12 | 重传的认识：重传到底是怎么回事？

2022-02-16 杨胜辉

《网络排查案例课》 课程介绍 >

讲述：杨胜辉
时长 23:59 大小 21.98M

你好，我是胜辉。

在前面的第 8 讲和第 9 讲，我们先后介绍了两个 TCP 传输方面的案例。在刚过去的第 11 讲，我们更是全面了解了 TCP 的拥塞控制机制。其中有一个词经常被提到，就是“重传”。

在我看来，TCP 最核心的价值，如果说只有一个的话，那就是**对可靠传输的保证**。而要实现可靠的传输，可能需要这样做：如果我的报文丢了，应该在一定次数内持续尝试，直到传输完成；而如果这些重传都失败了，那就及时放弃传输，避免陷入死循环。

所以，为了应对不同的情况，TCP 又发展出了两种不同的重传类型：**超时重传**和**快速重传**。它们在各自的场景下都有不可替代的作用。不过，它们本身也只是外在的表现，触发

它们的条件又分别是什么呢？

另外，你可能在 Wireshark 里也见过 Spurious retransmission，这个又是什么意思，会对传输有什么影响吗？

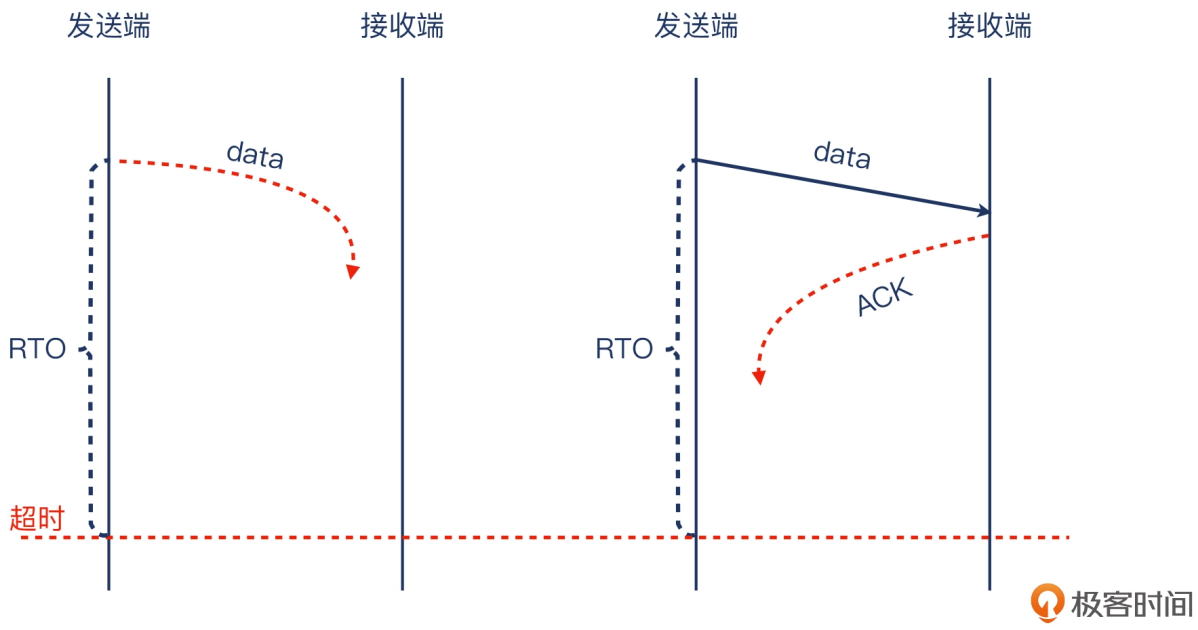
这节课，我就通过对几个案例中的抓包文件的解读，带你学习这些重传家族的成员，了解它们的性格脾气，以后你在日常网络排查中看到重传，也就能顺利搞定了。

超时重传

我们先来学习下超时重传，Timeout Retransmission。在 TCP 传输中，以下两种情况，都可能会导致发送方收不到确认：

报文在发送途中丢失，没有到达接收方，那接收方也不会回复确认包。

报文到达接收方，接收方也回复了确认，但确认包在途中丢失。



没有收到确认怎么办？发送方为了避免自己陷入“尬等”的境地，选择在等待某段时间后重新发送同样这份报文，这个等待的时间就是**重传超时**，Retransmission Timeout，简称 RTO。这个 Timeout 其实是基于一个计时器，在报文发送出去后就开始计时，在时限内对方回复 ACK 的话，计时器就清零；而如果达到时限对方还没回复 ACK 的话，重传操作就被触发。

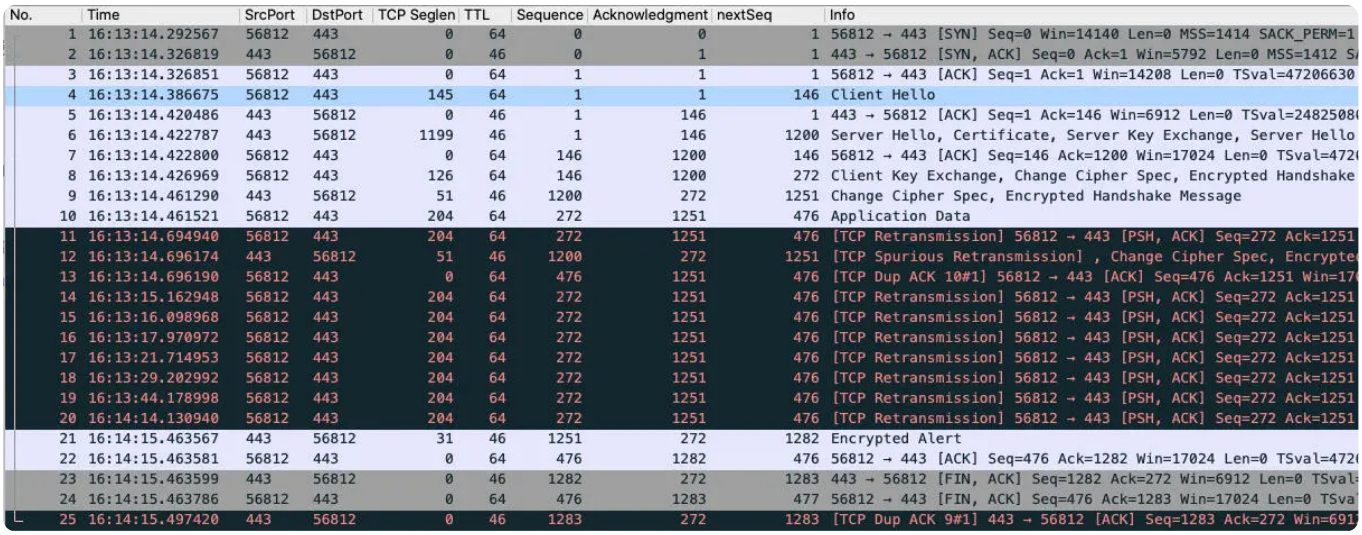
当然，超时重传也还是可能会丢包，此时发送方一般会以 RTO 为基数的 2 倍、4 倍、8 倍等时间倍数去尝试多次。

我们来看一个例子，熟悉一下这种重传。

超时重传案例

有一次，我们一个客户访问 HTTPS 站点的服务，时常报错失败，我们就做了抓包。这个问题的原因已经不重要了，但是这个抓包文件倒是很适合用来给我们学习 TCP 重传。

我们直接选一个典型的失败事务的 TCP 流来看一下：



No.	Time	SrcPort	DstPort	TCP Seglen	TTL	Sequence	Acknowledgment	nextSeq	Info
1	16:13:14.292567	56812	443	0	64	0	0	1	56812 → 443 [SYN] Seq=0 Win=14140 Len=0 MSS=1414 SACK_PERM=1
2	16:13:14.326819	443	56812	0	46	0	1	1	443 → 56812 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=5792 Len=0 MSS=1412 S
3	16:13:14.326851	56812	443	0	64	1	1	1	56812 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14208 Len=0 TSval=47206630
4	16:13:14.386675	56812	443	145	64	1	1	146	Client Hello
5	16:13:14.420486	443	56812	0	46	1	146	1	443 → 56812 [ACK] Seq=1 Ack=146 Win=6912 Len=0 TSval=2482508
6	16:13:14.422787	443	56812	1199	46	1	146	1200	Server Hello, Certificate, Server Key Exchange, Server Hello
7	16:13:14.422800	56812	443	0	64	146	1200	146	56812 → 443 [ACK] Seq=146 Ack=1200 Win=17024 Len=0 TSval=472
8	16:13:14.426969	56812	443	126	64	146	1200	272	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake
9	16:13:14.461290	443	56812	51	46	1200	272	1251	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
10	16:13:14.461521	56812	443	204	64	272	1251	476	Application Data
11	16:13:14.694940	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
12	16:13:14.696174	443	56812	51	46	1200	272	1251	[TCP Spurious Retransmission] , Change Cipher Spec, Encrypte
13	16:13:14.696190	56812	443	0	64	476	1251	476	[TCP Dup ACK 10#1] 56812 → 443 [ACK] Seq=476 Ack=1251 Win=17
14	16:13:15.162948	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
15	16:13:16.098968	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
16	16:13:17.970972	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
17	16:13:21.714953	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
18	16:13:29.202992	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
19	16:13:44.178998	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
20	16:14:14.130940	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
21	16:14:15.463567	443	56812	31	46	1251	272	1282	Encrypted Alert
22	16:14:15.463581	56812	443	0	64	476	1282	476	56812 → 443 [ACK] Seq=476 Ack=1282 Win=17024 Len=0 TSval=472
23	16:14:15.463599	443	56812	0	46	1282	272	1283	443 → 56812 [FIN, ACK] Seq=1282 Ack=272 Win=6912 Len=0 TSval
24	16:14:15.463786	56812	443	0	64	476	1283	477	56812 → 443 [FIN, ACK] Seq=476 Ack=1283 Win=17024 Len=0 TSva
25	16:14:15.497420	443	56812	0	46	1283	272	1283	[TCP Dup ACK 9#1] 443 → 56812 [ACK] Seq=1283 Ack=272 Win=691

> 示例文件已经上传至 Gitee，建议你结合示例文件和文稿来学习，效果更好。

显然，图中黑底红字的报文就是一系列的重传，而且都是超时重传。你如果仔细看了这个文件，可能会指出：“老师不对，这里的 12 号报文是 Spurious 重传，不是超时重传”。但是听完我后面的分析，你应该会同意我的观点：这个本质上也是超时重传。

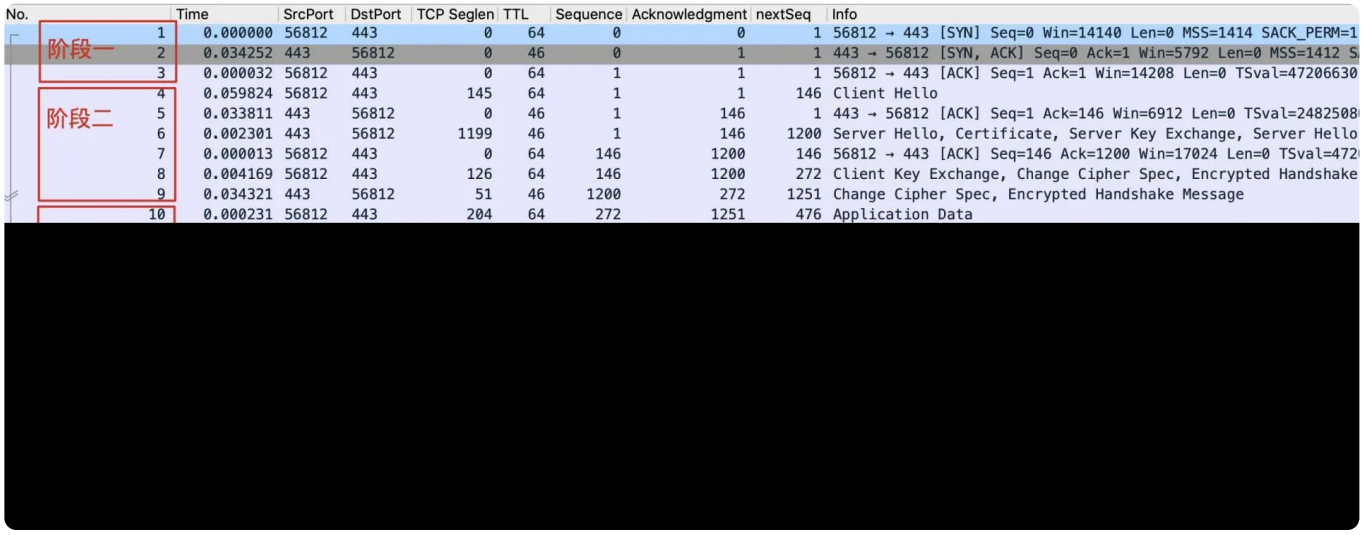
好，我们开始分析。

第一阶段：1~3 号报文是 TCP 握手。

第二阶段：4~9 号报文是 TLS 握手。

第三阶段：11~20 号报文是连续重传，以及夹杂的 DupAck 和 Spurious 重传。

第四阶段：连接关闭。它的触发点是 21 号报文这个 TLS Alert 消息，它的类型是 21。要知道它的具体报错信息，需要解密才能知道（在第 20 讲我会介绍 TLS 解密的细节）。不过通常来说，在这种 TLS Alert 消息之后，就是 TCP 挥手了。

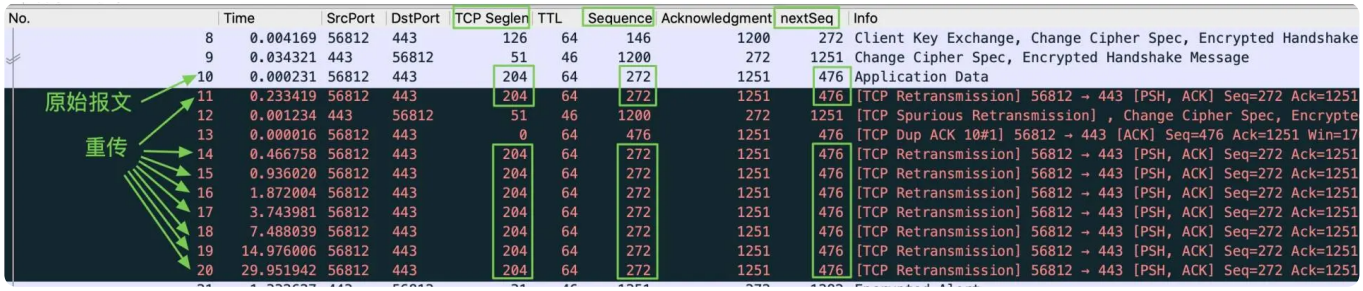


No.	Time	SrcPort	DstPort	TCP Seglen	TTL	Sequence	Acknowledgment	nextSeq	Info
1	0.000000	56812	443	0	64	0	0	1	56812 → 443 [SYN] Seq=0 Win=14140 Len=0 MSS=1414 SACK_PERM=1
2	0.034252	443	56812	0	46	0	1	1	443 → 56812 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=5792 Len=0 MSS=1412 S
3	0.000032	56812	443	0	64	1	1	1	56812 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14208 Len=0 TSval=47206630
4	0.059824	56812	443	145	64	1	1	146	Client Hello
5	0.033811	443	56812	0	46	1	146	1	443 → 56812 [ACK] Seq=1 Ack=146 Win=6912 Len=0 TSval=2482508
6	0.002301	443	56812	1199	46	1	146	1200	Server Hello, Certificate, Server Key Exchange, Server Hello
7	0.000013	56812	443	0	64	146	1200	146	56812 → 443 [ACK] Seq=146 Ack=1200 Win=17024 Len=0 TSval=472
8	0.004169	56812	443	126	64	146	1200	272	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake
9	0.034321	443	56812	51	46	1200	272	1251	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
10	0.000231	56812	443	204	64	272	1251	476	Application Data

我们重点关注下第三阶段，也就是 11~20 号报文这些重传。那么问题来了：这些重传都是重传了谁呢？也就是如何找到原始报文呢？

方法就是：**先找到重传报文的序列号，然后到前面找到同样这个序列号的报文**。那个就是原始报文。

比如，11 号报文是 Wireshark 提示我们的第一个重传报文，我们看到它的序列号是 272。在 11 号报文前面序列号同为 272 的，是 10 号报文。那么显然，11 就是 10 的重传，后面的 14 到 20 号报文也是如此。



No.	Time	SrcPort	DstPort	TCP Seglen	TTL	Sequence	Acknowledgment	nextSeq	Info
8	0.004169	56812	443	126	64	146	1200	272	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake
9	0.034321	443	56812	51	46	1200	272	1251	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
10	0.000231	56812	443	204	64	272	1251	476	Application Data
11	0.233419	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
12	0.001234	443	56812	51	46	1200	272	1251	[TCP Spurious Retransmission] , Change Cipher Spec, Encrypte
13	0.000016	56812	443	0	64	476	1251	476	[TCP Dup ACK 10#1] 56812 → 443 [ACK] Seq=476 Ack=1251 Win=17
14	0.466758	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
15	0.936020	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
16	1.872004	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
17	3.743981	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
18	7.488039	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
19	14.976006	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
20	29.951942	56812	443	204	64	272	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251

这里还有一个我们熟悉的现象。因为这一系列的重传是对同一个原始报文的重传，所以它们的发送时间也遵循了“指数退避”的原则，比如：

#11 和 #10 隔了 233ms

#14 和 #11 隔了 467ms

#15 和 #14 隔了 936ms

……

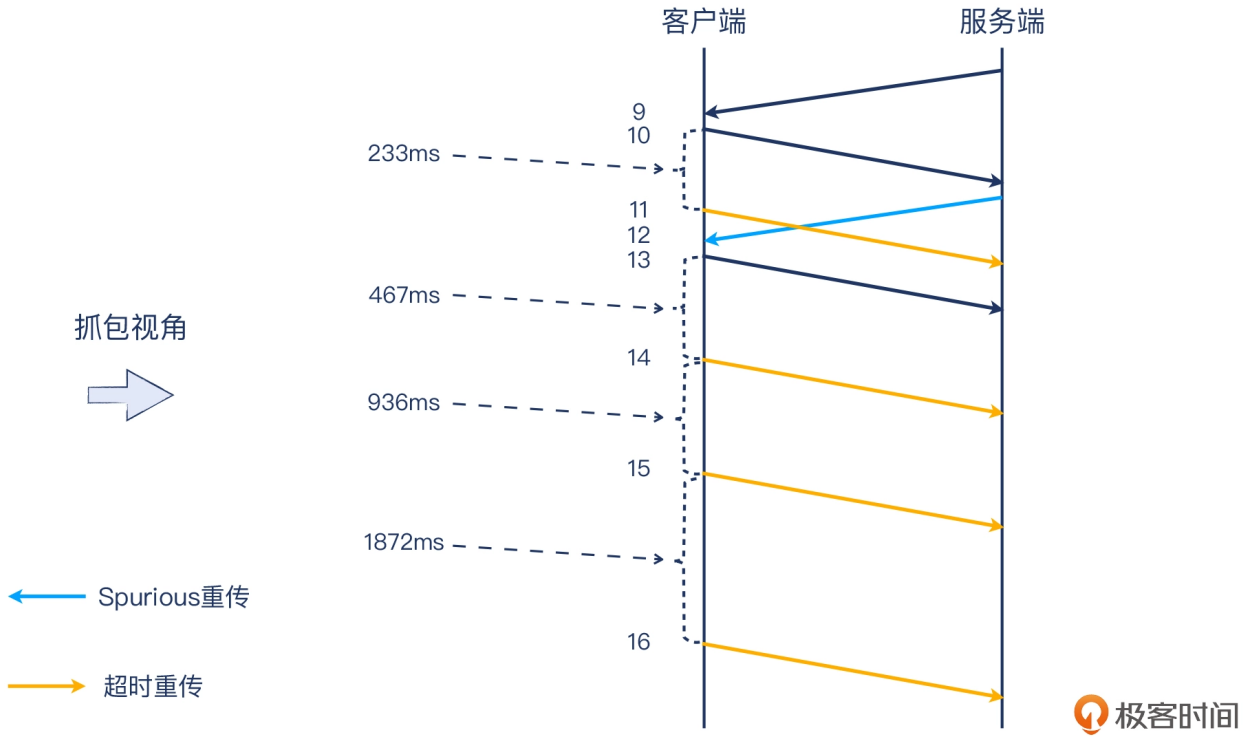
到 20 号报文的时候，已经重传了第 8 次，也是最后一次。那么为什么没有第 9 次呢？有下面这两种可能：

客户端本来就最多只重传 8 次，所以后续也不再重传。

服务端的 TLS Alert 报文过来，并发起了挥手，这样后续也没机会重传了。

然后我们再来理解一下整个的传输过程。不过因为抓包文件是单侧的，所以你要注意，**Wireshark 里的信息，是需要跟你“抓包发生在哪一侧”这个信息，结合起来解读的。**

我画了下面这张图，供你参考这个过程。请注意，这是从抓包视角（也就是客户端）来解读的。如果服务端有抓包，很可能是不同的景象。比如，有可能服务端确实收到了这些重传报文，但确认报文一直没能成功传过来，这个可能性也是存在的。那样的话，这张图就会非常不同了。



12 号报文的序列号是 1200，跟 9 号报文相同，而且由于客户端 9 号报文已经收到并且回复了确认，所以 Wireshark 认为它是 **Spurious 重传**。这又是什么重传呢？

Spurious 重传

Wireshark 如果识别到某个报文已经被确认过，但又再次发送，那么这次就是 Spurious 重传。简单来说，就是已经成功了，不需要再传。

这可以发生在两个方向上。具体来说，假设两端分别是 A 和 B，我们在 A 端抓包，发现下面任何一种情况，Wireshark 就会标记 X 为 Spurious 重传：

A 发送了报文 X，B 回复了确认，A 再次发送 X。

A 收到了 B 发过来的报文 X，A 也回复了确认，但 B 再次发送 X。

那么我们在 Wireshark 里看到这种 Spurious 重传该怎么办呢？我觉得一般不用特别处理，集中关注超时重传和快速重传就好了。

> 补充：这个建议也是基于概率。Spurious 重传大部分时候不是问题，只有极少数情况下是问题，所以不去重点关注它是“划算的”。相关的案例，会在专栏的后半程里介绍。

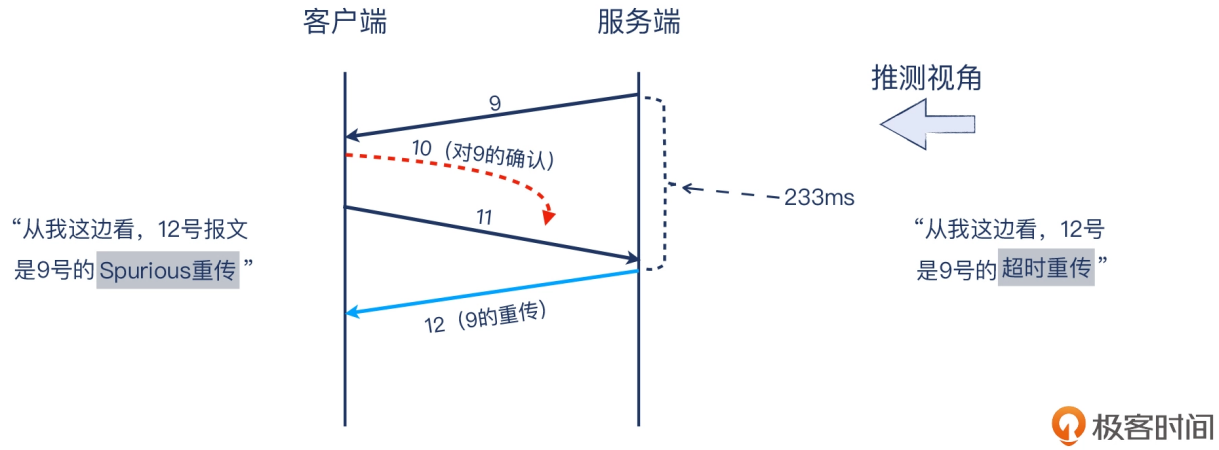
不过我们仔细观察报文，还是发现了一些问题。10 号报文的确认号是 1251，也就是 9 号报文的下个序列号（1251= 序列号 1200+ 载荷长度 51），所以 10 号报文就是客户端对 9 号的确认报文。那么，9 号既然已经被确认了，为什么还要 12 号报文这个重传呢？

只有一种解释：**这个抓包是在客户端做的，所以看不到服务端的情况**。这个 10 号报文一定是没有到达服务端，所以后者认为 9 号未被客户端收到，于是在 234ms 后重传了 9 号的副本：12 号报文。这里的 234ms，就是 11 号报文的 233ms 加上 12 号报文的 1ms。

从发送端（客户端）的抓包来看，是收到了 Spurious 重传：

No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	TCP Seglen	Acknowledgment	nextSeq	Info
9	0.034321	443	56812	46	1200	51	272	1251	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
					272	204	1251		d during capture]
					272	204	1251		SH, ACK] Seq=272 Ack=1251
12	0.001234	443	56812	46	1200	51	272		etransmission] , Change Cipher Spec, Encrypte
13	0.000016	56812	443	64	476	0	1251		[TCP Dup ACK 10#1] 56812 → 443 [ACK] Seq=476 Ack=1251 Win=17
14	0.466758	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
15	0.936020	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
16	1.872004	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
17	3.743981	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
18	7.488039	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
19	14.976006	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251
20	29.951942	56812	443	64	272	204	1251	476	[TCP Retransmission] 56812 → 443 [PSH, ACK] Seq=272 Ack=1251

但从接收端（服务端）来看，我推测是认为 9 号丢失，所以 200 多 ms 后进行超时重传：



另外，你会发现 10 号报文本身也携带数据，它对 9 号报文的确认信息是跟着 10 号报文自己的数据一起过来的。反正确认信息只是一份元数据，不占用额外的空间，那么跟随数据报文一起发送是最高效的。

实际的重传的例子我们解读完了，接下来了解一下我们可能最关心的问题。

重传超时究竟是多长呢？

RFC6298规定：**在一条 TCP 连接刚刚开始，还没有收到任何回复的时候，这时的超时 RTO 为 1 秒。**在更早以前的规范里，这个值是 3 秒。你可以参考 RFC6298 的这个部分，了解这个改变的来龙去脉。

在连接成功建立后，Linux 会根据 RTT 的实际情况，动态计算出 RTO。实际场景中，RTO 为 200ms 出头最为常见。

而且，**RTO 有上限值和下限值**（仿佛有语音：“我们不是没有下限的~”）。一般情况下，**Linux 的这两个值分别是 120 秒和 200 毫秒**。那么这个能否修改呢？

你可能想起了 sysctl 命令。但是很可惜，这两个值不能像 sysctl 那样调整，好像不太方便？其实，这也是一种“幸运”，操作系统把一些比较敏感、改错后影响比较大的参数，没有做成可以灵活调整的方式，也可以避免我们随便调整引发问题。

快速重传

上面的超时重传虽然避免了“干等”的尴尬局面，但不可避免地带来了另外的问题：“干等”的时间还是不短的，这段时间被白白浪费了。快速重传的出现就是为了解决这个问

题。

它的思路是这样的：**如果对端回复连续 3 个 DupAck 即重复确认，我就把序列号等于这个 ACK 号的包重传。**

快速重传案例

我在公有云工作的时候，有个客户对我们机房的网络可用性进行测试，结果发现测试情况不容乐观，很多 HTTP 请求没有得到及时回复。因为是相对简单的 HTTP 请求，本来期望在几个 RTT 之内就得到 HTTP 响应的，但实际上很多次都是超过了 1 秒。

于是我们做了抓包，然后过滤出了有问题的 TCP 流。我们看一下这条流的专家信息（Expert Information）：

Severity	Summary	Group	Protocol	Count
Error	New fragment overlaps old data (retransmission?)	Malformed	TCP	1
Note	This frame is a (suspected) fast retransmission	Sequence	TCP	1
Note	This frame is a (suspected) retransmission	Sequence	TCP	1
Note	Duplicate ACK (#1)	Sequence	TCP	28
Chat	Connection finish (FIN)	Sequence	TCP	2
Chat	GET / HTTP/1.1\r\n	Sequence	HTTP	2
Chat	Connection establish acknowledge (SYN+ACK): server port 80	Sequence	TCP	1
Chat	Connection establish request (SYN): server port 80	Sequence	TCP	1

这里我选几个值得关注的信息，做一下解读。

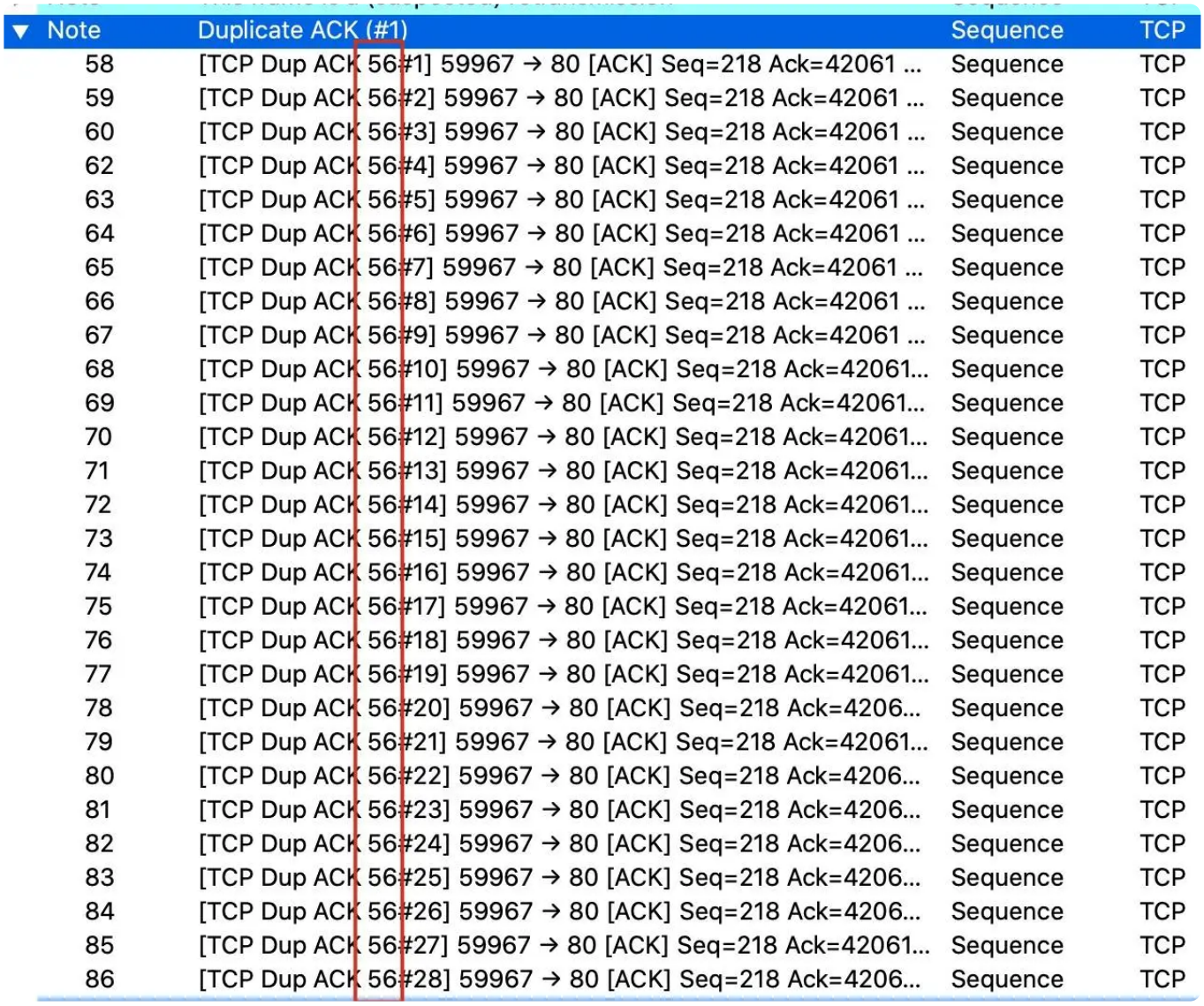
Error 级别的一条信息，是 **New fragment overlaps old data (retransmission?)**。这是说，这个报文跟前面的报文有重合。这里的“重合”如何理解呢？比如，前面的报文是字节 100 到 200，新的报文是字节 150 到 250，那么两者在 150 到 200 字节之间就是重合的。这也不是很大的问题。

Note 级别的 3 类信息，分别是：

> **This frame is a (suspected) fast retransmission**：这是快速重传报文，那为什么还要加个 suspected 字样呢？我的理解是，Wireshark 是根据一些条件来综合判断这个报文属于什么类型的，但这仅仅是一种参考的信息。由于 TCP 报文本身没有表示重传的字段，所以 Wireshark 对它的解读只能作为参考，所以是 suspected。其实，这个信息一般都比较准确，很少有错的时候，用 suspected 这个词，更多地体现了 Wireshark 开发人员的谦虚和严谨。

This frame is a (suspected) retransmission：这里就是超时重传了，Wireshark 发现抓包文件中没有相关的 DupAck，就推断出这个是超时重传。

Duplicate ACK (#1)：这里有 28 个重复确认报文，而且，如果我们点开的话，会发现这 28 个 DupAck 指向的都是同一个报文：56 号报文。

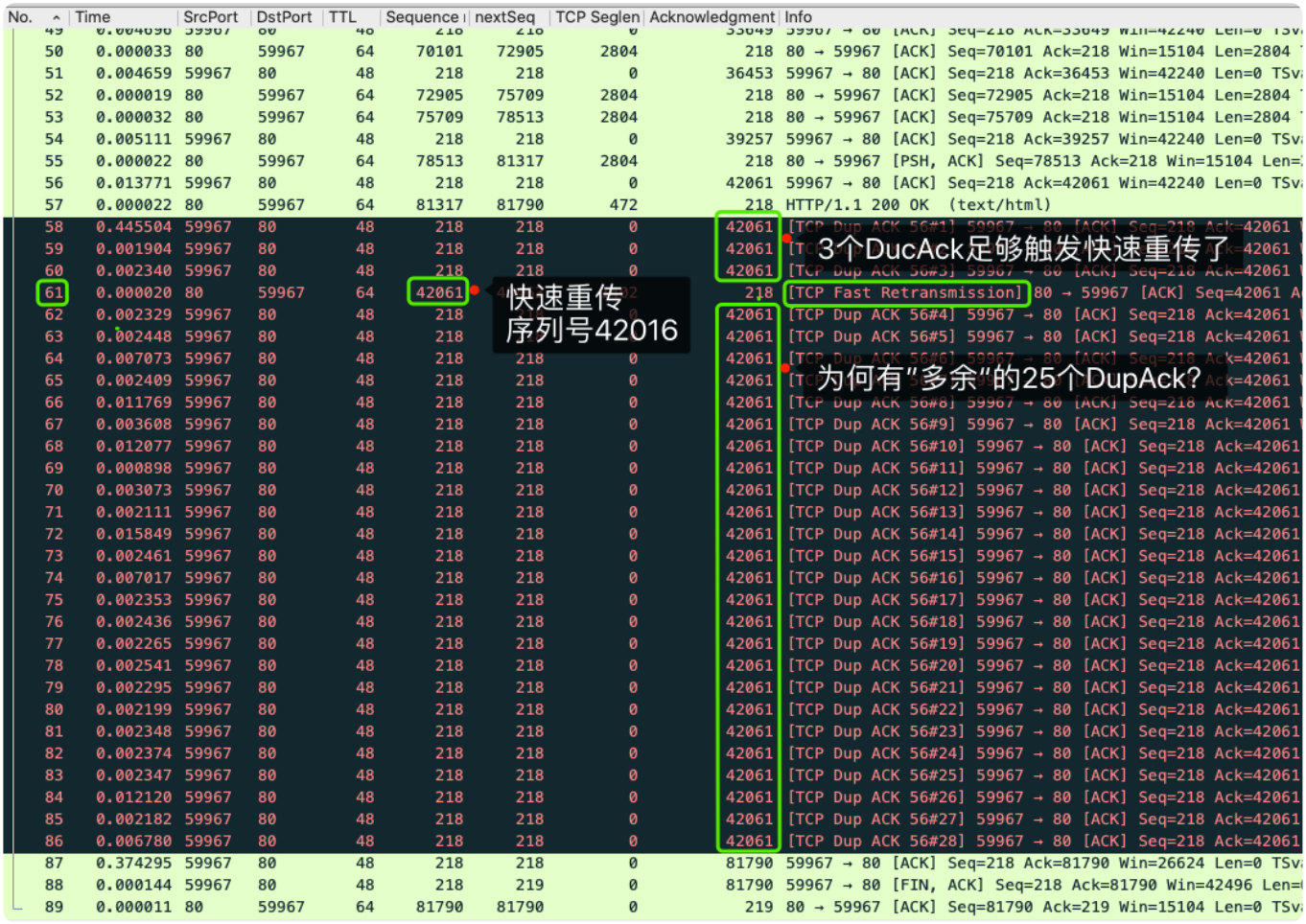


Note	Duplicate ACK (#1)	Sequence	TCP
58	[TCP Dup ACK 56#1] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
59	[TCP Dup ACK 56#2] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
60	[TCP Dup ACK 56#3] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
62	[TCP Dup ACK 56#4] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
63	[TCP Dup ACK 56#5] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
64	[TCP Dup ACK 56#6] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
65	[TCP Dup ACK 56#7] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
66	[TCP Dup ACK 56#8] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
67	[TCP Dup ACK 56#9] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 ...	Sequence	TCP
68	[TCP Dup ACK 56#10] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
69	[TCP Dup ACK 56#11] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
70	[TCP Dup ACK 56#12] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
71	[TCP Dup ACK 56#13] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
72	[TCP Dup ACK 56#14] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
73	[TCP Dup ACK 56#15] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
74	[TCP Dup ACK 56#16] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
75	[TCP Dup ACK 56#17] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
76	[TCP Dup ACK 56#18] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
77	[TCP Dup ACK 56#19] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
78	[TCP Dup ACK 56#20] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
79	[TCP Dup ACK 56#21] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
80	[TCP Dup ACK 56#22] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
81	[TCP Dup ACK 56#23] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
82	[TCP Dup ACK 56#24] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
83	[TCP Dup ACK 56#25] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
84	[TCP Dup ACK 56#26] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP
85	[TCP Dup ACK 56#27] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061...	Sequence	TCP
86	[TCP Dup ACK 56#28] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=4206...	Sequence	TCP

记住：DupAck 经常跟快速重传相关。因为有 3 个或以上数量的 DupAck，就可以触发快速重传。

那么问题来了：为什么这里会有 28 个 DupAck 呢，不是有 3 个就足够触发了吗？

我们回到主界面来分析，你可以参考下图：



No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	nextSeq	TCP Seglen	Acknowledgment	Info
50	0.000033	80	59967	64	70101	72905	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=70101 Ack=218 Win=15104 Len=2804
51	0.004659	59967	80	48	218	218	0	36453	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=36453 Win=42240 Len=0 TSv
52	0.000019	80	59967	64	72905	75709	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=72905 Ack=218 Win=15104 Len=2804
53	0.000032	80	59967	64	75709	78513	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=75709 Ack=218 Win=15104 Len=2804
54	0.005111	59967	80	48	218	218	0	39257	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=39257 Win=42240 Len=0 TSv
55	0.000022	80	59967	64	78513	81317	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=78513 Ack=218 Win=15104 Len=
56	0.013771	59967	80	48	218	218	0	42061	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061 Win=42240 Len=0 TSv
57	0.000022	80	59967	64	81317	81790	472	218	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
58	0.445504	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#1] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
59	0.001904	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#2] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
60	0.002340	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#3] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
61	0.000020	80	59967	64	42061	42072	0	218	[TCP Fast Retransmission] 80 → 59967 [ACK] Seq=42061 A
62	0.002329	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#4] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
63	0.002448	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#5] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
64	0.007073	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#6] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
65	0.002409	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#7] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
66	0.011769	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#8] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
67	0.003608	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#9] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
68	0.012077	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#10] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
69	0.000898	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#11] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
70	0.003073	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#12] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
71	0.002111	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#13] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
72	0.015849	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#14] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
73	0.002461	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#15] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
74	0.007017	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#16] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
75	0.002353	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#17] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
76	0.002436	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#18] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
77	0.002265	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#19] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
78	0.002541	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#20] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
79	0.002295	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#21] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
80	0.002199	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#22] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
81	0.002348	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#23] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
82	0.002374	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#24] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
83	0.002347	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#25] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
84	0.012120	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#26] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
85	0.002182	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#27] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
86	0.006780	59967	80	48	218	218	0	42061	[TCP Dup ACK 56#28] 59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
87	0.374295	59967	80	48	218	218	0	81790	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=81790 Win=26624 Len=0 TSv
88	0.000144	59967	80	48	218	219	0	81790	59967 → 80 [FIN, ACK] Seq=218 Ack=81790 Win=42496 Len=
89	0.000011	80	59967	64	81790	81790	0	219	80 → 59967 [ACK] Seq=81790 Ack=219 Win=15104 Len=0 TSv

报文 58~60 是 3 个 DupAck，显然也直接触发了 61 号快速重传报文。这样不是已经重传了吗？为什么还会有后面连续 25 个之多的 DupAck 呢？

答案可能不在这片区域。我们把视线往上挪，看一下 57 号及之前的报文情况。

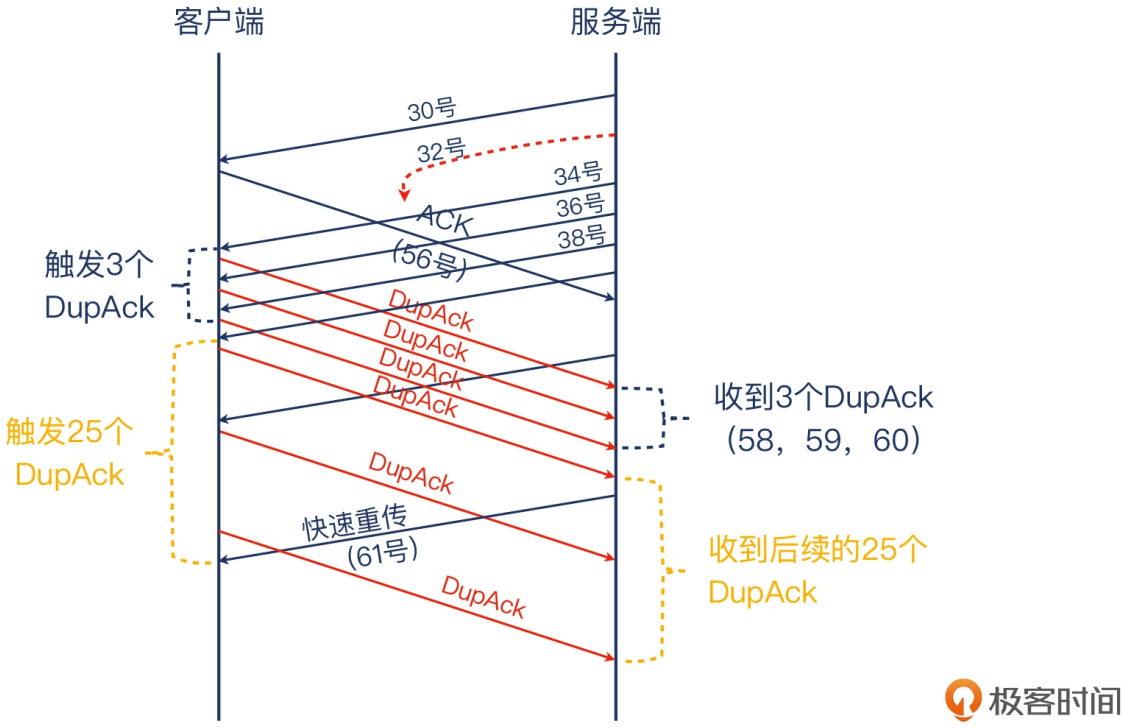
No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	nextSeq	TCP Seglen	Acknowledgment	Info
17	0.002065	59967	80	48	218	218	0	5609	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=5609
18	0.000020	80	59967	64	22433	25237	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=22433 Ack=218
19	0.002354	59967	80	48	218	218	0	7011	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=7011
20	0.000025	80	59967	64	25237	28041	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=25237 Ack=218
21	0.002319	59967	80	48	218	218	0	8413	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=8413
22	0.000020	80	59967	64	28041	30845	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=28041 Ack=218
23	0.002437	59967	80	48	218	218	0	9815	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=9815
24	0.000019	80	59967	64	30845	33649	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=30845 Ack=218
25	0.002279	59967	80	48	218	218	0	11217	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=11217
26	0.000021	80	59967	64	33649	36453	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=33649 Ack
27	0.002327	59967	80	48	218	218	0	12619	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=12619
28	0.000021	80	59967	64	36453	39257	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=36453 Ack=218
29	0.002317	59967	80	48	218	218	0	14021	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=14021
30	0.000009	80	59967	64	39257	42061	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=39257 Ack=218
31	0.580051	59967	80	48	218	218	0	15423	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=15423
32	0.000013	80	59967	64	42061	44865	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=42061 Ack
33	0.002343	59967	80	48	218	218	0	16825	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=16825
34	0.000044	80	59967	64	44865	47669	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=44865 Ack=218
35	0.002315	59967	80	48	218	218	0	18227	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=18227
36	0.000021	80	59967	64	47669	50473	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=47669 Ack=218
37	0.002310	59967	80	48	218	218	0	19629	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=19629
38	0.000020	80	59967	64	50473	53277	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=50473 Ack=218
39	0.010065	59967	80	48	218	218	0	22433	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=22433
40	0.000022	80	59967	64	53277	56081	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=53277 Ack=218
41	0.009076	59967	80	48	218	218	0	25237	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=25237
42	0.000021	80	59967	64	56081	58885	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=56081 Ack=218
43	0.000038	80	59967	64	58885	61689	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=58885 Ack=218
44	0.009034	59967	80	48	218	218	0	28041	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=28041
45	0.000014	80	59967	64	61689	64493	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=61689 Ack=218
46	0.004675	59967	80	48	218	218	0	30845	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=30845
47	0.000021	80	59967	64	64493	67297	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=64493 Ack=218
48	0.000036	80	59967	64	67297	70101	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=67297 Ack=218
49	0.004696	59967	80	48	218	218	0	33649	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=33649
50	0.000033	80	59967	64	70101	72905	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=70101 Ack=218
51	0.004659	59967	80	48	218	218	0	36453	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=36453
52	0.000019	80	59967	64	72905	75709	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=72905 Ack=218
53	0.000032	80	59967	64	75709	78513	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=75709 Ack=218
54	0.005111	59967	80	48	218	218	0	39257	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=39257
55	0.000022	80	59967	64	78513	81317	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=78513 Ack
56	0.013771	59967	80	48	218	218	0	42061	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
57	0.000022	80	59967	64	81317	81790	472	218	HTTP/1.1 200 OK (text/html)

我们可以看到，57 号报文之前，整个传输就像一片宁静的草原。然而，在风平浪静的表面之下，能找到我们要的答案吗？

61 号快速重传报文的原始报文是哪个呢？不难找到，它就是 32 号报文，因为**它的序列号就是 42061，也就是连续 DupAck 的确认号**。

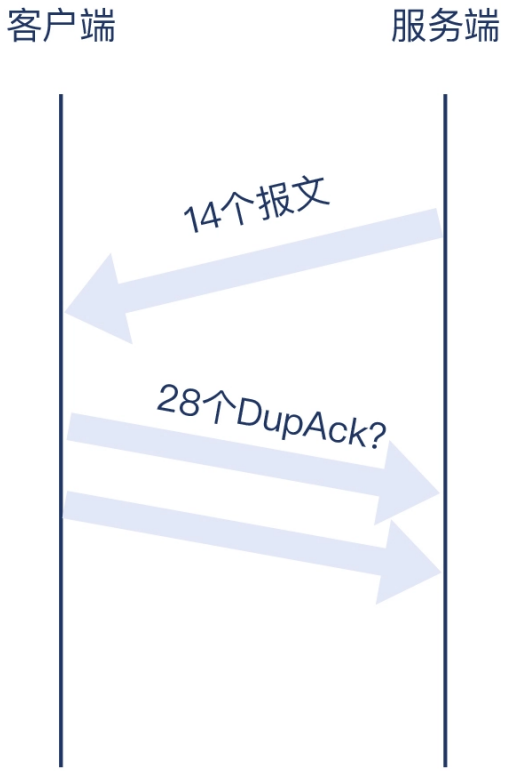
正因为抓包在服务端抓取，所以一定能抓取到由这个服务端发出的报文，但是对端有没有收到，我们是看不到的。只有当 3 个的 DupAck 到达的时候，我们才知道这个报文一定是丢失了，然后会快速重传。

我直接给你揭晓答案：就是因为从 32 号报文之后，服务端还继续发送了 14 个数据报文，远不止 3 个，所以触发的 DupAck 也远不止是 3 个。你可以直接看下图来理解这里的逻辑：



不过，你仔细看这个抓包文件的话，可能还是发现了一个漏洞：服务端从 32 号报文之后，发送的数据报文一共是 14 个，为啥客户端要回复的 DupAck 有 28 个呢？这数量对不上，老师你是不是搞错了？

我在解读这个抓包的时候，其实也在这里卡住过，确实是个有点烧脑的问题：逻辑都对，就是数量不对，到底哪里出了问题？



这种时候，你会怎么做呢？

宽慰自己：“应该有什么别的原因吧，就不追究了，这个小问题不影响大方向。”

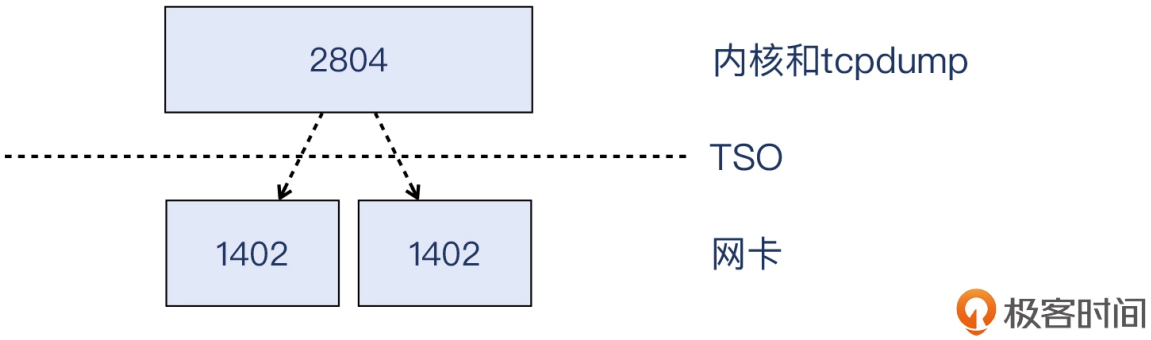
鼓励自己：“真相只有一个！再查一下。”

其实，你如果是连续学习课程过来的，应该会对 TSO 有印象。这是我们在第 8 讲提到的概念。有了 TSO，操作系统就可以把大于 MSS 的 TCP 段，比如 2 个 MSS 或更大尺寸的段，交给网卡驱动来处理，后者会利用其硬件芯片做分段工作，重新组装成新的符合 MTU 的报文后发送出去。

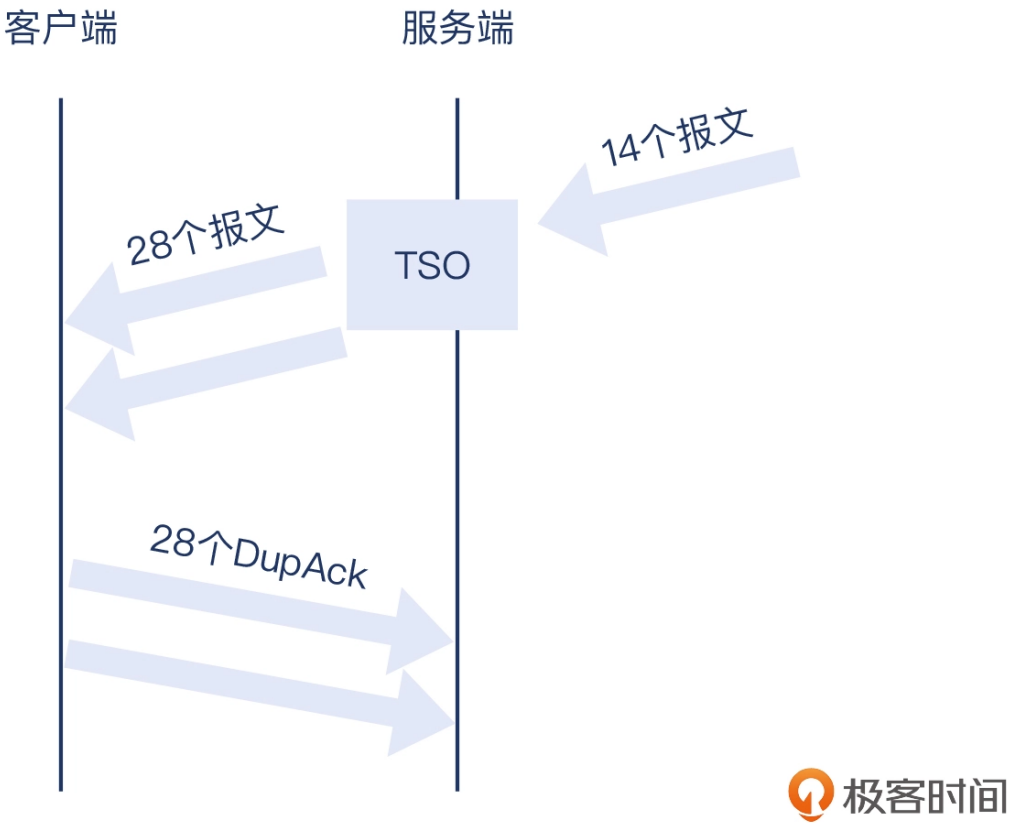
那么，“为什么 14 个报文触发了 28 个 DupAck”的答案就在这里了：

No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	nextSeq	TCP Seglen	Acknowledgment	Info
31	0.580051	59967	80	48	218	218	0	15423	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=15423
32	0.000013	80	59967	64	42061	44865	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=42061 Ac
33	0.002343	59967	80	48	218	218	0	16825	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=16825
34	0.000044	80	59967	64	44865	47669	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=44865 Ack=218
35	0.002315	59967	80	48	218	218	0	18227	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=18227
36	0.000021	80	59967	64	47669	50473	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=47669 Ack=218
37	0.002310	59967	80	48	218	218	0	19629	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=19629
38	0.000020	80	59967	64	50473	53277	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=50473 Ack=218
39	0.010065	59967	80	48	218	218	0	22433	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=22433
40	0.000022	80	59967	64	53277	56081	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=53277 Ack=218
41	0.009076	59967	80	48	218	218	0	25237	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=25237
42	0.000021	80	59967	64	56081	58885	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=56081 Ack=218
43	0.000038	80	59967	64	58885	61689	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=58885 Ack=218
44	0.009034	59967	80	48	218	218	0	28041	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=28041
45	0.000014	80	59967	64	61689	64493	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=61689 Ack=218
46	0.004675	59967	80	48	218	218	0	30845	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=30845
47	0.000021	80	59967	64	64493	67297	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=64493 Ack=218
48	0.000036	80	59967	64	67297	70101	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=67297 Ack=218
49	0.004696	59967	80	48	218	218	0	33649	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=33649
50	0.000033	80	59967	64	70101	72905	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=70101 Ack=218
51	0.004659	59967	80	48	218	218	0	36453	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=36453
52	0.000019	80	59967	64	72905	75709	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=72905 Ack=218
53	0.000032	80	59967	64	75709	78513	2804	218	80 → 59967 [ACK] Seq=75709 Ack=218
54	0.005111	59967	80	48	218	218	0	39257	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=39257
55	0.000022	80	59967	64	78513	81317	2804	218	80 → 59967 [PSH, ACK] Seq=78513 Ac
56	0.013771	59967	80	48	218	218	0	42061	59967 → 80 [ACK] Seq=218 Ack=42061
57	0.000022	80	59967	64	81317	81790	472	218	HTTP/1.1 200 OK (text/html)

这 14 个报文，每个都是 2804 字节大小，这就显然是 TSO 在起作用了。服务端把 2804 字节发给网卡后，网卡拆分为 2 个报文后发出，所以 14 个数据报文，实际到达接收端的时候就是 28 个报文！



> 补充：实际 TSO 工作起来比这个图要复杂。为了突出重点，这个图里并没有展示 TCP 头部和 IP 头部的封装工作。



因为 tcpdump 在内核里靠近网卡这一侧，所以 tcpdump 抓取到的还是 TSO 处理之前的大报文，只有到达了网卡并且被 TSO 机制做了分段处理后，才变成小报文。我们抓包文件里看到 14 个报文，实际发送出去的是 28 个报文，也就触发了 28 次 DupAck。

遇到难题，努力一下，往往就有新的发现。让我们每天进步一点点。

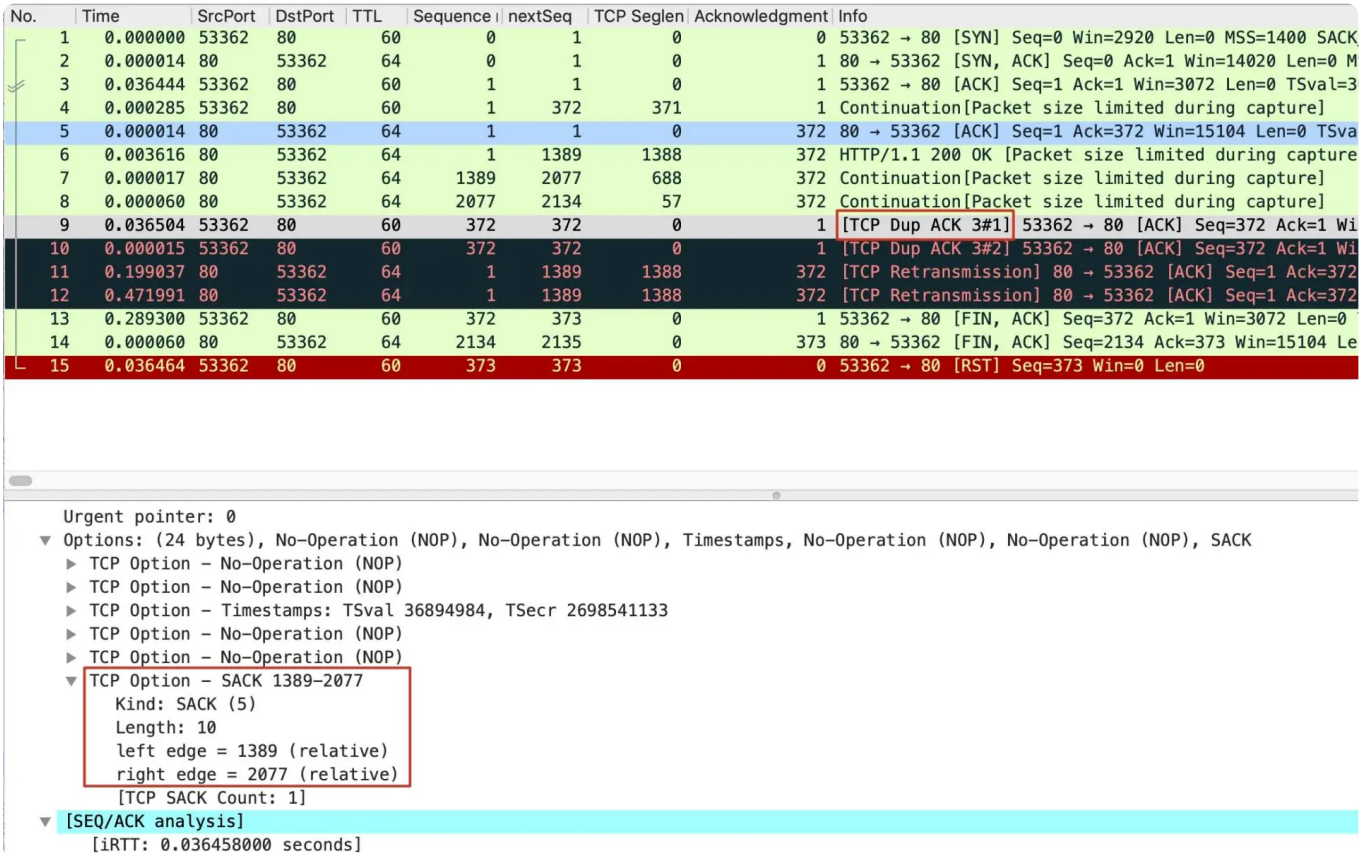
SACK 跟重传的关系

其实在第 8 讲“MTU 引发的血案”里，我们就发现了 SACK 现象。这次我们研究重传，那就有必要回顾一下这个 SACK 部分，把它的含义和作用，都搞清楚。

在那次案例里，服务端向客户端发送了 3 个 HTTP 响应报文，但是因为 MTU 的问题，其中一个大的报文在路径上丢失了，只有后面 2 个报文到达了客户端，从而引发了客户端发送了两次 DupAck。

> 示例文件已经上传至 Gitee，建议结合示例文件和文稿来深入学习。

我们来看看这两个 DupAck 的详情，先看第一个：



No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	nextSeq	TCP Seglen	Acknowledgment	Info
1	0.000000	53362	80	60	0	1	0	0	53362 → 80 [SYN] Seq=0 Win=2920 Len=0 MSS=1400 SACK
2	0.000014	80	53362	64	0	1	0	1	80 → 53362 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=14020 Len=0 M
3	0.036444	53362	80	60	1	1	0	1	53362 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=3072 Len=0 TSval=3
4	0.000285	53362	80	60	1	372	371	1	Continuation[Packet size limited during capture]
5	0.000014	80	53362	64	1	1	0	372	80 → 53362 [ACK] Seq=1 Ack=372 Win=15104 Len=0 TSva
6	0.003616	80	53362	64	1	1389	1388	372	HTTP/1.1 200 OK [Packet size limited during capture
7	0.000017	80	53362	64	1389	2077	688	372	Continuation[Packet size limited during capture]
8	0.000060	80	53362	64	2077	2134	57	372	Continuation[Packet size limited during capture]
9	0.036504	53362	80	60	372	372	0	1	[TCP Dup ACK 3#1] 53362 → 80 [ACK] Seq=372 Ack=1 Wi
10	0.000015	53362	80	60	372	372	0	1	[TCP Dup ACK 3#2] 53362 → 80 [ACK] Seq=372 Ack=1 Wi
11	0.199037	80	53362	64	1	1389	1388	372	[TCP Retransmission] 80 → 53362 [ACK] Seq=1 Ack=372
12	0.471991	80	53362	64	1	1389	1388	372	[TCP Retransmission] 80 → 53362 [ACK] Seq=1 Ack=372
13	0.289300	53362	80	60	372	373	0	1	53362 → 80 [FIN, ACK] Seq=372 Ack=1 Win=3072 Len=0
14	0.000060	80	53362	64	2134	2135	0	373	80 → 53362 [FIN, ACK] Seq=2134 Ack=373 Win=15104 Le
15	0.036464	53362	80	60	373	373	0	0	53362 → 80 [RST] Seq=373 Win=0 Len=0

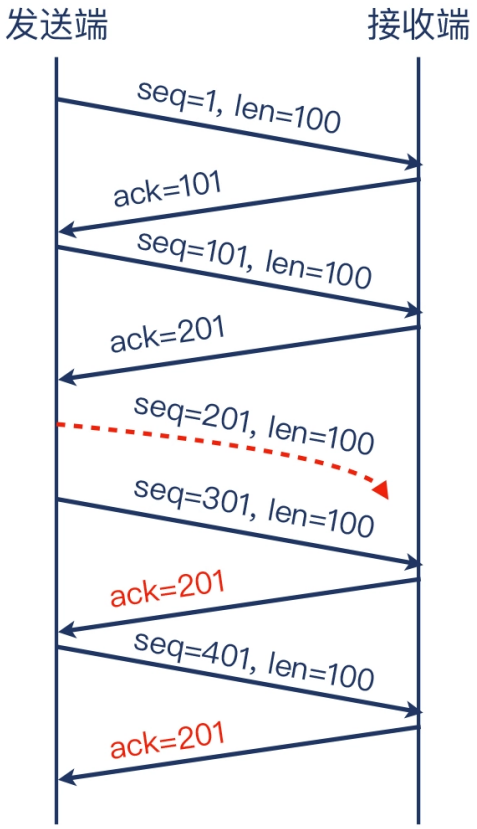
```
Urgent pointer: 0
▼ Options: (24 bytes), No-Operation (NOP), No-Operation (NOP), Timestamps, No-Operation (NOP), No-Operation (NOP), SACK
  ▶ TCP Option - No-Operation (NOP)
  ▶ TCP Option - No-Operation (NOP)
  ▶ TCP Option - Timestamps: TSval 36894984, TSecr 2698541133
  ▶ TCP Option - No-Operation (NOP)
  ▶ TCP Option - No-Operation (NOP)
  ▼ TCP Option - SACK 1389-2077
      Kind: SACK (5)
      Length: 10
      left edge = 1389 (relative)
      right edge = 2077 (relative)
      [TCP SACK Count: 1]
▼ [SEQ/ACK analysis]
    [iRTT: 0.036458000 seconds]
```

你可以直接进入关键部分，也就是这里框出来的 TCP Option SACK 1389-2077。**SACK 全称是 Selective Acknowlegement，中文叫“选择性确认”**。但是在中文里，貌似带“选择性”这个前缀的词都不是很正面，比如像“选择性忽视”“选择性失忆”什么的，我们好像都不想摊上这种事。

不过，在 TCP 的世界里，“选择性确认”这个概念就很不一样了，它还真的是我们实实在在需要的一个特性，能帮助 TCP 运作得更好。

我们先说说没有 SACK 会怎么样。在前面的五个报文的例子里，接收端在 TCP 里，我们只能对收到的连续报文进行确认。我们可以看个例子：

发送端的Seq号和Len		接收端回复的ACK号
1	100	101
101	100	201
201 丢包	100	
301	100	201
401	100	201



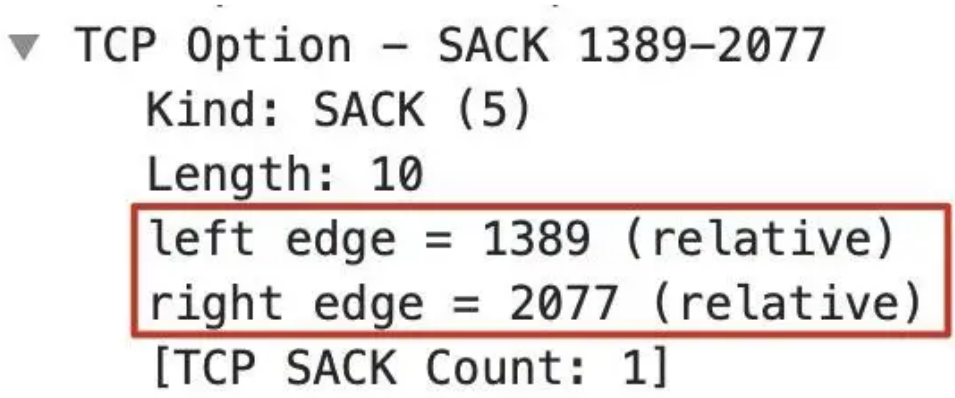
接收端回复的报文的确认号，只能是连续字节数的最后一个位置。因为发送端的序列号为 201、长度为 100 的 TCP 报文丢失了，那么服务端收到的连续字节数的最后一个位置，就是第 201 字节。这还不是最糟糕的，后续发送过来的序列号为 301 和 401 这两个报文，服务端回复的确认报文的确认号也**仍然只能是 201**。

现在，有 3 个确认报文的确认号为 201。对于早期 TCP 实现来说，这个时候发送端只能把序列号从 201 开始的报文，也就是序列号分别为 201、301、401 的这 3 个报文全部重

传。但是，301 和 401 报文实际已经到达接收端，却也要跟着 201 一起被重传，这未免太浪费了，301 和 401 号报文表示“201 真是我们的猪队友”。

那有没有办法，只重传序列号为 201 的报文，而避免重传 301 和 401 呢？

于是，TCP 增加了 SACK 这个特性。SACK 机制可以告诉发送端：“虽然我的确认号是 201，但是我的 TCP Option 里面还有更详细的信息，在那里我会告诉你，在断点后我又收到了哪些数据”。这段话比较晦涩，我们直接看这次的这个报文：

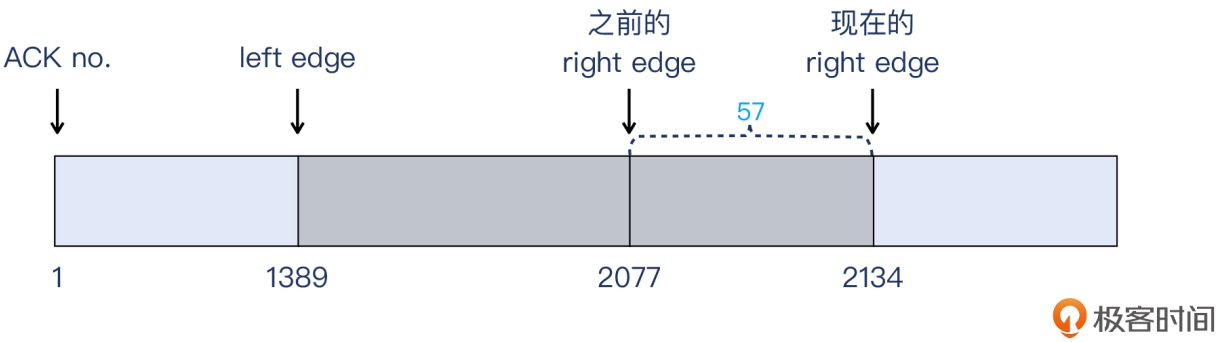


SACK 最关键的部分就是 **left edge 和 right edge**，也就是左右边界。上图告诉我们：我收到了从第 1389 字节开始直到 2076 字节（也就是不含 2077）的数据。这样，我们可以把 SACK 和确认号结合起来，知道了通过这个报文，接收端（这里是客户端）明白了什么样的信息。我用示意图把这个信息表示了出来：

类似的，我们看一下第二个重复确认报文（示例文件的 10 号报文）的 SACK 详情：

```
▼ TCP Option - SACK 1389-2134
    Kind: SACK (5)
    Length: 10
    left edge = 1389 (relative)
    right edge = 2134 (relative)
    [TCP SACK Count: 1]
```

可见，第二个重复确认报文的 SACK，把实际收到的报文边界又往右“推”了一些，到了第 2134 字节（之前是第 2077 字节）。这个差额是 2134-2077=57。



你有没有发现，这 57 个字节，其实正是前面抓包文件截图里的 8 号报文的大小，也就是说这 57 字节的报文确实被服务端收到了，并在随后回复的 SACK 报文中得以体现。这里我们再看一眼这 57 字节的报文在抓包文件中的位置：

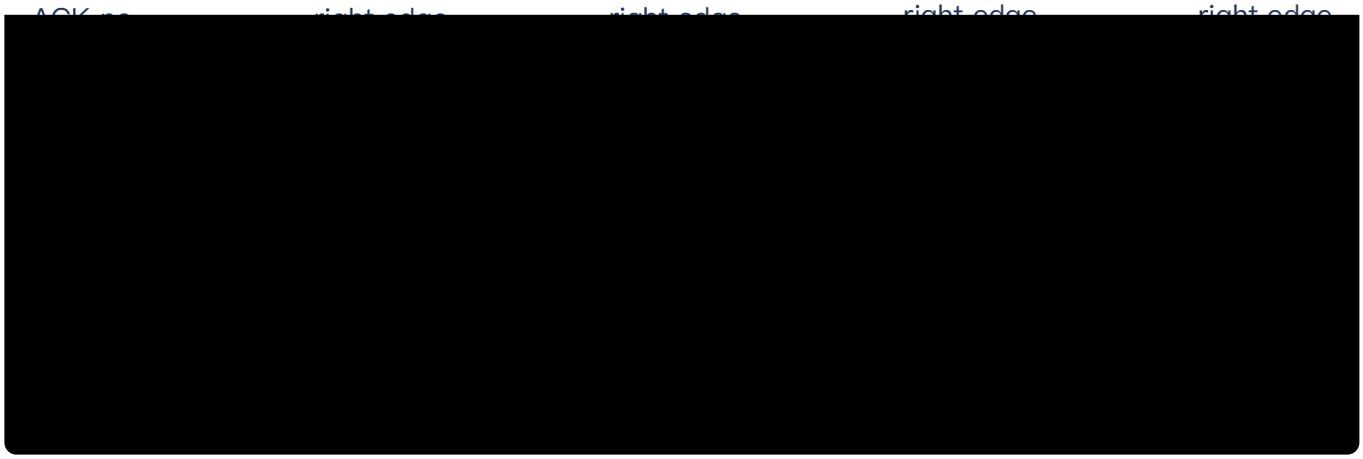
No.	Time	SrcPort	DstPort	TTL	Sequence	nextSeq	TCP Seglen	Acknowledgment	Info
1	0.000000	53362	80	60	0	1	0	0	53362 → 80 [SYN] Seq=0 Win=2920 Len=0
2	0.000014	80	53362	64	0	1	0	1	80 → 53362 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=
3	0.036444	53362	80	60	1	1	0	1	53362 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=3072
4	0.000285	53362	80	60	1	372	371	1	Continuation[Packet size limited durin
5	0.000014	80	53362	64	1	1	0	372	80 → 53362 [ACK] Seq=1 Ack=372 Win=151
6	0.003616	80	53362	64	1	1389	1388	372	HTTP/1.1 200 OK [Packet size limited d
7	0.000017	80	53362	64	1389	2077	688	372	Continuation[Packet size limited durin
8	0.000060	80	53362	64	2077	2134	57	372	Continuation[Packet size limited durin
9	0.036504	53362	80	60	372	372	0	1	[TCP Dup ACK 3#1] 53362 → 80 [ACK] Seq
10	0.000015	53362	80	60	372	372	0	1	[TCP Dup ACK 3#2] 53362 → 80 [ACK] Seq
11	0.199037	80	53362	64	1	1389	1388	372	[TCP Retransmission] 80 → 53362 [ACK]
12	0.471991	80	53362	64	1	1389	1388	372	[TCP Retransmission] 80 → 53362 [ACK]
13	0.289300	53362	80	60	372	373	0	1	53362 → 80 [FIN, ACK] Seq=372 Ack=1 Wi
14	0.000060	80	53362	64	2134	2135	0	373	80 → 53362 [FIN, ACK] Seq=2134 Ack=373
15	0.036464	53362	80	60	373	373	0	0	53362 → 80 [RST] Seq=373 Win=0 Len=0

既然 SACK 这么好，是不是 TCP 传输都能用上它呢？其实，**SACK 要能工作，还需要 SACK permitted 这个 TCP 扩展属性的支持**。这个字段只有在 TCP 握手的 SYN 和 SYN+ACK 报文中出现，表示自己是否支持 SACK 特性。比如下图：

```
▼ Options: (20 bytes), Maximum segment size, SACK permitted, Timestamps
  ▶ TCP Option - Maximum segment size: 1400 bytes
  ▼ TCP Option - SACK permitted
      Kind: SACK Permitted (4)
      Length: 2
  ▶ TCP Option - Timestamps: TSval 36894907, TSecr 0
  ▶ TCP Option - No-Operation (NOP)
  ▶ TCP Option - Window scale: 9 (multiply by 512)
▶ [Timestamps]
```

知道对方支持 SACK，那我们就可以在后续报文里带上 SACK，也就是上面的含有 left edge 和 right edge，来告诉对方我实际收到的 TCP 段了，就可以避免这部分报文也被连带重传。201 报文表示：还好有了 SACK，队友们你们继续往前冲吧，我虽然这次掉队了，但我还会回来的。

那么有了 SACK，是不是所有的这种零星到达的报文，都不用重传了呢？答案是没有那么乐观。受限于 TCP Option 长度，**SACK 部分最多只能容纳 4 个块**。当然，这比没有 SACK 的情况还是好多了。



小结

这节课，我们学习了 TCP 重传的两种类型：超时重传和快速重传。然后也通过实际案例，看到了这两种重传在实际情况中的特点。这里我再给你小结一下这些知识点，你可要好好掌握。

对于超时重传：

TCP 对于每条连接都维护了一个超时计时器，当数据发送出去后一定时限内还没有收到确认，就认为是发生了超时，然后重传这部分数据。

RTO 的初始值是 1 秒（在发送 SYN 但未收到 SYN+ACK 阶段）。

在连接建立后，TCP 会动态计算出 TRO。

RTO 有上限值和下限值，常见值分别为 2 分钟和 200ms。

实际场景中，RTO 为 200ms 出头最为常见。

对于快速重传：

快速重传的触发条件是：收到 3 个或者 3 个以上的重复确认报文（DupAck）。

在快速重传中，SACK（选择性确认）也起到了避免一部分已经到达的数据被重传。不过，也由于 TCP 头部长度的限制，SACK 只能放置 4 个块，再多也不行了。

快速重传只要 3 个 DupAck 就可以触发，实际上我们还可能观察到远多于 3 个 DupAck 的情况，这也是正常现象。

Spurious 重传对 TCP 传输的影响比快速重传和超时重传小很多，总体来说是一种影响不大的重传。

另外，在案例拆解的过程中，我们也进一步学习了 Wireshark 的使用技巧，包括：

Wireshark 里的信息，是需要跟你“抓包发生在哪一侧”这个信息，结合起来解读的。这对你的排查会起到很关键的作用。

如何定位到被重传的原始报文的方法：**先找到重传报文的序列号，然后到前面找到同样这个序列号的报文。**

如果在专家信息里看到 **New fragment overlaps old data (retransmission?)**，这意味着多个报文之间的数据有重叠，但一般不是严重的问题。

Wireshark 提示的 **(suspected) fast retransmission** 就是快速重传报文。

Wireshark 提示的 **(suspected) retransmission** 就是超时重传报文。

如果发现有数据报文和 DupAck 数量不对等的情况，可以**看一下是否有 TSO 的存在**。

思考题

最后再给你留两个思考题：

TCP 的确认报文如果丢失了，发送端还会不会重传呢？为什么？

你有没有遇到过重传引发的问题，你是怎么处理的呢？

欢迎你把答案分享到留言区，我们一起进步、成长。

上一篇 11 | 拥塞：TCP是如何探测到拥塞的？

下一篇 13 | 重传的再认识：没有任何丢包却也一直重传？

精选留言

写留言

由作者筛选后的优质留言将会公开显示，欢迎踊跃留言。