第三章 数据链路层

滑窗协议

如何提高信道利用率？

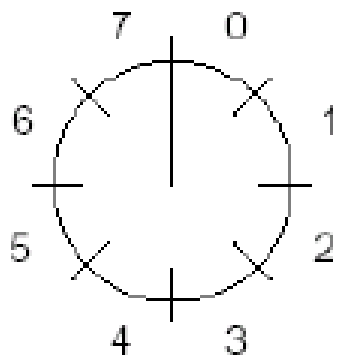
- 全双工
- 捎带确认
- 批量发送数据：滑窗技术(协议4~协议6)
  - 协议4：n=1——引出滑动窗口的基本概念
  - 协议5：回退n帧（Go Back n）
  - 协议6：选择重传（Select Repeat）

如何提高信道利用率？

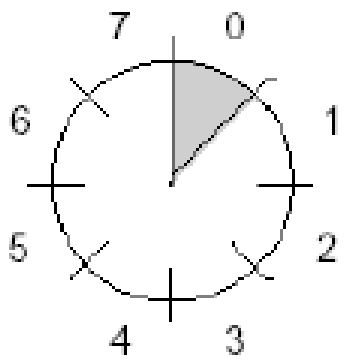
- 两个窗口
  - 发送窗口
    - 对应着 已经发送但还未被确认的帧 的序号
  - 接收窗口
    - 对应着 期望接收 的帧的序号

窗口大小为1，有3位序列号的滑动窗口

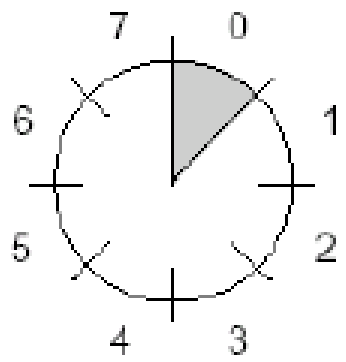
Sender



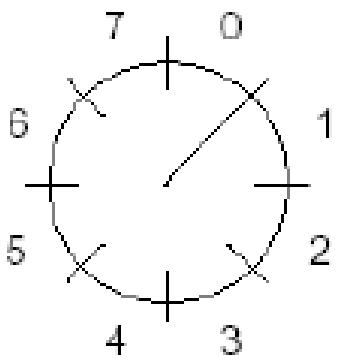
初始时



发送了第一帧

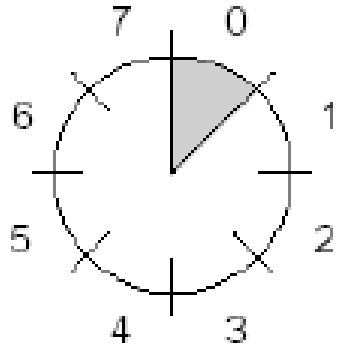


接收了第一帧

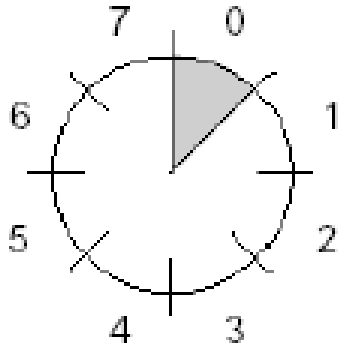


收到第一个确认帧

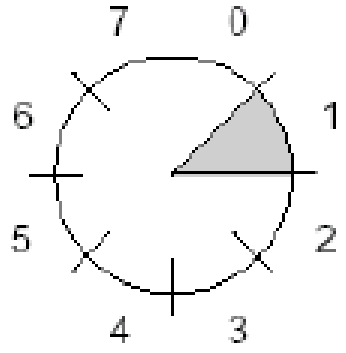
Receiver



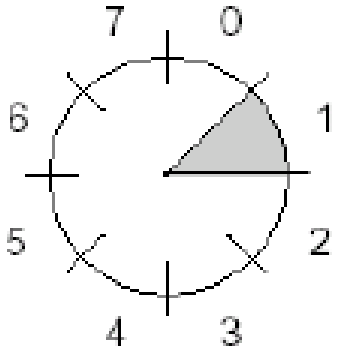
(a)



(b)



(c)

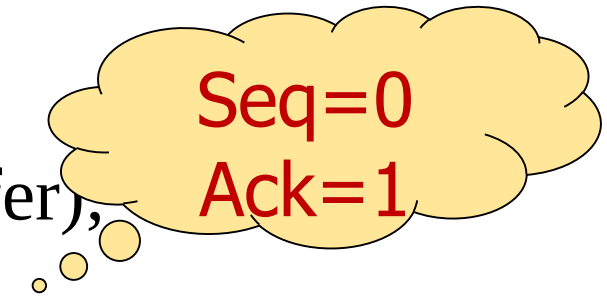


(d)

窗口滑动的条件

- 接收方收到帧后，首先核对是否为预期帧号(frame_expected)，如果是的，则接收并frame_expected+1，即移动接收窗口。
- 发送端收到应答帧，核对响应帧号next_frame_to_send，核对无误后，从网络层取新的帧，并执行next_frame_to_send+1，即移动发送窗口。如核对帧号不正确，则不移动窗口

```
void protocol4 (void)
{
 seq_nr next_frame_to_send;
 seq_nr frame_expected;
 frame r, s;
 packet buffer;
 event_type event;
 next_frame_to_send = 0;
 frame_expected = 0;
 from_network_layer(&buffer);
 s.info = buffer;
 s.seq = next_frame_to_send;
 s.ack = 1 − frame_expected;
 to_physical_layer(&s);
 start_timer(s.seq);
```



```
while (true) {
  wait_for_event(&event);
  if (event == frame_arrival) {
        from_physical_layer(&r);
        if (r.seq == frame_expected) {
              to_network_layer(&r.info);
              inc(frame_expected);
              }
        if (r.ack == next_frame_to_send) {
              stop_timer(r.ack);
              from_network_layer(&buffer);
              inc(next_frame_to_send);
              }
         }
         s.info = buffer;
         s.seq = next_frame_to_send;
         s.ack = 1 − frame_expected;
         to_physical_layer(&s);
         start_timer(s.seq);
         }
}
```

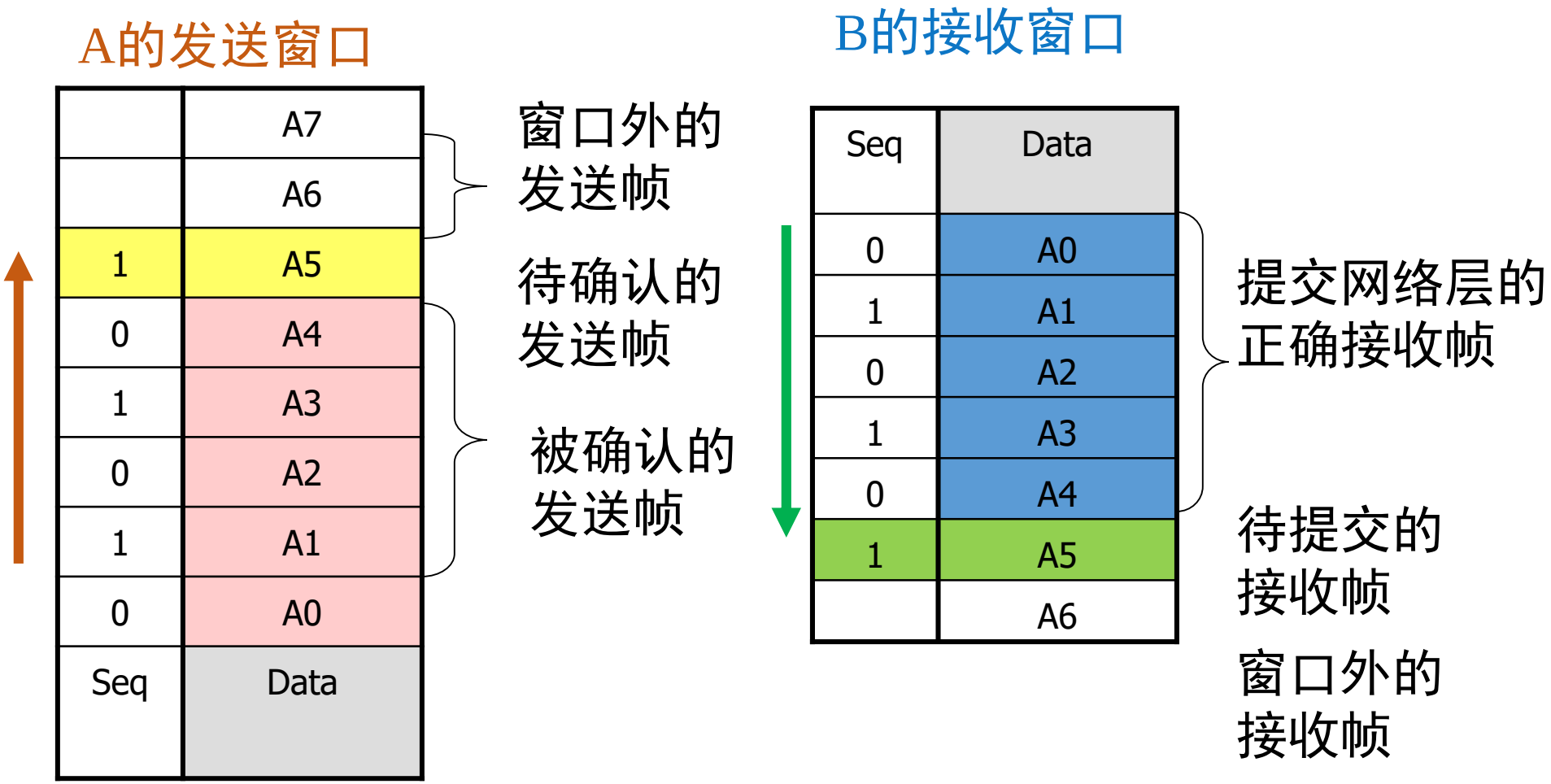
移动
接收窗口

收到对方的
捎带确认

移动
发送窗口

捎带确认

w=1滑动窗口概念


A的发送窗口
A7
A6
1
A5
0
A4
1
A3
0
A2
1
A1
0
A0
Seq
Data
窗口外的
发送帧
待确认的
发送帧
被确认的
发送帧
B的接收窗口
Seq
Data
0
A0
1
A1
0
A2
1
A3
0
A4
1
A5
A6
提交网络层的
正确接收帧
待提交的
接收帧
窗口外的
接收帧

滑动窗口的基本概念

- 每个待发送帧被赋予一个序列号seq
  - seq的取值范围是 $0 \sim 2^n-1$（n位字段）
- 建立缓冲区
  - 发送窗口：缓存已发送、待确认的帧
    - 顺序接收来自网络层的分组，成帧，赋予序列号
    - 最多保存W个已经发送、等待确认的帧
    - 窗口达到最大值W时强制关闭网络层
  - 接收窗口：缓存期待接收的帧（序号）
    - 对进入窗口的帧顺序提交网络层，产生确认
    - 落在窗口外的帧被丢弃

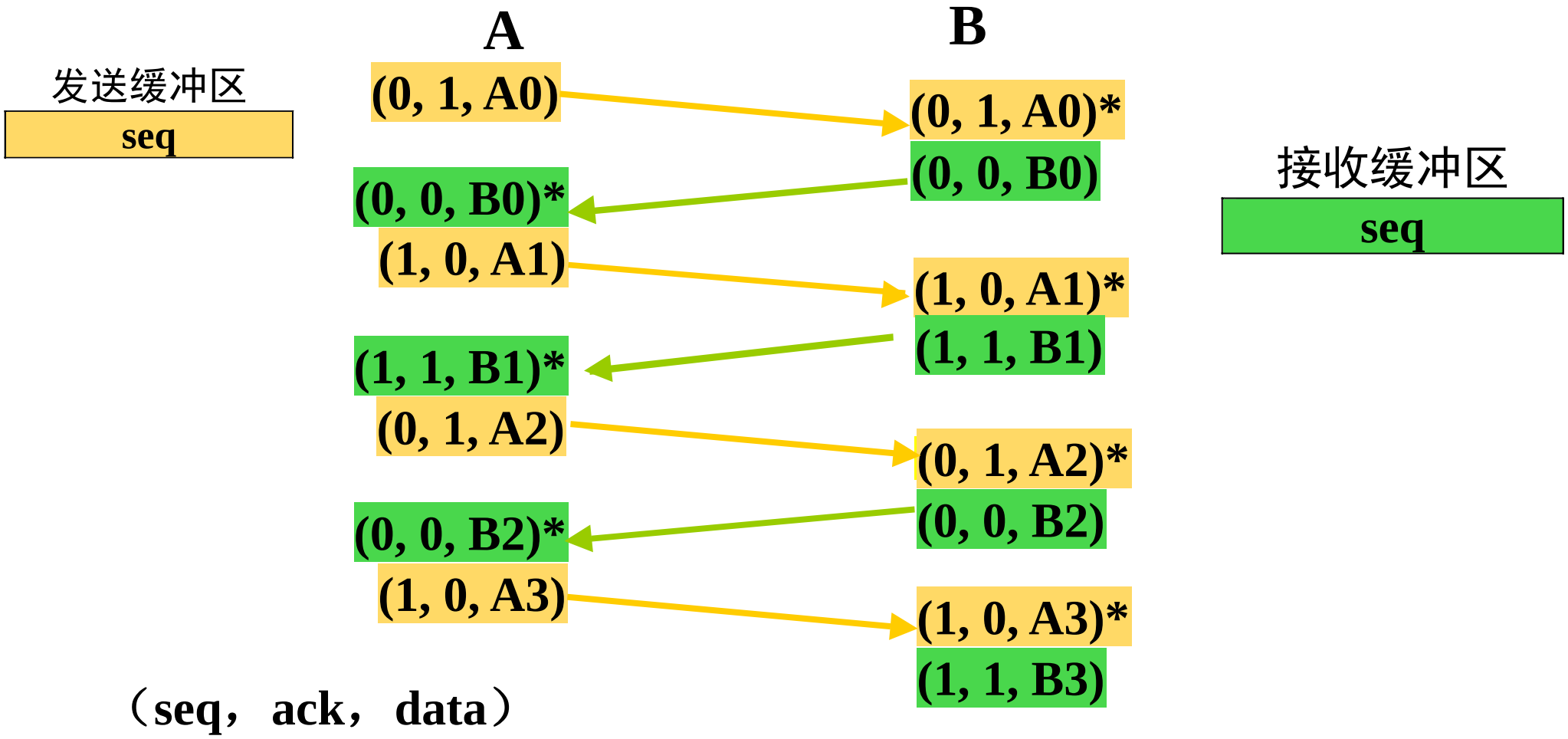
协议4的滑动窗口基本工作原理

- 窗口设置
  - 滑动窗口最大值：MAX_SEQ = 1
  - 通信双方初始值：seq =0, ack=1（期待接收seq=0）
- 窗口滑动机制
  - A首先发送数据帧（seq=0, ack=1, A0）
  - B收到A0，发送捎带确认帧（seq=0, ack=0, B0）
  - A收到对A0的确认，滑动窗口，发送帧（seq=1, ack=0, A1）

协议4的滑动窗口基本工作原理

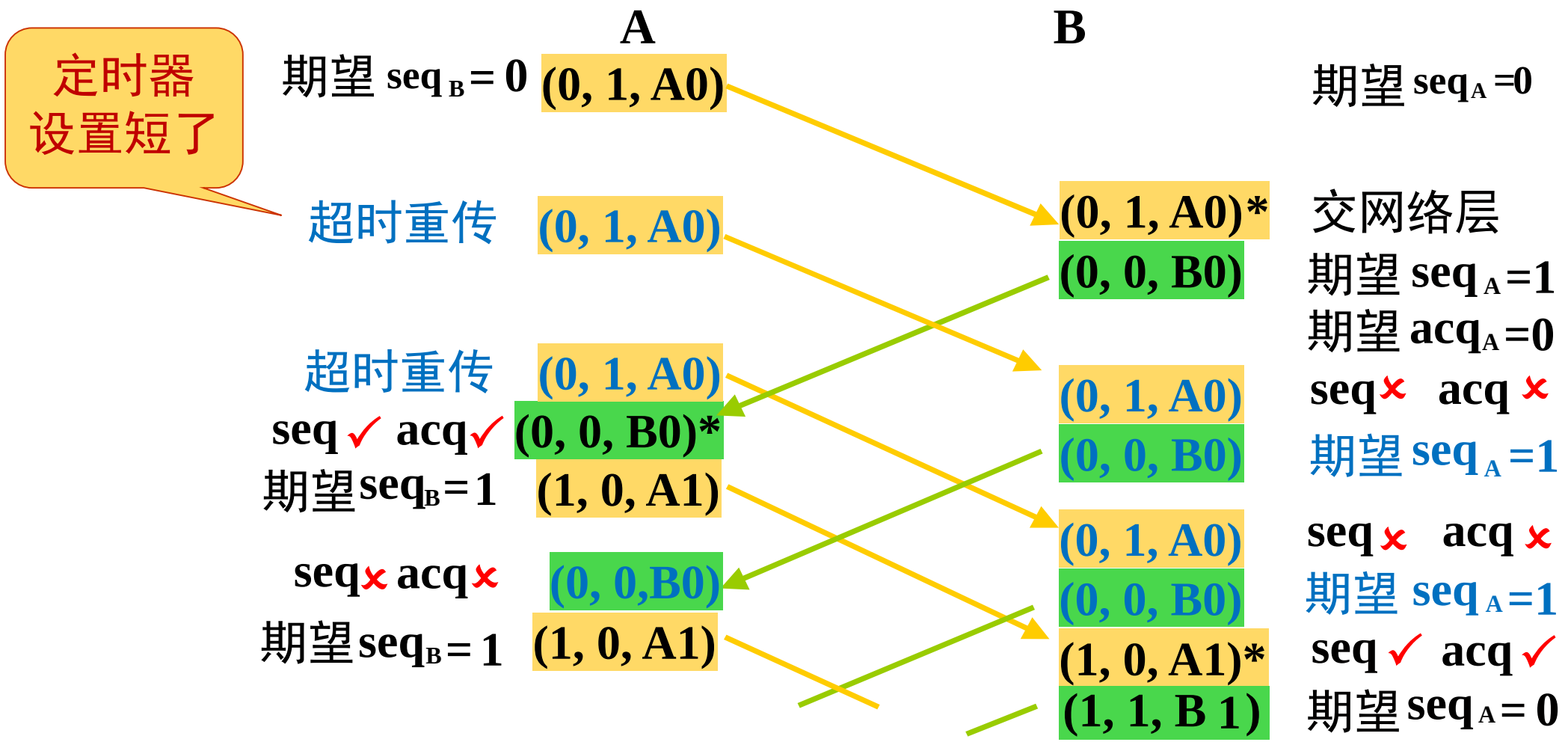
- 特点
  - 序列号seq和确认值ack“0”“1”交替
  - 滑动窗口长度W=1，收到确认才移动窗口
  - 保证按顺序将接收到的正确帧只一次上交网络层

正常情况下发送窗口滑动机制

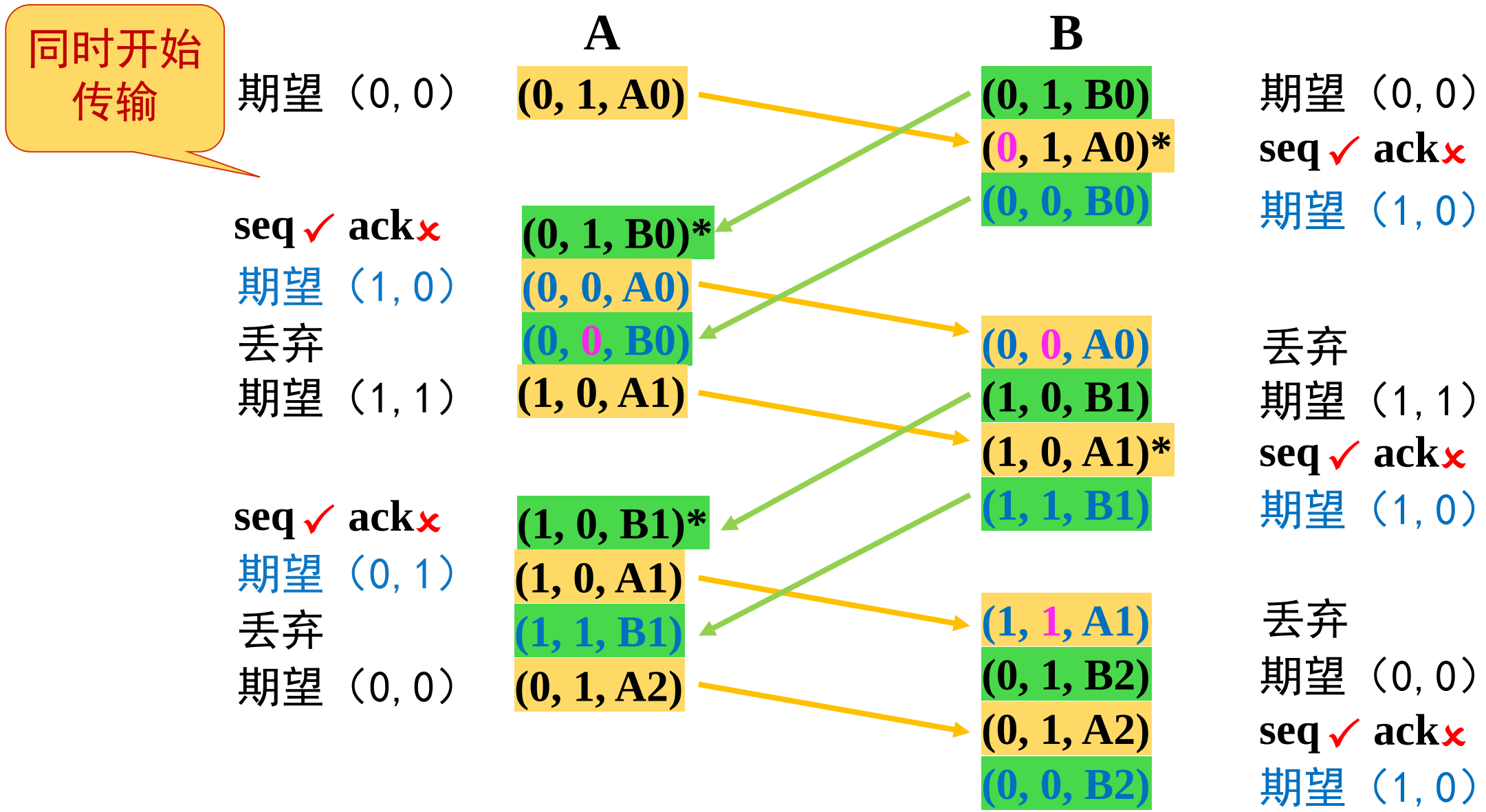


（seq，ack，data）

异常情况一：对重复帧的差错控制



异常情况二：同步开始发送过程的差错控制



协议4的信道利用率怎样呢？

- 在协议4中假设：以下时间是可以忽略的：
  - 接收方处理到达帧的时间
- 事实上，在低速信道上，来回时间（RTT：the round-trip time）可能非常大 ，发送方在这段时间处于blocked状态

协议4的信道利用率

- 如果：
  - 信道传输速率是： b bps
  - 每帧的大小是： k bits
  - 来回时间是： R sec

则信道的利用率是：

$$\text{Line Utilization Rate} = k/(k + bR)$$

例

- 已知：
  - 信道容量 b = 50 kbps
  - 传输延迟 R = 500 ms（双程）
  - 数据帧的长度 k = 1000 bit
  - 设接收方收到数据帧后马上回送确认短帧，没有延时
- 求：信道利用率

解

Or：k/k+bR=1000/1000+50kbps*500ms=3.85%

- 在源端发送数据帧过程需要的时间

  T_f =k/b = 20 ms

- 从发送完毕到确认帧返回需要的时间（双程延迟）

  R = 500 ms

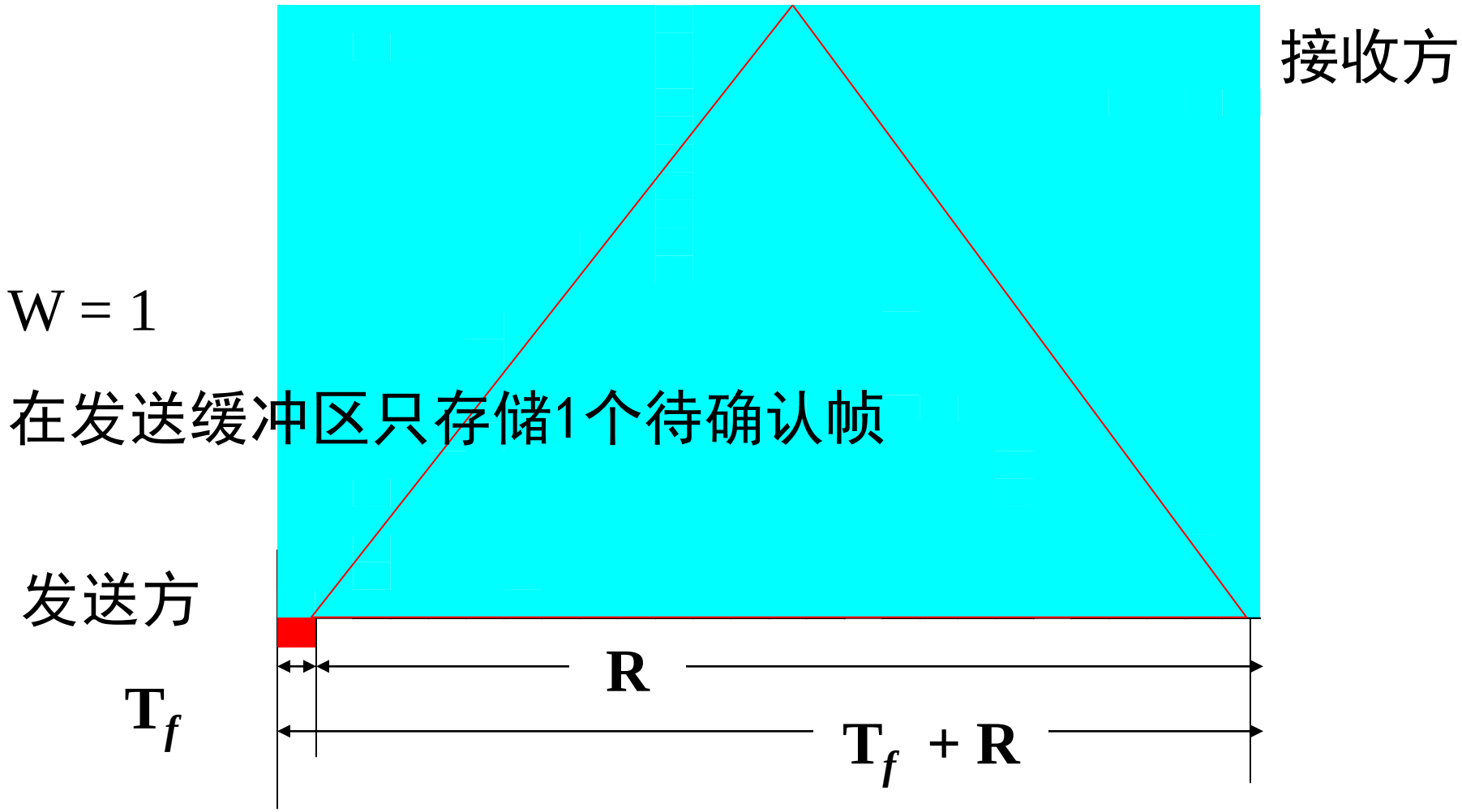
- 从开始发送到确认返回总共需要的时间

  (T_f +R) = 20 + 500 = 520 ms

- 线路的利用率

  T_f/(T_f +R) = 20/520 = 3.85 %

信道利用率不足4%



提高信道利用率的方法

- 增加滑动窗口最大长度W

  信道利用率 $= W*T_f / (T_f + R)$

  $= W* k / (k + bR)$

- 理想情况下，使例题信道利用率达到100%，则滑动窗口最大长度为：

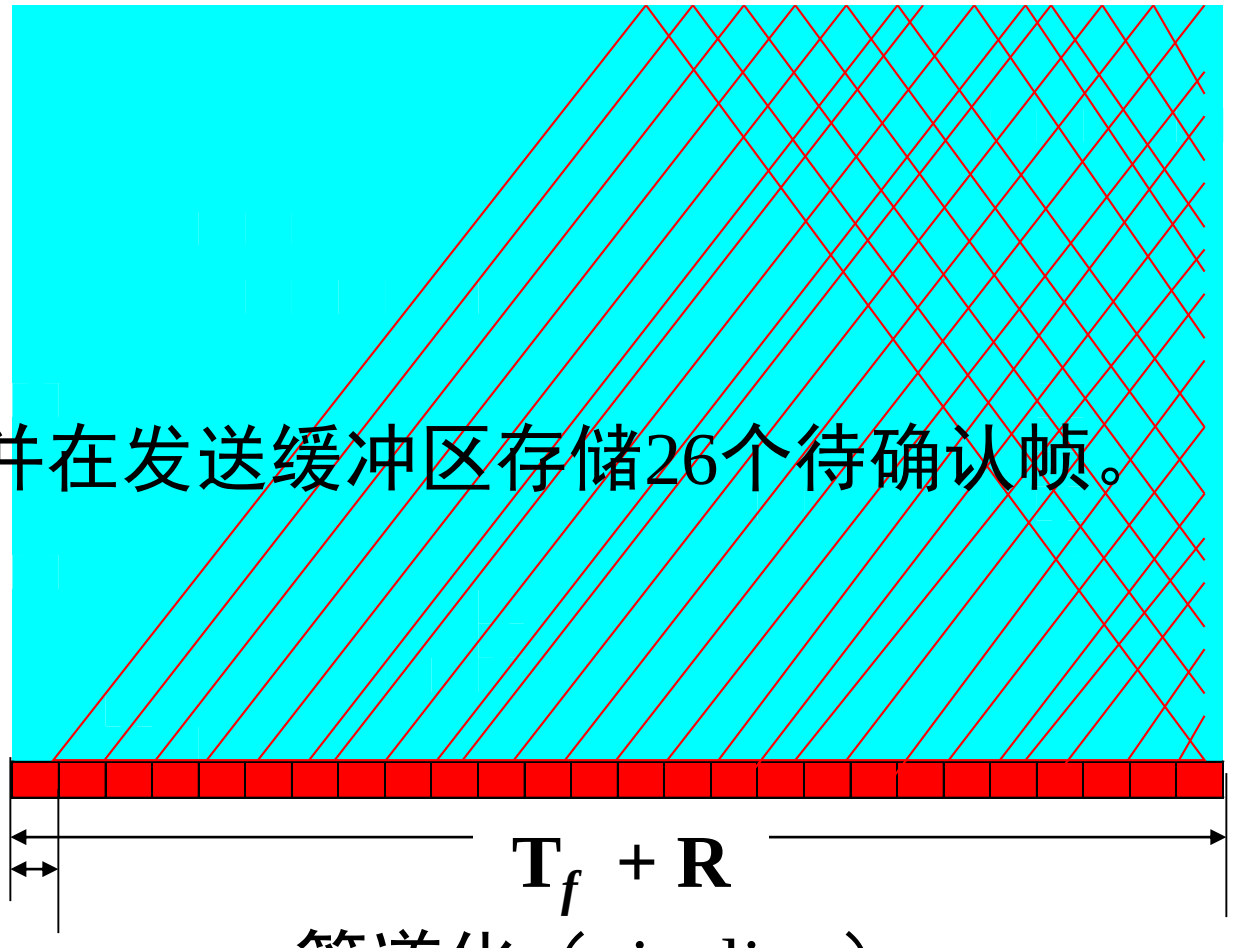
$$W = (T_f + R) / T_f = 520 / 20 = 26$$

使信道利用率达到100%

接收方

W = 26

连续发送、并在发送缓冲区存储26个待确认帧。



管道化（pipeling）

怎样找到一个合适的w值？

- 信道上的容量：一帧从发送方传输到接收期间可容纳的帧数量
- 带宽-延迟积：BD
- 窗口值：w=2*BD+1
- 上述的例子：
  - BD=50kbps*0.250=12.5kb
  - W=2*12.5kb+1=26kb=26帧

实际上：

w≤2*BD+1

例（2014考研题）

主机甲和主机乙之间使用后退N帧协议（GBN）传输数据，甲的发送窗口尺寸为1000，数据帧长为1000字节，信道为100Mbps，乙每收到一个数据帧立即利用一个短帧（忽略其传输延迟）进行确认。若甲乙之间的单向传播延迟是50ms，则甲可以达到的最大平均传输速率约为：

A．10Mnps　　B. 20Mbps

C. 80Mbps　　D. 100Mbps

解

设可达到的最大传输率为 x，于是

- 1000f*1000Bpf*8=xbps*2*50ms/1000ms
- 8000000=8000+2*0.05x
- x=80Mbps
- 或者：w=1251，现在只有 1000，于是
- X=100M*（1000/1251）=80M

用管道化技术发送帧面临的新问题

- 出错情况
  - 连续发送W个数据帧，其中有一帧出错，但其后续帧被成功发送
- 接收方的接收策略选择
  - 丢弃错帧及后续帧，其后续帧因不是期望接收帧也被丢弃
  - 丢弃错帧，缓存后续正确接收帧

用管道化技术发送帧面临的新问题

- 对应的发送方的重传策略选择
  - 缓存在发送窗口中的出错帧以及其后续帧全部重发——协议5
  - 只重发出错帧——协议6

小结

- 滑窗技术可以批量收发数据，提高了信道利用率。
- 发送窗口对应着已经发送但还未被确认的帧。
  - ➢滑动条件：收到了帧的确认。
- 接收窗口对应着：期待接收的帧。
  - ➢滑动条件：收到了期待接收的帧。
- 窗口数的确认跟带宽延迟积正相关。

思考题

- 为什么提出滑窗技术？
- 什么是发送窗口？
- 发送窗口什么时候滑动？
- 什么是接收窗口？
- 接收窗口什么时候滑动？
- 什么是带宽延迟积？
- 窗口值怎么确定？跟哪些因素有关？

谢谢观看

致谢

本课程课件中的部分素材来自于：（1）清华大学出版社出版的翻译教材《计算机网络》（原著作者：Andrew S. Tanenbaum，David J. Wetherall）；（2）思科网络技术学院教程；（3）网络上搜到的其他资料。在此，对清华大学出版社、思科网络技术学院、人民邮电出版社、以及其它提供本课程引用资料的个人表示衷心的感谢！

对于本课程引用的素材，仅用于课程学习，如有任何问题，请与我们联系！