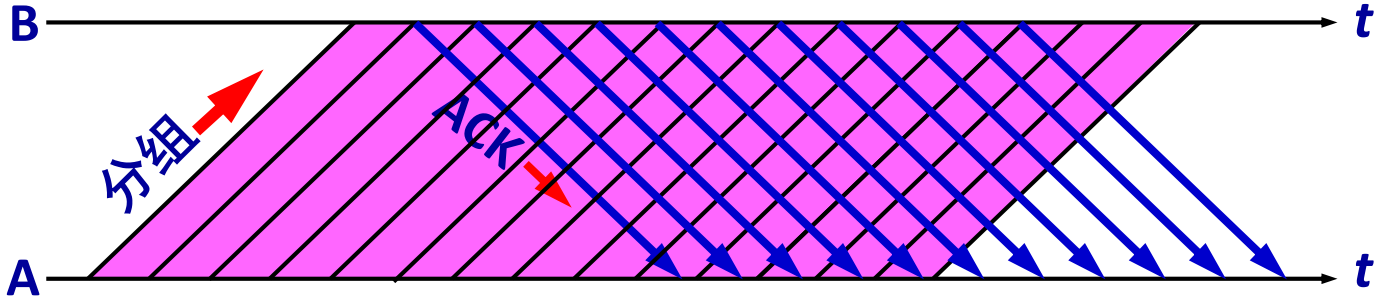
计算机网络与通信技术

知识点：滑动窗口

北京交通大学 黄彧

流水线传输

- 流水线传输就是发送方可连续发送多个分组，不必每发完一个分组就停顿下来等待对方的确认。这样可使信道上一直有数据不间断地传送。

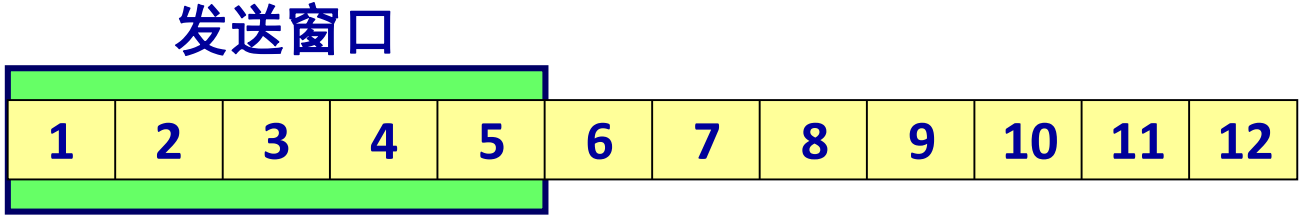


由于信道上一直有数据不间断地传送，这种传输方式可获得很高的信道利用率。

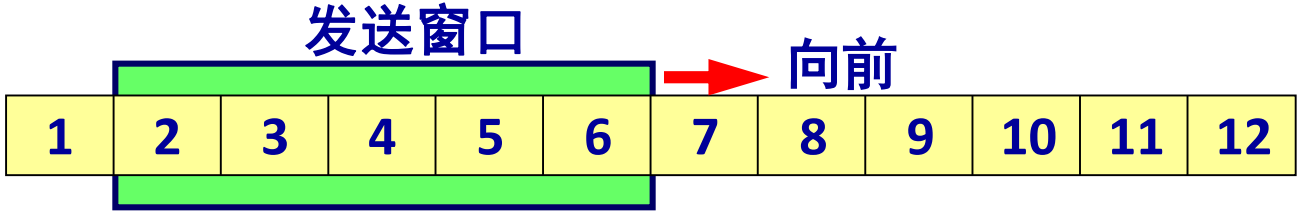
连续ARQ协议

- 发送方维持的发送窗口，它的意义是：位于发送窗口内的分组都可连续发送出去，而不需要等待对方的确认。这样，信道利用率就提高了。
- 连续 ARQ 协议规定，发送方每收到一个确认，就把发送窗口向前滑动一个分组的位置。

连续ARQ协议



(a) 发送方维持发送窗口（发送窗口是 5）



(b) 收到一个确认后发送窗口向前滑动

连续 ARQ 协议的工作原理

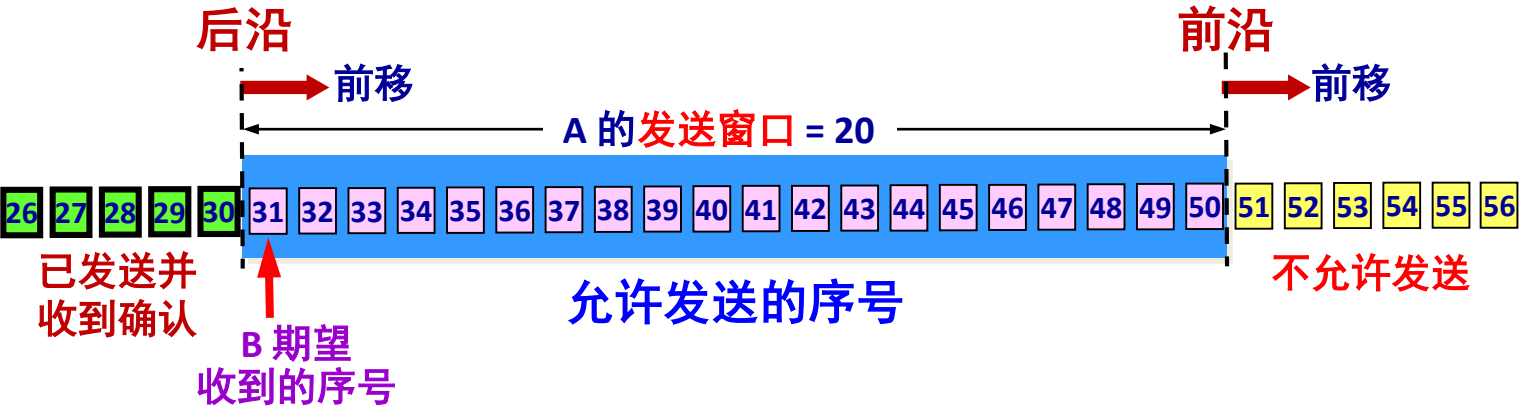
累积确认

- 接收方一般采用累积确认的方式。即不必对收到的分组逐个发送确认，而是对按序到达的最后一个分组发送确认，这样就表示：到这个分组为止的所有分组都已正确收到了。
- 优点：容易实现，即使确认丢失也不必重传。
- 缺点：不能向发送方反映出接收方已经正确收到的所有分组的信息。
- Go-back-N（回退 N），表示需要再退回来重传已发送过的 N 个分组。

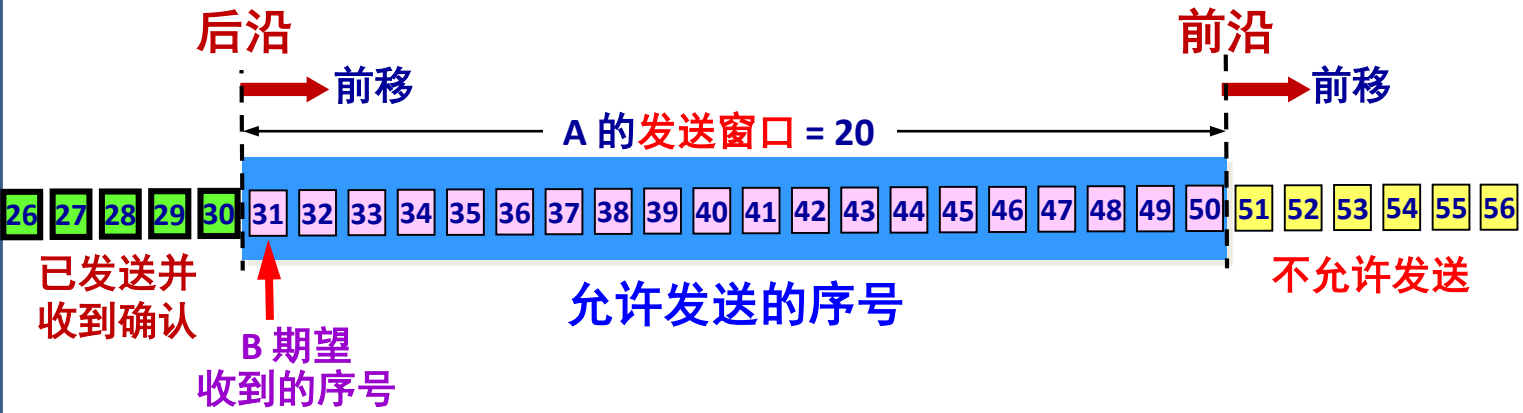
TCP可靠通信的具体实现

- TCP 连接的每一端都必须设有两个窗口——一个发送窗口和一个接收窗口。
- TCP 的可靠传输机制用字节的序号进行控制。TCP 所有的确认都是基于序号而不是基于报文段。
- TCP 两端的四个窗口经常处于动态变化之中。
- TCP连接的往返时间 RTT 也不是固定不变的。需要使用特定的算法估算较为合理的重传时间。

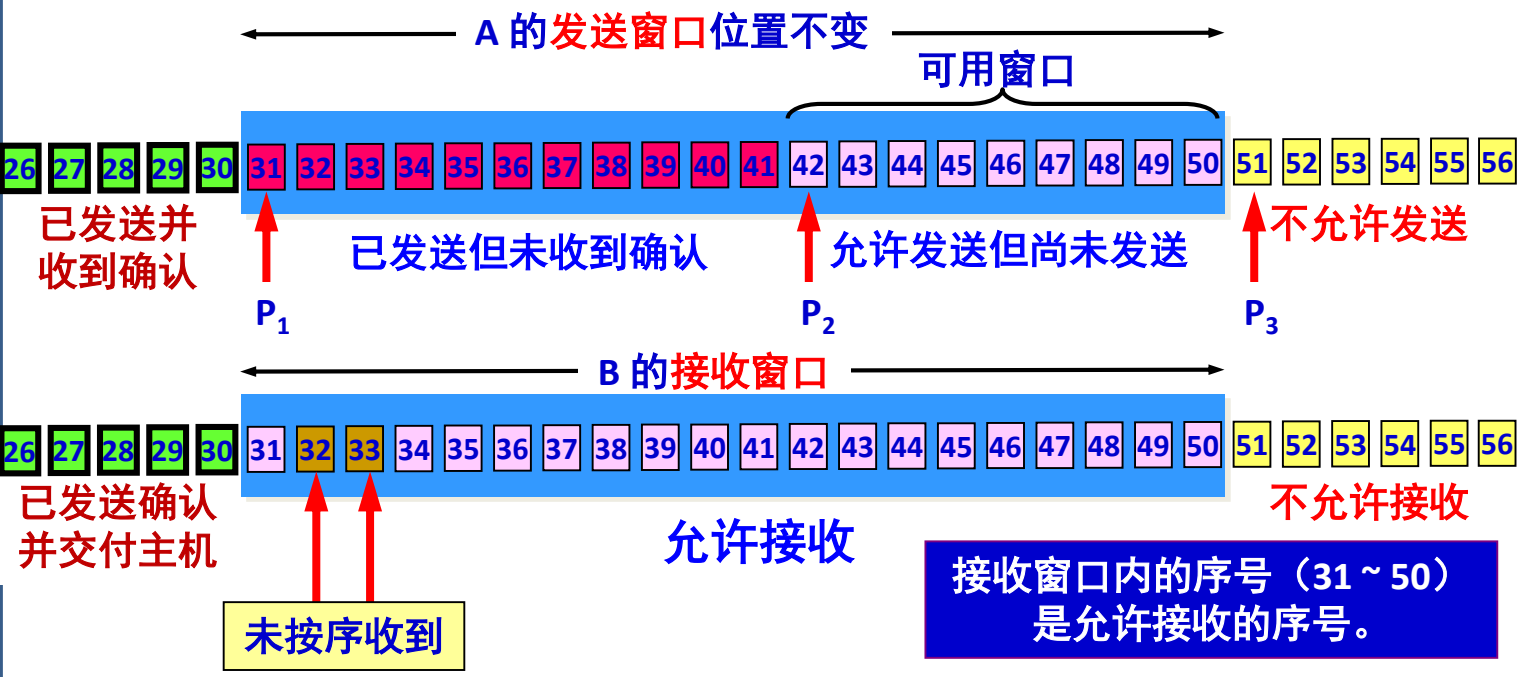
- 根据 B 给出的窗口值，A 构造出自己的发送窗口。
- 发送窗口表示：在没有收到 B 的确认的情况下，A 可以连续把窗口内的数据都发送出去。
- 发送窗口里面的序号表示允许发送的序号。
- 显然，窗口越大，发送方就可以在收到对方确认之前连续发送更多的数据，因而可能获得更高的传输效率。



- 根据 B 给出的窗口值，A 构造出自己的发送窗口。
- 发送窗口表示：在没有收到 B 的确认的情况下，A 可以连续把窗口内的数据都发送出去。
- 发送窗口里面的序号表示允许发送的序号。
- 显然，窗口越大，发送方就可以在收到对方确认之前连续发送更多的数据，因而可能获得更高的传输效率。



A 发送了 11 个字节的数据

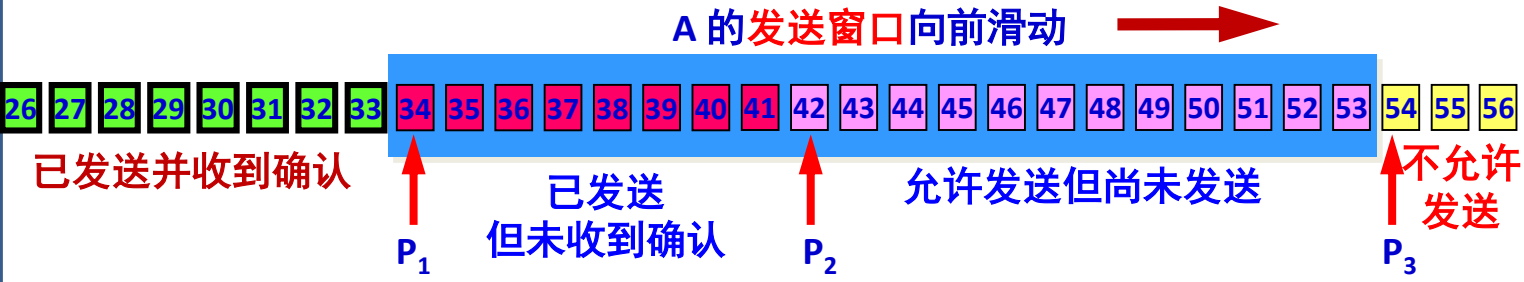


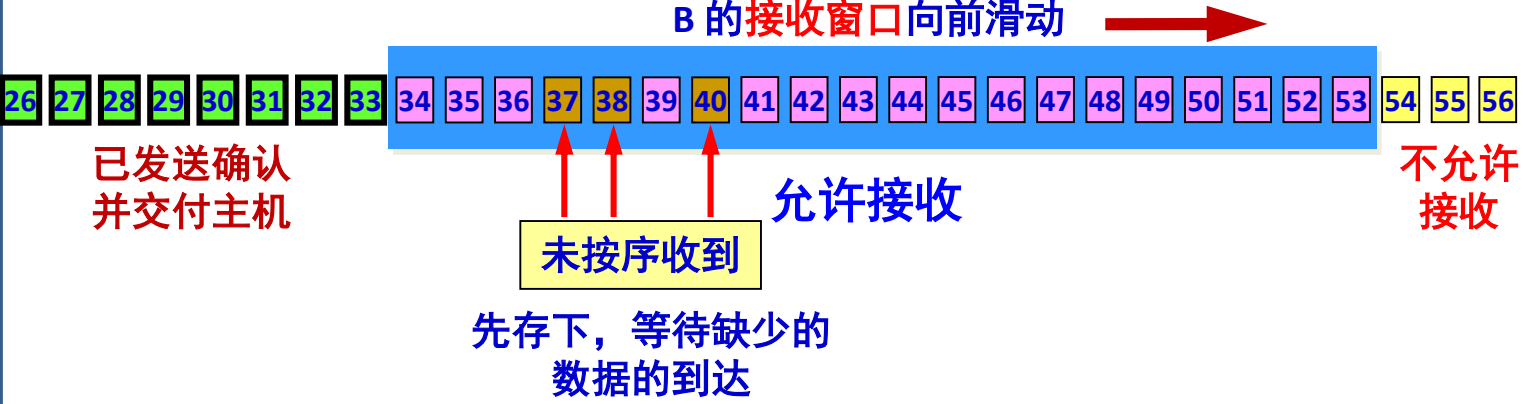
$P_3 - P_1$ = A 的发送窗口（又称为通知窗口）

$P_2 - P_1$ = 已发送但尚未收到确认的字节数

$P_3 - P_2$ = 允许发送但尚未发送的字节数（又称为可用窗口）

A 收到新的确认号，发送窗口向前滑动





A 的发送窗口内的序号都已用完，但还没有再收到确认，必须停止发送。

发送窗口内的序号都属于已发送但未被确认

需要强调三点

- 第一，A 的发送窗口并不总是和 B 的接收窗口一样大（因为有一定的时间滞后）。
- 第二，TCP 标准没有规定对不按序到达的数据应如何处理。通常是先临时存放在接收窗口中，等到字节流中所缺少的字节收到后，再按序交付上层的应用进程。
- 第三，TCP 要求接收方必须有累积确认的功能，这样可以减小传输开销。

接收方发送确认

- 接收方可以在合适的时候发送确认，也可以在自己有数据要发送时把确认信息顺便捎带上。
- 但请注意两点：
  - 第一，接收方不应过分推迟发送确认，否则会导致发送方不必要的重传，这反而浪费了网络的资源。。
  - 第二，捎带确认实际上并不经常发生，因为大多数应用程序很少同时在两个方向上发送数据。

超时重传时间的选择

- TCP 每发送一个报文段，就对这个报文段设置一次计时器。
- 只要计时器设置的重传时间到但还没有收到确认，就要重传这一报文段。
- 重传时间的选择是 TCP 最复杂的问题之一。

加权平均往返时间

- TCP 保留了 RTT 的一个加权平均往返时间 RTT_S（这又称为平滑的往返时间）。
- 第一次测量到 RTT 样本时，RTT_S 值就取为所测量到的 RTT 样本值。以后每测量到一个新的 RTT 样本，就按下式重新计算一次 RTT_S：

$$\text{新的}RTT_S = (1-\alpha) \times (\text{旧的}RTT_S) + \alpha \times (\text{新的RTT样本})$$

- 式中，$0 \le \alpha < 1$。若 α 很接近于零，表示 RTT 值更新较慢。若选择 α 接近于 1，则表示 RTT 值更新较快。
- RFC 2988 推荐的 α 值为 1/8，即 0.125。

超时重传时间 RTO

- RTO (Retransmission Time-Out) 应略大于上面得出的加权平均往返时间 RTT_S。
- RFC 2988 建议使用下式计算 RTO：

$$RTO = RTT_S + 4 \times RTT_D$$

- RTT_D 是 RTT 的偏差的加权平均值。
- RFC 2988 建议这样计算 RTT_D。第一次测量时，RTT_D 值取为测量到的 RTT 样本值的一半。在以后的测量中，则使用下式计算加权平均的 RTT_D：

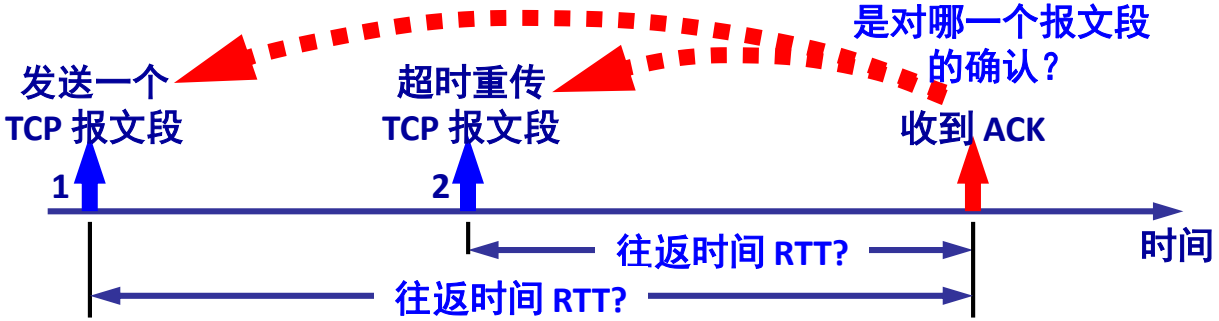
$$\text{新的 } RTT_D = (1 - \beta) \times (\text{旧的} RTT_D) + \beta \times |RTT_S - \text{新的 RTT 样本}|$$

- β 是个小于 1 的系数，其推荐值是 1/4，即 0.25。

往返时间（RTT）的测量

- Karn 算法：在计算平均往返时间 RTT 时，只要报文段重传了，就不采用其往返时间样本。

- 如何判定此确认报文段是对原来的报文段 1 的确认，还是对重传的报文段 2 的确认？



Karn 算法

- 在计算平均往返时间 RTT 时，只要报文段重传了，就不采用其往返时间样本。
- 修正Karn算法：报文段每重传一次，就把 RTO 增大一些：

新的 RTO = γ × (旧的 RTO)

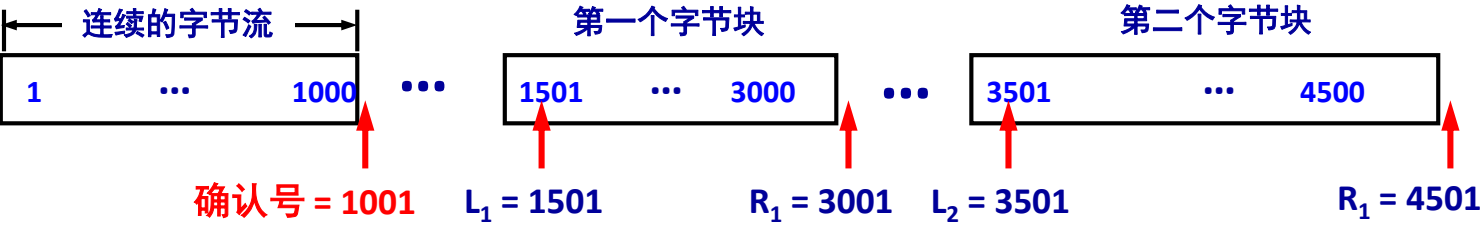
- 系数 γ 的典型值是 2 。

选择确认 SACK

- 问题：若收到的报文段无差错，只是未按序号，中间还缺少一些序号的数据，那么能否设法只传送缺少的数据而不重传已经正确到达接收方的数据？
- 答案：选择确认 SACK (Selective ACK) 就是一种可行的处理方法。

接收到的字节流序号不连续

TCP 的接收方在接收对方发送过来的数据字节流的序号不连续，结果就形成了一些不连续的字节块。



和前后字节不连续的每一个字节块都有两个边界：边界和右边界。

- 第一个字节块的左边界 $L_1 = 1501$，但右边界 $R_1 = 3001$。左边界指出字节块的第一个字节的序号，但右边界减 1 才是字节块中的最后一个序号。
- 第二个字节块的左边界 $L_2 = 3501$，而右边界 $R_2 = 4501$。

选择确认 SACK

- 如果要使用选择确认，那么在建立 TCP 连接时，就要在 TCP 首部的选项中加上“允许 SACK”选项，而双方必须都事先商定好。
- 由于首部选项的长度最多只有 40 字节，而指明一个边界就要用掉 4 字节，因此在选项中最多只能指明 4 个字节块的边界信息。

计算机网络与通信技术

知识点：滑动窗口

北京交通大学 黄彧