一领域的读者，可在下面几个方向作进一步的研究：
 1. 椭圆曲线密码 (Elliptic Curve Cryptography, 简称为 ECC) 与 AES —— 这一系统现在已广泛用于电子护照中，也是下一代金融系统使用的加密系统。
 2. 移动安全 (Mobile Security) —— 移动通信带来的广泛应用（如移动支付，Mobile Payment）向网络安全提出了更高的要求。
 3. 量子密码 (Quantum Cryptography) —— 量子计算机的到来将使得目前许多使用中的密码技术无效，后量子密码学 (Post-Quantum Cryptography) 的研究方兴未艾。

