



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXXX

## 信息技术 安全技术 可鉴别的加密机制

Information technology - Security techniques - Authenticated encryption

(ISO/IEC 19772:2009, MOD)

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2017-6-19)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号.....	3
5 概述.....	3
6 可鉴别的加密机制方案 1.....	4
6.1 简介.....	4
6.2 特定符号与标记.....	4
6.3 具体要求.....	5
6.4 函数 <b>M2</b> 的定义.....	5
6.5 函数 <b>M3</b> 的定义.....	5
6.6 函数 <b>J</b> 的定义.....	5
6.7 加密程序.....	5
6.8 解密程序.....	6
7 可鉴别的加密机制方案 2.....	6
7.1 简介.....	6
7.2 特定符号与标记.....	6
7.3 具体要求.....	7
7.4 加密程序.....	7
7.5 解密程序.....	7
8 可鉴别的加密机制方案 3.....	8
8.1 简介.....	8
8.2 特定符号与标记.....	8
8.3 具体要求.....	8
8.4 加密程序.....	8
8.5 解密程序.....	9
9 可鉴别的加密机制方案 4.....	10
9.1 简介.....	10
9.2 特定符号与标记.....	10
9.3 具体要求.....	10
9.4 <b>M</b> 函数定义.....	10
9.5 加密程序.....	11
9.6 解密程序.....	11
10 可鉴别的加密机制方案 5.....	12
10.1 简介.....	12
10.2 特定符号与标记.....	12
10.3 具体要求.....	12

10.4	加密程序.....	12
10.5	解密程序.....	12
11	可鉴别的加密机制方案 6.....	13
11.1	简介.....	13
11.2	特定符号与标记.....	13
11.3	具体要求.....	13
11.4	乘法运算的定义.....	14
11.5	函数 G 的定义.....	14
11.6	加密程序.....	14
11.7	解密程序.....	15
附 录 A	(规范性附录) ASN.1 模块.....	16
附 录 B	(资料性附录) 方案的使用指导.....	17
B.1	简介.....	17
B.2	方案的选择.....	17
B.3	方案 1.....	17
B.4	方案 2.....	18
B.5	方案 3.....	18
B.6	方案 4.....	18
B.7	方案 5.....	18
B.8	方案 6.....	18
附 录 C	(资料性附录) 数据示例.....	19
C.1	简介.....	19
C.2	方案 1.....	19
C.3	方案 2.....	20
C.4	方案 3.....	20
C.5	方案 4.....	21
C.6	方案 6.....	22

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准修改采用ISO/IEC 19772:2009《信息技术 安全技术 可鉴别的加密机制》（英文版），对标准中关于具体分组密码算法的使用进行了修改，本标准中规定可使用的密码算法均为国家密码管理部门认可的密码算法，标准内容的主要修改包括：

——规范性引用文件修改为对已有国标的引用，术语定义中，在现行国标中已定义的，本标准直接采用；

——附录C中给出的数据示例，均采用SM算法作为实例。

本标准附录A为规范性附录，其它附录为资料性附录。

本标准由全国信息技术标准化技术委员会（SAC/TC260）归口。

本标准起草单位：中国科学院数据与通信保护研究教育中心、中国科学院软件研究所、北京江南天安科技有限公司。

本标准主要起草人：王琼霄、蔡权伟、赵宇航、张颖君、宋利、吴鹏一、林璟镡、闻楠、荆继武、王明月、宋天林。



## 引 言

数据机密性与完整性保护是对数据安全的基本要求,当需要同时满足上述两种安全需求时,常见的解决方案是对数据进行加密,并计算消息鉴别码(MAC)。加密与MAC的组合可能存在很多种方式,但并非任何组合方式都具有足够的安全性。

本标准规定了六种可鉴别的加密机制方案,定义了规范的数据加密与解密操作流程,通过一个完整的数据操作过程,实现对于数据机密性保护、数据完整的保护与数据源鉴别。本标准规定的六种可鉴别的加密机制方案均基于分组密码算法。使用可鉴别的加密机制时所需的密钥管理不在本标准范围内,相关内容可参照GB/T 17901.1-1999执行。

本文件的发布机构提请注意,本文件修改采用ISO/IEC 19772:2009及其勘误版本ISO/IEC 19772:2009/Cor 1:2014,因此,专利权人针对ISO/IEC 19772:2009所作出的专利声明适用于本文件。相关信息可通过以下联系方式获得:

专利权人: Phillip Rogaway

地址: Department of Computer Science, Kemper Hall of Engineering, #3009, One Shields Avenue, University of California, Davis, CA 95616-8562 USA

电子邮件: rogaway@cs.ucdavis.edu

电话: 530-752-7583

传真: 530-752-4767

请注意除了上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。



# 信息技术 安全技术 可鉴别的加密机制

## 1 范围

本标准规定了六种可鉴别的加密机制方案,通过定义数据串的处理方法来实现以下安全目标:

- 数据机密性,保护数据不会向非授权者泄露。
- 数据完整性,确保数据接收者能够验证数据是否被修改。
- 数据源鉴别,确保数据接收者能够验证数据始发者的身份。

本标准附录 A 给出了六种可鉴别的加密机制方案 ASN.1 定义。

本标准适用于需对数据进行机密性、完整性保护及数据源鉴别的应用和系统。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 15852.1-2008 信息技术 安全技术 消息鉴别码 第1部分:采用分组密码的机制

GB/T 17964-2008 信息安全技术 分组密码算法的工作模式

GB/T 20569-2010 信息安全技术 术语

ISO/IEC 18033-3 Information technology— Security techniques — Encryption algorithms — Part 3: Block ciphers

## 3 术语和定义

GB/T 20569-2010、GB/T 17964-2008界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 可鉴别的加密 authenticated encryption

一种可逆的数据转换,利用密码算法产生数据对应的密文,非授权实体无法在不被发现的情况下对该密文进行修改,同时提供了数据机密性、数据完整性与数据源鉴别。

### 3.2

#### 可鉴别的加密机制 authenticated encryption mechanism

用于实现数据机密性保护并提供数据完整性和数据源鉴别的密码技术,包括加密算法和解密算法两个处理过程。

### 3.3

#### 数据完整性 data integrity

数据没有遭受以未经授权方式所作的更改或破坏的特性。

[GB/T 20569-2010]

### 3.4

#### **分组密码 block cipher**

又称块密码算法，一种对称密码算法，将明文划分成固定长度的分组进行加密。

[GB/T 17964-2008]

### 3.5

#### **明文 plaintext**

待加密的数据。

[GB/T 17964-2008]

### 3.6

#### **密文 ciphertext**

加密后的数据。

[GB/T 17964-2008]

### 3.7

#### **加密 encryption**

对数据进行密码变换以产生密文的过程。

[GB/T 17964-2008]

### 3.8

#### **解密 decryption**

加密过程对应的逆过程。

[GB/T 17964-2008]

### 3.9

#### **密钥 key**

控制密码变换操作的关键信息或参数。

[GB/T 17964-2008]

### 3.10

#### **加密系统 encryption system**

用于保护数据机密性的密码技术，包括加密算法、解密算法和密钥生成三个处理过程。

### 3.11

#### **消息鉴别码 message authentication code (MAC)**

利用对称密码技术和秘密密钥，由消息所导出的数据项。任何持有这一秘密密钥的实体，可利用消息鉴别码检查消息的完整性和始发者。

[GB/T 15852.1-2008]

### 3.12

#### **分块 partition**

将任意长度的字符串划分成为比特数相同的数据分组，除最后一个分组外。若每个等长的分组包含 $n$ 比特，最后一个数据分组包含 $r$ 比特，那么 $0 < r \leq n$ 。

## 3.13

**秘密密钥** secret key

由特定的一组实体使用的用于对称加密技术的密钥。

## 3.14

**对称加密系统** symmetric encryption system

基于对称密码技术的加密系统，加密和解密使用相同的秘密密钥。

## 4 符号

下列符号适用于本标准。

$A$	额外的可鉴别数据
$C$	可鉴别的加密的数据
$D$	可鉴别的加密机制的输入数据
$d$	分组密码解密算法， $d_K(Y)$ 表示使用分组密码算法及密钥 $K$ ，对分组长度为 $n$ 比特的数据 $Y$ 进行解密得到的结果
$e$	分组密码加密算法， $e_K(Y)$ 表示使用分组密码算法及密钥 $K$ ，对分组长度为 $n$ 比特的数据 $Y$ 进行加密得到的结果
$K$	数据始发者和接收者共享的分组密码的秘密密钥，该密钥用于可鉴别的数据加密机制
$m$	对 $D$ 进行分块后，得到的数据分组的数量
$n$	一个数据分组的长度（以比特为单位）
$t$	标记（tag）长度（以比特为单位）
$0^i$	由长度为 $i$ 比特的 0 构成的分组
$1^i$	由长度为 $i$ 比特的 1 构成的分组
$\oplus$	逐位异或
$\parallel$	字符串连接符号
$\#$	将数字转换成二进制表示。若 $k$ 是一个整数 $0 \leq k \leq 2^a$ ，那么 $\#_a(k)$ 是一个长度为 $a$ 的比特块，左侧为高位，该二进制表示的值与 $k$ 相等
$\#^{-1}$	将二进制转换为整数表示。若 $A$ 是一个长度为 $n$ 的二进制表示，那么 $\#_n(\#^{-1}(A)) = A$
$X _s$	截取比特块 $X$ 中的左 $s$ 比特
$X _s^r$	截取比特块 $X$ 中的右 $s$ 比特
$X \ll 1$	将比特块 $X$ 左移一位， $Y = X \ll 1$ 的最右一位始终设置为 0
$X \gg 1$	将比特块 $X$ 右移一位， $Y = X \gg 1$ 的最左一位始终设置为 0
len	取长运算，以比特串 $X$ 作为输入，输出值为 $X$ 的比特数
mod	求模运算

## 5 概述

本标准规定的六种可鉴别的加密机制均基于分组密码算法，同时要求数据的始发者和接收者共享密钥。其中，方案 2 和 5 仅能对加密的数据实现数据鉴别，方案 1、3、4、6 还支持对未加密的数据进行数据鉴别。在上述四个支持对未加密数据进行数据鉴别的方案中，

被保护的数据可划分为两部分：

*D*：被加密并进行数据完整性保护的数据；

*A*：额外的可鉴别数据，*A* 被进行数据完整性保护，但是未被加密；*A* 可能为空。

本标准中规定的可鉴别的加密机制需满足以下要求，采用可鉴别的加密机制保护数据的始发者和接收者必须：

- a) 协商使用本标准所规定的某个特定的可鉴别加密机制方案；
- b) 协商使用某个特定的分组密码算法；
- c) 共享一个秘密密钥 *K*：除了方案 5 以外的所有机制中，此秘密密钥应作为选定的分组密码算法的密钥；在方案 5 中，此密钥应作为密钥派生程序的输入。

本标准中规定的可鉴别的加密机制的其它使用指导参见附录 B。

## 6 可鉴别的加密机制方案 1

### 6.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案为 OCB 2.0。具体示例参见附录 C.1。

### 6.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下：

<i>B</i>	函数 <i>J</i> 定义中使用的比特分组
<i>B</i> <sub>1</sub> , <i>B</i> <sub>2</sub> ,..., <i>B</i> <sub><i>w</i></sub>	函数 <i>J</i> 定义中使用的比特分组的序列，其中每个分组长为 <i>n</i> 比特，分组 <i>B</i> <sub><i>w</i></sub> 的长度可能不是 <i>n</i> 比特
<i>C</i> <sub>1</sub> , <i>C</i> <sub>2</sub> ,..., <i>C</i> <sub><i>m</i></sub>	比特分组的序列，是可鉴别加密机制操作得到的部分输出，其中每个分组长为 <i>n</i> 比特，分组 <i>C</i> <sub><i>m</i></sub> 的长度可能不是 <i>n</i> 比特
<i>D</i> <sub>1</sub> , <i>D</i> <sub>2</sub> ,..., <i>D</i> <sub><i>m</i></sub>	对数据 <i>D</i> 进行分块后得到的比特分组序列，其中每个分组长为 <i>n</i> 比特，分组 <i>D</i> <sub><i>m</i></sub> 的长度可能不是 <i>n</i> 比特
<i>E</i>	函数 <i>J</i> 定义中时使用的比特分组
<i>E</i> <sub>0</sub> , <i>E</i> <sub>1</sub> ,..., <i>E</i> <sub><i>w</i>-1</sub>	函数 <i>J</i> 定义中使用的比特分组的序列，其中每个分组长为 <i>n</i> 比特
<i>F</i>	在加密和解密过程中使用的 <i>n</i> 比特分组
<i>H</i>	在加密和解密过程中使用的 <i>n</i> 比特分组
<i>J</i>	在加密和解密过程中使用的函数
<i>k</i>	函数 <i>J</i> 定义中使用的变量
<i>m</i>	表示待加密消息中所包含的 <i>n</i> 比特分组的数量（其中最后一个分组的长度 <i>r</i> 可能不足 <i>n</i> 比特），即消息长度为 $(m - 1)n + r$ 比特
<i>M</i> <sub>2</sub>	在加密和解密过程中使用的函数
<i>M</i> <sub>3</sub>	在加密和解密过程中使用的函数
<i>P</i>	定义函数 <i>M</i> <sub>2</sub> 时使用的 <i>n</i> 比特分组
<i>r</i>	待加密的消息被分块后得到的最后一个分组所包含的比特数
<i>S</i>	开始变量（ <i>n</i> 比特）
<i>T</i>	标签（ <i>t</i> 比特），与加密后的消息拼接，用于提供数据完整性保护
<i>T</i> '	在解密操作中计算得出的标签值
<i>w</i>	函数 <i>J</i> 定义中使用的变量
<i>Z</i>	在加密和解密过程中使用的 <i>n</i> 比特分组

### 6.3 具体要求

在使用此可鉴别的加密机制方案前，数据的始发者和接收者首先需确定长度为  $t$  比特的标签 ( $T$ ) 值，其中  $0 < t \leq n$ 。

### 6.4 函数 $M_2$ 的定义

为定义可鉴别的加密机制方案中的加密和解密程序需要对函数  $M_2$  进行定义。函数  $M_2$  的输入是长度为  $n$  比特的分组，输出也是长度为  $n$  比特的分组。此函数的定义取决于  $n$  比特分组  $P$ 。本标准中只对分组长度为  $n = 64$  和  $n = 128$  情况下的  $P$  进行了定义。

- a) 如果  $n = 64$ ，则  $P = 0^{59} \parallel 11011$ 。
  - b) 如果  $n = 128$ ，则  $P = 0^{120} \parallel 10000111$ 。
- $M_2$  函数定义如下所示，如果  $X$  是一个  $n$  比特的分组，则：
- a) 如果  $X$  的最左一位是 0，则  $M_2(X) = X \ll 1$ ；
  - b) 如果  $X$  的最左一位是 1，则  $M_2(X) = [X \ll 1] \oplus P$ 。

### 6.5 函数 $M_3$ 的定义

为定义对额外的可鉴别数据进行处理的过程需要定义函数  $M_3$ ，函数  $M_3$  的输入是长度为  $n$  比特的分组，输出也是长度为  $n$  比特的分组。如果  $X$  是一个  $n$  比特的分组，则：

$$M_3(X) = M_2(X) \oplus X。$$

### 6.6 函数 $J$ 的定义

函数  $J$  的输入为比特分组  $B$  ( $\text{len}(B) > 0$ )，输出是长度为  $n$  比特的分组  $J(B)$ ， $J(B)$  的计算过程如下：

- a) 将  $B$  进行分块，得到一个数据分组的序列： $B_1, B_2, \dots, B_w$ 。其中， $B_1$  包含  $B$  的第一个  $n$  比特， $B_2$  包含  $B$  的第二个  $n$  比特，依此类推，直到  $B_w$  包含  $B$  的最后  $k$  比特 ( $0 < k \leq n$ )。由此可得， $\text{len}(B) = (w - 1)n + k$ 。
- b) 令  $F = M_3(M_3(e_K(0^n)))$ 。
- c) 令  $E_0 = 0^n$ 。
- d) 对于  $i = 1, 2, \dots, w - 1$ ，执行以下两个步骤：
  - 1)  $F = M_2(F)$ ；
  - 2)  $E_i = E_{i-1} \oplus e_K(B_i \oplus F)$ 。
- e) 令  $F = M_3(M_2(F))$ 。
- f) 如果  $k < n$ ，执行以下两个步骤：
  - 1)  $F = M_3(F)$ ；
  - 2)  $B_w = B_w \parallel 1 \parallel 0^{n-k-1}$ 。
- g)  $J(B) = e_K(E_{w-1} \oplus B_w \oplus F)$ 。

### 6.7 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ 。

- a) 选取一个长度为  $n$  比特的开始变量  $S$ 。对每个被保护的数据应用选取各不相同的  $S$ ，并确保  $S$  可被消息接收者获知。 $S$  的取值无需保证不可预知的或是秘密的。
- b) 将  $D$  进行分块，得到一个数据分组的序列： $D_1, D_2, \dots, D_m$ 。其中， $D_1$  包含  $D$  的第一个  $n$  比特， $D_2$  包含  $D$  的第二个  $n$  比特，依此类推，直到  $D_m$  包含  $D$  的最后  $r$  比特 ( $0 < r \leq n$ )。由此可得， $\text{len}(D) = (m - 1)n + r$ 。
- c) 令  $F = e_K(S)$ ， $H = 0^n$ 。

- d) 对于  $i = 1, 2, \dots, m - 1$ , 执行以下三个步骤:
  - 1)  $F = M_2(F)$ ;
  - 2)  $H = H \oplus D_i$ ;
  - 3)  $C_i = F \oplus e_K(D_i \oplus F)$ 。
- e)  $F = M_2(F)$ 。
- f)  $Z = e_K(\#_n(r) \oplus F)$ 。
- g)  $C_m = D_m \oplus Z|_r$ 。
- h)  $H = H \oplus [D_m \parallel (Z|^{n-r})]$ 。
- i)  $T = [e_K(H \oplus M_3(F))] |_t$ 。
- j) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 则令  $T = T \oplus J(A) |_t$ 。

上述过程的输出, 即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m \parallel T$ , 即一个长度为  $(m - 1)n + r + t$  的比特串, 输出  $C$  的长度比输入  $D$  多  $t$  比特。

## 6.8 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ 。

- a) 如果  $C$  的长度小于  $t$ , 则停止计算并输出 INVALID。
- b) 确定整数  $m$  和  $r$ , 使得  $C$  的比特数等于  $(m - 1)n + r + t$ , 其中  $0 < r \leq n$ 。将  $C$  进行分块, 得到一个数据分组的序列:  $C_1, C_2, \dots, C_m, T$ 。其中,  $C_1$  包含  $C$  的第一个  $n$  比特,  $C_2$  包含  $C$  的第二个  $n$  比特, 依此类推, 直到  $C_m$  包含  $r$  比特 ( $0 < r \leq n$ )。最后, 令  $T$  为  $C$  的最后  $t$  比特。
- c) 令  $F = e_K(S), H = 0^n$ 。
- d) 对于  $i = 1, 2, \dots, m - 1$ , 执行以下三个步骤:
  - 1)  $F = M_2(F)$ ;
  - 2)  $D_i = F \oplus d_K(C_i \oplus F)$ ;
  - 3)  $H = H \oplus D_i$
- e)  $F = M_2(F)$ 。
- f)  $Z = e_K(\#_n(r) \oplus F)$ 。
- g)  $D_m = C_m \oplus Z|_r$ 。
- h)  $H = H \oplus [D_m \parallel (Z|^{n-r})]$ 。
- i)  $T' = [e_K(H \oplus M_3(F))] |_t$
- j) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 则令  $T' = T' \oplus J(A) |_t$
- k) 如果  $T = T'$ , 那么输出数据  $D$  和额外的可鉴别数据  $A$ , 否则输出 IVALID。

## 7 可鉴别的加密机制方案 2

### 7.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案为 Key Wrap。具体示例参见附录 C.2。

### 7.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下:

- $C_0, C_1, \dots, C_m$  可鉴别加密过程产生的输出数据, 由  $(m + 1)$  个长度为 64 比特的分组构成的序列
- $D_1, D_2, \dots, D_m$  对数据  $D$  进行分块后得到的比特分组序列, 由  $m$  个长度为 64 比特的分组构成

$R_1, R_2, \dots, R_m$	在加密和解密过程中计算的比特分组序列，由 $m$ 个长度为 64 比特的分组构成
$Y$	在加密和解密过程中使用的长度为 64 比特的分组
$Z$	在加密和解密过程中计算得到的长度为 128 比特的分组

### 7.3 具体要求

本方案使用的分组密码算法应是 128 位的分组密码算法，即  $n = 128$ 。本方案要求被保护的数据  $D$  应至少包含 128 比特，且数据长度必须是 64 比特的整数倍（即  $\text{len}(D) = 64m$ ， $m > 1$ ）。

### 7.4 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ 。

- 将  $D$  进行分块，得到一个由  $m$  个长度为 64 比特的分组构成的序列  $D_1, D_2, \dots, D_m$ 。其中， $D_1$  包含  $D$  的第一个 64 比特， $D_2$  包含  $D$  的第二个 64 比特，依此类推。
- 将 64 比特块  $Y$  的值设为 0xA6A6A6A6A6A6A6A6（十六进制表示），即二进制的 (10100110 10100110 ... 10100110)。
- 对于  $i = 1, 2, \dots, m$ ，令  $R_i = D_i$ 。
- 对于  $i = 1, 2, \dots, 6m$ ，执行以下四个步骤：
  - $Z = e_K(Y \parallel R_1)$ ;
  - $Y = Z|_{64} \oplus \#_{64}(i)$ ;
  - 对于  $j = 1, 2, \dots, m - 1$ ，令  $R_j = R_{j+1}$ ;
  - $R_m = Z|_{64}$ 。
- $C_0 = Y$ 。
- 对于  $i = 1, 2, \dots, m$ ，令  $C_i = R_i$ 。

上述过程的输出，即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C_0 \parallel C_1 \parallel \dots \parallel C_m$ 。加密过程的输出  $C$  由  $(m + 1)$  个长为 64 比特的分组构成，比输入  $D$  多了 64 比特。

### 7.5 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ 。

- 如果  $\text{len}(C)$  不是 64 的倍数或者是小于 192，计算并输出 INVALID。
- 将  $C$  进行分块，得到一个由  $m + 1$  个长度为 64 比特的数据分组构成的序列  $C_0, C_1, \dots, C_m$ 。其中， $C_0$  包含  $C$  的第一个 64 比特， $C_1$  包含  $C$  的第二个 64 比特，依此类推。
- 令  $Y = C_0$ 。
- 对于  $i = 1, 2, \dots, m$ ，令  $R_i = C_i$ 。
- 对于  $i = 6m, 6m - 1, \dots, 1$  执行以下四个步骤：
  - $Z = d_K([Y \oplus \#_{64}(i)] \parallel R_m)$ ;
  - $Y = Z|_{64}$ ;
  - 对于  $j = m, m - 1, \dots, 2$ ，令  $R_j = R_{j-1}$ ;
  - $R_1 = Z|_{64}$ 。
- 如果  $Y = (10100110 10100110 \dots 10100110)$ （即 0xA6A6A6A6A6A6A6A6），则输出  $D = R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_m$ ，否则输出 INVALID。

## 8 可鉴别的加密机制方案 3

### 8.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案为 CCM。具体示例参见附录 C.3。

### 8.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下：

$B$	用于计算标签 (tag) 值的比特分组
$B_1, B_2, \dots, B_v$	用于计算标签 (tag) 值的比特分组序列, 每个分组为 $n$ 比特
$C_1, C_2, \dots, C_m$	可鉴别加密过程产生的部分输出数据, 由 $m$ 个长度为 128 比特的分组构成的序列
$D_1, D_2, \dots, D_m$	对数据 $D$ 进行分块后得到的比特分组序列, 由 $m$ 个长度为 128 比特的分组构成
$F$	8 比特的标志
$L$	$D$ 的长度 (以字节为单位), 数据长度不包括填充以及长度块 $D_0$
$r$	$D_m$ 包含的字节数
$S$	开始变量, 长度为 $(120 - 8w)$ 比特
$T$	明文标签值, 长度为 $t$ 比特
$T'$	在解密操作中计算得出的标签值
$U$	加密后的标签值, 长度为 $t$ 比特
$v$	用于计算标签值的变量
$w$	消息长度域的长度 (以字节为单位)
$X$	在加密和解密过程中计算的长度为 128 比特的分组
$Y$	在加密和解密过程中计算的长度为 128 比特的分组

### 8.3 具体要求

在使用此可鉴别的加密机制方案前, 数据的始发者和接收者首先需协商确定以下事项:

a)  $t$ : 标签 (tag) 的长度 (以比特为单位),  $t$  的值需在集合  $\{32, 48, 64, 80, 96, 112, 128\}$  中选取;

b)  $w$ : 消息长度域的长度 (以字节为单位),  $w$  的值需在集合  $\{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$  中选取。

$w$  值的选取会影响保护数据的最大长度, 最大的信息长度为  $2^{8w+3}$  位, 即  $2^{8w}$  个字节。

本方案使用的分组密码算法必须是 128 位的分组密码算法, 即  $n = 128$ 。使用本方案保护的数据  $D$  及额外的可鉴别数据  $A$ , 其长度均应是 8 比特的整数倍。

### 8.4 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ 。令  $L = \text{len}(D)/8$ , 即  $L$  是  $D$  的长度, 单位为字节。

a) 选定开始变量  $S$ ,  $S$  包含  $(15 - w)$  个字节 (即  $(120 - 8w)$  比特)。对每个被保护的数据应用选取各不相同的  $S$ , 并确保  $S$  可被消息接收者获知。 $S$  的取值无需保证不可预知的或是秘密的。

b) 对数据  $D$  进行右填充, 填充  $(16 - r)$  个字节的 0 (也就是 0 到 120 个比特的 0), 从而使得  $D$  填充后长度为 128 比特的整数倍。将  $D$  进行分块, 得到一个由  $m$  个长

度为 128 比特的分组构成的序列  $D_1, D_2, \dots, D_m$ 。其中,  $D_1$  包含  $D$  的第一个 128 比特,  $D_2$  包含  $D$  的第二个 128 比特, 依此类推。

- c) 如果  $\text{len}(A) = 0$ , 令标志  $F = 0^2 \parallel \#_3((t-16)/16) \parallel \#_3(w-1)$ 。
- d) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 令标志  $F = 0 \parallel 1 \parallel \#_3((t-16)/16) \parallel \#_3(w-1)$ 。  
说明:  $F$  最左端的一位是“保留位”, 即在当前版本的算法中置为 0, 但在将来的算法中可能会用到。之后的一位置为 0 的含义是所有被保护的数据都已经加密。
- e) 令  $X = e_K(F \parallel S \parallel \#_{8w}(L))$ 。
- f) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 执行以下六个步骤:  
1) 如果  $0 < \text{len}(A) < 65280$ , 令  $B = \#_{16}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;  
2) 如果  $65280 \leq \text{len}(A) < 2^{32}$ , 令  $B = 1^{15} \parallel 0 \parallel \#_{32}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;  
3) 如果  $2^{32} \leq \text{len}(A) < 2^{64}$ , 令  $B = 1^{16} \parallel \#_{64}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;  
4) 将  $B$  进行分块, 得到一个分组序列  $B_1, B_2, \dots, B_v$ 。其中,  $B_1$  包含  $B$  的第一个  $n$  比特,  $B_2$  包含  $B$  的第二个  $n$  比特, 依此类推, 直至  $B_v$  包含  $B$  的最后  $k$  个比特, 其中  $0 < k \leq n$ , 由此可得,  $\text{len}(B) = (v-1)n + k$ ;  
5) 对  $B_v$  进行右填充, 填充  $(n-k)$  比特个 0, 即  $B_v = B_v \parallel 0^{n-k}$ ;  
6) 对于  $i = 1, 2, \dots, v$ , 令  $X = e_K(X \oplus B_i)$ 。
- g) 对于  $i = 1, 2, \dots, m$ , 令  $X = e_K(X \oplus D_i)$ 。
- h) 令  $T = X|_t$ 。
- i)  $F = (0^5 \parallel \#_3(w-1))$ , 且  $Y = (F \parallel S \parallel 0^{8w})$ 。
- j) 令  $U = T \oplus [e_K(Y)]|_t$ 。
- k) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ , 执行以下两个步骤:  
1)  $Y = (F \parallel S \parallel \#_{8w}(i))$ ;  
2)  $C_i = D_i \oplus e_K(Y)$ 。
- l) 令  $Y = (F \parallel S \parallel \#_{8w}(m))$ , 且  $C_m = [D_m \oplus e_K(Y)]|_{8r}$ 。

上述过程的输出, 即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_{m-1} \parallel C_m \parallel$

$U$ 。

## 8.5 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ 。

- a) 如果  $C$  的长度不是 8 比特的整数倍, 停止计算并输出 INVALID。
- b) 如果  $C$  的长度小于  $(t+8)$  比特, 停止计算并输出 INVALID。
- c) 确定整数  $m$  和  $r$ , 使得  $C$  包含  $(128(m-1) + 8r + t)$  比特, 其中  $0 < r \leq 16$ 。将  $C$  进行分块, 得到一个数据分组的序列:  $C_1, C_2, \dots, C_m, U$ 。其中,  $C_1$  包含  $C$  的第一个 128 比特,  $C_2$  包含  $C$  的第二个 128 比特, 依此类推, 直到  $C_m$  包含  $8r$  比特。最后, 令  $U$  为  $C$  的最后  $t$  比特。
- d) 令标志  $F = (0^5 \parallel \#_3(w-1))$ , 且  $Y = (F \parallel S \parallel 0^{8w})$ 。
- e) 令  $T = U \oplus [e_K(Y)]|_t$ 。
- f) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ , 执行以下两个步骤:  
1) 令  $Y = (F \parallel S \parallel \#_{8w}(i))$ ;  
2)  $D_i = C_i \oplus e_K(Y)$ 。
- g)  $Y = (F \parallel S \parallel \#_{8w}(m))$ , 且  $D_m = [C_m \oplus e_K(Y)]|_{8r}$ 。
- h) 令  $D = D_1 \parallel D_2 \parallel \dots \parallel D_m$ , 且令  $L = 16m - 16 + r$ 。
- i) 对  $D_m$  进行右填充, 填充  $(128 - 8r)$  比特个 0, 即  $D_m = D_m \parallel 0^{128-8r}$ 。
- j) 如果  $\text{len}(A) = 0$ , 令标志  $F = 0^2 \parallel \#_3((t-16)/16) \parallel \#_3(w-1)$ 。

- k) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 令标志  $F = 0 \parallel 1 \parallel \#_3((t - 16)/16) \parallel \#_3(w - 1)$ 。
- l) 令  $X = e_K(F \parallel S \parallel \#_{8w}(L))$ 。
- m) 如果  $\text{len}(A) > 0$ , 执行以下六个步骤:
  - 1) 如果  $0 < \text{len}(A) < 65280$ , 令  $B = \#_{16}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;
  - 2) 如果  $65280 \leq \text{len}(A) < 2^{32}$ , 令  $B = 1^{15} \parallel 0 \parallel \#_{32}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;
  - 3) 如果  $2^{32} \leq \text{len}(A) < 2^{64}$ , 令  $B = 1^{16} \parallel \#_{64}(\text{len}(A)/8) \parallel A$ ;
  - 4) 将  $B$  进行分块, 得到一个分组序列  $B_1, B_2, \dots, B_v$ 。其中,  $B_1$  包含  $B$  的第一个  $n$  比特,  $B_2$  包含  $B$  的第二个  $n$  比特, 依此类推, 直至  $B_v$  包含  $B$  的最后  $k$  比特, 其中  $0 < k \leq n$ , 由此可得,  $\text{len}(B) = (v - 1)n + k$ ;
  - 5) 对  $B_v$  进行右填充, 填充  $(n - k)$  比特个 0, 即  $B_v = B_v \parallel 0^{n-k}$ ;
  - 6) 对于  $i = 1, 2, \dots, v$ , 令  $X = e_K(X \oplus B_i)$ 。
- n) 对于  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $X = e_K(X \oplus D_i)$ ;
- o)  $T' = X|_t$ 。
- p) 如果  $T = T'$ , 那么输出在步骤 h) 中计算得出的数据  $D$  和额外的可鉴别数据  $A$ , 否则输出 IVALID。

## 9 可鉴别的加密机制方案 4

### 9.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案为 EAX。具体示例参见附录 C.4。

### 9.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下:

$C_1, C_2, \dots, C_m$	比特分组的序列, 是可鉴别加密机制操作得到的部分输出, 其中每个分组长为 $n$ 比特, 分组 $C_m$ 的长度可能不是 $n$ 比特
$D_1, D_2, \dots, D_m$	对数据 $D$ 进行分块后得到的比特分组序列, 其中每个分组长为 $n$ 比特, 分组 $D_m$ 的长度可能不是 $n$ 比特
$E_0, E_1, E_2$	在加密和解密过程中计算的长度为 $n$ 比特的分组
$M$	在加密和解密过程中使用的函数
$S$	开始变量 ( $n$ 比特)
$T$	标签 ( $t$ 比特), 与加密后的消息拼接, 用于提供数据完整性保护
$T'$	在解密操作中计算得出的标签值
$U$	加密后的标签值, 长度为 $t$ 比特
$W$	在加密和解密过程中计算的长度为 $n$ 比特的分组

### 9.3 具体要求

在使用此可鉴别的加密机制方案前, 数据的始发者和接收者首先需确定标准的长度  $t$ , 其中  $0 < t \leq n$ 。

### 9.4 M 函数定义

为定义可鉴别的加密机制方案中的加密和解密程序需要对函数  $M$  进行定义。函数  $M$  以任意长度的比特串以及一个分组密码的密钥作为输入, 输出为一个长度为  $n$  比特的数据分组。此函数的定义如下所示。

假设  $X$  是一个比特串,  $K$  是选定的分组密码算法的密钥; 那么,  $M_K(X)$  应与利用密钥  $K$  使用 GB/T 15852.1 (对应 ISO/IEC9797-1:2011) 中的 MAC 算法 5 (也称为 OMAC) 对数据  $X$  进行计算得到的结果一致, 其中 MAC 算法使用的分组密码算法与可鉴别加密机制采用的分组密码算法相同。

## 9.5 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ 。

- a) 选取一个长度为  $n$  比特的开始变量  $S$ 。对每个被保护的数据应用选取各不相同的  $S$ , 并确保  $S$  可被消息接收者获知。  $S$  的取值无需保证不可预知的或是秘密的。
- b) 令  $E_0 = M_K(0^n \parallel S)$ 。
- c) 令  $E_1 = M_K(0^{n-1} \parallel 1 \parallel A)$ 。
- d) 令  $W = E_0$ 。
- e) 将  $D$  进行分块, 得到一个数据分组的序列:  $D_1, D_2, \dots, D_m$ 。其中,  $D_1$  包含  $D$  的第一个  $n$  比特,  $D_2$  包含  $D$  的第二个  $n$  比特, 依此类推, 直到  $D_m$  包含  $D$  的最后  $r$  比特 ( $0 < r \leq n$ )。由此可得,  $\text{len}(D) = (m-1)n + r$ 。
- f) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ , 执行以下两个步骤:
  - 1)  $C_i = D_i \oplus e_K(W)$ ;
  - 2)  $W = \#_n(\#^{-1}(W) + 1 \bmod 2^n)$ 。
- g)  $C_m = D_m \oplus [e_K(W)]|_r$ 。
- h)  $E_2 = M_K(0^{n-2} \parallel 1 \parallel 0 \parallel C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m)$ 。
- i)  $T = [E_0 \oplus E_1 \oplus E_2]|_t$ 。

上述过程的输出, 即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m \parallel T$ 。

## 9.6 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ 。

- a) 如果  $C$  的长度小于  $t$ , 则停止计算并输出 INVALID。
- b) 确定整数  $m$  和  $r$ , 使得  $C$  的比特数等于  $(m-1)n + r + t$ , 其中  $0 < r \leq n$ 。将  $C$  进行分块, 得到一个数据分组的序列:  $C_1, C_2, \dots, C_m, T$ 。其中,  $C_1$  包含  $C$  的第一个  $n$  比特,  $C_2$  包含  $C$  的第二个  $n$  比特, 依此类推, 直到  $C_m$  包含  $r$  比特 ( $0 < r \leq n$ )。最后, 令  $T$  为  $C$  的最后  $t$  比特。
- c) 令  $E_0 = M_K(0^n \parallel S)$ 。
- d) 令  $E_1 = M_K(0^{n-1} \parallel 1 \parallel A)$ 。
- e) 令  $E_2 = M_K(0^{n-2} \parallel 1 \parallel 0 \parallel C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m)$ 。
- f)  $T' = [E_0 \oplus E_1 \oplus E_2]|_t$
- g) 如果  $T \neq T'$ , 则停止计算并输出 INVALID。
- h) 令  $W = E_0$ 。
- j) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ , 执行以下两个步骤:
  - 1)  $D_i = C_i \oplus e_K(W)$ ;
  - 2)  $W = \#_n(\#^{-1}(W) + 1 \bmod 2^n)$ 。
- i)  $D_m = C_m \oplus [e_K(W)]|_r$ 。
- j) 输出  $D$  和  $A$ 。

## 10 可鉴别的加密机制方案 5

### 10.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案可以由任意的加密算法和消息鉴别码（MAC）机制组合而成。在本方案中，先对数据进行加密，再对密文计算消息鉴别码（MAC）。具体示例参见附录 C.5。

### 10.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下：

$C'$	对数据 $D$ 加密后得到的比特串
$\delta$	解密函数，分组密钥 $K_1$ 、开始变量 $S$ 及密文 $C'$ 作为函数的输入，使用选定的工作模式进行解密，输出解密后的数据，表示为 $\delta_{K_1, S}(C')$
$\varepsilon$	加密函数，分组密钥 $K_1$ 、开始变量 $S$ 及明文 $D$ 作为函数的输入，使用选定的工作模式进行加密，输出加密后的数据，表示为 $\varepsilon_{K_1, S}(D)$
$f$	MAC 函数，使用密钥 $K_2$ 对数据 $X$ 计算 MAC，表示为 $f_{K_2}(X)$
$K_1$	分组密码使用的密钥
$K_2$	MAC 函数使用的密钥
$S$	开始变量（ $n$ 比特）
$T$	标志（ $t$ 比特），与加密后的消息拼接，用于提供数据完整性保护
$T'$	在解密操作中计算得出的标志值

### 10.3 具体要求

在使用此可鉴别的加密机制方案前，数据的始发者和接收者首先需协商确定以下事项：

- 分组密码算法的工作模式：分组密码算法工作模式可以为 GB/T 17964 中指定的采用除 ECB 模式以外的任意工作模式。
- MAC 算法：MAC 算法应从 GB/T 15852 指定的算法中选择（假设 MAC 算法生成的标签长度为  $t$  比特）；
- 密钥获取方法：双方可通过共享密钥  $K$  获得密钥对  $(K_1, K_2)$ ，其中  $K_1$  是分组密码算法使用的密钥， $K_2$  是 MAC 算法使用的密钥。

### 10.4 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ 。

- 选取一个适合于所选的分组密码算法工作模式的开始变量  $S$ 。在一个密钥的生命周期内，每个被保护的数据应选取各不相同的  $S$ ，并确保  $S$  可被消息接收者获知。对  $S$  的进一步要求可参考 GB/T 17964 相关章节内容以及参见附录 B.7 的内容。
- $C' = \varepsilon_{K_1, S}(D)$ 。
- $T = f_{K_2}(S \parallel C')$ 。

上述过程的输出，即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C' \parallel T$ ，以及开始变量  $S$ 。

### 10.5 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ ，该加密数据  $C$  同时伴有开始变量  $S$ 。

- 如果  $C$  的长度小于  $t$ ，则停止计算并输出 INVALID。

- b) 将  $C$  最右边的  $t$  比特作为  $T$ ，将  $C$  移除最右边  $t$  比特后的其他部分作为  $C'$ ，即  $C = C' \parallel T$ 。
- c) 令  $T' = f_{K_2}(S \parallel C')$ 。
- d) 如果  $T \neq T'$ ，则停止计算并输出 INVALID。
- e)  $D = \delta_{K_1, S}(C')$ 。
- f) 输出  $D$ 。

## 11 可鉴别的加密机制方案 6

### 11.1 简介

本章定义的可鉴别的加密机制方案为 GCM。具体示例参见附录 C.6。

### 11.2 特定符号与标记

本方案涉及的符号与标记如下：

$C_1, C_2, \dots, C_m$	比特分组的序列，是可鉴别加密机制操作得到的部分输出，其中每个分组长为 128 比特，分组 $C_m$ 的长度可能不足 128 比特
$D_1, D_2, \dots, D_m$	对数据 $D$ 进行分块后得到的比特分组，其中每个分组长为 128 比特，分组 $D_m$ 的长度可能不是 128 比特
$G$	在加密和解密过程中使用的函数
$H$	在加密和解密过程中使用的长度为 128 比特的分组
inc	输入与输出均为 128 比特分组的函数， $\text{inc}(X) = (X _{96}) \parallel \#_{32}(\#^{-1}(X ^{32}) + 1 \bmod 2^{32})$ ，其中， $X$ 是长度为 128 比特的分组
$r$	表示待加密消息按每个分组长为 $n$ 比特分块后，最后一个分组的长度，即消息长度为 $(m-1)n + r$ 比特
$R$	在 $\text{GF}(2^{128})$ 有限域内乘法计算所使用的长度为 128 比特的分组
$S$	开始变量 ( $n$ 比特)
$T$	标志 ( $t$ 比特)，与加密后的消息拼接，用于提供数据完整性保护
$T'$	在解密操作中计算得出的标志值
$U, V, W, Z$	定义 $\text{GF}(2^{128})$ 有限域内乘法计算所使用的长度为 128 比特的分组
$X_0, X_1, \dots, X_{k+l+1}$	在函数 $G$ 的计算中使用的长度为 128 比特的分组
$Y_0, Y_1, \dots, Y_m$	在加密和解密过程中使用的长度为 128 比特的分组序列
$\{\}$	长度为 0 的比特串
$\cdot$	在 $\text{GF}(2^{128})$ 有限域内的乘法运算，决定 $\text{GF}(2^{128})$ 的表示形式的多项式为 $1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^7 + \alpha^{128}$

### 11.3 具体要求

在使用此可鉴别的加密机制方案前，数据的始发者和接收者首先需协商确定标签长度  $t$ ， $t$  的取值必须是 8 的整数倍，且满足  $96 \leq t \leq 128$ （在特定情况下  $t$  的值也可以为 32 或 64）。

本方案必须使用 128 位的分组密码算法，即  $n = 128$ 。

#### 11.4 乘法运算·的定义

假设  $U$  和  $V$  都是长度为 128 比特的分组， $U$  和  $V$  的乘法运算  $W = U \cdot V$  定义如下其中  $W$  也是长度为 128 比特的分组。

- a) 令  $R = 11100001 \parallel 0^{120}$ 。
- b) 令  $W = 0^{128}$ 。
- c) 令  $Z = U$ 。
- d) 对于  $i = 0, 1, \dots, 127$ ，执行以下两个步骤：
  - 1) 如果  $v_i = 1$ ， $W = W \oplus Z$ ；
  - 2) 如果  $v_{127} = 0$ ，令  $Z = Z \gg 1$ ；否则  $Z = (Z \gg 1) \oplus R$ 。

上述描述中， $v_i$  表示  $V$  的第  $i$  位 ( $V = v_0 \parallel v_1 \parallel \dots \parallel v_{127}$ )， $v_{127}$  表示  $V$  的最右一位。

#### 11.5 函数 $G$ 的定义

函数  $G$  在加密和解密程序中使用，其输入包括一个长度为 128 比特的分组和两个任意长度的比特串，输出是一个长度为 128 比特的分组。使用  $H$  代表一个长度为 128 比特的分组， $W$  和  $Z$  分别代表两个任意长度的比特串 ( $W$  和  $Z$  可能为空)。整数  $k$  和  $u$  满足  $\text{len}(W) = 128(k-1) + u$  且  $0 < u \leq 128$ ；整数  $l$  和  $v$  满足  $\text{len}(Z) = 128(l-1) + v$  且  $0 < v \leq 128$ 。将  $W$  分块后，得到分组序列  $W_1, W_2, \dots, W_k$ ，每个分组长度为 128 比特，其中最后一个分组  $W_k$  的长度为  $u$  ( $0 < u \leq 128$ )；将  $Z$  分块后，得到分组序列  $Z_1, Z_2, \dots, Z_l$ ，每个分组长度为 128 比特，其中最后一个分组  $Z_l$  的长度为  $v$  ( $0 < v \leq 128$ )。

$G(H, W, Z)$  是 128 比特的值  $X_{k+l+1}$ ，当  $i = 0, 1, \dots, k+l-1$  时， $X_i$  的定义如下：

- a)  $X_0 = 0^{128}$ 。
- b) 对于  $1 \leq i \leq k-1$ ， $X_i = (X_{i-1} \oplus W_i) \cdot H$ ；如果  $k \leq 1$  略过此步。
- c)  $X_k = (X_{k-1} \oplus (W_k \parallel 0^{128-u})) \cdot H$ ；如果  $k = 0$  略过此步。
- d) 对于  $k+1 \leq i \leq k+l-1$ ， $X_i = (X_{i-1} \oplus Z_{i-k}) \cdot H$ ；如果  $l \leq 1$  略过此步。
- e)  $X_{k+l} = (X_{k+l-1} \oplus (Z_l \parallel 0^{128-v})) \cdot H$ ；如果  $l = 0$  略过此步。
- f)  $X_{k+l+1} = (X_{k+l} \oplus [\#_{64}(\text{len}(W)) \parallel \#_{64}(\text{len}(Z))]) \cdot H$ 。

#### 11.6 加密程序

始发者应执行以下步骤来保护数据  $D$ ，并确保额外的可鉴别数据  $A$  的完整性。

- a) 选取一个任意长度的开始变量  $S$ 。对每个被保护的数据应选取各不相同的  $S$ ，并确保  $S$  可被消息接收者获知。无需保证  $S$  的取值是不可预知的或是秘密的。
- b) 将  $D$  进行分块，得到一个数据分组的序列： $D_1, D_2, \dots, D_m$ 。其中， $D_1$  包含  $D$  的第一个 128 比特， $D_2$  包含  $D$  的第二个 128 比特，依此类推，直到  $D_m$  包含  $D$  的最后  $r$  比特 ( $0 < r \leq 128$ )。由此可得， $\text{len}(D) = (m-1)n + r$ 。
- c) 令  $H = e_K(0^{128})$ 。
- d) 如果  $\text{len}(S) = 96$ ， $Y_0 = S \parallel 0^{31} \parallel 1$ ；否则  $Y_0 = G(H, \{\}, S)$ 。
- e) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ ，执行以下两个上步骤：
  - 1)  $Y_i = \text{inc}(Y_{i-1})$ ；
  - 2)  $C_i = D_i \oplus e_K(Y_i)$ 。
- f)  $Y_m = \text{inc}(Y_{m-1})$ 。
- g)  $C_m = D_m \oplus (e_K(Y_m))|_r$ 。
- h)  $T = (G(H, A, C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m) \oplus e_K(Y_0))|_t$ 。

上述过程的输出，即数据  $D$  的可鉴别的加密数据输出为  $C = C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m \parallel T$ 。

本方案产生的可鉴别的加密数据  $C$  比原始数据  $D$  增加了  $t$  比特，此外，数据始发者还需将变长的开始变量  $S$  和额外的可鉴别数据  $A$  发送给收者。

### 11.7 解密程序

接收者应执行以下步骤来解密和验证可鉴别的加密数据  $C$ ，并验证额外的可鉴别数据  $A$ 。

- a) 如果  $C$  的长度小于  $t$ ，则停止计算并输出 INVALID。
- b) 确定整数  $m$  和  $r$ ，使得  $C$  的比特数等于  $(m-1)n+r+t$ ，其中  $0 < r \leq n$ 。将  $C$  进行分块，得到一个数据分组的序列： $C_1, C_2, \dots, C_m, T$ 。其中， $C_1$  包含  $C$  的第一个  $n$  比特， $C_2$  包含  $C$  的第二个  $n$  比特，依此类推，直到  $C_m$  包含  $r$  比特 ( $0 < r \leq n$ )。最后，令  $T$  为  $C$  的最后  $t$  比特。
- c) 令  $H = e_K(0^{128})$ 。
- d) 如果  $\text{len}(S) = 96$ ， $Y_0 = S \parallel 0^{31} \parallel 1$ ；否则  $Y_0 = G(H, \{ \}, S)$ 。
- e)  $T' = (G(H, A, C_1 \parallel C_2 \parallel \dots \parallel C_m) \oplus e_K(Y_0))|_t$ 。
- f) 如果  $T \neq T'$ ，则停止计算并输出 INVALID。
- g) 对于  $i = 1, 2, \dots, m-1$ ，执行以下两个步骤：
  - 1)  $Y_i = \text{inc}(Y_{i-1})$ ；
  - 2)  $D_i = C_i \oplus e_K(Y_i)$ 。
- h)  $Y_m = \text{inc}(Y_{m-1})$ 。
- i)  $D_m = C_m \oplus (e_K(Y_m))|_r$ 。
- j) 输出  $D$  与额外的可鉴别数据  $A$ 。

附录 A  
(规范性附录)  
ASN.1 模块

```
AuthenticatedEncryption {
    iso (1) standard (0) authenticated-encryption (19772) asn1-module (0)
    authenticated-encryption-mechanisms (0) }
DEFINITIONS EXPLICIT TAGS ::= BEGIN
-- IMPORTS None; --
OID ::= OBJECT IDENTIFIER
AuthenticatedEncryptionMechanism ALGORITHM ::= {
    ae-mechanism1 |
    ae-mechanism2 |
    ae-mechanism3 |
    ae-mechanism4 |
    ae-mechanism5 |
    ae-mechanism6
}
-- Synonyms --
is19772 OID ::= { iso (1) standard (0) authenticated-encryption (19772) }
mechanism OID ::= { is19772 mechanisms (1) }
ae-mechanism1 OID ::= { mechanism 1 }
ae-mechanism2 OID ::= { mechanism 2 }
ae-mechanism3 OID ::= { mechanism 3 }
ae-mechanism4 OID ::= { mechanism 4 }
ae-mechanism5 OID ::= { mechanism 5 }
ae-mechanism6 OID ::= { mechanism 6 }
END -- AuthenticatedEncryption -
```

附 录 B  
(资料性附录)  
方案的使用指导

## 简介

本附录为本标准中规定的可鉴别的加密机制方案的使用提供指导。任一方案的使用需要选择与该方案匹配的参数，A.3 至 A.8 节给出了相关参数选择的建议。本节以下部分对使用本标准所规定的所有方案应满足的需求提供了建议。

所有方案中使用的分组密码算法应为 GM/T 0002-2012 指定的密码算法或由国家密码管理机构批准的密码算法，若为符合国际标准要求，使用的分组密码算法应从 ISO/IEC 18033-3 标准确定的密码算中选择。

分组密码算法中的分组长度  $n$  应至少为 64 比特，推荐使用分组长度为 128 比特 ( $n = 128$ ) 的分组密码算法。在方案 2、3 和 6 中，必须使用  $n = 128$  的分组密码算法。

所有方案要求数据始发者和接收者共享秘密密钥  $K$ 。该密钥只能由通信双方，或者是为了实现通信双方共享密钥的可信第三方知晓。密钥产生及相关的管理方法不属于本标准范畴，可参考相关标准执行，若为符合国际标准，建议使用 ISO/IEC 11770-2 或 ISO/IEC 11770-3 标准中规定的密钥建立方案。

所有六种方案都需要选择标记 (tag) 的长度。该参数的选择会影响发送给接收者的受保护数据的完整性和来源真实性。

## 方案的选择

本标准中的所有方案都具有高级别的安全性。然而，在特定的应用中，某些方案会比其他方案更合适。在进行方案选择时，应对表 1 中给出的因素以及表后列出的内容进行考虑。

表 1 各方案特点

方案序号	1	2	3	4	5	6
加密长度为 $q$ 比特的消息所需的分组加密运算次数	$q/n$	$12[q/n]$	$2q/n$	$2q/n$	取决于选定的加密与 MAC 方式	$q/n$
是否需要使用授权	是	否	否	否	取决于选定的加密与 MAC 方式	否
是否针对短消息设计	否	是	否	否	否	否
加密前是否需知道消息的长度	否	否	是	否	否	否
是否需要开始变量	是	否	是	是	是	是

- a) 方案 3 和 4 是将采用 CTR 模式的分组密码算法与消息鉴别码相结合；
- b) 方案 5 提供了将标准化的密码算法和 MAC 算法结合的方法。如果这些功能已经可用，那么方案 5 在实施上具有一定的优势；
- c) 方案 6 适于高吞吐量硬件实现，因为该方案的实现不会存在流水线停滞的问题。

## 方案 1

方案 1 需要确定标签 (tag) 长度参数  $t$  ( $t \leq n$ )。参数  $t$  的取值取决于该方案的应用环

境，建议使用  $t \geq 64$ ，除非有充分的理由做出不同的选择。

#### 方案 2

方案 2 要求使用分组长度为 128 比特 ( $n = 128$ ) 的分组密码算法。

#### 方案 3

方案 3 要求使用分组长度为 128 比特 ( $n = 128$ ) 的分组密码算法。

该方案要求标签 (tag) 长度参数  $t$  的取值应从集合 {32, 48, 64, 80, 96, 112, 128} 中选取。参数  $t$  的取值取决于该方案的应用环境，建议使用  $t \geq 64$ ，除非有充分的理由做出不同的选择。

该方案要求消息长度域的长度参数  $w$  的取值应从集合 {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} 中选取。参数  $w$  的取值取决于该方案的应用环境，参数  $w$  值的大小不影响方案的安全性。参数  $w$  取值越大，可持的消息长度越大；相反的，会使用开始变量  $S$  的长度减小。即使  $w$  取最大值 8，开始变量  $S$  仍可以有 56 比特，56 比特的开始变量可以满足大部分应用对于每个消息使用不同开始变量的要求。对大多数应用而言，建议  $w$  取值为 4，即  $w = 4$ ，即最大消息长度为  $2^{32} \approx 4 \times 10^9$  字节。

#### 方案 4

方案 4 需要确定标签 (tag) 长度参数  $t$  ( $t \leq n$ )。参数  $t$  的取值取决于该方案的应用环境，建议使用  $t \geq 64$ ，除非有充分的理由做出不同的选择。

#### 方案 5

方案 5 需要选择分组密码算法的工作模式和 MAC 算法，该方案的安全性取决于上述两个因素的安全性。

无论使用何种分组密码的工作模式，强烈建议在可能的开始变量空间中均匀地随机选取开始变量  $S$ 。如果不依照此建议执行，将无法确保该方案的安全性，在某些环境下，可能遭受攻击。

选择 MAC 算法时，应考虑结合可鉴别的加密机制的应用环境，并遵循 GB/T 15852 给出的意见。如果选用了基于分组密码的 MAC 算法，应注意以下两点：

- a) MAC 算法 1 仅可在消息长度确定的情况下使用；
- b) 填充方法 1 仅可在消息长度确定的情况下使用。

#### 方案 6

方案 6 要求使用分组长度为 128 比特 ( $n = 128$ ) 的分组密码算法。

该方案使用变长的开始变量  $S$ ，其长度应满足  $1 \leq \text{len}(S) \leq 2^{64}$ 。保证开始变量在一个密钥的生存周期内不会被重复使用，这一点对该方案的安全性至关重要。

标签长度参数  $t$  的取值必须是 8 的整数倍，且满足  $96 \leq t \leq 128$  ( $t = 32$  和  $t = 64$  需谨慎使用，仅在特定应用中可以使用，具体使用说明请见附录 A)。

需要被可鉴别的加密机制进行保护的数据  $D$  应满足  $\text{len}(D) \leq 2^{39} - 256$ ，额外的可鉴别数据  $A$  应满足  $\text{len}(A) \leq 2^{64}$ 。 $D$  和  $A$  所包含的数据分组的数量总和不能超过  $2^{64}$ 。对于任何给定的密钥  $K$ ，加密操作的总数最多为  $2^{32}$ ，除非在该密钥每次被使用时，对应的开始变量  $S$  长度为 96 比特，即  $\text{len}(S) = 96$ 。

附录 C  
(资料性附录)  
数据示例

### C.1 简介

本附录使用 SM4 分组密码算法实现标准中规定的可鉴别加密机制方案(不包括方案 5), 针对每一种方案给出具体的数据示例。本附录给出的数据示例均以 16 进制数表示。

### C.2 方案 1

以下针对相同密钥  $K$  和开始变量  $S$ , 分别给出了 5 组明文消息  $D_i$ 、密文  $C_i$  和标签  $T_i$  的数据示例, 其中标签  $T$  的长度  $t$  为 128 比特。

$K$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$S$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$D_1$ : 0001020304050607

$C_1$ : A88BDD6BB85EBFDC

$T_1$ : 05C727B371D13827AA48A4BDA807AD98

$D_2$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$C_2$ : 73FC911CA5EC906D2609333A58312844

$T_2$ : 80116A977548AF07E00DCA91491C73A2

$D_3$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

1011121314151617

$C_3$ : 26D17DC3ECA5A59BF4AC4EF19EE1DFBF

D99C488B08528114

$T_3$ : 9AFD9B759BFA5A78AF12B4BEC4CA1347

$D_4$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

101112131415161718191A1B1C1D1E1F

$C_4$ : 26D17DC3ECA5A59BF4AC4EF19EE1DFBF

4976319CB983908D27B0ABAA395CD81D

$T_4$ : CEB9C4B18BF807207AC9E73381AECB14

$D_5$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

101112131415161718191A1B1C1D1E1F

2021222324252627

$C_5$ : 26D17DC3ECA5A59BF4AC4EF19EE1DFBF

E8CFBF6736FF73269682058B422CF73E

29395BF1DE028FC0

$T_5$ : C7D247299787083A6593AB8553A5D0DD

### C.3 方案 2

以下针对相同密钥 $K$ ，分别给出了4组明文消息 $D_i$ 、密文 $C_i$ 的数据示例。

$K$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$D_1$ : 0001020304050607 08090A0B0C0D0E0F

$C_1$ : C8965070ACFBE416219080544FEE6453  
3D1D7F61FE77B5BF

$D_2$ : 0001020304050607 08090A0B0C0D0E0F

1011121314151617

$C_2$ : 49F92F32A6FAC552 C8731D66E4E00B5D  
F4EEC22383CA75CC8BBBF9D2F2BB8E4F

$D_3$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

101112131415161718191A1B1C1D1E1F

$C_3$ : BE8827031E9585CF183D810683A6794D  
38500F9420D6A4D9AC83BC0BD9FE95FA  
F25F8067BF34F7B

$D_4$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

101112131415161718191A1B1C1D1E1F

2021222324252627

$C_4$ : E2AFC9BA0E146CC684B70B6F1A281E3F  
E869E77B4A9D1F0F084ACFD781FAE6C9  
139916895539B4F5773D4BE371965BFE

### C.4 方案 3

以下针对相同密钥 $K$ 和开始变量 $S$ ，分别给出了6组明文消息 $D_i$ 、密文 $C_i$ 和加密后标签 $U_i$ 的数据示例，其中 $t = 128$ ， $w = 2$ （因此， $S$ 必须为104比特）。

$K$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$S$ : 000102030405060708090A0B0C

$D_1$ : 空（即  $L=0$ ）

$C_1$ : 空

$U_1$ : 36D53BC3E931A547849F7D044ACE0515

$D_2$ : 0001020304050607

$C_2$ : 273204E39F4F4F9E

$U_2$ : 92D2BF3926B24C4AF2EB8A5945B22F3C

$D_3$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$C_3$ : 273204E39F4F4F9E602809EC9AA0A411  
 $U_3$ : 143F95B9B1FACDD7FE38C8705FEF8F93

$D_4$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
 1011121314151617

$C_4$ : 273204E39F4F4F9E602809EC9AA0A411  
 C97F81AFF1D6FE96

$U_4$ : 0087CD0ED720F051A18DC2FF1BB076DC

$D_5$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
 101112131415161718191A1B1C1D1E1F

$C_5$ : 273204E39F4F4F9E602809EC9AA0A411  
 C97F81AFF1D6FE96BA1EE8304D4EE9F0

$U_5$ : 458B0B5A993D40AC57AA1EE01F46D337

$D_6$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
 101112131415161718191A1B1C1D1E1F

2021222324252627

$C_6$ : 273204E39F4F4F9E602809EC9AA0A411  
 C97F81AFF1D6FE96BA1EE8304D4EE9F0

548DFEB8F12C39CC

$U_6$ : CAB0AC757E5DD7A6882BA59AF3D53092

### C.5 方案 4

以下针对相同密钥 $K$ 和开始变量 $S$ ，分别给出了6组明文消息 $D_i$ 、密文 $C_i$ 和标签 $T_i$ 的数据示例，其中 $t = 128$ 。

$K$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$S$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$D_1$ : 空 (即 $m=0$ )

$C_1$ : 空

$T_1$ : 72A775827AB4258C4332D84CE607D7A1

$D_2$ : 0001020304050607

$C_2$ : 8D4B0E9BCDF63E0A

$T_2$ : 9C864CB61B71647007D3313EABC55A87

$D_3$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F

$C_3$ : 8D4B0E9BCDF63E0A1D7566451CE7B43A

$T_3$ : A098F58D2984BB0C06437473D95A2BC2

$D_4$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
 1011121314151617

$C_4$ : 8D4B0E9BCDF63E0A1D7566451CE7B43A

4A2FD41A1A01EE4F

$T_4$ : 4D86AA50FF95AD05FEB1131D40ED9FF1

$D_5$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
101112131415161718191A1B1C1D1E1F

$C_5$ : 8D4B0E9BCDF63E0A1D7566451CE7B43A  
4A2FD41A1A01EE4F02A04D0F52CB5379

$T_5$ : 8FB7A88B255A5472A40B45B1FD2F2E2C

$D_6$ : 000102030405060708090A0B0C0D0E0F  
101112131415161718191A1B1C1D1E1F  
2021222324252627

$C_6$ : 8D4B0E9BCDF63E0A1D7566451CE7B43A  
4A2FD41A1A01EE4F02A04D0F52CB5379

F1B4BC37ED9A5BBF

$T_6$ : 9395E68CB9AFDF298D748EEDE0E1C9B6

### C.6 方案 6

以下针对相同密钥 $K$ 和开始变量 $S$ ，给出了2组明文消息 $D_i$ 、密文 $C_i$ 和标签 $T_i$ 的数据示例，其中 $t = 128$ ，且额外的可鉴别数据为空。

$K$ : 00000000000000000000000000000000

$S$ : 00000000000000000000000000000000

$D_1$ : 空 (即  $m=0$ )

$C_1$ : 空

$T_1$ : 232F0CFE308B49EA6FC88229B5DC858D

$D_2$ : 00000000000000000000000000000000

$C_2$ : 7DE2AA7F1110188218063BE1BFEB6D89

$T_2$ : B851B5F39493752BE508F1BB4482C557

## 参考文献

- [1] M. Bellare and C. Namprempe, 'Authenticated encryption: Relations among notions and analysis of the generic composition paradigm'. In: T. Okamoto (ed.), Advances in Cryptology - ASIACRYPT 2000, 6th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security, Kyoto, Japan, December 3-7, 2000, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science 1976, SpringerVerlag (2000) pp. 531-545
  - [2] M. Bellare, P. Rogaway and D. Wagner, 'The EAX mode of operation'. In: B. K. Roy, W. Meier (eds.): Fast Software Encryption, 11th International Workshop, FSE 2004, Delhi, India, February 5-7, 2004, Revised Papers. Lecture Notes in Computer Science 3017, Springer-Verlag (2004) pp. 389-407.
  - [3] ISO/IEC 9797 (all parts), Information technology — Security techniques — Message Authentication Codes (MACs)
  - [4] ISO/IEC 10118 (all parts), Information technology — Security techniques — Hash-functions
  - [5] ISO/IEC 11770 (all parts), Information technology — Security techniques — Key management
  - [6] ISO/IEC 18033-1:2005, Information technology — Security techniques — Encryption algorithms —Part 1: General
  - [7] T. Krovetz and P. Rogaway, The OCB Authenticated-Encryption Algorithm, IETF draft draft-krovetzocb-00.txt, March 2005
  - [8] National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 800-38D: Recommendation for Block Cipher Modes of Operation: Galois/Counter Mode (GCM) and GMAC. November 2007
  - [9] National Institute of Standards and Technology, AES Key Wrap Specification. NIST, November 2001
  - [10] National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 800-38C: Recommendation for Block Cipher Modes of Operation: The CCM Mode For Authentication and Confidentiality. May 2004
  - [11] J. Schaad and R. Housley, RFC 3394: Advanced Encryption Standard (AES): Key Wrap Algorithm. IETF, September 2002
  - [12] D. Whiting, R. Housley and N. Ferguson, RFC 3610: Counter with CBC-MAC (CCM). IETF, September 2003
-