山东大学

SHANDONG UNIVERSITY

汇总报告

山东大学网络空间安全学院

创新创业实践课程报告

刘莹　　202100460164

实验环境：

硬件环境:	处理器：AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics 3.30 GHz 内存: 16.0 GB (13.9 GB 可用)
软件环境:	操作系统：win 10 μC/OS-II:专门为嵌入式应用设计的实时操作系统。 ARM Cortex-M3 编程模型: ARM Cortex-M3 的嵌入式微处理器作为硬件环境的处理器。 IDLE (Python 3.9 64-bit) ：用于编写 python 代码。 Visual Studio 2019:用于编写 C 及 C++代码。

完成项目列表:

项目序号	项目名称
project2	implement the Rho method of reduced SM3
project 3	implement length extension attack for SHA256
project 5	implement Merkle Tree following RFC6962
project 10	report on the application of this deduce technique in Ethereum with ECDSA
project 14	Implement a PGP scheme with SM2
project 15	implement sm2 2P sign
project 16	implement sm2 2P decrypt
project 17	比较 Firefox 和谷歌的记住密码插件的实现区别
project 22	research report on MPT

Project_2: 实现简化 SM3 的 Rho 方法

实现思路：该实验设计 f 函数为 f:H(x)f:H(x),即 Wi=H(Wi−1)Wi=H(Wi−1)(除第一次输入信息 mm 外，f 函数输入输出均为 256bit)

Polladr rho method to fing collision：利用了生日悖论，使碰撞的复杂度降到 O(n−−√)O(n) 级别，同时能有效避免内存过大。
其思想是：利用 f 函数随机游走，构造出随机序列，可以发现，该序列发展到一定程度，会得到与之前相同的元素，形成环。因此可以应用到哈希函数中。
如何找环？如何找到进入环的元素（即找到哈希碰撞）？可以通过 Floyd 判圈法，规定两个指针，其中一个按照序列一步一步走，另外一个两步两步走。当两者相遇时，即找到了一个环，此时找到进入环的元素的两个前驱，即可找到一对碰撞。
如何找到刚进入环的元素？定义两个指针，一个指向初始信息 mm，另外一个指向上一步两个指针相遇的点 hh，两个指针都是一步一步走，最后相遇的点即为第一次进入环的点。
值得注意的是，要避免信息 mm 在环上，因此初始值要大于 256bit。

硬件环境：

处理器：AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics 3.30 GHz

内存: 16.0 GB (13.9 GB 可用)

软件环境：

操作系统：win 10

Visual Studio 2019:用于编写 C 代码。

实现方式：#c

运行时间：测试十次平均运行时间为 0.078s

测试结果：

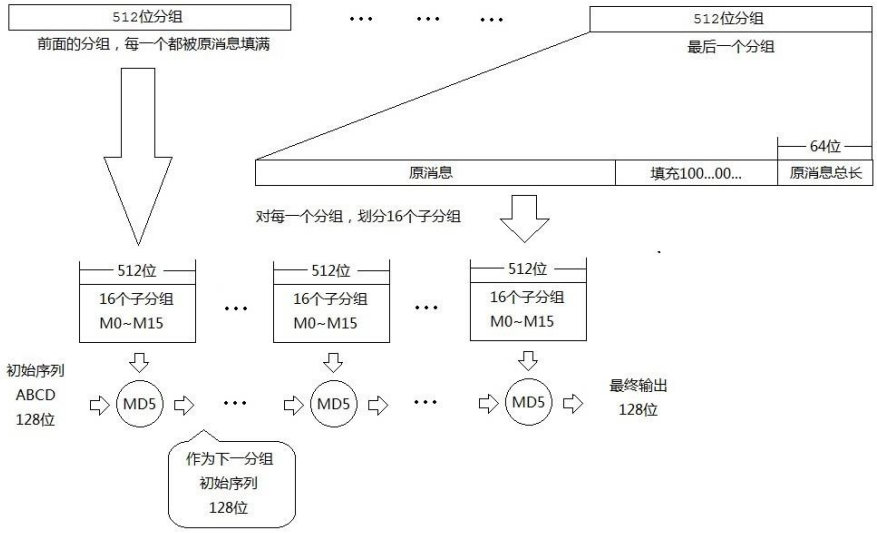
```
测试信息为：sdu123
其hash值为：
AF 87 28 DB 21 17 7F 1E C3 DC 8E 48 A9 8F 57 A1 8A 27 C0 C3 DC 50 00 8A 28 74 52 DB 2E 8C 73 DD
碰撞结果为：
AE E8 CE 9A 2F 63 13 03 FF EC CE 56 CA 09 4F 62 AF 9D D5 D3 D8 8B 19 29 A2 9C AA 2E 5F 0A 32 77
其hash值为：
AF 87 B5 9C D8 C1 F8 E7 8F 2C 91 D9 E3 CF 19 36 A9 2C 6F F8 61 7E 7C 24 05 A5 6E F6 B9 C0 E1 F6
运行时间：0.084s
请按任意键继续. . .
```

Project_3: 对 SHA256 进行长度扩展攻击

大致描述：

系统会自动生成一串任意的字节串 secret，以及一串明文 c1 然后进行哈希加密，m1=hash(secret+c1);我们可以得到加密后的密文 m1，然后我们需要提供一个密文 m2，以及一串明文 c2 使得 m2=hash(secret+c2);一般来说，c1 in c2,c2 实际上为 c1 的拓展部分，我们需要把明文的长度拓展一下，进行攻击，然后即可得到 flag。

攻击原理：



分块：哈希计算进行加密时，通常是将明文信息以类似块密码的形式进行分组，对各个组块依次加密，每一块一般为 512bit，也就是 64bytes，每组的明文部分为 56bytes，剩下的 8bytes 表示这块明文消息未填充前的长度。

填充：在明文消息的最后一块一般是不满足 56ytes 时就对这个最后一块进行 padding 填充，填充至 56bytes 的位置，，填充方式为，在 16 进制下，我们需要在消息后添加一个 80，然后加 0，直至 56bytes 时。

变量计算：哈希加密的在分块之后，每块在进行加密运算之前都会有一个链变量(key)，有每一个链变量与该块进行运算，除了第一块，每一块相对应的链变量都是前一块进行哈希计算后的字符串生成的，也就是说，每一块都对下一块有影响，（有点类似于 CBC 了），而第一块会有一个初始的链变量，为（无需考虑计算过程的细节）

而最后一块生成的链变量需要进行高低位互换（如：aabbccdd -> ddccbbaa），再拼接在一起就是我们计算出来的哈希值。

硬件环境：处理器：AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics 3.30 GHz

内存: 16.0 GB (13.9 GB 可用)

软件环境：操作系统：win 10；IDLE (Python 3.9 64-bit) ： 用于编写 python 代码。

实现方式：python

运行时间：测试十次平均运行时间为 18.2354263ms

测试结果：

```
随机生成的k1为： 272e1e45b1a21a0d67825ef507dd97ad70bae70fc5eb27d8f6e0679824d5afe
4
输入key的16进制:E4B8ADE59BBDE79A84EBA8B0
输入哈希值
fdcelab25fc052472e8723b576bfc4f5eb6834e7c38023a826e79d8fccd07909
fdcelab25fc052472e8723b576bfc4f5eb6834e7c38023a826e79d8fccd07909
b'flag{welcome}'
运行时间： 14.466472625732422 ms
```

Project_5: 按照 RFC6962 实现 Merkle 树

Merkle Tree，通常也被称作 Hash Tree，顾名思义，就是存储 hash 值的一棵树。Merkle 树的叶子是数据块(例如，文件或者文件的集合)的 hash 值，非叶节点是其对应子节点串联字符串的 hash。

Hash 是一个把任意长度的数据映射成固定长度数据的函数。例如，对于数据完整性校验，最简单的方法是对整个数据做 Hash 运算得到固定长度的 Hash 值，然后把得到的 Hash 值公布在网上，这样用户下载到数据之后，对数据再次进行 Hash 运算，比较运算结果和网上公布的 Hash 值进行比较，如果两个 Hash 值相等，说明下载的数据没有损坏。可以这样做是因为输入数据的稍微改变就会引起 Hash 运算结果的面目全非，而且根据 Hash 值反推原始输入数据的特征是困难的。

生成一棵完整的 Merkle 树需要递归地对 Hash 节点对进行 Hash，并将新生成的 hash 节点插入到 Merkle 树中，直到只剩一个 Hash 节点，该节点就是 Merkle 树的根。在比特币的 Merkle 树中两次使用到了 SHA256 算法，因此其加密哈希算法也被称为 double-SHA256。

(本次 Merkle Tree 构建过程使用的 hash 函数为 SHA-256)

实现方式：c++

Project_10: ECDSA 中的应用报告

ECDSA 算法介绍报告

202100460164 刘莹

一、ECDSA 概述

椭圆曲线数字签名算法（ECDSA）是使用椭圆曲线密码（ECC）对数字签名算法（DSA）的模拟。与普通的离散对数问题（DLP）和大数分解问题（IFP）不同，椭圆曲线离散对数问题没有亚指数时间的解决方法。因此椭圆曲线密码的单位比特强度要高于其他公钥体制。

数字签名算法（DSA）在联邦信息处理标准 FIPS 中有详细论述，称为数字签名标准。它的安全性基于素域上的离散对数问题。可以看作是椭圆曲线对先前离散对数问题（DLP）的密码系统的模拟，只是群元素由素域中的元素数换为有限域上的椭圆曲线上的点。椭圆曲线离散对数问题远难于离散对数问题，单位比特强度要远高于传统的离散对数系统。因此在使用较短的密钥的情况下，ECC 可以达到于 DL 系统相同的安全级别。这带来的好处就是计算参数更小，密钥更短，运算速度更快，签名也更加短小。

二、ECDSA 原理

ECDSA 是 ECC 与 DSA 的结合，整个签名过程与 DSA 类似，所不一样的是签名中采取的算法为 ECC，最后签名出来的值也是分为 r,s。

签名过程如下：

1、选择一条椭圆曲线 Ep(a,b)，和基点 G；

2、选择私有密钥 k（k<n，n 为 G 的阶），利用基点 G 计算公开密钥 K=kG；

3、产生一个随机整数 r（r<n），计算点 R=rG；

4、将原数据和点 R 的坐标值 x,y 作为参数，计算 SHA1 做为 hash，即 Hash=SHA1(原数据,x,y)；

5、计算 s≡r - Hash * k (mod n) 6、r 和 s 做为签名值，如果 r 和 s 其中一个为 0，重新从第 3 步开始执行

验证过程如下：

1、 接受方在收到消息(m)和签名值(r,s)后，进行运算 。

2、计算：sG+H(m)P=(x1,y1), r1≡ x1 mod p。

3、验证等式：r1 ≡ r mod p。 4、如果等式成立，接受签名，否则签名无效。

ECDSA 处理过程：

1.参与数字签名的所有通信方都使用相同的全局参数，用于定义椭圆曲线以及曲线上的基点

2.签名者首先生成一对公、私钥。对于私钥，选择一个随机数或者伪随机数作为私钥，利用随机数和基点算出另一点，作为公钥。

3.对消息计算 Hash 值，用私钥、全局参数和 Hash 值生成签名

4.验证者用签名者的公钥、全局参数等验证。

全局参数：

q　一个素数

a，b　Z_q 上的整数，通过等式 $y^2 = x^3 + ax + b$ 定义椭圆曲线

G　满足椭圆曲线等式的基点，表示为 $G = (x_g, y_g)$

n　点 G 的阶，即 n 是满足 $nG = O$ 的最小正整数

密钥生成：

每个签名者都要生成一对公、私钥，假设是 Bob。

(1)选择随机整数 d，$d \in [1, n-1]$。

(2)计算 $Q = dG$。得到一个曲线 $E_q(a, b)$ 上的解点。

(3)Bob 的公钥是 Q，私钥是 d。

这里是定义在Z_q

上的椭圆曲线，椭圆曲线上的乘法运算就是多个点的累加运算，最后的结果还是

椭圆曲线上的点，有了公钥之后，Bob 对消息 m 生成 320 字节的数字签名：

(1)选择随机或伪随机整数 k，$k \in [1, n-1]$。

(2)计算曲线的解点 $P = (x, y) = kG$，以及 $r = x \bmod n$。如果 $r = 0$ 则跳至步骤(1)。

(3)计算 $t = k^{-1} \bmod n$。

(4)计算 $e = H(m)$，这里 H 是 Hash 函数 SHA-1，产生 160 位的 Hash 值。

(5)计算 $s = k^{-1}(e + dr) \bmod n$。如果 $s = O$，则跳至步骤(1)。

(6)消息 m 的签名是 (r, s) 对。

第 2 步确保最后算出的公钥（椭圆曲线上的点）是落在曲线上。第 5 步，如果为

O 点也是不符合的，所以也要重新生成。

Alice 在获得 Bob 的公钥和全局参数后，即可校验签名。

(1)检验 r 和 s 是否为 1 到 $n-1$ 之内的整数。

(2)使用 SHA-1，计算 160 位的 Hash 值 $e = H(m)$。

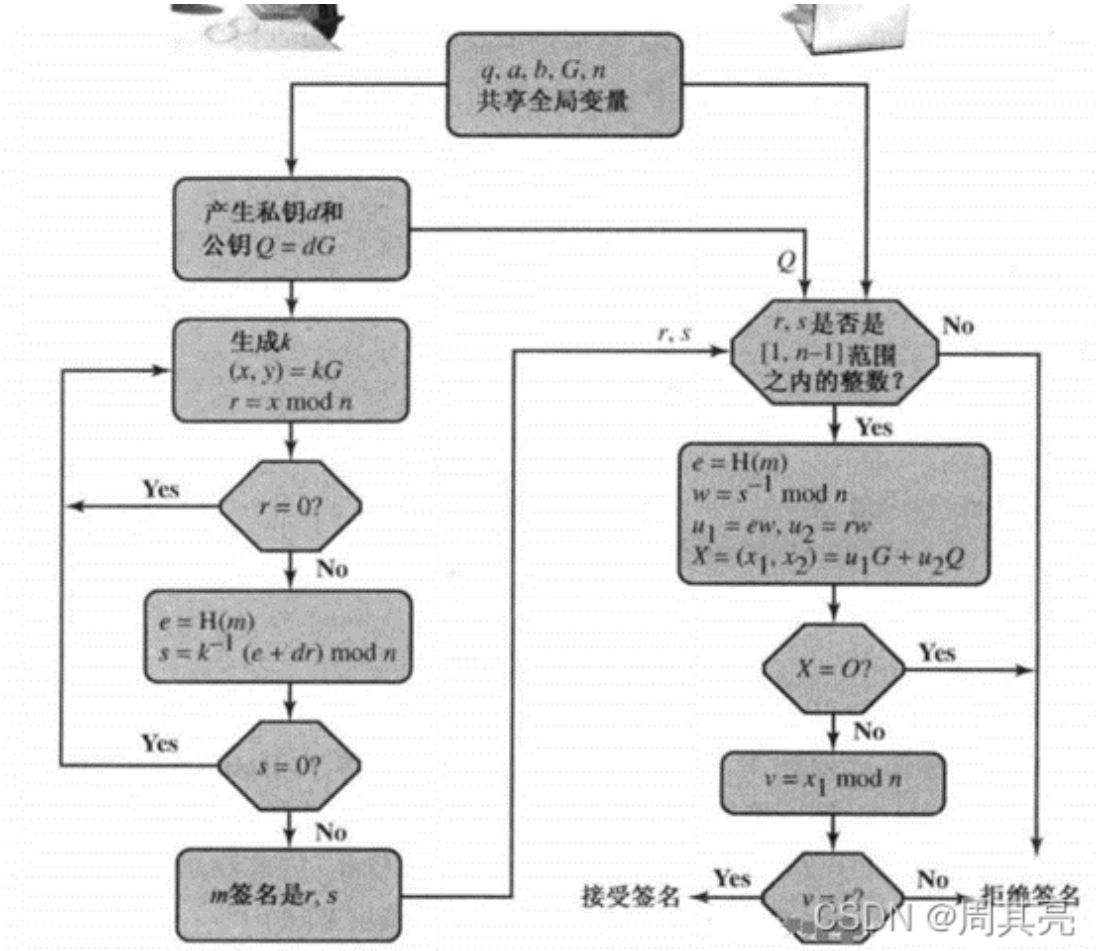
(3)计算 $w = s^{-1} \bmod n$。

(4)计算 $u_1 = ew$ 和 $u_2 = rw$。

(5)计算解点 $X = (x_1, y_1) = u_1 G + u_2 Q$。

(6)如果 $X = O$，拒绝该签名；否则计算 $v = x_1 \bmod n$。

(7)当且仅当 $v = r$ 时，接受 Bob 的签名。



该过程有效性证明如下，如果 Alice 收到的消息确实是 Bob 签署的，那么

s = (e+dr)k^-1 mod n

于是 k= (e+dr)s^-1 mod n

= (e s^-1 + dr s^-1) mod n

= (we +wdr) mod n

=(u1 + u2d) mod n

现在考虑 u1G + u2Q = u1G + u2dG = (u1 + u2d)G = KG

在验证过程的步骤 6 中，有 v = x1 mod n，这里解点 X =(x1,y1) = u1G + u2Q。

因为

R = x mod n 且 x 是解点 kG 的 x 坐标，又因为 我们已知 u1G + u2Q = KG，

所以可得到 v = r。

三、ECDSA 的实践

实施 ECDSA 时出现的一些问题在曲线和密钥生成或签名生成和验证过程中可能会出现一些漏洞。我们只调查与椭圆曲线的选择有关的问题。在实施过程中出现的一般问题，例如不检查一个点是否是无穷大的点，在这里不涉及。

第一个漏洞可能是操纵：建议的安全曲线可能有一个后门不安全因素。

比特币和以太坊使用一个固定的曲线--secp256k1--并且只生成私钥和公钥。根据 Safecurves,椭圆曲线 secp256k1 可以被认为有些“僵硬"，这意味着几乎所有的参数对公众是透明的，因此可以假设不是为了弱点而生成的。

3.1.梯子

椭圆曲线 E 上的一个点 P 的标量乘法在 ECDSA 中经常使用--例如用于公钥的生成。所谓的 Mont- gomery 梯子是一种快速而简单的算法，可以在恒定时间内完成这一计算。为了实现这个阶梯，椭圆曲线必须是一个特定的形状。secp256k1 曲线不允许使用蒙哥马利阶梯。作为一个序列，除了简单和高效之外，secp256k1 可能会因为某些计算的时间不恒定而泄露信息，从而导致侧信道攻击。这已经导致了成功的密钥提取，并反映在 libsecp256ki 实现套件中（见[GPP+16]）。笔者不知道这个实现是否快速和简单。Brier-Joye 梯子也可以应用，但会使运算速度降低很多。最后，Safecurves 推荐蒙哥马利的单坐标梯子，因为它更容易实现对我们接下来讨论的攻击的保护。

3.2.扭曲的安全性

正如[BHH+14]中指出的，无效曲线攻击可能导致 secp256k1 的严重漏洞。因此，攻击者使用一个类似的椭圆曲线--原始曲线的扭曲--而只是假装使用原始曲线。如果这个扭曲在第 2.2 节的意义上是不安全的，而且实现者没有检查攻击者建议的点是否位于原始曲线上，那么他就有很大的机会在一些查询之后提取私钥。现在，secp256k1 的标准二次扭曲也是一条安全的曲线(群的 cardinality 有 220 位素数；但更大的自动变形群又导致了四个扭曲。它们的最大素数除数是 133、i88、135 和 16l，但也有较小的素数因子，使得攻击可能更加可行。一条不是扭曲安全的曲线需要在签名和验证过程中检查这些点是否真的在曲线上。这一点是可以做到的，但会使实现的效率和安全性降低。关于这种攻击的更多细节，我们可以参考[FLRVo8]，在那里我们可以找到一个关于 secp256k1 的计算实例。

3.3.完整性和不可分性

椭圆曲线上的加法和标量乘法的公式对于曲线上的某些特定点可能会略有变化。一个没有照顾到这些例外情况的实现会产生错误。完整性是指曲线没有例外情况。曲线 secp256k1 上的标量乘法是不完整的。 椭圆曲线上的点的表示通常可以从随机产生的字符串中区分出来。为了掩盖椭圆曲线上的点的外观，有一些可用的策略（参见[BL13]）。这些构造不适用于 secp256k1。

3.4.多个 ECDLP

在比特币中，任何用户的公钥都是由 secp256k1，他们的私钥和基点 P 产生的。情况看起来如下。假设我们有 L 个用户，他们的公钥 Qi = ai PE(Fp), 1 iL。如

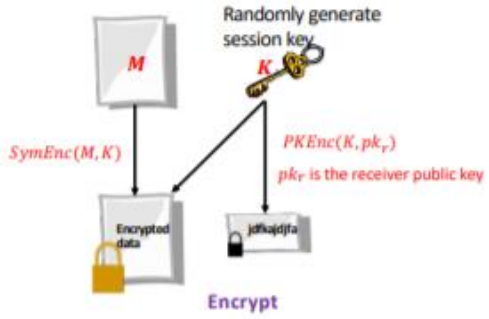
果有人想找到他们的私钥，她必须解决以下离散对数问题。l Qi = ai P(1 ≤i≤ L)。我们必须要解决 L 倍的离散对数问题吗?或者可以利用 ECDLPs 发生在同一基点 P 的椭圆曲线上的事实?到目前为止，还没有已知的算法能够更快地找到一个实例的解决方案。但使用 Pollard's rho 方法的扩展版本，一旦找到一个，就能逐步加速找到其他的解。例如，如果 L<r 八，r 是我们组的大小，Kuhn 和 Struik 表明，我们平均需要 2rL 组操作。在[HMVo4]第 164 页提出的 Pollard's rho 的扩展算法，在找到第一个实例后，第二个 ECDLP 的运行时间降低了 50%，第三个降低了 37%，以此类推。所以我们必须确保找到一个实例是不可行的，而 secp256k1 做到了。

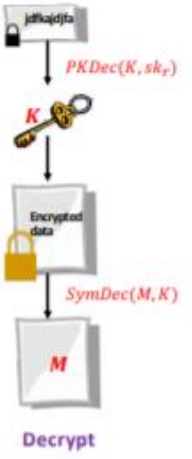
参考文献：

1.https://weibo.com/ttarticle/p/show?id=2309404720225936605782#_loginLayer_1659241375037
2.Hartwig Mayer.ECDSA Security in Bitcoin and Ethereum: a Research Survey

Project_14:用 SM2 实现 PGP 方案

- Generate session key：SM2 key exchange
- Encrypt session key：SM2 encryption
- Encrypt data： Symmetric encryption





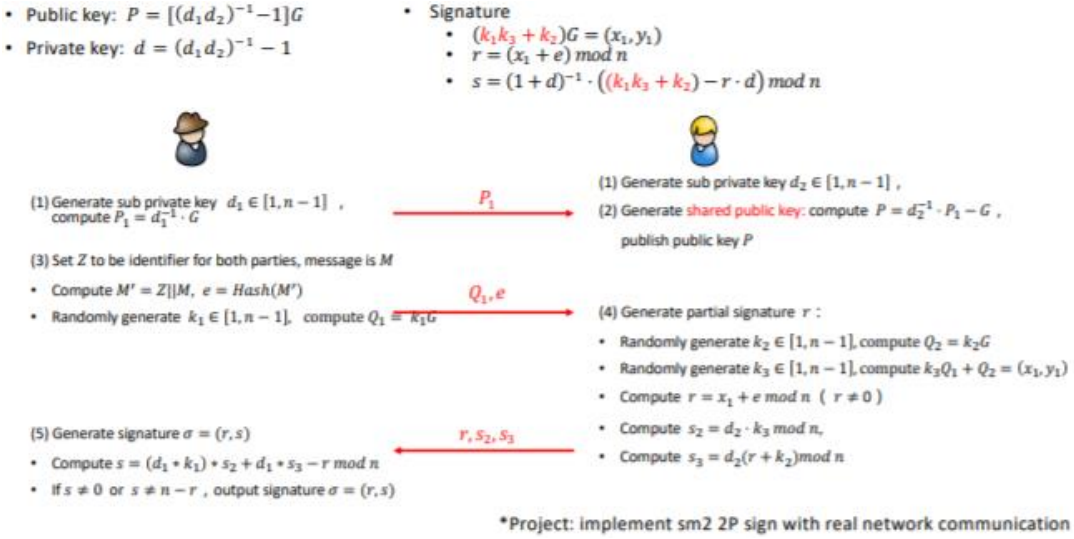
*Project: Implement a PGP scheme with SM2

PGP 技术是一个基于非对称加密算法 RSA 公钥体系的邮件加密技术，也是一种操作简单、使用方便、普及程度较高的加密软件。PGP 技术不但可以对电子邮件加密，防止非授权者阅读信件；还能对电子邮件附加数字签名，使收信人能明确了解发信人的真实身份；也可以在不需要通过任何保密渠道传递密钥的情况下，使人们安全地进行保密通信。PGP 技术创造性地把 RSA 非对称加密算法的方便性和传统加密体系结合起来，在数字签名和密钥认证管理机制方面采用了无缝结合的巧妙设计，使其几乎成为最为流行的公钥加密软件包。

PGP 使用两个密钥来管理数据：一个用以加密，称为公钥（Public Key）；另一个用以解密，称为私钥(Private Key)。公钥和私钥是紧密联系在一起的，公钥只能用来加密需要安全传输的数据，却不能解密加密后的数据；相反，私钥只能用来解密，却不能加密数据。

实现方式：python
运行时间：测试十次平均运行时间为 0.1035746573s

Project_15: 实现 sm2 2P 签名



签名流程：M' = ZA || Msg，e = Hash(M')，并转为大数；生成随机数 k，范围 0<k<n；计算 kG = (x1, y1)，r = (e + x1) mod n，若 r0 或(r+kn)则重新生成 k；s = (k-rd) / (1+d) mod n，若 s==0 则重新生成 k；返回签名(r, s)

ZA: 关于用户 A 的可辨别标识、部分椭圆曲线系统参数和用户 A 公钥的杂凑值。

验签流程：检查 r, s 范围，M' = ZA || Msg，e = Hash(M')，并转为大数；t = (r + s) mod n，若 t==0，则验证不通过；(x1, y1) = sG + tQ，计算 R = (e + x1) mod n == r 是否成立，成立则验签通过。

硬件环境:

处理器：AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics 3.30 GHz

内存: 16.0 GB (13.9 GB 可用)

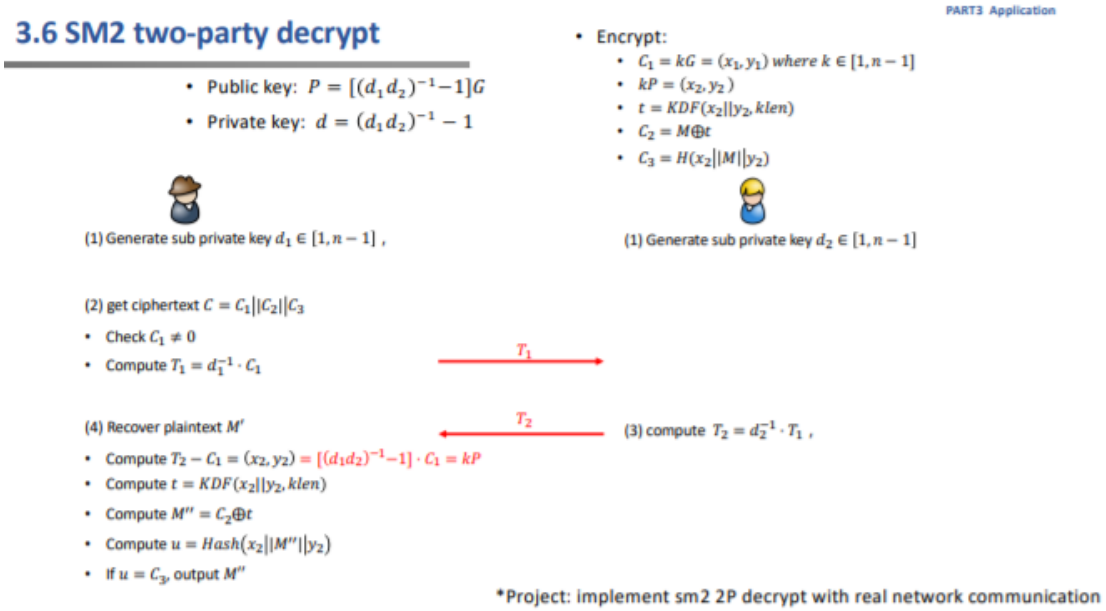
软件环境:

操作系统：win 10

Visual Studio 2019:用于编写 C 代码。

实现方式：#c

Project_16:实现 sm2 2P 解密



算法步骤：

1. 加密算法

设需要发送的消息为比特串 M，klen 为 M 的比特长度。

为了对明文 M 进行加密，作为加密者的用户 A 应实现以下运算步骤：

A1：用随机数发生器产生随机数 k∈[1,n-1]；

A2：计算椭圆曲线点 C1=[k]G=(x1,y1)，将 C1 的数据类型转换为比特串；

A3：计算椭圆曲线点 S=[h]PB，若 S 是无穷远点，则报错并退出；

A4：计算椭圆曲线点[k]PB=(x2,y2)，将坐标 x2、y2 的数据类型转换为比特串；

A5：计算 t=KDF(x2 || y2, klen)，若 t 为全 0 比特串，则返回 A1；

A6：计算 C2 = M ⊕ t；

A7：计算 C3 = Hash(x2 || M || y2)；

A8：输出密文 C = C1 || C2 || C3。

2. 解密算法

设 klen 为密文中 C2 的比特长度。

为了对密文 C=C1 || C2 || C3 进行解密，作为解密者的用户 B 应实现以下运算步骤：

B1：从 C 中取出比特串 C1，将 C1 的数据类型转换为椭圆曲线上的点，验证 C1 是否满足椭圆曲线方程，若不满足则报错并退出；

B2：计算椭圆曲线点 S=[h]C1，若 S 是无穷远点，则报错并退出；

B3：计算[dB]C1=(x2,y2)，将坐标 x2、y2 的数据类型转换为比特串；

B4：计算 t=KDF(x2 || y2, klen)，若 t 为全 0 比特串，则报错并退出；

B5：从 C 中取出比特串 C2，计算 M′ = C2 ⊕ t；

B6：计算 u = Hash(x2 || M′ || y2)，从 C 中取出比特串 C3，若 u ≠ C3，则报错并退出；

B7：输出明文 M′。

函数简要介绍:

1. 数据类型转换

本部分所定义的函数实现了域元素、字节串、比特串、整数等数据类型的转换，方便计算与阅读。

def int_to_bytes(x, k)：实现整数到字节串的转换。接收非负整数 x 和字节串的目标长度 k，k 满足 2^8k > x。返回值是长为 k 的字节串。注意字节串长度 k 是给定的参数!

def bytes_to_int(M)：字节串到整数的转换。接受长度为 k 的字节串。返回值是整数 x。

def bits_to_bytes(s)：比特串到字节串的转换。接收长度为 m 的比特串 s。返回长度为 k 的字节串 M。其中 k = [m/8] 向上取整。先判断字符串整体是否能正好转换为字节串，即长度是否为 8 的倍数。若不是则左填充至长度为 8 的倍数。

def bytes_to_bits(M)：字节串到比特串的转换。接收长度为 k 的字节串 M，返回长度为 m 的比特串 s，其中 m = 8k。字节串逐位处理即可。

def fielde_to_bytes(e)：域元素到字节串的转换。域元素是整数，转换成字节串要明确长度。文档规定域元素转换为字节串的长度 l 是 ceil(ceil(log(q, 2)/8))。接收的参数是域元素 a，返回 l 长字节串 M 。

def bytes_to_fielde(M)：字节串到域元素的转换。直接调用 bytes_to_int( )。接收的参数是字节串 M，返回域元素 a。

def fielde_to_int(a)：域元素到整数的转换。域元素就是整数，直接返回即可。

def point_to_bytes§：点到字节串的转换。接收的参数是椭圆曲线上的点 p，元组表示。输出字节串 S。选用未压缩表示形式，即字节串 s = PC + x + y，共 1 + 2l 个字节。

def bytes_to_point(s)：字节串到点的转换。接收的参数是字节串 s，返回椭圆曲线上的点 p，点 P 的坐标用元组表示。

附加数据类型转换。是上述几种数据类型转换的复合转换，或者是数制之间的转换。注意字符串的填充即可。共定义了 def fielde_to_bits(a)、def point_to_bits§、def int_to_bits(x) 、def bytes_to_hex(m) 、 def bits_to_hex(s) 、 def hex_to_bits(h) 、 def hex_to_bytes(h) 、 def fielde_to_hex(e)几种函数。

2.辅助函数

本部分定义的函数是用于辅助实现 SM2 加解密算法中某些步骤的模块，这些模块若直接在加解密算法中会使代码变长造成阅读困难，因此将其定义为单独的函数以使结构清晰。

def add_point(P, Q, p)：椭圆曲线上的点加运算。接收的参数是元组 P 和 Q，表示相加的两个点，p 为模数。返回二者的点加和。

def double_point(P, p, a)：二倍点算法。不能直接用点加算法，否则会发生除零错误。接收的参数是点 P，素数 p，椭圆曲线参数 a。返回 P 的二倍点。

def mult_point(P, k, p, a)：多倍点算法。通过二进制展开法实现。接收的参数[k]p 是要求的多倍点，m 是模数，a 是椭圆曲线参数。

def frac_to_int(up, down, p)：将分式模运算转换为整数。输入 up/down mod m，返回该分式在模 m 意义下的整数。点加和二倍点运算时求 λ 用。

def calc_inverse(M, m)：模逆算法。返回 M 模 m 的逆。在将分式模运算转换为整数时用，

分子分母同时乘上分母的模逆。

def on_curve(args, P)：验证某个点是否在椭圆曲线上。接收的参数是椭圆曲线系统参数 args 和要验证的点 P(x, y)。

def KDF(Z, klen)：密钥派生函数 KDF。接收的参数是比特串 Z 和要获得的密钥数据的长度 klen。返回 klen 长度的密钥数据比特串 K。

3. 加解密算法

本部分是加解密的两个函数。

def encry_sm2(args, PB, M)：加密算法。接收的参数是椭圆曲线系统参数 args(p, a, b, h, G, n)。其中 n 是基点 G 的阶。PB 是 B 的公钥，M 是明文消息。

def decry_sm2(args, dB, C)：解密算法。接收的参数为椭圆曲线系统参数 args(p, a, b, h, G, n)。dB 是 B 的私钥，C 是密文消息。

4. 参数获取

本部分的函数用于获取算法使用的相关数据。

def get_args( )：椭圆曲线系统参数 args(p, a, b, h, G, n)的获取。

def get_key( )：密钥获取。本程序中主要是消息接收方 B 的公私钥的获取。

硬件环境：

处理器：AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics　　3.30 GHz

内存: 16.0 GB (13.9 GB 可用)

软件环境：

操作系统：win 10

IDLE (Python 3.9 64-bit) ：用于编写 python 代码。

实现方式：python

效果：运行十次平均时间为 5.428614s

测试结果：

```
==================================
原始明文是：  sdu123
解密得到的明文是：  sdu123
恭喜您，解密成功!
运行时间: 5.528614282608032 s
>>>
```

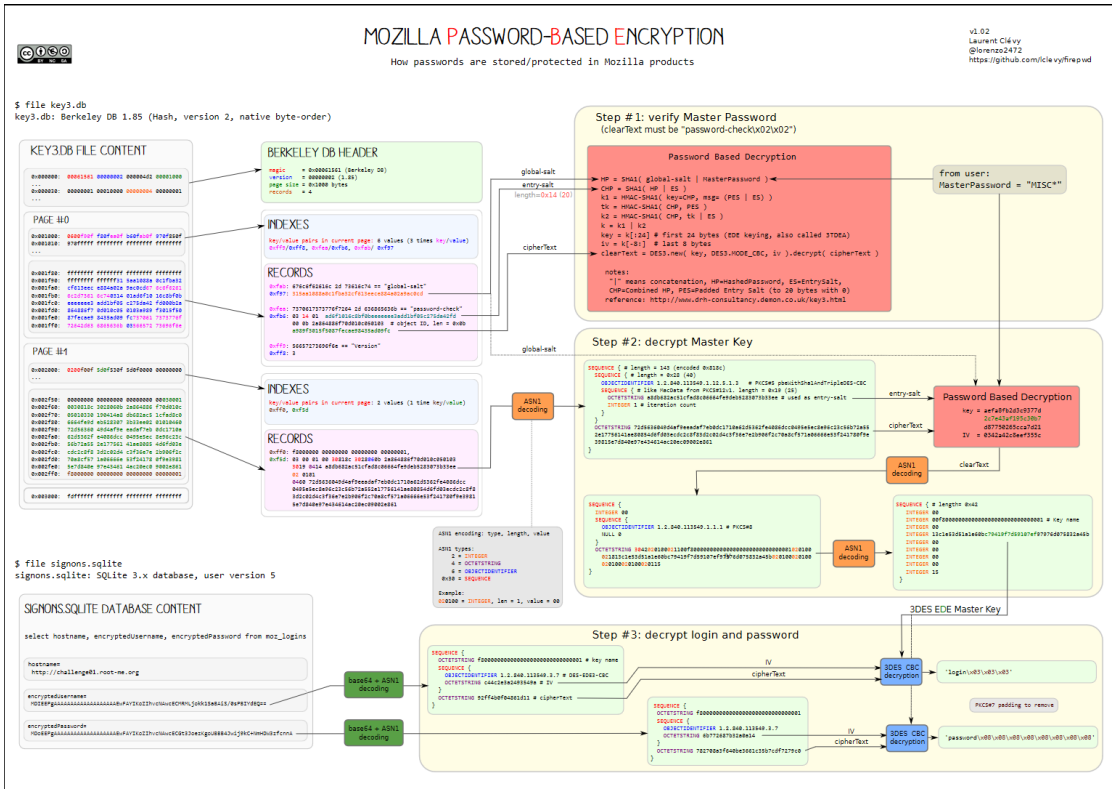
Project_17: 比较 Firefox 和谷歌的记住密码插件的实现区别

比较 Firefox 和谷歌的记住密码插件的实现区别

202100460164 刘莹

（一）Firefox 记住密码插件

一、Firefox 加密流程：



应用了 SHA-1 哈希加密算法,将用户的真实密码加随机盐组成的字符串加密,形成密钥。

二、登录信息存储过程

以 Firefox 版本 >=58.0.2 为例，logins.json 将用户所有登录信息（包括 URL，用户名，密码和其他元数据）存储为 JSON。值得注

意的是，**这些文件中的用户名和密码均经过 3DES 加密，然后经过 ASN.1 编码，最后写入 base64 编码的文件中。**

key4.db 是一个 sqlite 数据库，里面存储用于 3DES 解密 logins.json 的密钥，以及被加密的用于验证主密钥解密的 password-check 值，里面有两个表 metaData 和 nssPrivate。

metaData 中 id 为 password 的 item1 列为包含加密期间使用的全局盐值(globalSalt)；item2 列为 ASN.1 编码后的加密 password-check 数据，里面包含被加密的 password-check 字符串和用于加密的入口盐值(entrySalt)。

在加密 password-check 数据和主密钥使用了 hmacWithSHA256 的哈希算法和 AES256 cbc 的加密算法。

三、Firefox 也可以下载一名为 Lastpass 的记住密码插件

Lastpass 是一个在线密码管理器和页面过滤器，采用了强大的加密算法，自动登录/云同步/跨平台/支持多款浏览器。

1、Lastpass 是一个在线密码管理器和页面过滤器，它可以网页浏览更加的轻松和更安全。

2、Lastpass 采用了强大的密码加密算法（使用了 256 位的 AES 密匙），保证了在本机上不获取得到用户的信息，所以用户可以在任何时候和地点取回用户的信息。用户在本机的密码将被加密存储，用户的密码可以存在用户的 PC，MAC 和移动设备上。用户大可以放心，只有用户的 Lastpass 密码才能解锁它们。如果用户换了计算机，或者

计算机丢失了，用户也不要惊慌，因为用户的加密数据将被备份在用户在官方主页的账户中，只要用户登陆官方主页和安装 Lastpass，即可无缝的恢复用户的密码。

3、LastPass 提供了一个额外定制，包括 iOS 设备，黑莓，安卓(Android)，Windows Mobile 和 Symbian 应用程序，加强支持，多因素认证。

LastPass 采用 256 位 AES 加密算法对本地和网站上的密码数据库进行加密，并在数据传输时使用 SSL 加密连接等措施确保数据安全。

（二）谷歌的记住密码插件

一、Chrome 浏览器记住密码插件介绍

1. chrome 浏览器密码保存和同步功能

chrome 浏览器提供了一项非常方便的功能，即自动保存和同步密码。当用户第一次登录某个网站时，chrome 会提示用户是否保存该网站的用户名和密码。如果用户选择保存，则下一次访问该网站时，chrome 会自动填充用户名和密码，并且在不同设备间同步这些信息。这项功能为用户省去了记住各种复杂密码的烦恼，但也为黑客窃取密码提供了便利。

2. chrome 浏览器密码加密

chrome 浏览器并没有直接将用户的密码明文保存在本地或者云端服务器上，而是采用了加密技术来保护用户隐私。**chrome 浏览器使**

用 AES 算法对用户的密码进行加密，并采用 PBKDF2 算法生成一个密钥，用于加密和解密用户密码。

3. chrome 浏览器密码抓取原理

尽管 chrome 浏览器使用了加密技术来保护用户的密码，但黑客仍然有多种方法来窃取这些密码。其中最常用的方法是通过恶意软件或者浏览器插件来实现。恶意软件可以通过截获 chrome 浏览器的输入事件来获取用户的密码明文。例如，当用户在 chrome 浏览器中输入密码时，恶意软件可以拦截输入事件，并将用户的密码明文发送给黑客服务器。浏览器插件也可以获取用户的密码信息。一些恶意插件会伪装成正常插件，当用户安装这些插件后，它们就可以访问 chrome 浏览器保存的所有密码信息，并将这些信息上传到黑客服务器上。

Chrome 浏览器对显示的密码进行了一道验证，需要输入正确的电脑账户密码才能查看。为了执行加密（在 Windows 操作系统上），Chrome 使用了 Windows 提供的 API，该 API 只允许用于加密密码的 Windows 用户账户去解密已加密的数据。所以基本上来说，你的主密码就是你的 Windows 账户密码。所以，只要你登录了用自己的账号 Windows，Chrome 就可以解密加密数据。

二、Chrome 浏览器密码存储机制

谷歌浏览器加密后的密钥存储于 %APPDATA%…\Local\Google\Chrome\User Data\Default\Login Data”下的一个 SQLite 数据库中。

首先，我们作为用户登录一个网站时，会在表单提交 Username 以及 Password 相应的值，Chrome 会首先判断此次登录是否是一次成功的登录，部分代码如下：

```
Provisional_save_manager_->SubmitPassed();
    if (provisional_save_manager_->HasGeneratedPassword())
        UMA_HISTOGRAM_COUNTS("PasswordGeneration.Submitted", 1);
    If (provisional_save_manager_->IsNewLogin() && !provisional_save_manager_->HasGeneratedPassword()) {
        Delegate_->AddSavePasswordInfoBarIfPermitted(
        Provisional_save_manager_.release());
} else {
provisional_save_manager_->Save();
Provisional_save_manager_.reset();
}
```

当我们登录成功时，并且使用的是一套新的证书(也就是说是***次登录该网站)，Chrome 就会询问我们是否需要记住密码。

那么登录成功后，密码是如何被 Chrome 存储的呢？答案在 EncryptedString 函数，通过调用 EncryptString16 函数，代码如下：

```
Bool Encrypt::EncryptString(const std::string& plaintext,std::string* ciphertext) {
    DATA_BLOB input;
    Input.pbData = static_cast<DWORD>(plaintext.length());

    DATA_BLOB output;
    BOOL result = CryptProtectData(&input, L"",NULL, NULL, NULL, 0,&output);
    if (!result)
        Return false;
//复制操作
Ciphertext->assign(reinterpret_cast<std::string::value_type*>(output.pbData);

LocalFree(output.pbData);
Return true;
}
```

代码利用了 Widows API 函数 CryptProtectData(前面提到过)来加密。当我们拥有证书时，密码就会被回复给我们使用。在我们得到服务器权限后，证书的问题已经不用考虑了，所以接下来就可以获得这些密码。下面通过 Python 代码实现从环境变量中读取 Login Data 文件的数据，再获取用户名和密码，并将接收的结果通过

win32crypt.CryptUnprotectData 解密密码。

```
google_path = r' Google\Chrome\User Data\Default\Login Data'
file_path = os.path.join(os.environ['LOCALAPPDATA'],google_path)

#Login Data文件可以利用python中的sqlite3库来操作。
conn = sqlite3.connect(file_path)
for row in conn.execute('select username_value, password_value, signon_realm from logins'):
#利用Win32crpt.CryptUnprotectData来对通过加密的密码进行解密操作。
    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute('select username_value, password_value, signon_realm from logins')

#接收全部返回结果
#利用win32crypt.CryptUnprotectData解密后，通过输出passwd这个元组中内容，获取Chrome浏览器存储的密码
for data in cursor.fetchall():
    passwd = win32crypt.CryptUnprotectData(data[1],None,None,None,0)
```

（三）总结二者区别

和 Chrome 浏览器不同，Mozilla 拥有自己的加密库，被称为网络安全服务（NSS），特别之处是 NSS 使用了 ASN.1 进行数据序列化。ASN.1 - Abstract Syntax Notation dot one，数字 1 被 ISO 加在 ASN 的后边，是为了保持 ASN 的开放性，可以让以后功能更加强大的 ASN 被命名为 ASN.2 等，但至今也没有出现。ASN.1 是一种对数据进行表示、编码、传输和解码的数据格式。它提供了一整套正规的格式用于描述对象的结构，而不管语言上如何执行及这些数据的具体指代，也不用去管到底是什么样的应用程序。

Chrome 和 Firefox 之间的有一个很大的区别，那就是 Firefox 允许用户提供一个主密码来加密所有存储的登录名和密码。如果用户设置了主密码，需要解密者提供主密码才能解密登录信息。

Project_22: research report on MPT

Research report on MPT

一、概念

默克尔树（Merkle Patricia Tree）在以太坊中是一种通用的，用来存储键值对的数据结构，可以简称为“MPT”，是字典树 Redix tree 的变种，也是以太坊的核心算法之一。

MPT 对于树中节点的插入、查找、删除操作，这种结构可以提供对数级别的复杂度 O(log(N))，所以它是一种相对高效的存储结构。

二、如何根据键值对构造默克尔树

（一）、节点类型

1、 Branch

（1）由 17 个元素组成的元组，格式为：(v0,……,v15,vt)。

（2）其中，v0～v15 的元素是以其索引值（0x0~0xf）为路径的子节点数据的 keccak256 哈希值，如果没有子节点数据则元素为空。

（3）vt 为根节点到当前节点的父节点所经过的路径对应的 value 值，也就是根节点到父节点所经过的路径组成了一个键 key，这个 key 对应的 value 存在 vt 里面，如果这个 key 没有对应的 value，那么 vt 为空。

2、 Leaf

（1）两个元素组成的元组，格式为：（encodePath,value）；

（2）encodedPath 为当前节点路径的十六进制前缀编码；

（3）value 是从根节点到当前节点路径组成的键对应的值。

3、 Extension

（1）两个元素组成的元组，格式为：（encodePath,key）；

（2）encodedPath 为当前节点路径的十六进制前缀编码；

（3）key 为当前节点子节点数据的 keccak256 哈希值。

（二）十六进制前缀编码

branch 和 extension 元组的第一个元素 encodePath 就是当前节点路径的十六进制前缀编码（Hex-Pretix Encoding，HP 编码）。使用 HP 编码能够区分节点是扩展结点还是叶子节点。

而 HP 编码，和当前节点类型还有当前路径半字节长度的奇偶有关。共有四种前缀：

路径所对应的节点类型	路径长度	二进制数值	十六进制数值	最终前缀（HP前缀）
Extension	偶数个半字节	0000	0x0	0x00
Extension	奇数个半字节	0001	0x1	0x1
Leaf	偶数个半字节	0010	0x2	0x20
Leaf	奇数个半字节	0011	0x3	0x2

所以 extension 节点有两种前缀：0x00、0x1；leaf 有两种前缀：0x20、0x3。

可以看到最终前缀在偶数个半字节 0x0、0x2 后补了一个 0，变成了 0x00，0x20，目的是为了凑成整字节，避免出现半字节导致长度不便于合并。

HP 前缀需要放在原始路径前面去组成 HP 编码，实例：

原始数据	节点类型	HP前缀	HP编码
(0x012345,key)（注：012345长度为偶数）	Extension	0x00 (0000 0000)	(**0x00**012345,key)
(0x12345,key)（注：12345长度为奇数）	Extension	0x1 (0001)	(**0x1**2345,key)
(0x0f1cb8,value)（注：0f1cb8长度为偶数）	Leaf	0x20 (0010 0000)	(**0x20**0f1cb8,value)
(0xf1cb8,value)（注：f1cb8长度为奇数）	Leaf	0x3 (0011)	(**0x3**f1cb8,value)

三、构造一颗默克尔树

上面的概念不容易理解，现在我们以下面的例子，一步步来进行树的构造，帮助我们更好的理解：

我们假设有一组（4 个）键值对数据需要用树来存储：

```
<64 6f> : 'verb'
<64 6f 67> : 'puppy'
<64 6f 67 65> : 'coin'
<68 6f 72 73 65> : 'stallion'
```

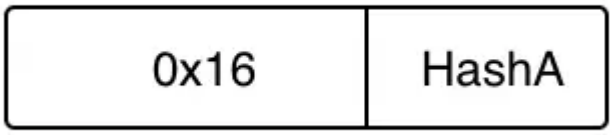
为方便解释说明以及阅读，我们把键值对数据的“键”表示为十六进制字符串，“值”则保留为原始字符串。在实际使用时，它们都需要经过特定的编码变换。

1、每棵树都有根节点，默克尔树的根节点会保存当前路径和子节点哈希，所以很明显，根节点会是一个 extension 节点。

上面节点类型介绍了 extension 格式为：（encodePath,key），encodePath 是十六进制的 HP 编码。分析给出的 4 个键我们可以得出都是以 6 开头，后面分为 4、8 两条路。所以根节点存储的共同路径值为 0x6。

由于 0x6 只有一位，所以路径长度是奇数，节点又是 extension 类型，所以 HP 前缀是 0x1，组合出来的 HP 编码：0x16。

所以当前默克尔树如下图：



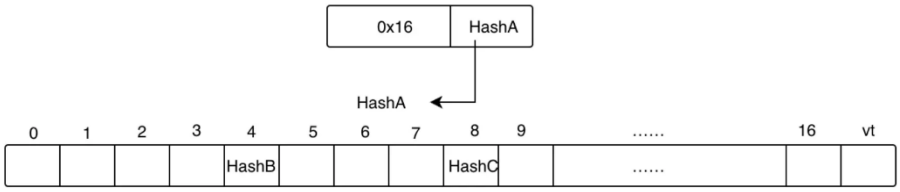
HashA 代表着子节点的哈希值。

2、根节点已经找到，但在根节点后出现了两条路，这个时候需要使用 branch 来处理这种多条路径的情况。

上文说到，branch 由 17 个元素组成的元组，格式为：(v0,……,v15,vt)。其中，v0 ~ v15 是以其索引值（0x0~0xf）为路径的子节点数据的 keccak256 哈希值，如果没有子节点数据则为空。

这里 4 和 8 就是索引值，4、8 对应元素是其字节点的哈希值。

所以当前默克尔树如下图：

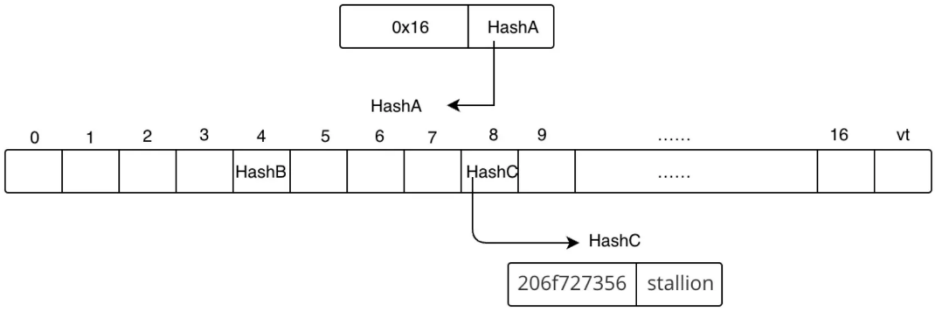


3、我们可以观察到，在 0x68 后只有唯一路径了，即 0x6f727356，而 value 为“stallion”，所以不再分叉的情况下，就不是 branch 或者 extension 了，而应该是一个叶节点。

上文提到，leaf 节点是两个元素组成的元组，格式为：（encodePath,value），encodedPath 为当前节点路径的十六进制前缀编码，value 是从根节点到当前节点路径组成的键，所对应的值。

当前节点的路径是 0x6f727356，长度是偶数，节点类型是 leaf，所以可以得出 HP 前缀是 0x20，HP 编码是 0x206f727356。所以可得该 leaf 节点：（0x206f727356,"stallion"）。

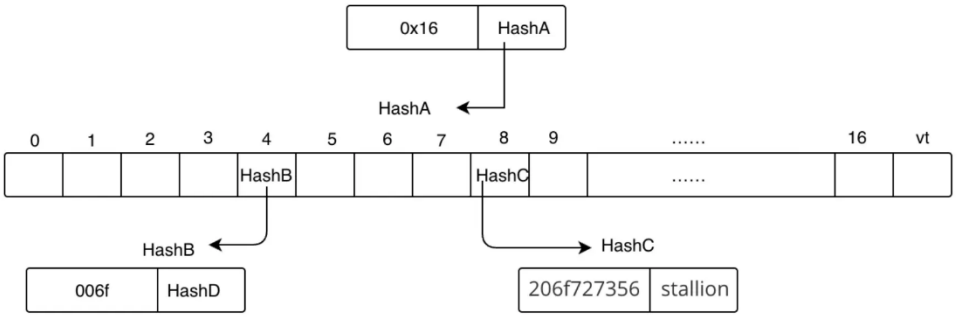
所以当前默克尔树如下图：



4、说完了 8，我们再说说 4 这部分，路径 4 后面有共同路径 6f，6f 后才产生 null 和 6 两条分叉。

共同路径 6f 是一个 extension 节点，extension 节点格式不再介绍，开始计算 HP 编码，6f 长度是偶数，又是 extension 类型，所以 HP 前缀为 0x00，HP 编码为 0x006f。

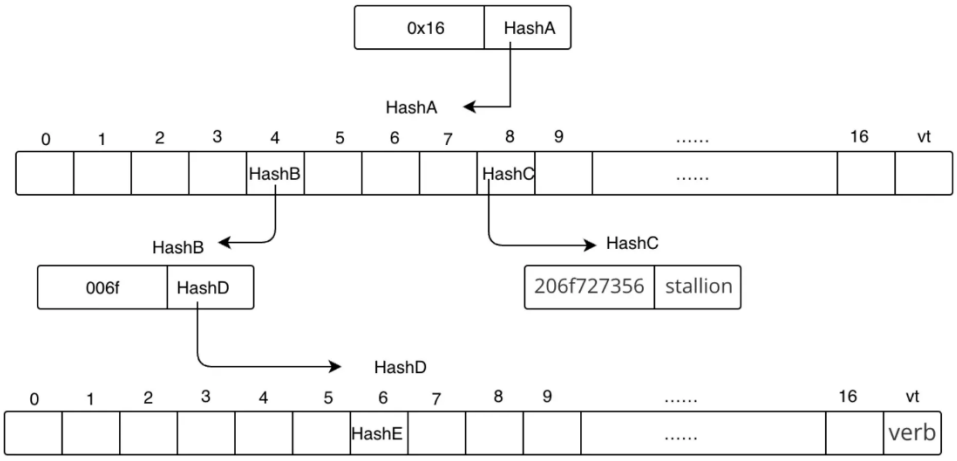
所以当前默克尔树如下图：



5、6f 后分出了 null 和 6，是多条路径，所以 HashD 的节点是一个 branch 节点，6 是索引值，索引为 6 的元素存储着子节点 hash；而 null 是没有的，上文提到：vt 为根节点到当前节点的父节点所经过的路径组成的键对应的 value。

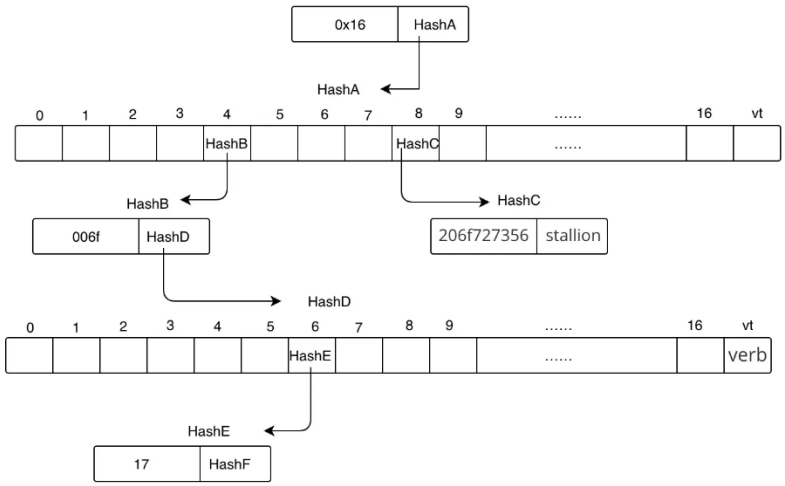
则代表当前 HashD 节点该存储从根节点到父节点 0x646f 组成的键对应的值：'verb'。那么该由 HashD 的 vt 保存'verb'。

所以当前默克尔树如下图：

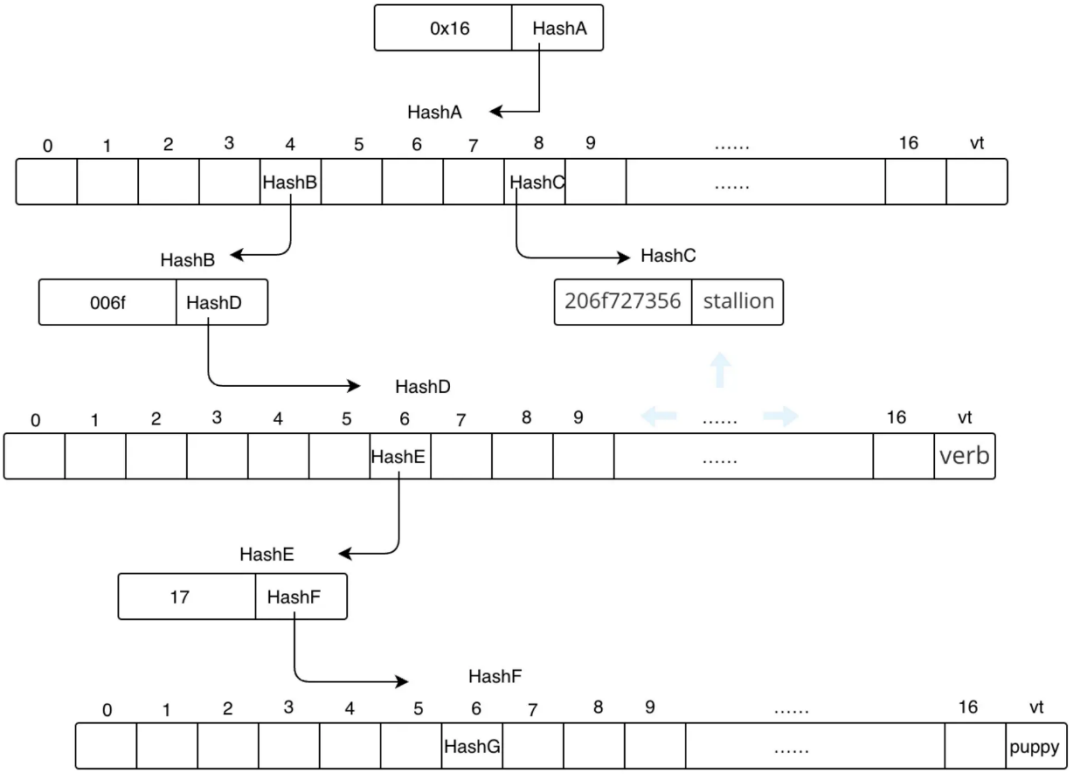


6、接下来是共同路径 7，一个 extension 节点，开始计算 HP 编码，7 长度是奇数，又是 extension 类型，所以 HP 前缀为 0x1，HP 编码为 0x17。

所以当前默克尔树如下图：

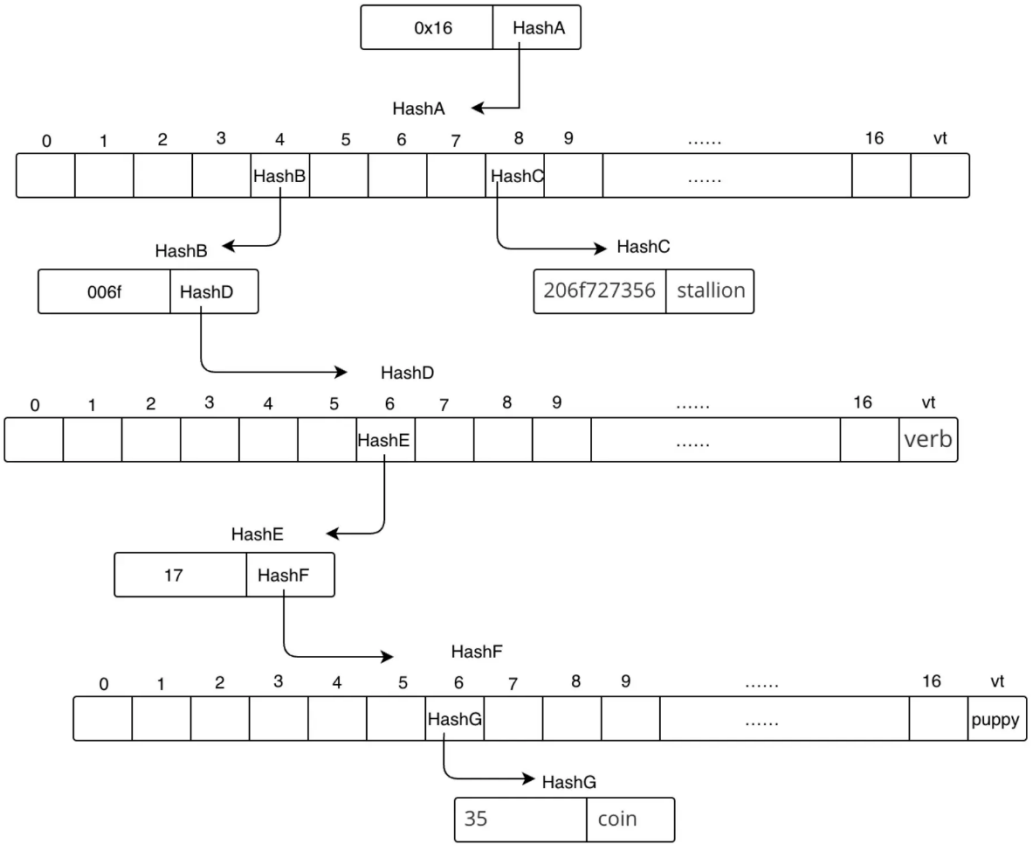


7、7 后分出了 null 和 6，是多条路径，与第五步相同，HashF 是一个 branch 节点，索引为 6 的元素存储子节点哈希，vt 存储'puppy'的值。所以当前默克尔树如下图：



8、好了，现在只剩下一条路径了，表示这最后一个是一个 leaf 叶子节点，路径为 5，路径长度为奇数，索引 HP 前缀为 0x3，HP 编码为 0x35。

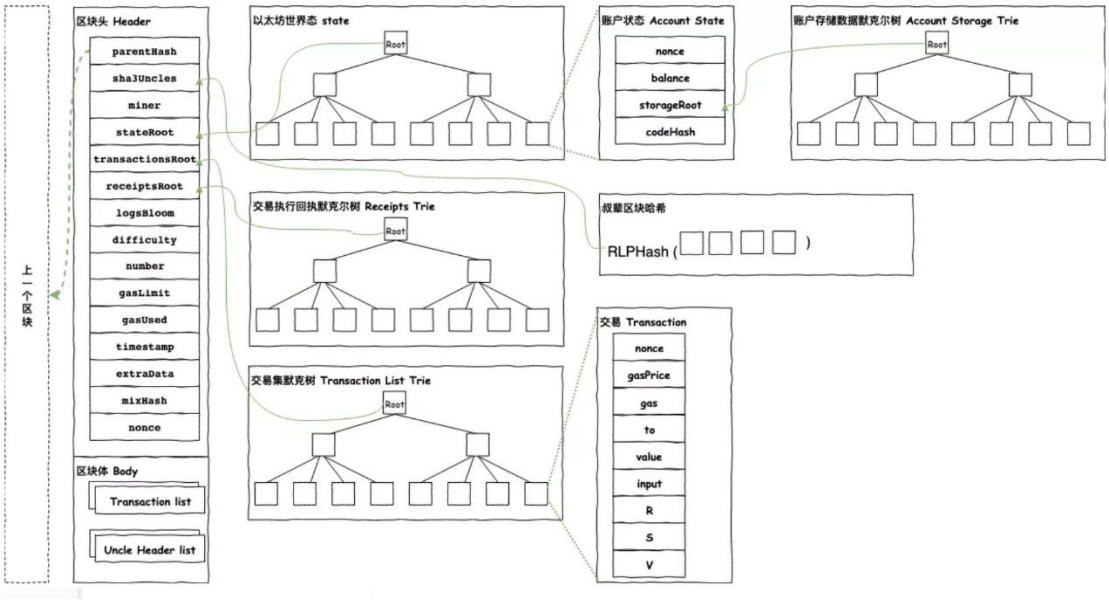
所以当前也是最终的默克尔树如下图：



三、总结

从构造过程中我们可以看出，MPT 中节点之间，是通过哈希值来确定的。由于哈希值的特性，只要数据有了微小改动，就会导致根节点改变，所以我们可以用树的根节点来代表整个树中数据的状态，这样就不用保存整个树的数据。

在以太坊中，默克尔树有着大量的应用，比如保存和验证系统中的所有账户状态、所有合约的存储状态、区块中的所有交易和所有收据数据的状态等。



参考：https://learnblockchain.cn/article/5321