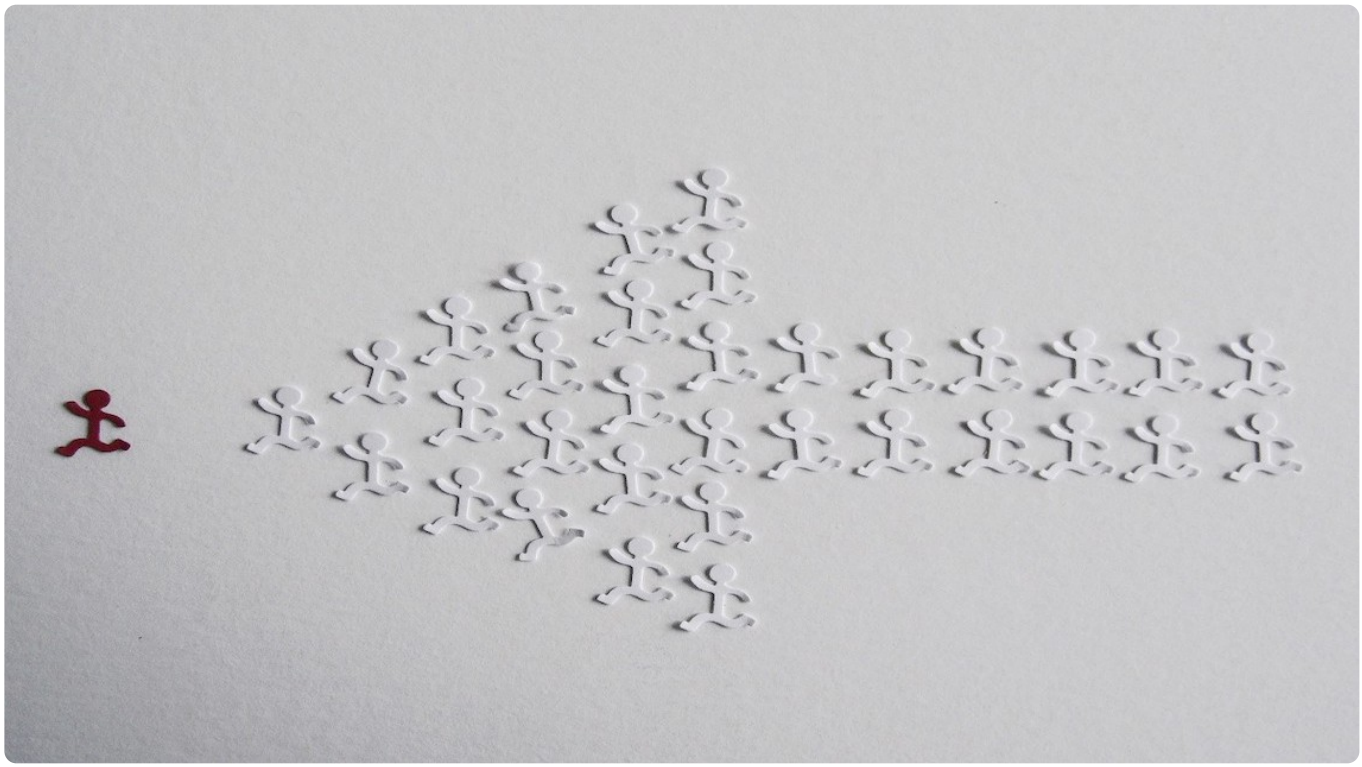
08 | 该怎么选择初始化向量？

2020-12-09 范学雷

实用密码学 进入课程 >



讲述：范学雷
时长 11:05 大小 10.17M

你好，我是范学雷。

上一讲，我们讨论了对称密钥的常见算法，还讲到了序列算法和分组算法。还记得吗？当时，我建议你优先使用序列算法，因为它有着良好的性能和皮实的用法。另外，我还向你推荐了 AES-256 和 AES-128。

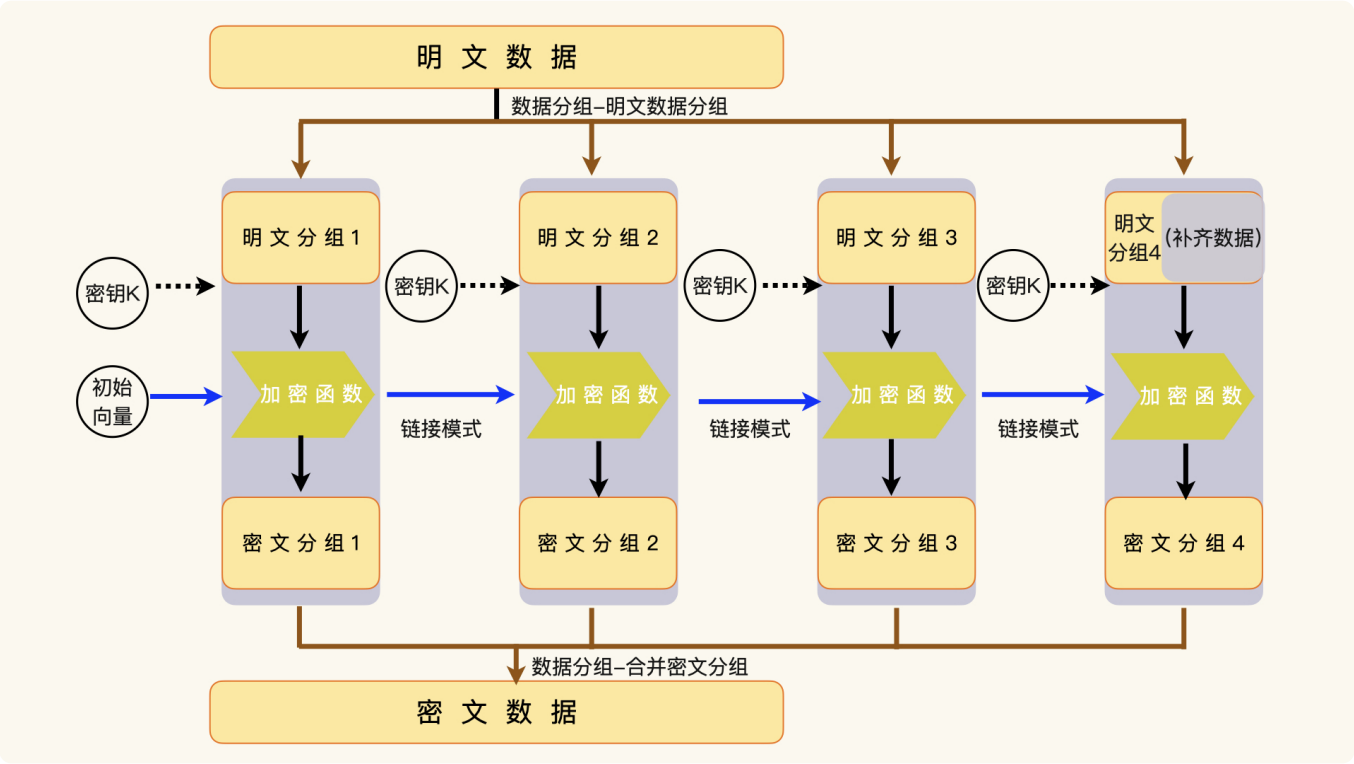
但是，由于我们还没有考虑数据分组等因素的影响，所以这个建议的实用性还有待商榷。那么，这一讲，我们就来看看对于分组算法，到底有哪些麻烦？我们又该怎么避免这些麻烦？

其实，这是一个解决起来很复杂的问题。不过，今天我们可以先对问题建立一个初步的认知。

要知道分组算法有哪些麻烦，就要先知道该怎么计算分组算法。

分组算法怎么计算?

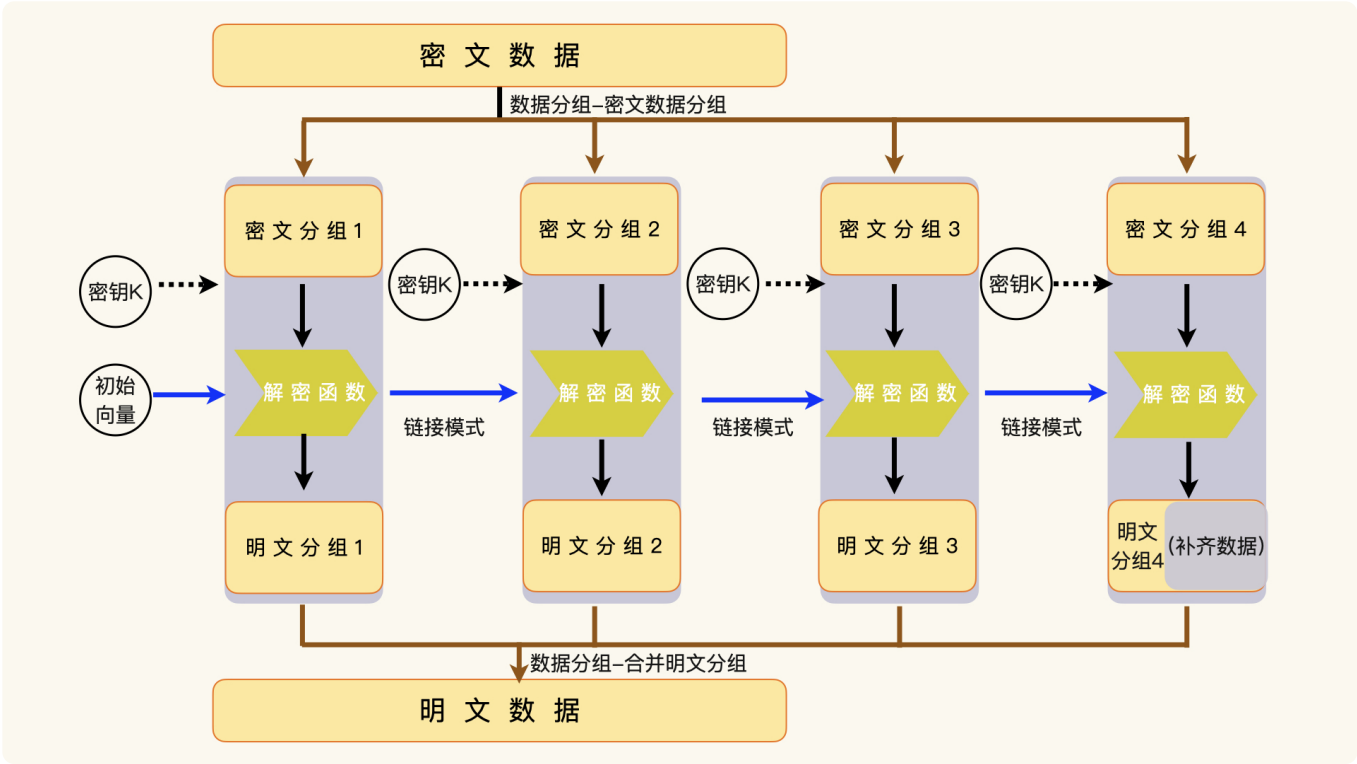
我们在上一讲说过，分组算法要对输入数据进行分组，然后按数据分组来进行运算。一个典型的分组算法，一般要由三个部分组成，数据分组、分组运算和链接模式。



我们先来看看数据分组是怎么一回事。

数据分组在加密时，会把明文的输入数据分割成加密函数能够处理的数据块。比如，AES 算法能够处理的数据块大小是 128 位，那么，输入数据就要被分割成一个或者多个 128 位的小数据块。

如果不能整分，就要把最后一个分组补齐成 128 位。这些分组数据的运算结果，组合起来就是**密文数据**。解密时，执行相反的操作，把补齐数据去掉，再把数据分组组合成完整的明文数据。



理解了数据分组，我们再来看分组运算和链接模式。

分组运算，意思就是把每一个明文数据分组通过加密函数，转换成密文数据分组。而**链接模式**，指的是如何把上一个分组运算和下一个分组运算联系起来。

有一点需要说，第一个分组运算并没有上一个分组运算可以使用，这时候，我们就需要引入一个初始化的数据，来承担“上一个分组运算”向下链接的功能。这个初始化的数据，我们一般称为**初始化向量**。

那你有没有想过，我们为什么要把上一个分组运算和下一个分组运算联系起来呢？其实，我们在前面讨论过单向散列函数的链接模式，我们说它是为了确保雪崩效应能够延续。

在分组运算里，链接模式也承担类似的功能：

> 不同的明文数据，它的密文数据应该是完全不同的，即使明文数据里包含相同的数据分组；
>
> 相同的明文数据，每一次的加密运算，它的密文数据也应该是完全不同的。

什么影响算法的安全性？

现在，我们已经梳理了一遍分组算法的运算过程了。这样，我们就能够在其中找到影响分组算法的关键因素。这些因素，也就是影响分组算法安全性的因素。

在数据分组里，把输入数据分割成固定大小的数据块这一部分，除了数据补齐之外，没有什么变数。所以，我们可以发现，数据补齐方案才是影响分组算法的关键部分。

这样，我们就不难找出下面的五个因素：

加密函数和解密函数；

密钥；

初始化向量；

链接模式；

数据补齐方案。

通过上一讲的讨论，我想我们都了解加密函数、解密函数和密钥在分组算法中的重要地位了。如果加密函数不安全，整个分组算法的安全性也就坍塌了；如果密钥没有做好保密或者密钥质量不好，数据的保密性也就无从谈起。

比如说，我们经常看到宣传，说什么采用了 AES-256 算法，安全强度有保障；说什么只有造一台时光机，穿越回历史现场，才能破解一个应用。这些说法，有它的道理，但是仅仅依据这些信息，还不能确认一个算法的使用和运算是不是安全的。

另外三个因素，就是经常被我们忽视的因素。那么，它们是怎么影响算法安全性的呢？

初始化向量怎么选？

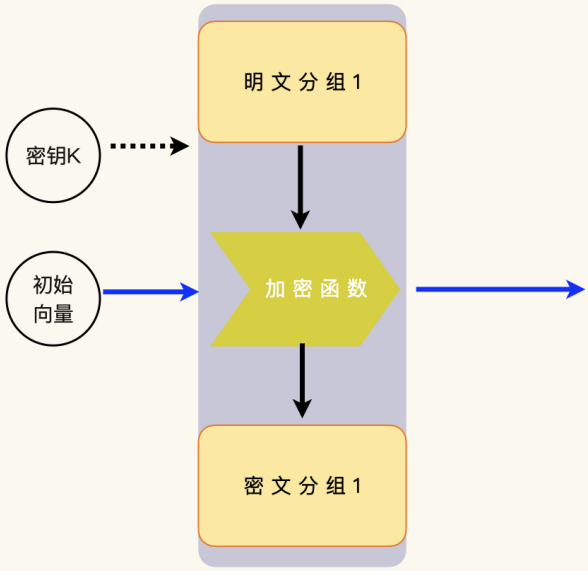
我们今天先讨论第一个影响的因素：初始化向量。

我们要想了解初始化向量对算法安全性的影响，就要先看看第一个数据块是怎么计算的，第一个数据块和初始化向量关系紧密。第一个数据块的计算，它的输入信息包括：

密钥；

初始化向量；

第一个明文数据分组。



如果我们能够确定这些输入信息，那么输出的第一个密文数据分组也就确定了。

一般来说，一个对称密钥要使用多次，对多个明文数据进行加密运算。如果存在第一个明文数据分组相同的两段数据，并且使用了相同的初始化向量，那么第一个密文数据分组就是相同的。

也就是说，相同的输入，就会有相同的输出。

对于大部分算法而言，分组数据块都比较小，比如，AES 算法的分组数据块大小是 16 个字节。这样，在实际应用中，就比较容易构造相同的数据块，或者存在相同的数据块。

在现实的应用里，也存在大量的、重复的、已知的数据，比如 HTTP 协议的头部数据。如果我们需要保密的数据恰好重复了一段已知的明文，攻击者就可以根据密文数据是不是相同，来猜测、寻找明文数据。这样的话，就破坏了数据的保密性。

但是，我们在使用加密运算时，大部分时候都没有办法确定明文数据会不会有重复数据，以及重复数据会不会是一次加密运算的第一个数据块。所以，如果不想暴露重复数据的机密性，我们只能在初始化向量这一个因素上想办法。因为，密钥是相同的，如果第一个明文数据分组也是相同的，只剩下初始化向量这一个输入信息可以控制了。

在一个对称密钥的生命周期里，初始化向量不能重复，这是使用对称密钥算法的第一个要求。

这个要求看似简单，其实做起来并不容易。一个单纯的加密算法的实现，一般没有办法记住一个初始化向量有没有用过。这就需要应用程序的开发者自己想办法，常见的办法有两种：

使用安全强度足够的随机数作为初始化向量；

使用序列数，下一次的初始化向量的数值，比上一次的数字自动加一或者自动减一。

不过，这两种初始化向量的选择，还是各有各的问题，我们需要注意。

第一种，随机数的获取，有时候不是一个有效率的运算。如果随机数发生器选择不当，还会造成加密运算的阻塞，进一步降低加密运算的效率。另外，由于解密需要相同的初始向量，如何在加密端和解密端同步初始化向量，也是一个需要考虑的问题。

一个常见的解决办法，就是把初始化向量和加密数据一起发送给对方。

第二种的话，使用序列数，需要保持序列数的状态，还需要加密运算的同步。不过，序列数状态的保持和同步，除了效率之外，还会衍生出其他的待解决的问题，比如分布式计算环境下的序列数同步问题，比如攻击者会知道每一个初始化向量的问题。

如果你能够看到的问题无法解决，可以考虑使用随机数作为初始化向量。

你看，初始化向量选择充满了复杂性，一般的密钥算法库都不会提供缺省的、自动的初始化向量。**应用程序需要根据使用场景来制定适当的初始化向量选择方案，这是一个容易忽略的要求。**

一个密钥能用多少次？

在这一讲的最后，我们来讨论一个话题，一个密钥有没有使用次数的限制呢？为什么要在这一讲讨论这个话题呢？因为，我想，这是一个恰当的时机。

前面，我们讨论了，在一个对称密钥的生命周期里，初始化向量不能重复。也就是说，对于一个算法来说，初始化向量的长度是固定的。长度固定，也就意味着初始化向量的个数是有限制的。

比如，一个 128 位的初始化向量，最多有 2^ 128 个不重复的数值。进一步的说，对于这个算法，一个密钥最多只能使用 2^ 128 次。的确看起来，2^128 是一个巨大的数字，一般的应用程序也没有什么机会使用这么多次加密运算。

当然，还有其他因素限制密钥的使用次数。很多限制因素的叠加，就会使得密钥使用的限制数远远低于初始化向量的许可数目。所以，**我们心里一定要知道，密钥是有使用次数限制的，并且要有检查密钥使用次数限制的习惯。**

这是一个不太引人注意的安全陷阱，也是近几年才受到广泛关注的算法安全问题。我们后面还会讨论其他的限制条件，并且我会罗列出来不同算法的使用限制。

之后的两讲，我们就接着今天的话题，看看除了初始化向量之外，链接模式和数据补齐方案是怎么影响对称密钥算法的安全性的？这两个问题的讨论，需要较大篇幅，不过我会带你一起分析。

Take Away（今日收获）

今天，通过解构分组算法的运算，我们讨论了影响分组算法安全性的五个关键因素。然后讨论了选择初始化向量应该注意的陷阱，也就是说，在使用对称密钥加密时，初始化向量不能重复。

最后，我们还讨论了一个不太容易受关注的问题，就是密钥是有使用次数限制的。一般的应用程序，密钥使用次数限制不是问题，但是如果你要设计一个广泛使用的协议，还是要考虑密钥这个限制的。密钥使用次数用完之前，一定要更新密钥。

今天，我们应该理解、记住：

分组算法的处理过程；

影响对称密钥算法安全性的五个关键因素；

在一个对称密钥的生命周期里，初始化向量不能重复。

思考题

今天的思考题，也是一个动手题。

在你正在开发的项目中，或者你关注的开放源代码项目中，试着搜索一下初始化向量的使用。看一看对于同一个对称密钥，初始化向量会不会重复，有没有可能重复。如果一个对称密钥使用了重复的初始化向量，有没有潜在的安全风险？你有没有什么建议？

欢迎在留言区留言，记录、讨论你的发现和建议。

好的，今天就这样，我们下次再聊。

提建议

上一篇 07 | 怎么选择对称密钥算法?

下一篇 加餐 | 密码学，心底的冷暖

精选留言 (6)

写留言

彩色的沙漠

2020-12-11

前段时间把项目中对称加密的链接模式由ECB改为了CBC模式。但是向量是固定的前后端约定好的。如果使用不重复的初始化向量又存在发送给后端的保密性问题

展开

作者回复: 由于初始化向量不需要保密，可以使用明文传输的初始化向量。每一次加密，都附上初始化向量。传输的数据是：初始化向量 + 密文。以前的TLS就是这么做的。 不过，现在CBC也要快退役了，建议换到Chacha20/Poly1305或者AES-GCM。这两个模式我们稍后会讲到的。

2

Ender0224
2020-12-12

使用第二种方案即序列数做为初始化向量，文中提到会遇到分布式序列同步问题， 和攻击者知道序列数的风险。 可以详细解释下吗， 我理解:
1. 分布式系统下的全局ID应该都有自己成熟的方案，或者是使用数据库自增 或者 redis生成，应该不存在同步问题了吧
2. 初始化向量本身就是非敏感信息，攻击者知道这些序列值 也不会引入什么风险吧?

展开

作者回复: #1 就是解决同步问题的办法之一。但是，无论是数据库还是redis，都降低了效率。

#2，这是一个好问题。我写的时候，也想过，这一句是不是会引来讨论。讨论真的就来了。我们后面会讲对加密算法的攻击。重复的初始化向量，一般来说是没有问题的；但是如果没有注意到这些攻击，重复的和已知的初始化向量，会让攻击变得更容易得手。

1 1

Ender0224
2020-12-12

项目中加密使用安全随机数函数生成初始化向量，解密处有点不一样，为了兼容历史版本(历史版本使用了固定初始化向量)，走了两套分支，即如果是老版本加密的，则使用固定向量解密，否则则使用和密文一起存储的随机初始化向量解密。

展开

作者回复: 嗯，有的时候为了兼容性，要牺牲很多。如果只是本地存储，可能问题还不大；如果要走网络传递，可能会有安全问题。这个还是进一步要分析数据流的场景，才能确定是不是真的有问题。

1

Litt1eQ
2020-12-09

感觉使用重复的iv会对安全性产生影响 但是我不太清楚具体影响的程度 一般来说iv会跟着加密之后灯内容一块发送 以我目前所能掌握的知识只能了解到这些 我记得分组密码存在一个ecb模式 这个模式没有iv 希望老师可以普吉一下更多的知识 对于密钥长度的限制是我之前所不了解的 感谢老师

展开

作者回复: 重复的iv，相同的明文就有相同的密文，文章里有讲的，这是一般的加密不允许的。下一节我们讲ECB模式。


天天有吃的
2020-12-09

问题2：密钥使用次数 < 初始化向量次数，可以防止第一个数据分组输出相同的加密后内容，密钥还有什么别的限制呢，按道理密钥没有重复性的要求应该比初始化向量要求更低呀？

作者回复: 你问题提的都很好！密钥的限制问题，我们后面专门会讲的。


天天有吃的
2020-12-09

小白打卡中...
问题1：初始化向量除了不能重复，这里的位数（文中128位）是怎么确定的？怎么保证尽可能的不重复？除了不重复还有没有什么限制？

作者回复: 位数是由数据块的大小确定的。使用随机数或者序列数，是两个解决重复问题的措施，文中有讲的。其他的限制就要看具体的链接模式了，有的还有，有的就没有了，或者我还不知道有没有。