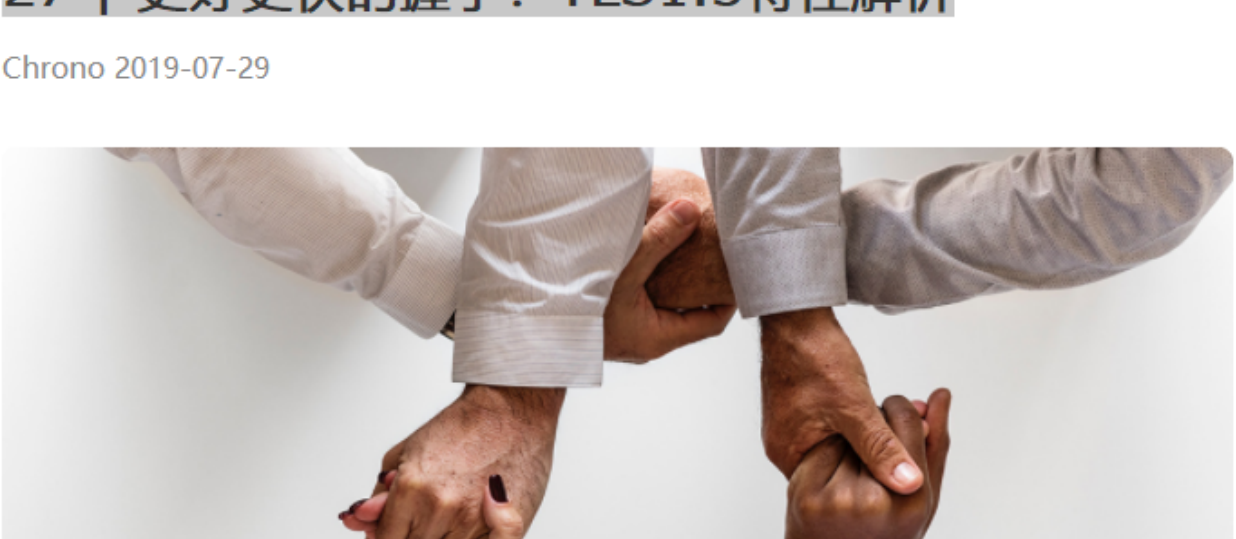
27 | 更好更快的握手：TLS1.3特性解析

Chrono 2019-07-29



上一讲中我讲了 TLS1.2 的握手过程，你是不是已经完全掌握了呢？

不过 TLS1.2 已经是 10 年前（2008 年）的“老”协议了，虽然历经考验，但毕竟“岁月不饶人”，在安全、性能等方面已经跟不上如今的互联网了。

于是经过四年、近 30 个草案的反复打磨，TLS1.3 终于在去年（2018 年）“粉墨登场”，再次确立了信息安全领域的新标准。

在抓包分析握手之前，我们先来快速浏览一下 TLS1.3 的三个主要改进目标：**兼容**、**安全与性能**。

最大化兼容性

由于 1.1、1.2 等协议已经出现了很多年，很多应用软件、中间代理（官方称为“MiddleBox”）只认老的记录协议格式，更新改造很困难，甚至是不可行（设备僵化）。

在早期的试验中发现，一旦变更了记录头字段里的版本号，也就是由 0x303（TLS1.2）改为 0x304（TLS1.3）的话，大量的代理服务器、网关都无法正确处理，最终导致 TLS 握手失败。

为了保证这些被广泛部署的“老设备”能够继续使用，避免新协议带来的“冲击”，TLS1.3 不得不做出妥协，保持现有的记录格式不变，通过“伪装”来实现兼容，使得 TLS1.3 看上去“像是”TLS1.2。

那么，该怎么区分 1.2 和 1.3 呢？

这要用到一个新的**扩展协议**（Extension Protocol），它有点“补充条款”的意思，通过在记录末尾添加一系列的“扩展字段”来增加新的功能，老版本的 TLS 不认识它可以直接忽略，这就实现了“后向兼容”。

在记录头的 Version 字段被兼容性“固定”的情况下，只要是 TLS1.3 协议，握手的“Hello”消息后面就必须有“**supported_versions**”扩展，它标记了 TLS 的版本号，使用它就能区分新旧协议。

其实上一讲 Chrome 在握手时发的就是 TLS1.3 协议，你可以看一下“Client Hello”消息后面的扩展，只是因为服务器不支持 1.3，所以就“后向兼容”降级成了 1.2。

```
Handshake Protocol: Client Hello
    Version: TLS 1.2 (0x0303)
    Extension: supported_versions (len=11)
        Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)
        Supported Version: TLS 1.2 (0x0303)
```

TLS1.3 利用扩展实现了许多重要的功能，比如“supported_groups”“key_share”“signature_algorithms”“server_name”等，这些等后面用到的时候再说。

强化安全

TLS1.2 在十来年的应用中获得了许多宝贵的经验，陆续发现了很多的漏洞和加密算法的弱点，所以 TLS1.3 就在协议里修补了这些不安全因素。

比如：

- 伪随机数函数由 PRF 升级为 HKDF（HMAC-based Extract-and-Expand Key Derivation Function）；
- 明确禁止在记录协议里使用压缩；
- 废除了 RC4、DES 对称加密算法；
- 废除了 ECB、CBC 等传统分组模式；
- 废除了 MD5、SHA1、SHA-224 摘要算法；
- 废除了 RSA、DH 密钥交换算法和许多命名曲线。

经过这一番“减肥瘦身”之后，TLS1.3 里只保留了 AES、ChaCha20 对称加密算法，分组模式只能用 AEAD 的 GCM、CCM 和 Poly1305，摘要算法只能用 SHA256、SHA384，密钥交换算法只有 ECDHE 和 DHE，椭圆曲线也被“砍”到只剩 P-256 和 x25519 等 5 种。

减肥可以让人变得更轻巧灵活，TLS 也是这样。

算法精简后带来了一个意料之中的好处：原来众多的算法、参数组合导致密码套件非常复杂，难以选择，而现在的 TLS1.3 里只有 5 个套件，无论是客户端还是服务器都不会再犯“选择困难症”了。

密码套件名	代码
TLS_AES_128_GCM_SHA256	{0x13,0x01}
TLS_AES_256_GCM_SHA384	{0x13,0x02}
TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256	{0x13,0x03}
TLS_AES_128_CCM_SHA256	{0x13,0x04}
TLS_AES_128_CCM_8_SHA256	{0x13,0x05}

这里还要特别说一下废除 RSA 和 DH 密钥交换算法的原因。

上一讲用 Wireshark 抓包时你一定看到了，浏览器默认会使用 ECDHE 而不是 RSA 做密钥交换，这是因为它不具有“**前向安全**”（Forward Secrecy）。

假设有这么一个很有耐心的黑客，一直在长期收集混合加密系统收发的所有报文。如果加密系统使用服务器证书里的 RSA 做密钥交换，一旦私钥泄露或被破解（使用社会工程学或者巨型计算机），那么黑客就能够使用私钥解密出之前所有报文的“Pre-Master”，再算出会话密钥，破解所有密文。

这就是所谓的“**今日截获，明日破解**”。

而 ECDHE 算法在每次握手时都会生成一对临时的公钥和私钥，每次通信的密钥对都是不同的，也就是“一次一密”，即使黑客花大力气破解了这一次的会话密钥，也只是这次通信被攻击，之前的历史消息不会受到影响，仍然是安全的。

所以现在主流的服务器和浏览器在握手阶段都已经不再使用 RSA，改用 ECDHE，而 TLS1.3 在协议里明确废除 RSA 和 DH 则在标准层面保证了“前向安全”。

提升性能

HTTPS 建立连接时除了要做 TCP 握手，还要做 TLS 握手，在 1.2 中会多花两个消息往返（2-RTT），可能导致几十毫秒甚至上百毫秒的延迟，在移动网络中延迟还会更严重。

现在因为密码套件大幅度简化，也就没有必要再像以前那样走复杂的协商流程了。TLS1.3 压缩了以前的“Hello”协商过程，删除了“Key Exchange”消息，把握手时间减少到了“1-RTT”，效率提高了一倍。

那么它是怎么做的呢？

其实具体的做法还是利用了扩展。客户端在“Client Hello”消息里直接用“**supported_groups**”带上支持的曲线，比如 P-256、x25519，用“**key_share**”带上曲线对应的客户端公钥参数，用“**signature_algorithms**”带上签名算法。

服务器收到后在这些扩展里选定一个曲线和参数，再用“key_share”扩展返回服务器这边的公钥参数，就实现了双方的密钥交换，后面的流程就和 1.2 基本一样了。

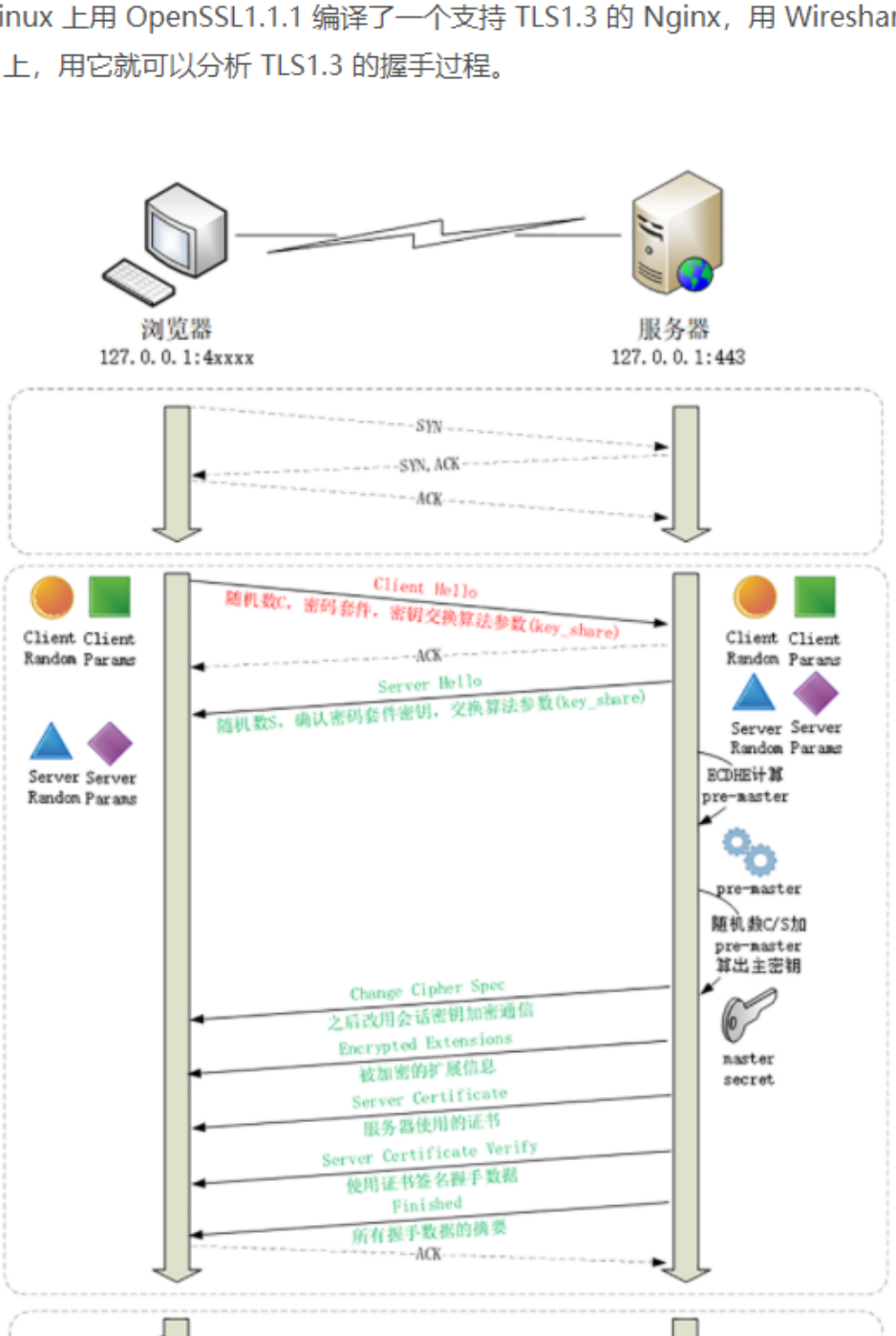
我为 1.3 的握手过程画了一张图，你可以对比 1.2 看看区别在哪里。

除了标准的“1-RTT”握手，TLS1.3 还引入了“0-RTT”握手，用“pre_shared_key”和“early_data”扩展，在 TCP 连接后立即就建立安全连接发送加密消息，不过这需要有一些前提条件，今天暂且不说。

握手分析

目前 Nginx 等 Web 服务器都能够很好地支持 TLS1.3，但要求底层的 OpenSSL 必须是 1.1.1，而我们实验环境里用的 OpenSSL 是 1.1.0，所以暂时无法直接测试 TLS1.3。

不过我在 Linux 上用 OpenSSL1.1.1 编译了一个支持 TLS1.3 的 Nginx，用 Wireshark 抓包存到了 GitHub 上，用它就可以分析 TLS1.3 的握手过程。



在 TCP 建立连接之后，浏览器首先还是发一个“**Client Hello**”。

因为 1.3 的消息兼容 1.2，所以开头的版本号、支持的密码套件和随机数（Client Random）结构都是一样的（不过这时的随机数是 32 个字节）。

```
Handshake Protocol: Client Hello
    Version: TLS 1.2 (0x0303)
    Random: cebeb6c05403654d66c2329…
    Cipher Suites (18 suites)
        Cipher Suite: TLS_AES_128_GCM_SHA256 (0x1301)
        Cipher Suite: TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256 (0x1303)
        Cipher Suite: TLS_AES_256_GCM_SHA384 (0x1302)
    Extension: supported_versions (len=9)
        Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)
        Supported Version: TLS 1.2 (0x0303)
    Extension: supported_groups (len=14)
        Supported Groups (6 groups)
            Supported Group: x25519 (0x001d)
            Supported Group: secp256r1 (0x0017)
    Extension: key_share (len=107)
        Key Share extension
            Client Key Share Length: 105
            Key Share Entry: Group: x25519
            Key Share Entry: Group: secp256r1
```

注意“Client Hello”里的扩展，“**supported_versions**”表示这是 TLS1.3，“**supported_groups**”是支持的曲线，“**key_share**”是曲线对应的参数。

这就好像是说：

“还是照老规矩打招呼，这边有这些这些信息。但我猜你可能会升级，所以再多给你一些东西，也许后面用的上，咱们有话尽量一口气说完。”

服务器收到“Client Hello”同样返回“Server Hello”消息，还是要给出一个**随机数**（Server Random）和选定密码套件。

```
Handshake Protocol: Server Hello
    Version: TLS 1.2 (0x0303)
    Random: 12d2bce6568b063d3dee2…
    Cipher Suite: TLS_AES_128_GCM_SHA256 (0x1301)
    Extension: supported_versions (len=2)
        Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)
    Extension: key_share (len=36)
        Key Share extension
            Key Share Entry: Group: x25519, Key Exchange length: 32
```

表面上看和 TLS1.2 是一样的，重点是后面的扩展。“**supported_versions**”里确认使用的是 TLS1.3，然后在“**key_share**”扩展带上曲线和对应的公钥参数。

服务器的“Hello”消息大概是这个意思：

“还真让你给猜对了，虽然还是按老规矩打招呼，但咱们来个‘旧瓶装新酒’。刚才你给的我都用上了，我再给几个你缺的参数，这次加密就这么定了。”

这时只交换了两条消息，客户端和服务器就拿到了四个共享信息：**Client Random**和**Server Random**、**Client Params**和**Server Params**，两边就可以各自用 ECDHE 算出“**Pre-Master**”，再用 HKDF 生成主密钥“**Master Secret**”，效率比 TLS1.2 提高了一大截。

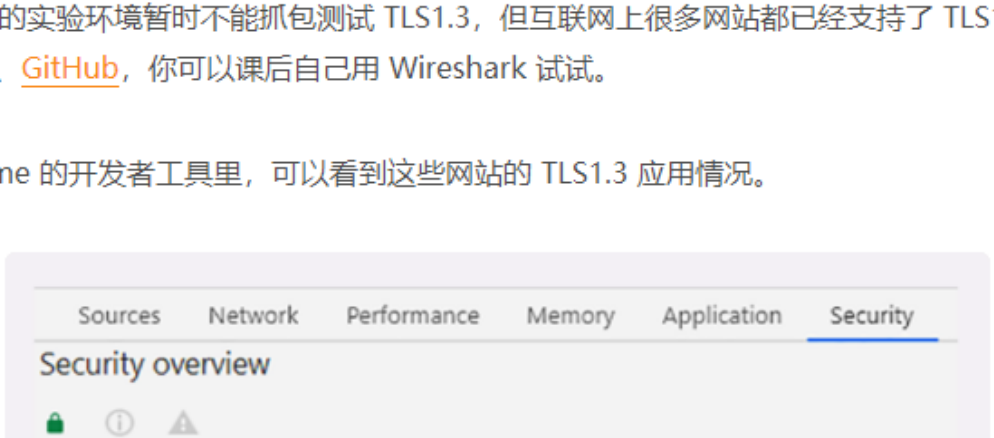
在算出主密钥后，服务器立刻发出“**Change Cipher Spec**”消息，比 TLS1.2 提早进入加密通信，后面的证书等就都是加密的了，减少了握手时的明文信息泄露。

这里 TLS1.3 还有一个安全强化措施，多了个“**Certificate Verify**”消息，用服务器的私钥把前面的曲线、套件、参数等握手数据加了签名，作用和“**Finished**”消息差不多。但由于是私钥签名，所以强化了身份认证和和防窜改。

这两个“Hello”消息之后，客户端验证服务器证书，再发“Finished”消息，就正式完成了握手，开始收发 HTTP 报文。

虽然我们的实验环境暂时不能抓包测试 TLS1.3，但互联网上很多网站都已经支持了 TLS1.3，比如Nginx、GitHub，你可以课后自己用 Wireshark 试试。

在 Chrome 的开发者工具里，可以看到这些网站的 TLS1.3 应用情况。



小结

今天我们一起学习了 TLS1.3 的新特性，用抓包研究了它的握手过程，不过 TLS1.3 里的内容很多，还有一些特性没有谈到，后面会继续讲。

1. 为了兼容 1.1、1.2 等“老”协议，TLS1.3 会“伪装”成 TLS1.2，新特性在“扩展”里实现；
2. 1.1、1.2 在实践中发现了很多安全隐患，所以 TLS1.3 大幅度删减了加密算法，只保留了 ECDHE、AES、ChaCha20、SHA-2 等极少数算法，强化了安全；
3. TLS1.3 也简化了握手过程，完全握手只需要一个消息往返，提升了性能。

课下作业

1. TLS1.3 里的密码套件没有指定密钥交换算法和签名算法，那么在握手的时候会不会有问题呢？
2. 结合上一讲的 RSA 握手过程，解释一下为什么 RSA 密钥交换不具有“前向安全”。
3. TLS1.3 的握手过程与 TLS1.2 的“False Start”有什么异同？

欢迎你把自己的学习体会写在留言区，与我和其他同学一起讨论。如果你觉得有所收获，也欢迎把文章分享给你的朋友。

课外小贴士

01 对 TLS1.2 已知的攻击有 BEAST、BREACH、CRIME、FREAK、LUCKY13、POODLE、ROBOT 等。

02 虽然 TLS1.3 到今天刚满一岁，但由于有之前多个草案的实践，各大浏览器和服务器基本都已经实现了支持，整个互联网也正在快速向 TLS1.3 迁移。

03 关于“前向安全”最著名的案例就是斯诺登于 2013 年爆出的“棱镜计划”。

04 在 TLS1.3 的 RFC 文档里已经删除了“Change Cipher Spec”子协议，但用 Wireshark 抓包却还能看到，这里以抓包为准。

05 TLS1.3 还提供了“降级保护机制”，如果“中间人”恶意降级到 1.2，服务器的随机数最后 8 个字节会被设置为“44 4F 57 4E 47 52 44 01”，即“DOWNGRD01”，支持 TLS1.3 的客户端就可以检查发现被降级，然后发出警报终止连接。

精选留言(10)

Geek_54edc1

1、TLS1.3精简了加密算法，通过support_groups、key_share、signature_algorithms这些参数就能判断出密钥交换算法和签名算法，不用在cipher suite中协商了
2、RSA握手时，client key exchage会使用RSA公钥加密pre master后传给服务端，一旦私钥被破解，那么之前的信息都会被破译，根本原因还是在于RSA的这一对公钥私钥并不是临时的。
3、相同点：都在未收到Finished确认消息时就已经向对方发送加密信息了，不同点：TLS1.3将change cipher spec合并到了hello中

> 作者回复: great。

2019-07-29 9

Fstar

2. 结合上一讲的 RSA 握手过程，解释一下为什么 RSA 密钥交换不具有“前向安全”。

答：RSA 握手中，Server Hello 后，客户端拿到服务器的证书，从中提取出服务器的公钥，然后用这个公钥去加密客户端生成的一个随机数（会话密钥）得到密文，然后将其返回给服务器。虽然每次 TLS 握手中的会话密钥都是不一样的，但服务器的私钥却始终不会变。一旦黑客拿到了服务器私钥，并且截获了之前的所有密文，就能拿到每次会话中的对称密钥，从而得到客户端和服务器的所有“历史会话记录”。

说到底，RSA 握手下，服务器私钥是不变的，从而导致不具有“前向安全”。而 ECDHE 的私钥却是动态的，黑客拿到了一个，也只能解密一个密文。

> 作者回复: 回答的非常好。

2019-07-31 2

彩色的沙漠

希望老师对TLS1.3增加一篇补充，里面涉及的细节大家不是很清楚怎么回事，网上资料少还容易误导。
1、服务器返回的Encrypted Extensions（被加密的扩展信息），加密的扩展信息里面不包含key_share和support_groups,这两个关键参数因为加密之后，无法计算pre-master。问题是加密的扩展信息使用的是哪个密钥对？
2、原文中“在算出主密钥后，服务器立刻发出“Change Cipher Spec”消息，比 TLS1.2 提早进入加密通信，后面的证书等就都是加密的，减少了握手时的明文信息泄露。问题是，除了证书还有那些参数使用加密传输，以及使用的是个密钥对？客户端不先计算pre-master何master-secret，怎么解密证书，进行验证？
3、server certificate verify，使用证书签名握手数据，Finished也是对握手数据进行摘要签名，它用的是master-secret进行的签名吗？

> 作者回复:
> 这些比较细节和底层，如果想要认真研究还是建议去看rfc。
>
> 我简单解释一下：
>
> 1.tls1.3使用了多个对称密钥，服务器在握手Encrypted Extensions时使用的不是pre-master，而是server_handshake_traffic_secret。
>
> 2.可以参考课程里简略流程图，里面列出了那些记录，而具体的扩展字段会因密码套件而变化。
>
> 3.Finished消息与tls1.2的一样，是用会话密钥，也就是master secret加密的。

2019-08-05

彦页

老师，客户端验证服务器证书，为什么不是pre_master计算出来才检验证书？因为服务器已经把证书加密传输的啊？

> 作者回复: 这里有个细节没讲，其实tls1.3有多个加密密钥，在握手的时候，服务器发来的数据会用server_handshake_traffic_secret进行加密，而这个密钥也是由HKDF算出来的。
>
> 所以客户端先生成server_handshake_traffic_secret，把服务器握手消息解密，取出证书，验证证书，都没问题，才计算pre-master。

2019-07-31

ClassNotFoundException

有点纠结ECDHE算法，为什么这个算法可以保证pre-master是唯一的，而服务端又能准确的知道呢

> 作者回复: 这个涉及到算法的内部细节了，比较复杂，比如离散对数、椭圆曲线什么的，可以看看相关的资料。
>
> 其实如果不是专门做加解密的话，不需要了解太深入的细节。

2019-07-30

Leon📷

这时只交换了两条消息，客户端和服务器就拿到了四个共享信息：Client Random和Server Random、Client Params和Server Params，两边就可以各自用 ECDHE 算出“Pre-Master”，再用 HKDF 生成主密钥“Master Secret”，这样主密钥的参数都是明文的，不是暴露了吗

> 作者回复: 密钥交换算法ECDHE保证了pre-master的安全性，黑客即使截获了Client Params和Server Params，也是无法算出pre-master的。

2019-07-30

Leon📷

老师，我对比了下tls1. 2和1.3，发现pre master根本就是多余的嘛,双方有个公共K, A=a*K发给服务端，服务端生成B=b*K,双方就可以利用a*b*K=b*a*K的相同密钥进行通信了,1.2是需要客户端把premaster发给服务端，然后双方a*b*K*pre master=b*a*K*pre master的对称密钥进行通信，1.3就是少了pre master，可以这样理解吧

> 作者回复: 不是的。
>
> 还是要有pre-master，注意tls通信使用的master key需要三个随机数生成，其中客户端和服务器的随机数是公开的，而pre-master是加密传输。
>
> tls1.3只是简化了握手过程中的密码套件协商，还是要交换密钥参数算pre-master的。
>
> 如果是自己内部的系统，当然可以不用tls那么复杂，直接一个随机数当会话密钥。
>
> 可以再看一下tls1.3的握手流程图，里面还有pre-master。

2019-07-30 1

阿锋

HTTPS再怎么进行优化，相比于之前的HTTP都增加了性能损耗，但是为什么HTTPS的网页会比HTTP的要快。我是通过下面这个网页测试的。
https://www.httpvshttps.com/

> 作者回复: 有很多因素，不一定https比http要快，如果使用了http/2，还有0-rtt，https是和http/1.1性能上差不多的。
>
> 单从理论上分析，https多了加解密运算，是会慢一点，但可以用一些手段去优化，优化过的https可能会比未优化的http快。

2019-07-29

-W.LI-

老师，之前比喻的协议和协议之间嵌套关系就和快递一样。子协议之间的嵌套关系也是这样么?还是说这些子协议只是在某几个请求里有。之后就没了。

> 作者回复: TLS里的子协议你可以理解成模块，是多个不同的部分，互相协作起作用。

2019-07-29

-W.LI-

感觉可能和Client Params和Server Params。有关系，具体不知，请老师指点

> 作者回复: 不知道你说的是哪个部分，可以补充完善一下问题。

2019-07-29 1