《现代密码学》第六讲

HASH函数和MAC（二）

本节主要内容

- Hash函数的定义及安全目标
- Hash函数的发展现状
- Hash函数的构造
- 消息鉴别码的定义及安全目标
- 消息鉴别码的发展现状
- 消息鉴别码的构造
- 认证加密模式

本节主要内容

- Hash函数的定义及安全目标
- Hash函数的发展现状
- Hash的构造
- **消息鉴别码的定义及安全目标**
- 消息鉴别码的发展现状
- 消息鉴别码的构造
- 认证加密模式

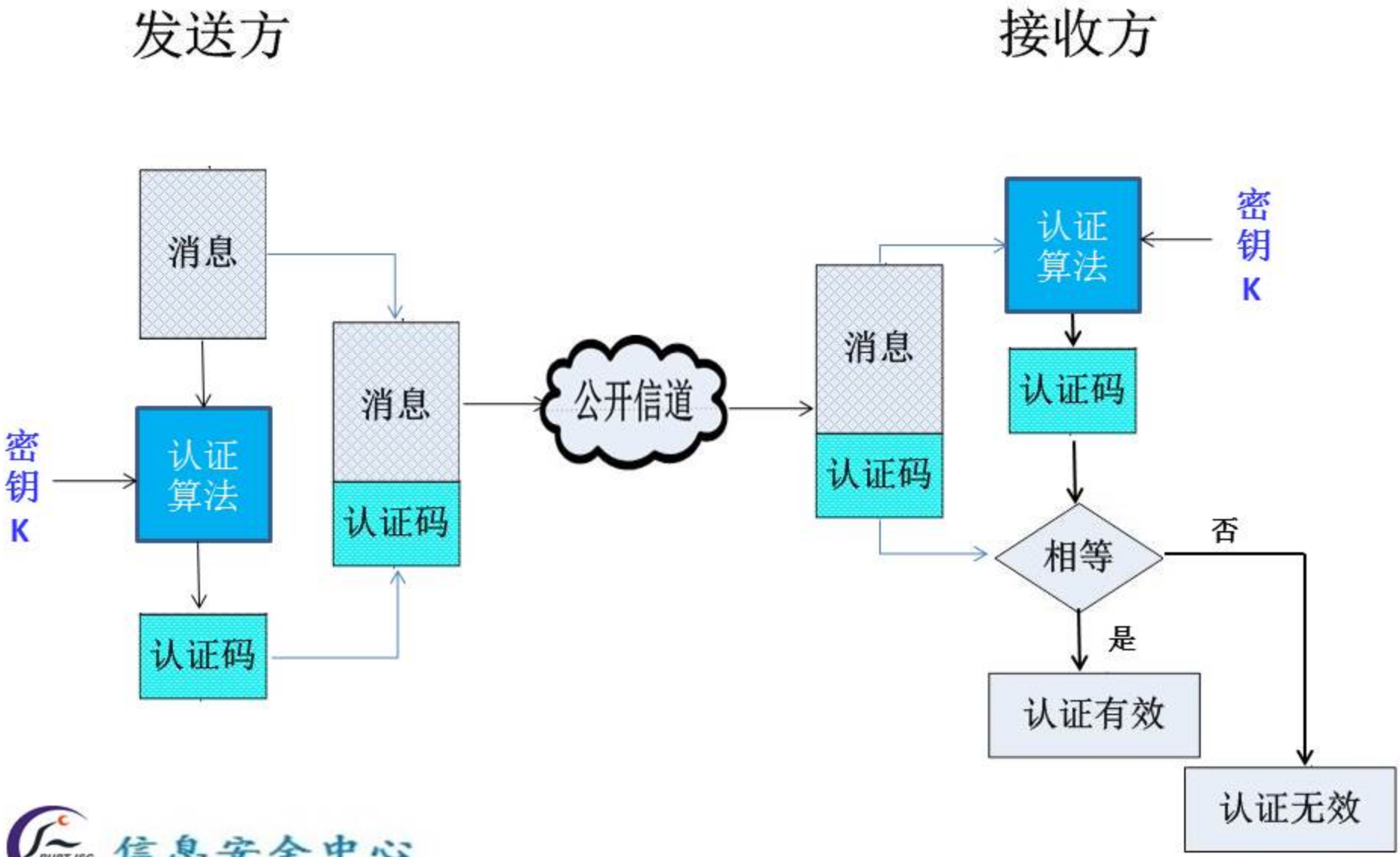
消息鉴别码的定义及安全目标

消息认证码(Message Authentication Code)是定义在(K,M,T)上的算法：

- 发送方A和接收方B共享密钥$k \in K$，若A向B发送消息$m \in M$，则A利用$t=S(k, m)$计算MAC值$t \in T$;
- 接收方B对收到的(m^*, t^*)，验证$V(k, m^*, t^*)$= Accept或者 Reject

S是消息认证函数，它利用密钥和任意长度的消息来生成一个固定长度的短数据块。若验证过程$V(k, m^*, t^*)$输出Accept，接收方可以相信消息未被修改；同时可以确信消息来自真正的发送方。

消息鉴别码的定义及安全目标



消息鉴别码的定义及安全目标

- 攻击目的
  - 密钥恢复攻击：攻击者找到合法用户的的密钥k.
  - 伪造攻击：攻击者在未知密钥k的情况下，伪造一个未经过认证的(m,t)对.

选择性伪造：如果攻击者能够对由他选择的消息m^*进行伪造(m^*,t^*)，那么这种伪造攻击称为选择性伪造攻击.

存在性伪造：如果攻击者只能够对一个不由他控制的消息进行伪造，那么这种伪造攻击称为存在性伪造攻击.

消息鉴别码的定义及安全目标

- 攻击种类

被动攻击： 已知消息攻击：攻击者通过窃听等手段，获取一些消息和用同一个密钥认证这些消息所得的认证码.

主动攻击： 攻击者通过选取一些消息，发送给oracle（MAC设备）得到相应的认证码.

非自适应选择消息攻击： 敌手在使用Mac设备之前，必须已经选定要测试的消息；

自适应选择消息攻击： 敌手可以根据Mac设备的输出，自行选择下一次要测试的消息.

本节主要内容

- Hash函数的定义及安全目标
- Hash函数的发展现状
- Hash函数的构造
- 消息鉴别码的定义及安全目标
- **消息鉴别码的发展现状**
- 消息鉴别码的构造
- 认证加密模式

消息鉴别码的发展现状

- M. N. Wegman and J. L. Carter. Universal classes of hash functions. *Journal of Computer and System Sciences*, 18:143-154, 1979.
- M. N. Wegman and J. L. Carter. New hash functions and their use in authentication and set equality. *Journal of Computer and System Sciences*, 22:265-279, 1981.
- *Simmons, Gustavus. Authentication theory/coding theory. Advances in Cryptology: Proceedings of CRYPTO 84. Berlin: Springer. pp. 411–431, 1985.*
- D. R. Stinson. Universal hashing and authentication codes. *Advances in Cryptology - Crypto '91*, pages 74-85, Berlin, 1991.

- 1985年，基于DES的MAC，ISO 8731-1/ ANSI X9.9
- 2002年，NIST发布标准HMAC，ANSIX9.71
- NESSIE工程推荐使用的MAC算法有TTMAC，UMAC，CBC-MAC，HMAC

本节主要内容

- Hash函数的定义及安全目标
- Hash函数的发展现状
- Hash函数的构造
- 消息鉴别码的定义及安全目标
- 消息鉴别码的发展现状
- **消息鉴别码的构造**
- 认证加密模式

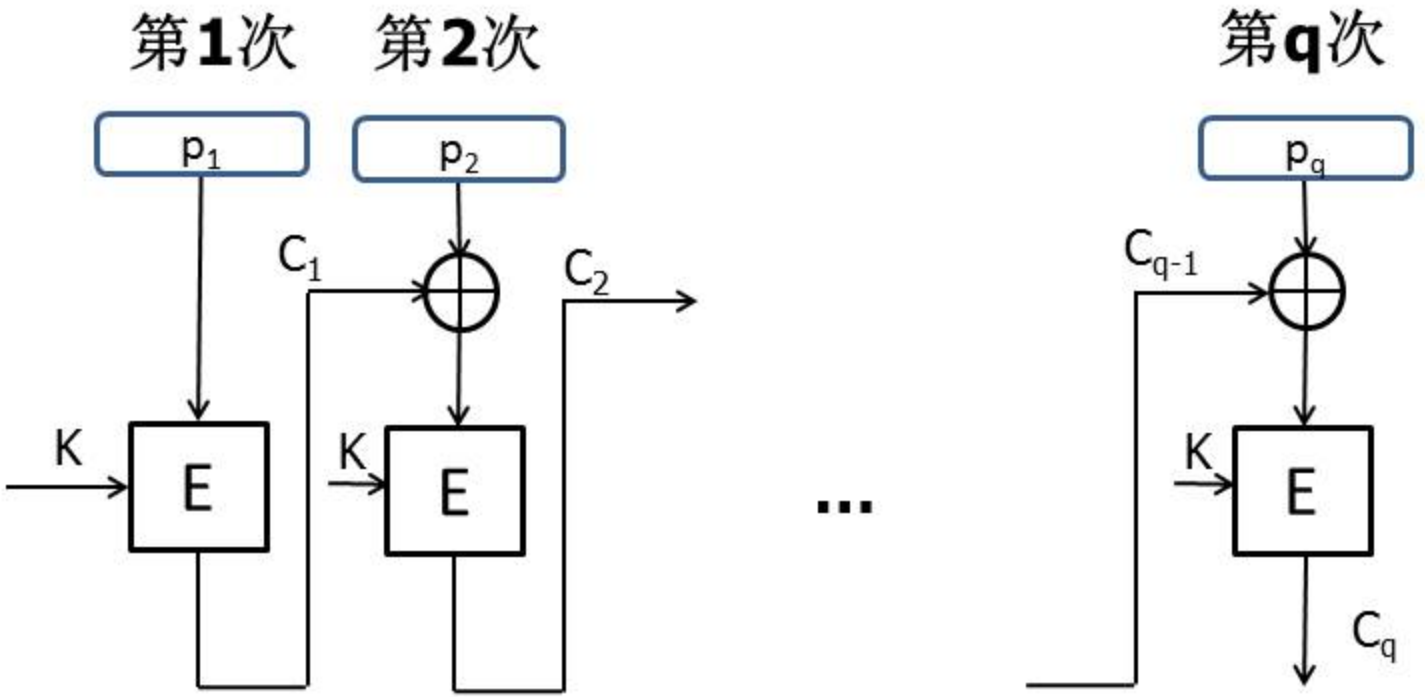
消息鉴别码的构造(一)

美国国家标准技术研究所（National Institute of Standards and Technology）于1985年5月30日发布了《计算机信息认证标准》（FIPS PUB 113 Federal Information Processing Standards Publication 113），这个标准制定了一个基于DES数据认证算法（Data Authentication Algorithm （DAA））。这个算法也被用在ISO 8731-1和美国国家标准局（American National Standards Institute (ANSI)）发布的金融机构信息认证的标准ANSI X9.9中。

消息鉴别码的构造(一)

ECBC: $K^2 \times P^{\leq L} \rightarrow P$

$P^{\leq L} = \cup_{i=1}^{L} P^i$



消息鉴别码的构造(一)

若消息恰好是分组的整数倍，不考虑填充

攻击一：假定$t_1=E_k(D_1)$，则t_1是两个分组的消息$(D_1\|D_2)$的一个合法认证值，其中，$D_2= D_1 \oplus t_1$。

这种攻击方法称为”cut and paste”攻击。

攻击二：攻击者想伪造消息D的合法MAC。

首先，选择消息D_1发送给认证者，认证者返回$t_1=e_k(D_1)$

然后，计算$D_2=$ IV$\oplus\ D_1 \oplus t_1$，把消息$(D_1\|D_2)$发送给认证者，认证者返回$t_2=e_k(e_k(D_1) \oplus D_2)$

则t_2是消息D的合法认证值：$t_2=e_k(D)$

消息鉴别码的构造（一）

- 基于分组密码构造举例（CBC-MAC）

若数据不是加密算法分组长度的整数倍，则需进行消息填充，填充方法有：

- 方法1：对需要计算MAC的数据的右边填充若干个或零个“0”比特，以便得到一个比特长度是n的整数倍的数据串。
- 方法2：对需要计算MAC的数据的右边先填充一个“1”比特，然后填充若干个或零个“0”比特，以便得到一个比特长度是n的整数倍的数据串。
- 方法3：首先对需要计算MAC的数据的右边填充若干个或零个“0”比特，以便得到一个比特长度是n的整数倍的数据串；其次，在所得到的数据串的左边 填充一个n比特组，该组包含了未进行填充的数据的比特长度的二元表示，其左边用“0”补齐。

消息鉴别码的构造(一)

课堂练习：

- 如果使用填充方法1，上述攻击一是否还存在？
- 如果使用填充方法2，上述攻击一是否还存在？
- 如果使用填充方法3，上述攻击一是否还存在？



消息鉴别码的构造(一)

- 基于分组密码构造举例（CBC-MAC）
  - 填充数据，形成一串n比特数据分组M_1，M_2，…，M_q；
  - 使用CBC模式加密数据分组，E_k表示分组密码的加密函数，具体计算过程如下：

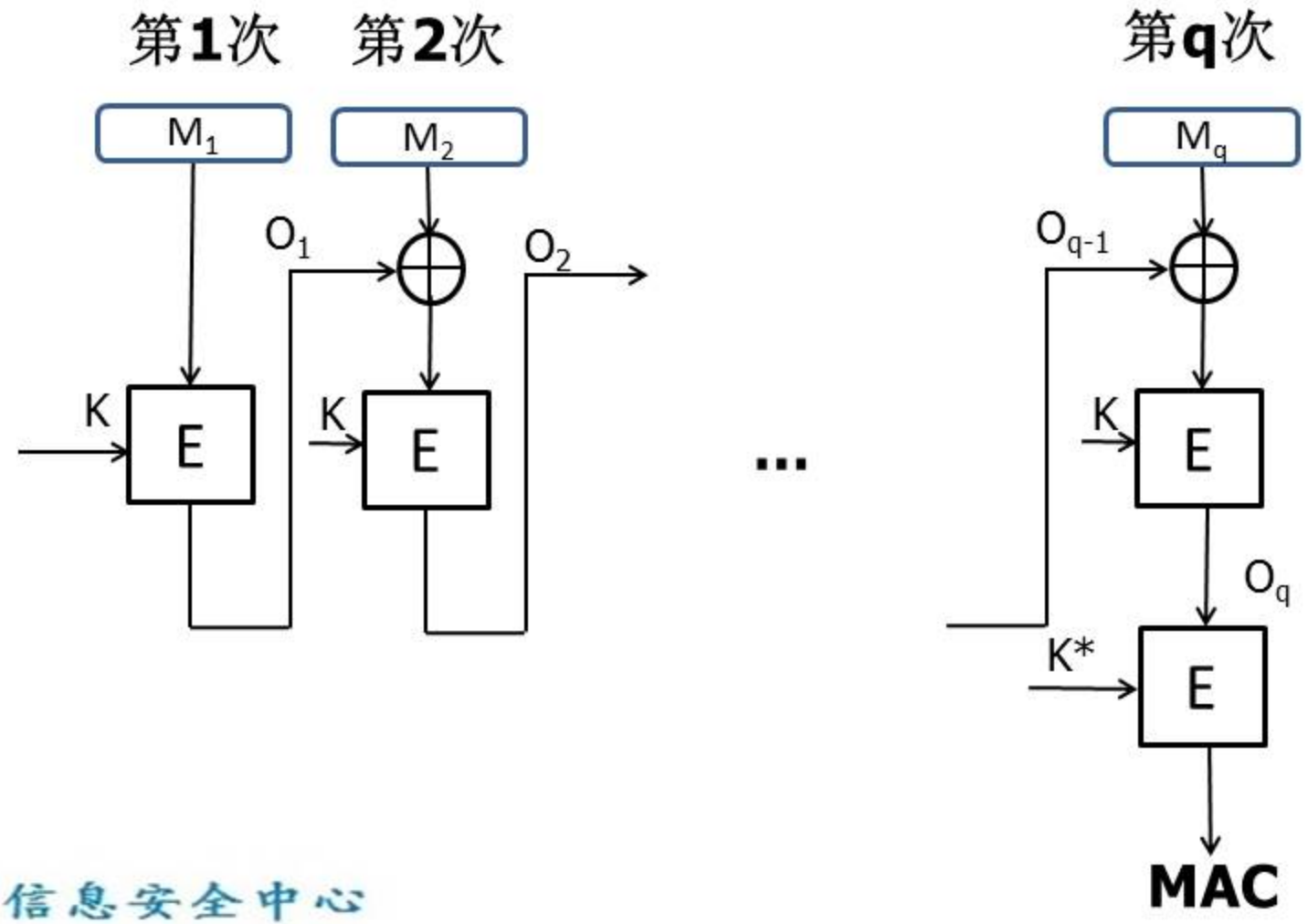
1. 置$I_0=M_1$，计算$O_1=E_k(I_1)$。
2. 对i=2，3，……，q，完成下列计算：

   $I_i = O_{i-1} \oplus M_i$ ，$O_i=E_k(I_i)$；

  - 对O_q进行选择处理和截断（如果m＜n），获得m比特MAC值。

消息鉴别码的构造(一)

- 基于分组密码构造举例（ECBC-MAC）



消息鉴别码的构造(一)

CBC-MAC

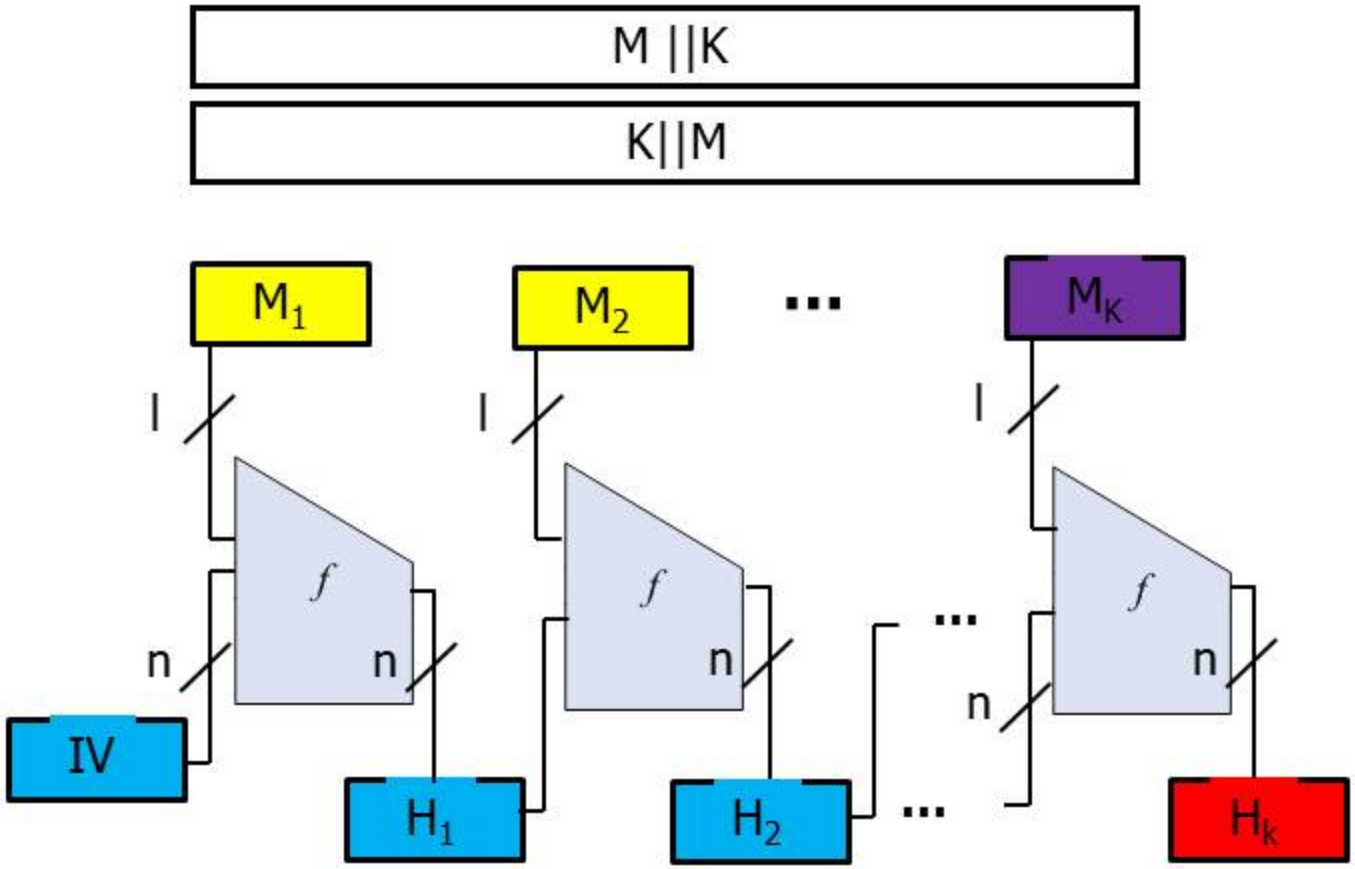
- 标准中规定了两种具体的选择处理方法：
  1. 选择一个密钥K*，计算$MAC=E_{k*}(O_q)$.
  2. 选择一个密钥k*，计算$MAC=E_k(D_{k*}(O_q))$。
- 选择处理过程可以增加密码分析者穷搜索密钥K的难度
- 在选择处理后，取n比特组的最左边的m比特构成MAC

消息鉴别码的构造(二)

- HMAC是由Mihir Bellare, Ran Canetti和Hugo Krawczyk于1996年首先提出

- 2002年3月6日美国国家标准技术研究所（National Institute of Standards and Technology）发布了The Keyed-Hash Message Authentication Code(HMAC)，用来认证消息的起源及其完整性；这个算法也被用在美国国家标准局（American National Standards Institute (ANSI)）发布的X9.71中

消息鉴别码的构造(二)



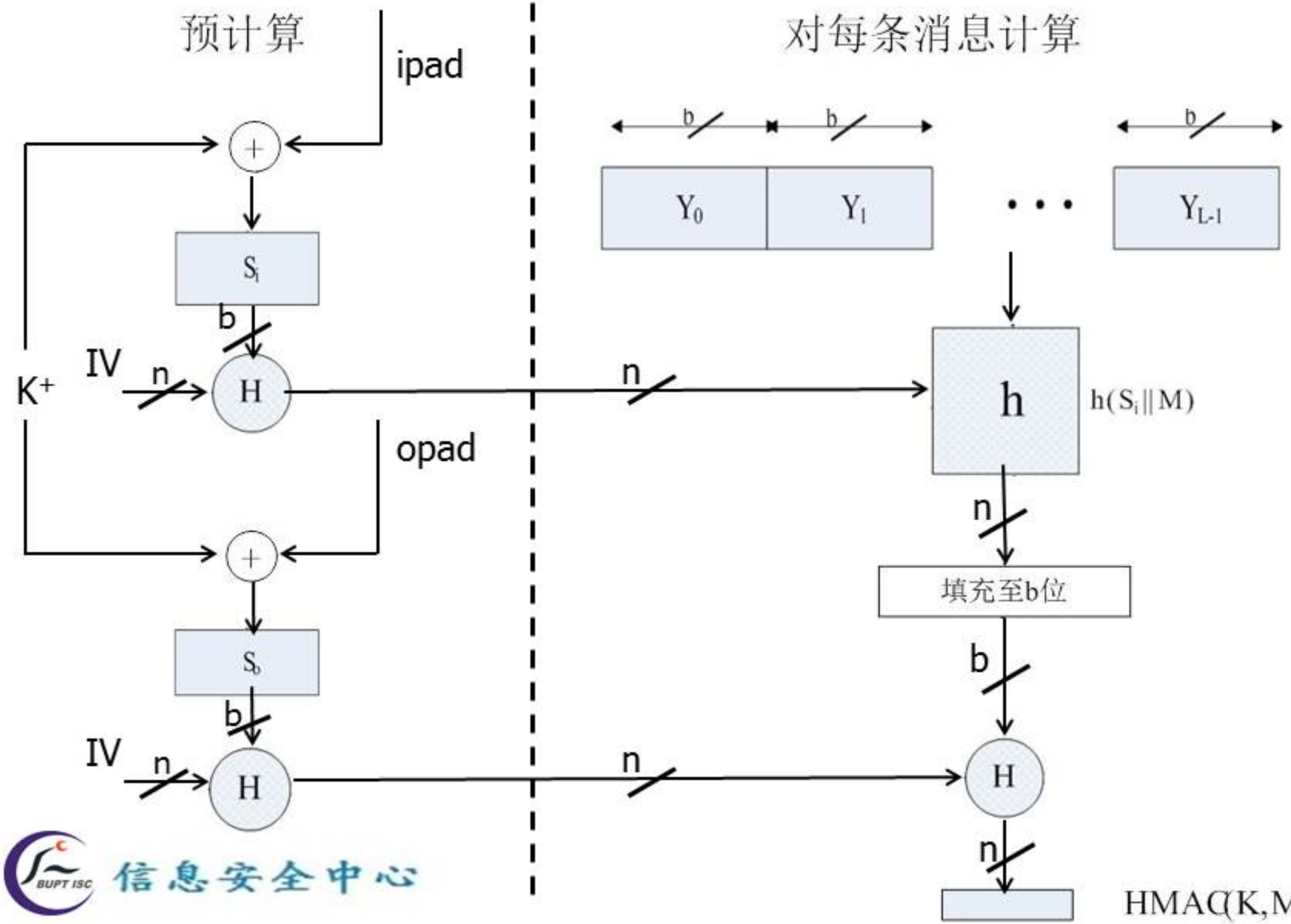
消息鉴别码的构造(二)

- HMAC计算

  $MAC=H((K \oplus opad) \| H(K \oplus ipad \| text))$

  - H是一个Hash函数
  - K表示密钥
  - B表示计算消息摘要时消息分块的字节长度（对MD5和SHA-1是512比特,64字节）
  - L表示消息摘要按字节计算的长度（对MD5是16字节）
  - ipad表示0x36重复B次，opad表示0x5c重复B次。
  - K可以有不超过B字节的任意长度，但一般建议K的长度不小于L。当使用长度大于B的密钥时，先用H对密钥进行杂凑，然后用得出的L字节作为HMAC的真正密钥

消息鉴别码的构造(二)


预计算
ipad
对每条消息计算
b
b
b
Y_0
Y_1
Y_{L-1}
S_i
b
IV
n
K+
H
n
h
$h(S_i \| M)$
opad
n
填充至b位
S_o
b
b
IV
n
H
n
H
n
HMAC(K,M)

消息鉴别码的构造(二)

- 计算一个数据“文本”的HMAC的操作如下：

1）在K的后面加上足够的0以得到B字节的串

2）将上一步得到的B字节串与ipad异或

3）将数据流“文本”接在第2步得到的B字节串后面

4）将H应用于上一步的比特串

5）将第1步所得到的B字节串与opad异或

6）将第4步的消息摘要接在第5步的B字节串后

7）应用H于上一步的比特串

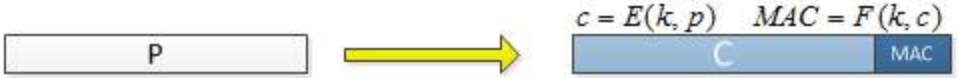
本节主要内容

- Hash函数的定义及安全目标
- Hash函数的发展现状
- Hash函数的构造
- 消息鉴别码的定义及安全目标
- 消息鉴别码的发展现状
- 消息鉴别码的构造
- **认证加密模式**

认证加密模式

- **Encrypt-then-MAC (EtM)**

Internet 协议安全性 (IPSec)



- **Encrypt-and-MAC (E&M)**

安全外壳协议Secure Shell(SSH)

- **MAC-then-Encrypt (MtE)**

安全套接层协议(SSL)及其继任者传输层安全协议（TLS）

认证加密模式

- 2000年左右，逐渐形成认证加密（*authenticated encryption*，*AE*）系统的思想
- 一个认证加密系统 (E, D) 定义如下：

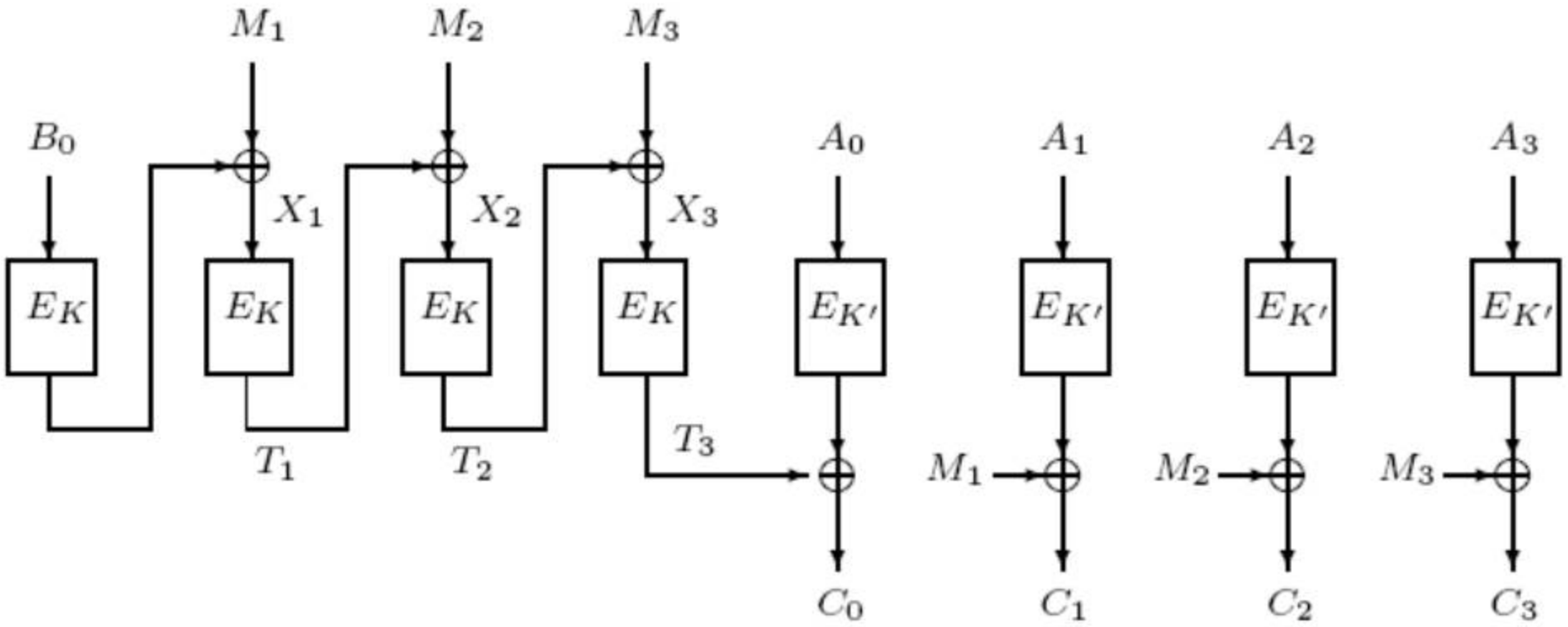
加密过程： $E: K \times M \times N \rightarrow C$

解密过程： $D: K \times C \times N \rightarrow M \cup \{\perp\}$

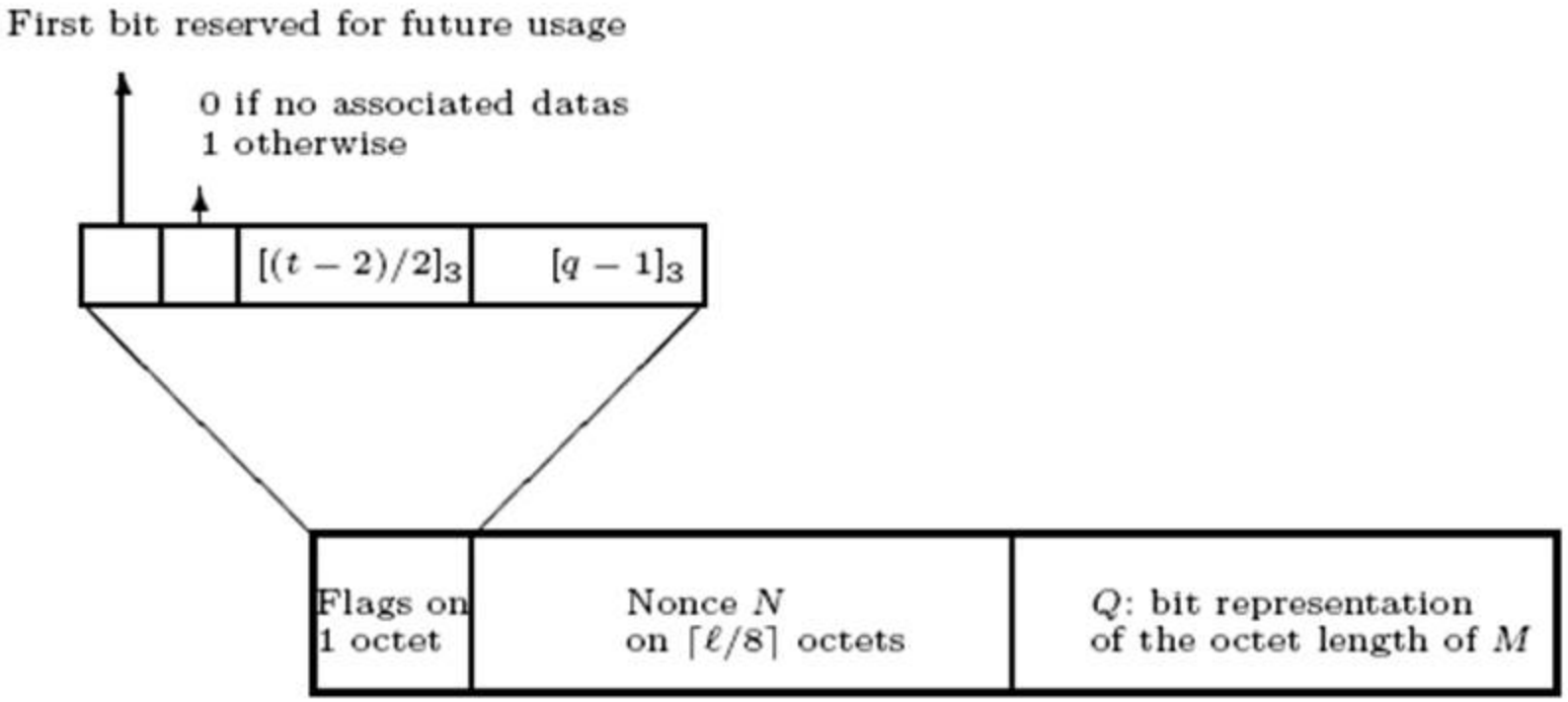
- 安全性：
  - CPA攻击下明文不可区分
  - 密文完整性

认证加密模式

- CCM加密认证模式

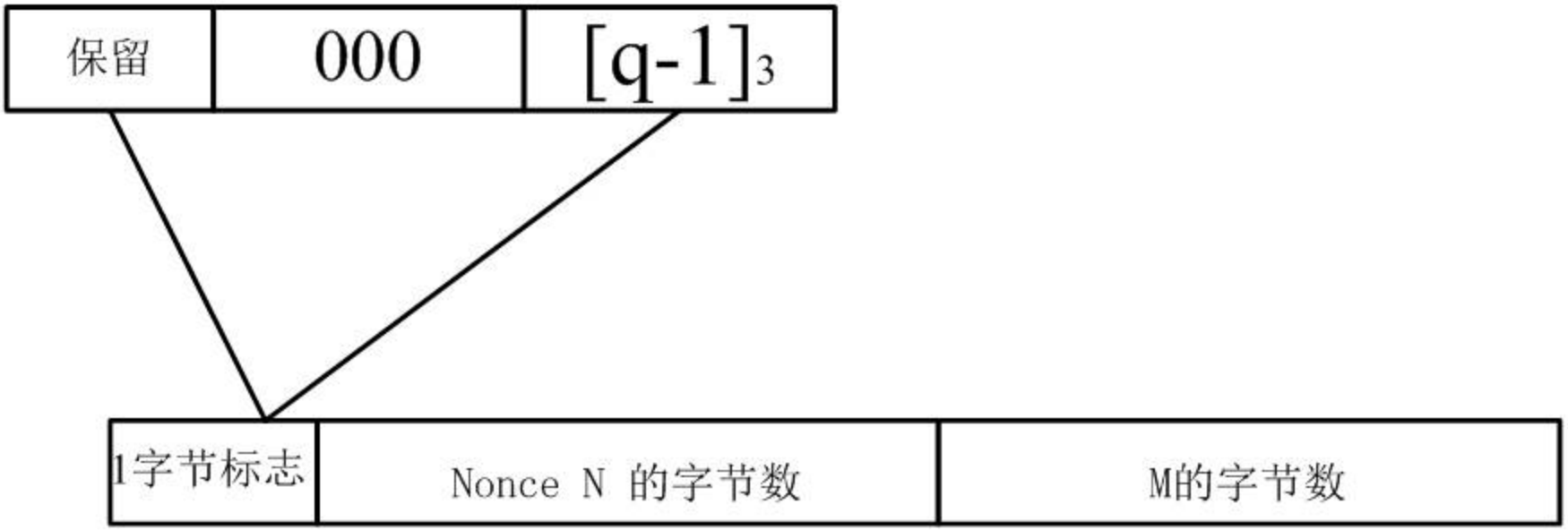


认证加密模式



B_0 的设置

认证加密模式



A_0 的设置

THE END!