传输层 vs. 网络层

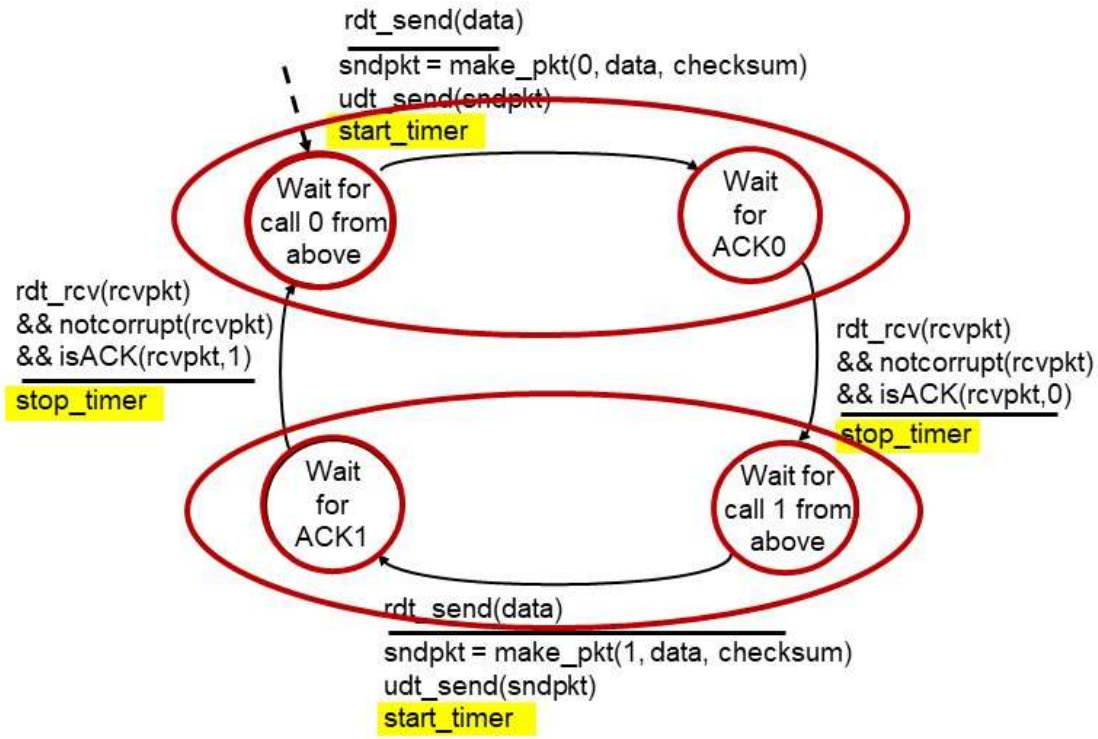
- 网络层：提供主机之间的逻辑通信机制
- 传输层：提供应用进程之间的逻辑通信机制
  - 位于网络层之上
  - 依赖于网络层服务
  - 对网络层服务进行（可能的）增强

家庭类比：

12个孩子给12个孩子发信

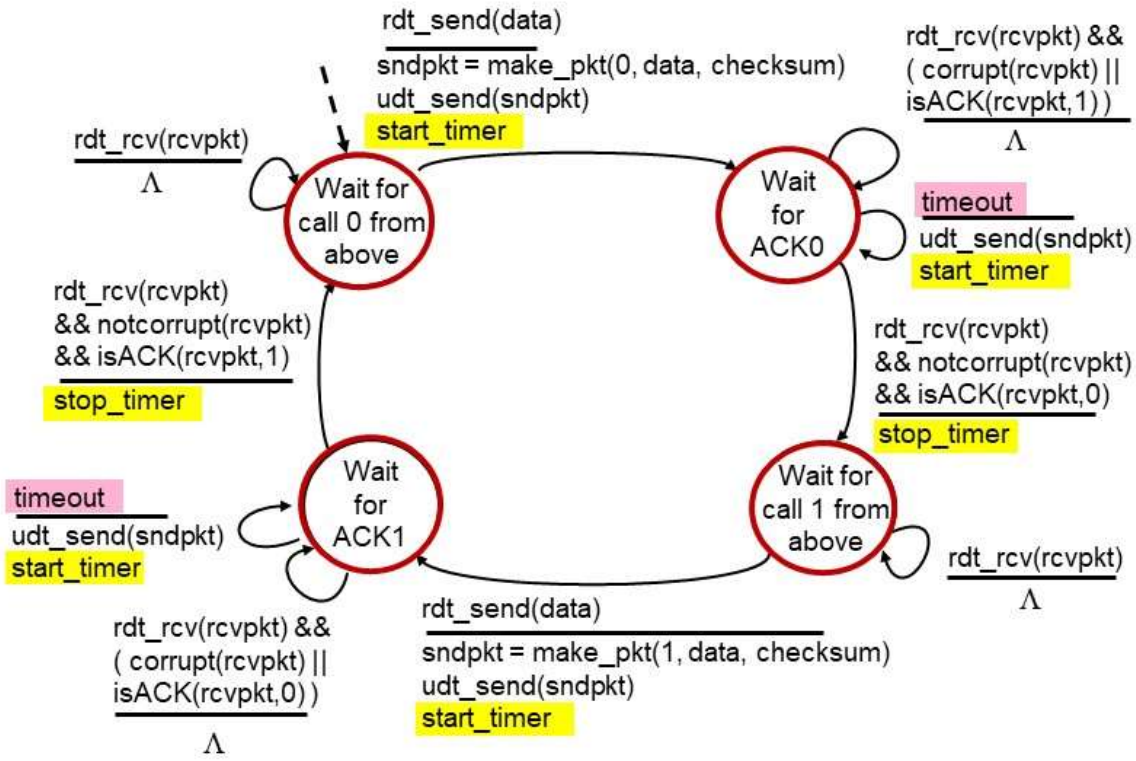
- 应用进程 = 孩子
- 应用消息 = 信封里的信
- 主机 = 房子
- 传输层协议 = 李雷和韩梅梅
- 网络层协议 = 邮政服务

rdt3.0 发送方



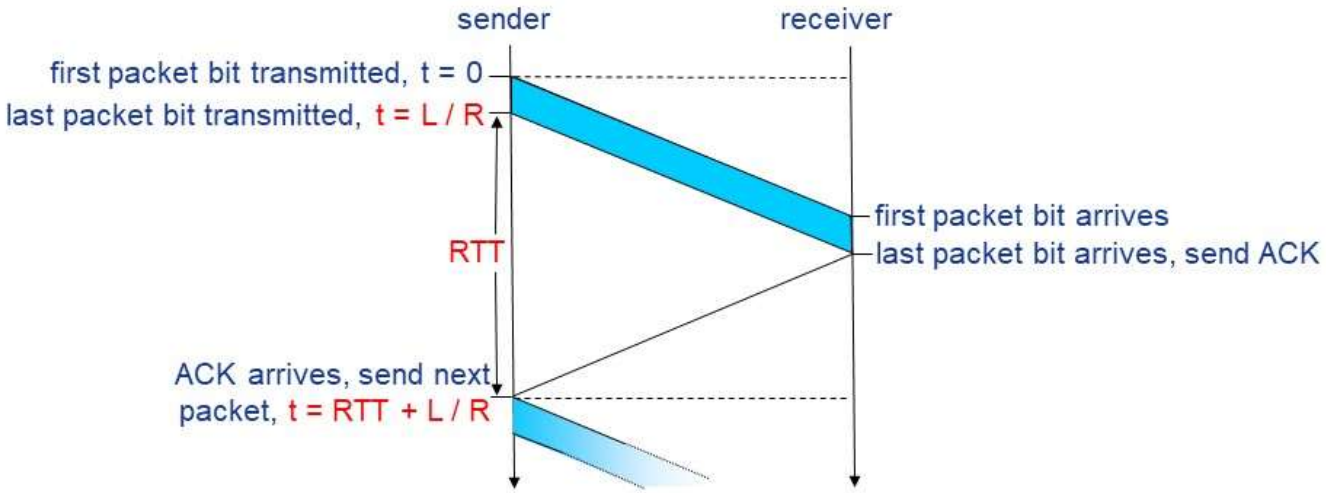
Transport Layer: 3-70

rdt3.0 发送方



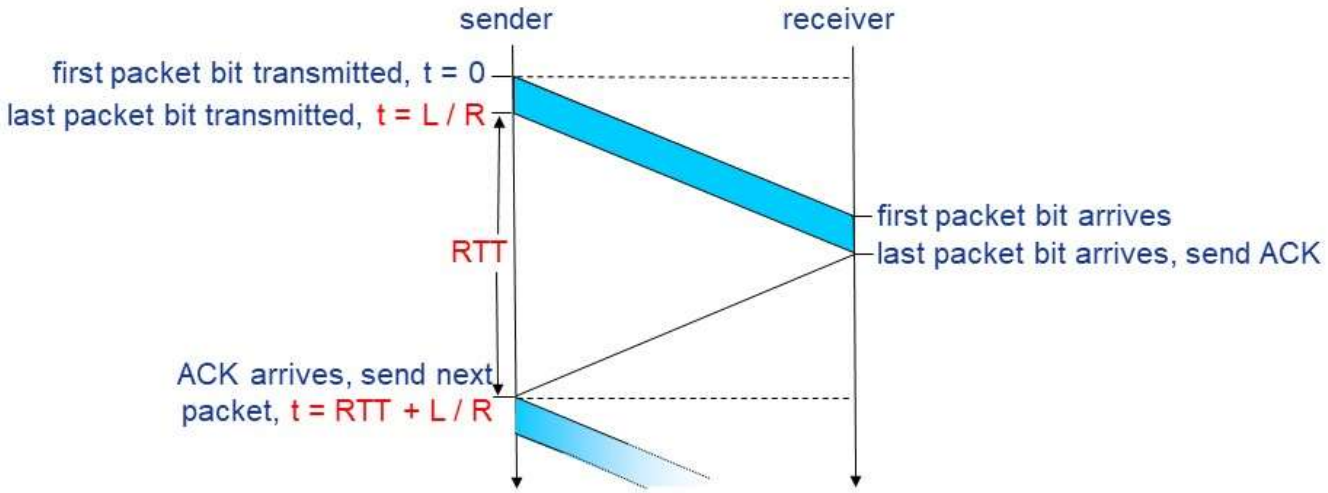
Transport Layer: 3-71

Rdt 3.0: 停等操作



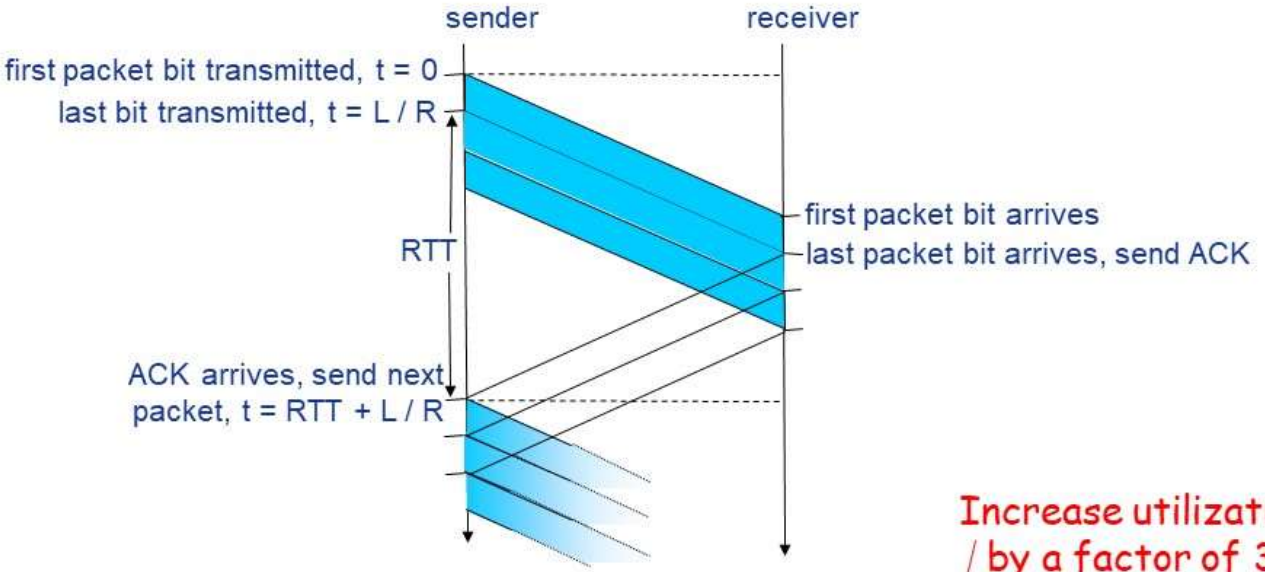
$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

Rdt 3.0: 停等操作



$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

流水线机制：提高资源利用率



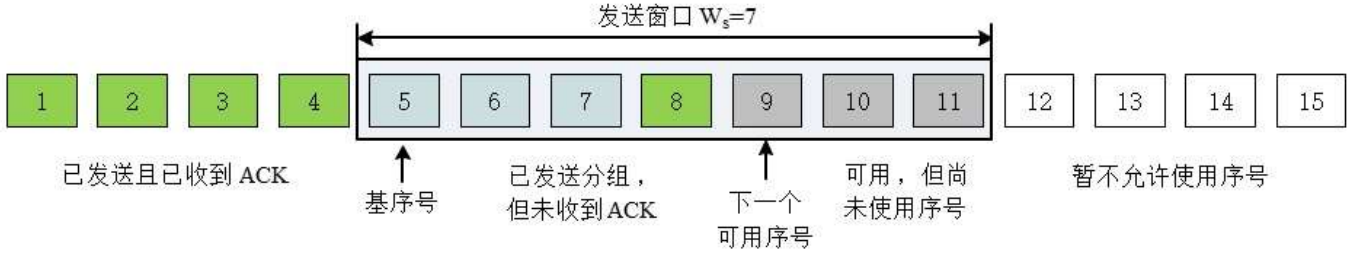
Increase utilization by a factor of 3!

$$U_{sender} = \frac{3 * L / R}{RTT + L / R} = \frac{.024}{30.008} = 0.0008$$

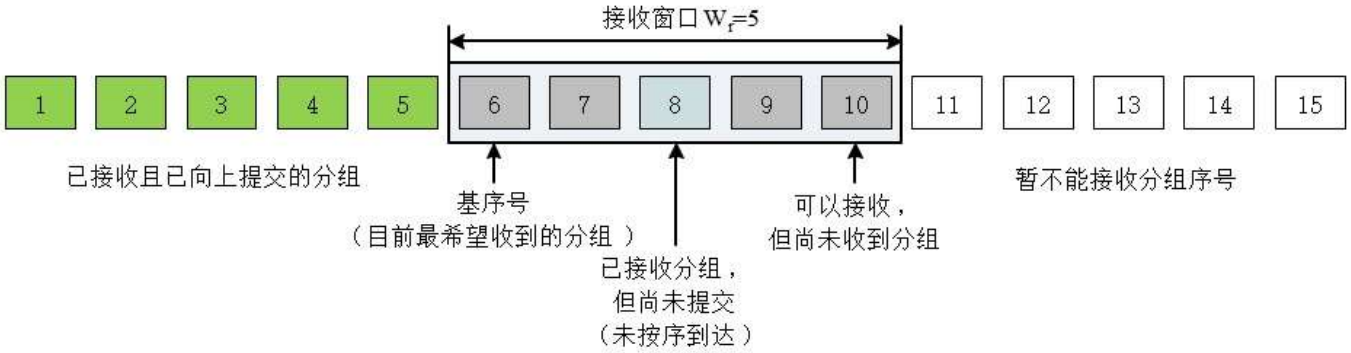
81

滑动窗口协议

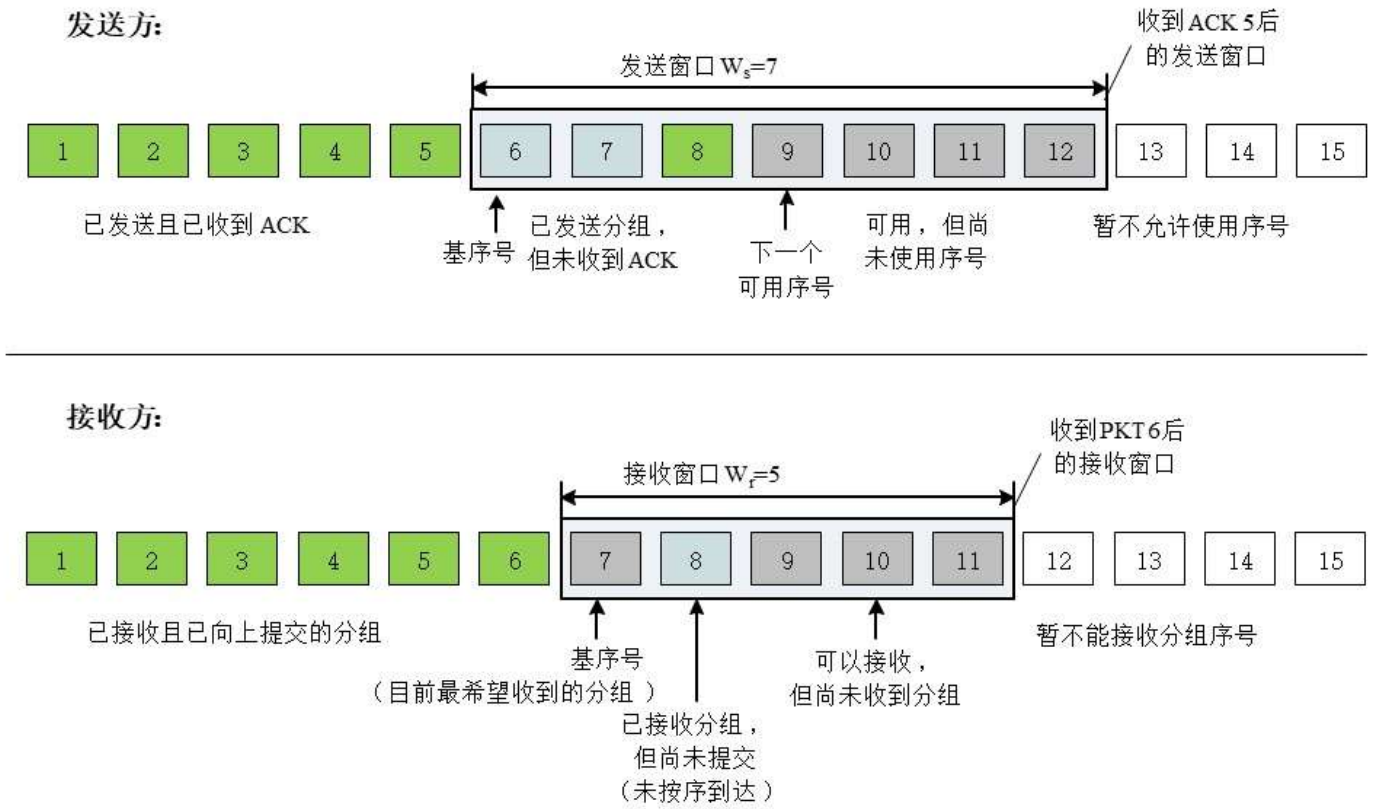
发送方：



接收方：



滑动窗口协议

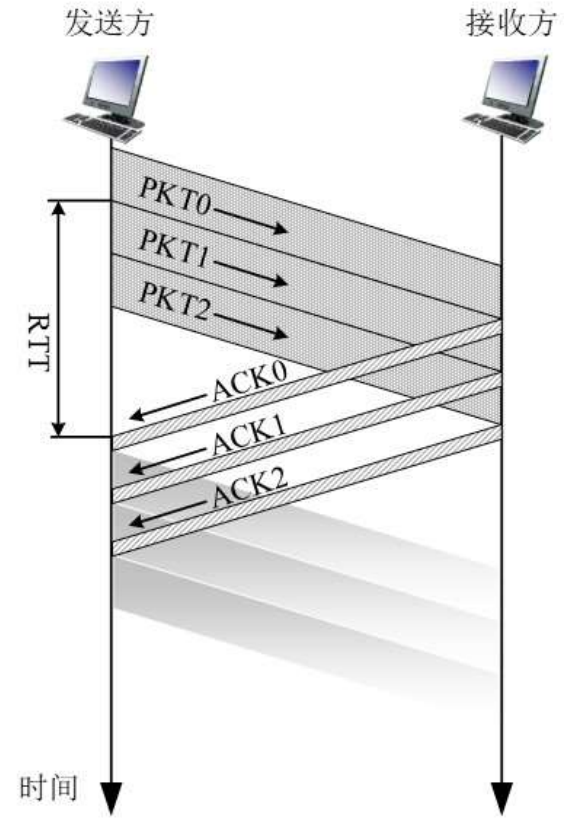


滑动窗口协议的信道利用率

$$U = \frac{W_s \times t_{Seg}}{t_{Seg} + RTT + t_{ACK}}$$

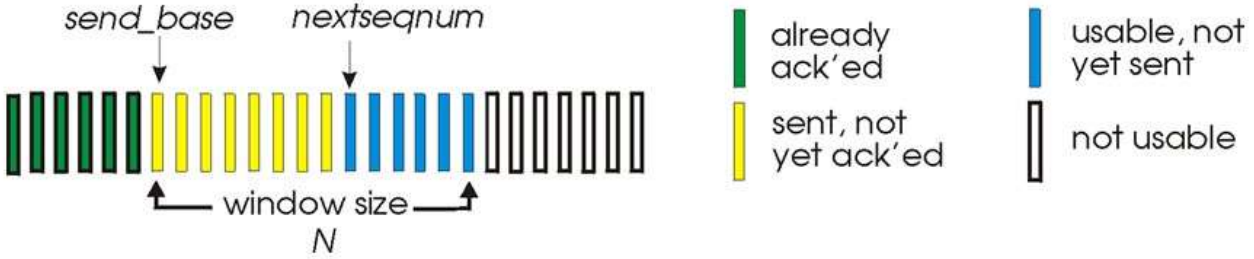
$$U = \frac{W_s \times \mathrm{L}/R}{L/R + 2dp + L'/R}$$

$$U = \frac{W_s \times \mathrm{L}}{L + 2dpR + L'}$$



Go-Back-N(GBN)协议: 发送方

- 分组头部包含k-bit序列号
- 窗口尺寸为N，最多允许N个分组未确认

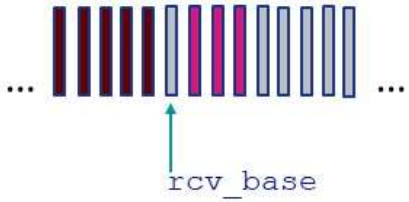


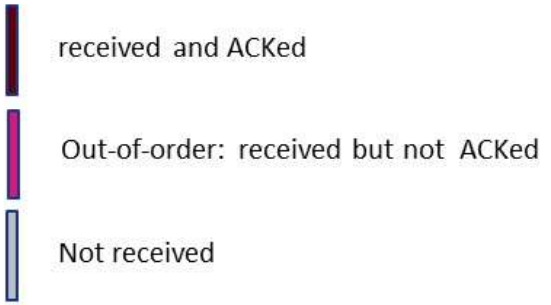
- ACK(n): 确认到序列号n(包含n)的分组均已被正确接收
  - 累积确认
  - 可能收到重复ACK
- 为“空中”的分组设置计时器(timer)
- 超时Timeout(n)事件: 重传序列号大于等于n，还未收到ACK的所有分组

Go-Back-N(GBN)协议: 接收方

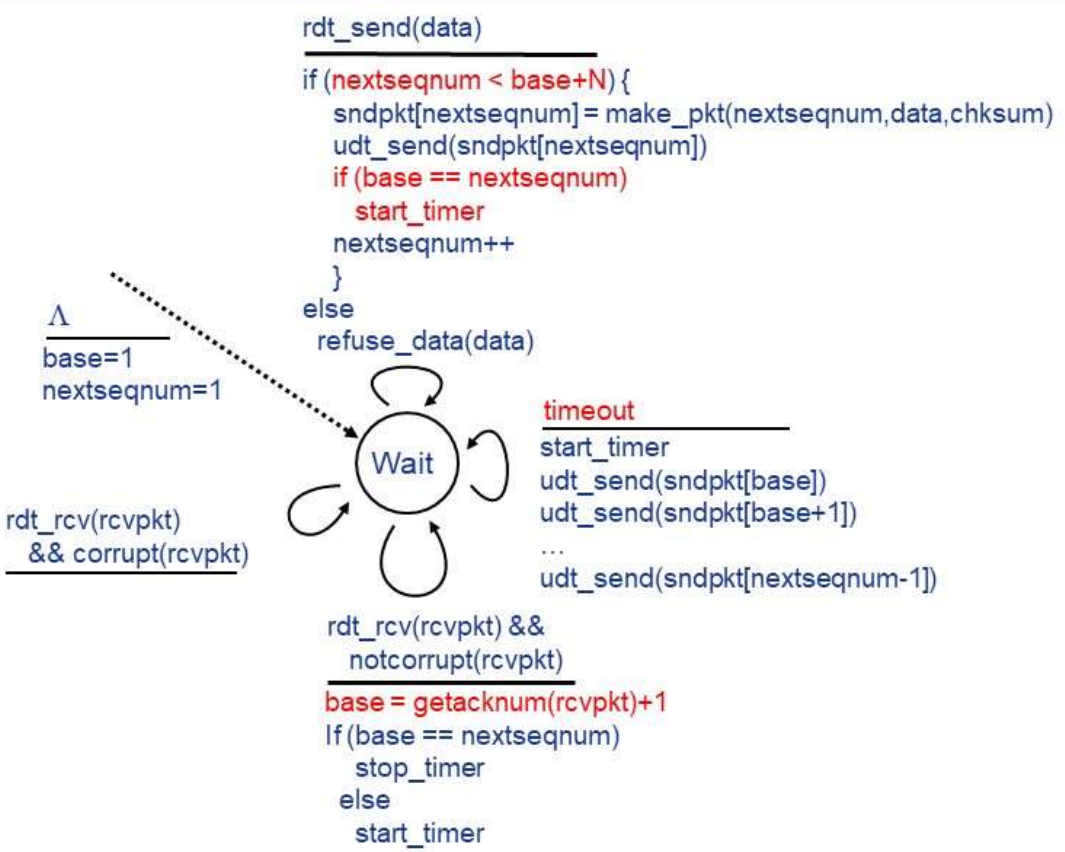
- ACK-only:始终为目前为止正确接收的分组发送 ACK，序号为最高的in-order seq#
  - 可能会生成重复的 ACK
  - 只需要记住rcv_base
- 收到out-of order分组时:
  - 可以丢弃（不缓冲）或缓冲：由实现决策
  - 重新ACK分组，使用最高的in-order seq #

Receiver view of sequence number space:

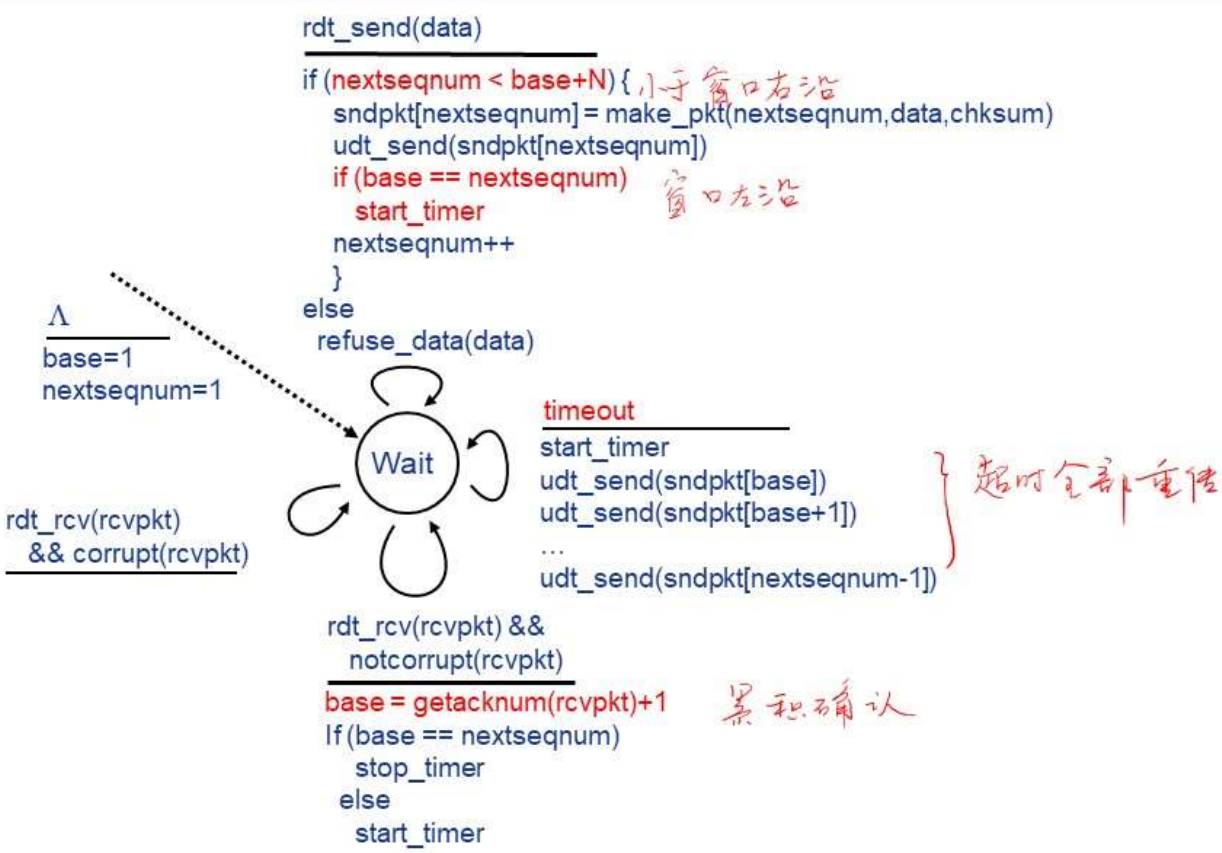




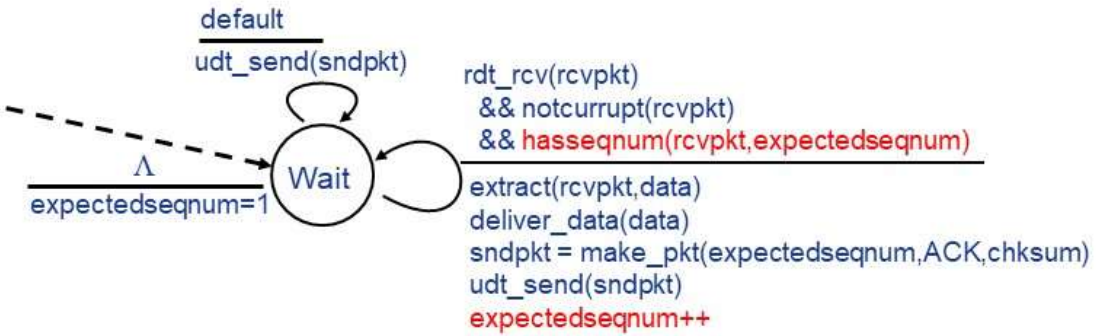
GBN: 发送方扩展FSM



GBN: 发送方扩展FSM

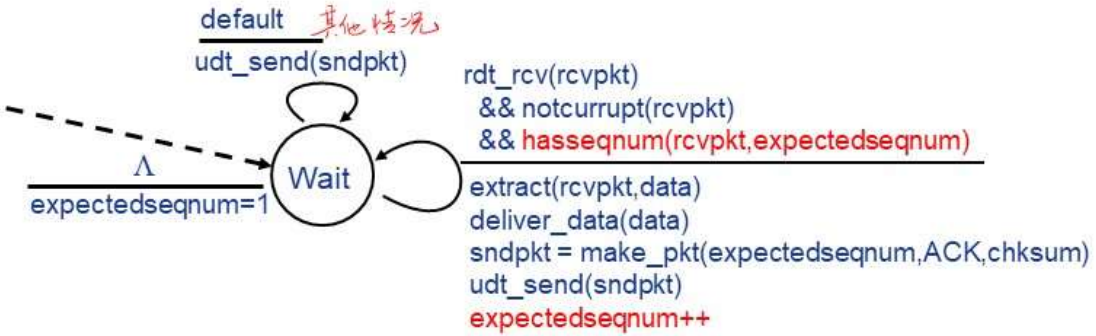


GBN: 接收方扩展FSM



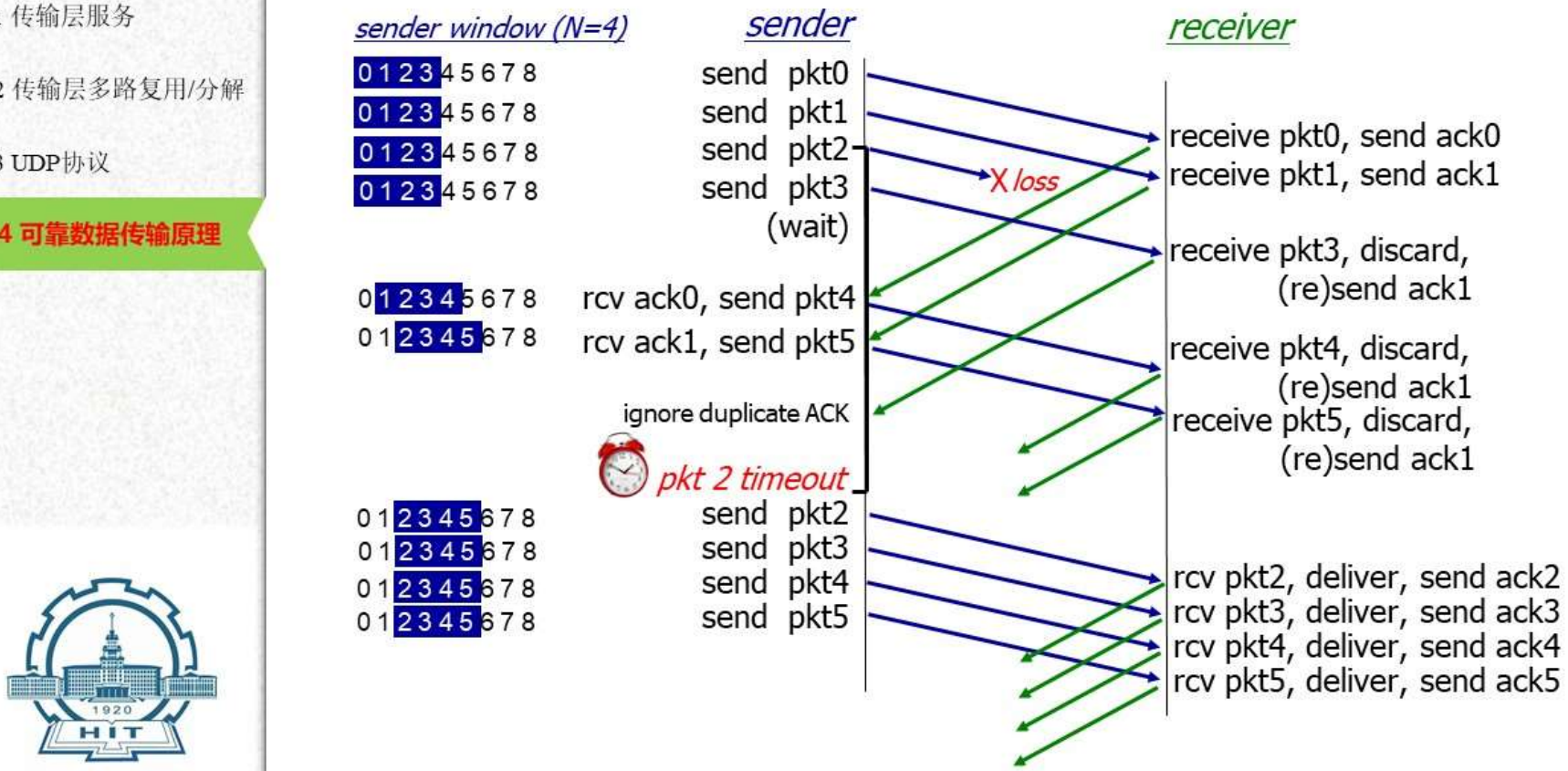
- ACK机制: 发送拥有最高序列号的、已被正确接收的分组的ACK
  - 可能产生重复ACK
  - 只需要记住唯一的**expectedseqnum**，即$W_R=1$
- 乱序到达的分组：
  - 直接丢弃➔接收方没有缓存
  - 重新确认序列号最大的、按序到达的分组

GBN: 接收方扩展FSM



- ACK机制: 发送拥有最高序列号的、已被正确接收的分组的ACK
  - 可能产生重复ACK
  - 只需要记住唯一的**expectedseqnum**，即W_R=1
- 乱序到达的分组：
  - 直接丢弃➔接收方没有缓存
  - 重新确认序列号最大的、按序到达的分组

GBN示例



填空题 2分

网络

数据链路层采用后退N帧（GBN）协议，发送方已经发送了编号为0～7的帧。当计时器超时时，若发送方只收到0、2、3号帧的确认，则发送方需要重发的帧数是 [填空1] 个。分别是 [填空2] 。

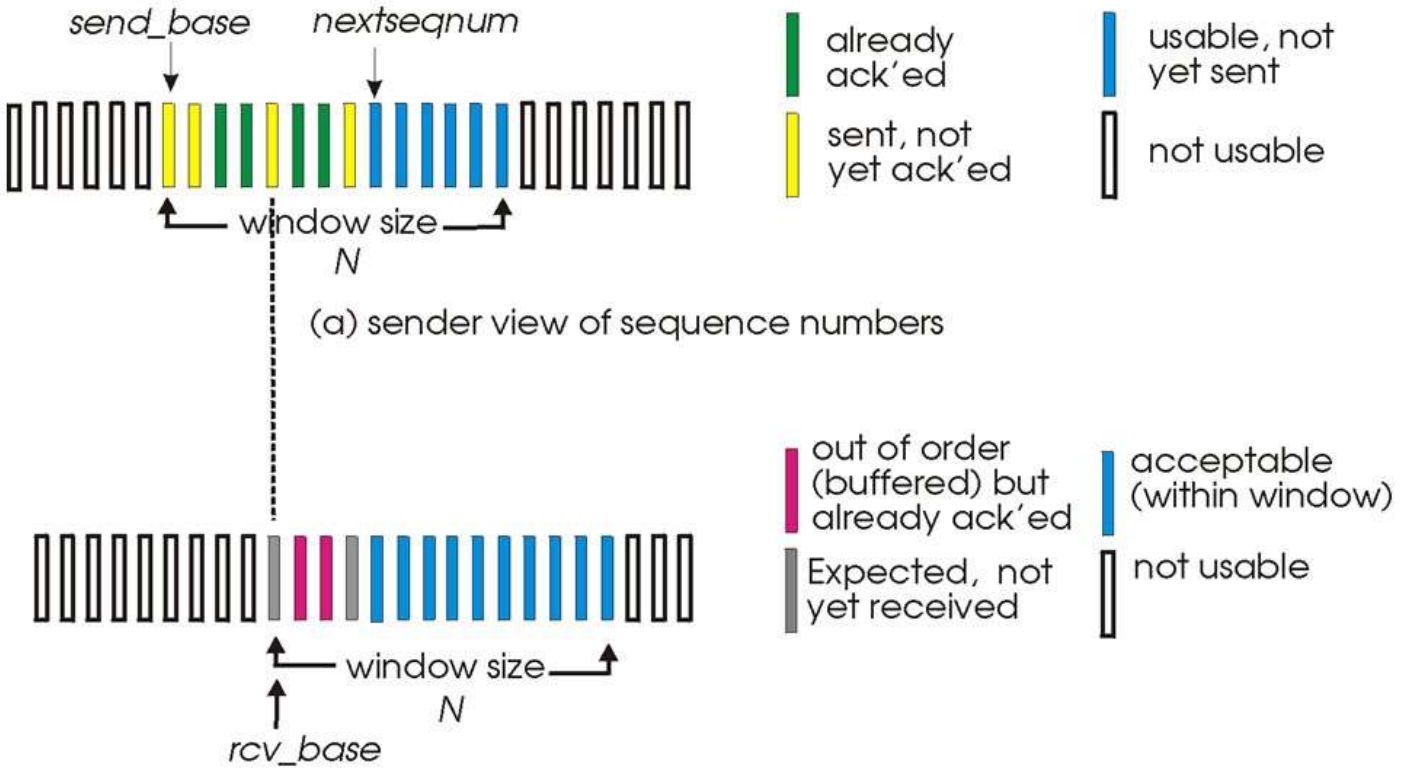
98

Selective Repeat协议

- GBN有什么缺陷?

- SR协议:
- 接收方对每个分组单独进行确认
  - 设置缓存机制，缓存乱序到达的分组
- 发送方只重传那些没收到ACK的分组
  - 为每个分组设置定时器
- 发送方窗口
  - N个连续的序列号
  - 限制已发送且未确认的分组数
- 接收窗口
  - 可以接收的无差错到达的分组序号

SR协议：发送方/接收方窗口



SR协议

sender

data from above :

- if next available seq # in window, send pkt

timeout(n):

- resend pkt n, restart timer

ACK(n) in [sendbase,sendbase+N]:

- mark pkt n as received
- if n is smallest unACKed pkt, advance window base to next unACKed seq #

receiver

pkt n in [rcvbase, rcvbase+N-1]

- send ACK(n)
- out-of-order: buffer
- in-order: deliver (also deliver buffered, in-order pkts), advance window to next not-yet-received pkt

pkt n in [rcvbase-N,rcvbase-1]

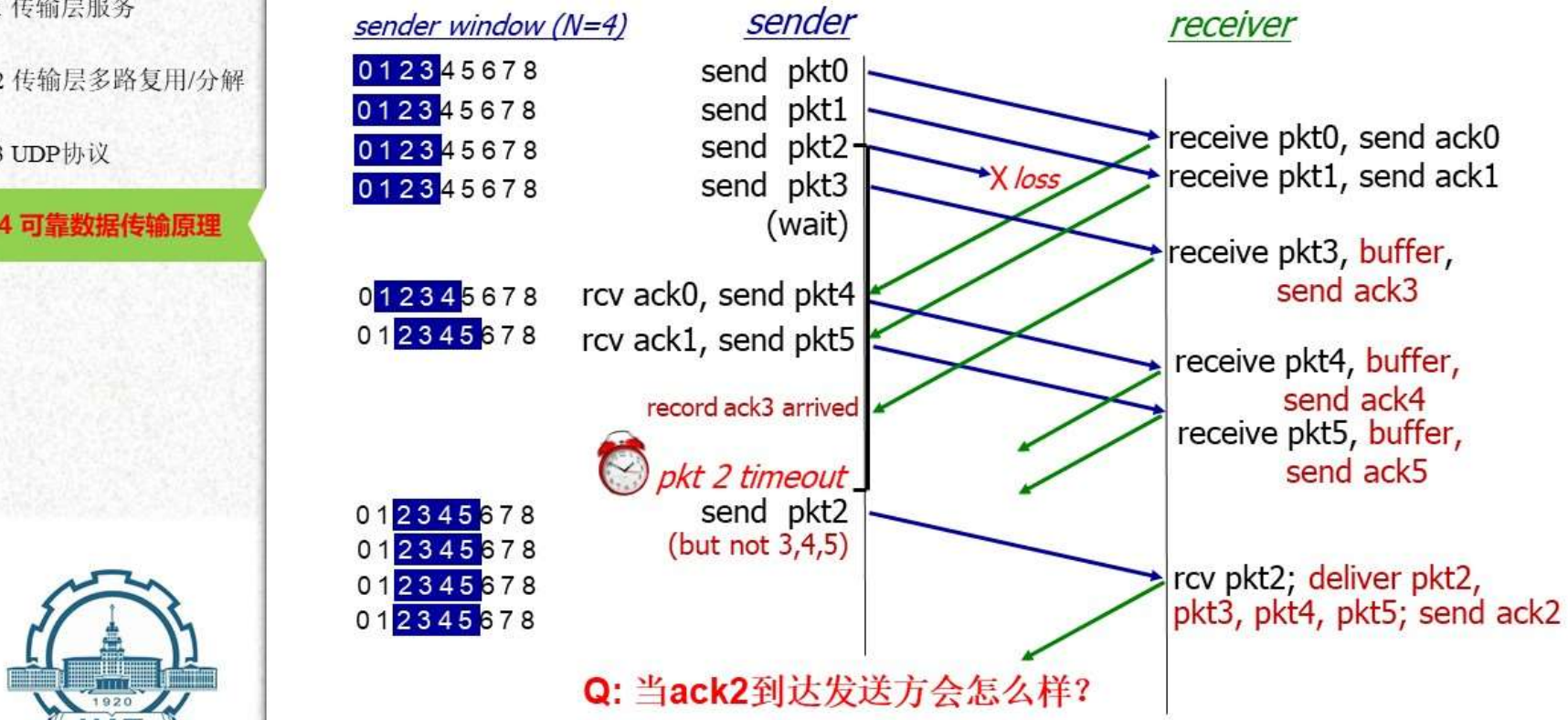
- ACK(n)

otherwise:

- ignore

思考：SR协议还可以有其他设计吗？

SR协议示例

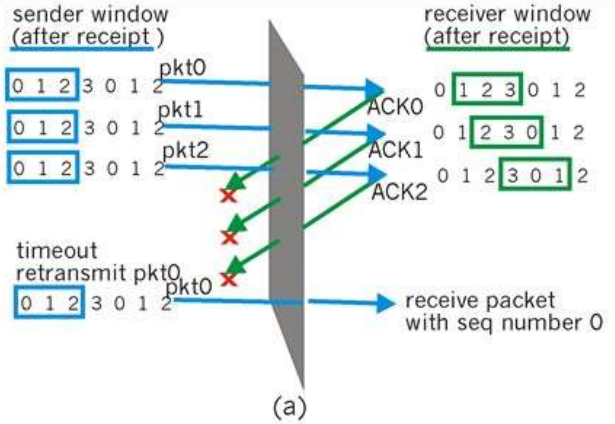


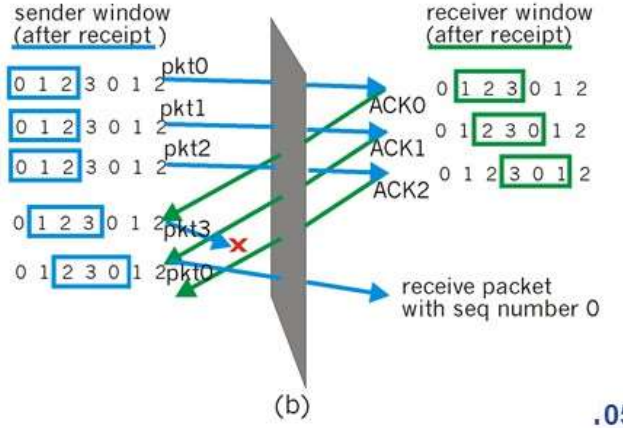
Q: 当ack2到达发送方会怎么样?

104

SR协议：困境

- 序列号: 0, 1, 2, 3
- 窗口尺寸：3
- 接收方能区分开右侧两种不同的场景吗?
- (a)中，发送方重发0号分组，接收方收到后会如何处理?





窗口大小与序号空间的约束条件?

- 问题：序列号空间大小与窗口尺寸需满足什么关系?

$$W_s + W_r \le 2^k$$

  - W_s发送窗口，W_r接收窗口，k序号位数

- 对于GBN协议：$W_r=1$

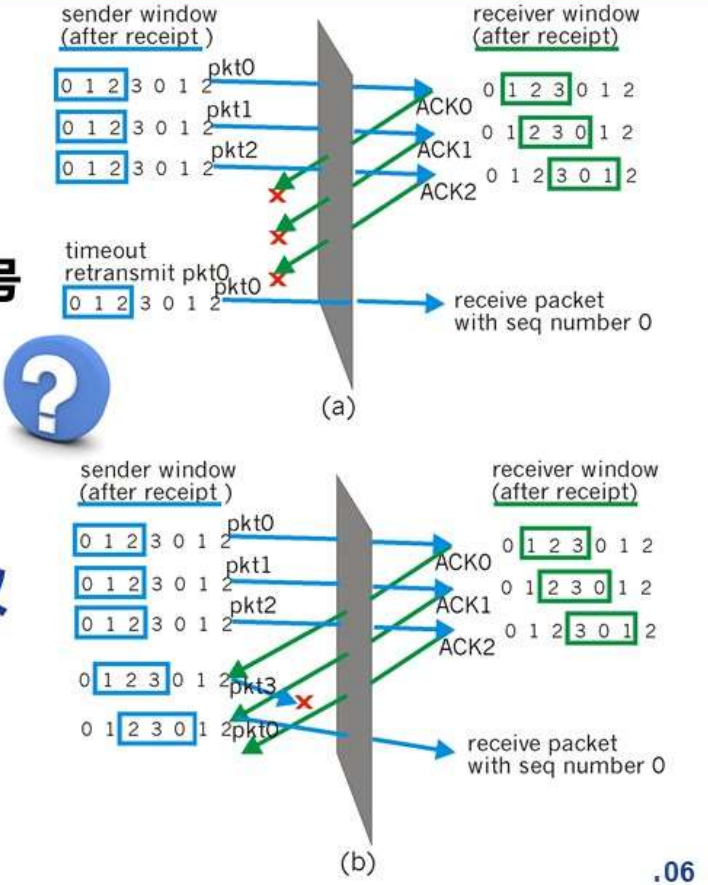
$$W_s \le 2^k - 1$$

- 对于典型的$W_s=W_r=W$的SR协议

$$W_s \le 2^{(k-1)}$$

- 对于停-等协议，即$W_s=W_r=1$

$$k \ge 1$$



滑动窗口协议的窗口大小

- **讨论：**
  - 1. 滑动窗口协议的窗口大小影响协议哪些性能?
  - 2. 哪些因素会影响滑动窗口大小的确定?
- **性能：**
  - 信道利用率
  - 吞吐率
  - ……
- **因素：**
  - 序号空间
  - 缓存大小
  - 流量控制
  - 拥塞控制
  - ……

单选题 1分

主机甲通过128 kbps卫星链路，采用滑动窗口协议向主机乙发送数据，链路单向传播延迟为250 ms，帧长为1000字节。不考虑确认帧的开销，为使链路利用率不小于80%，帧序号的比特数至少是_____。

A 2

B 3

C 4

D 5

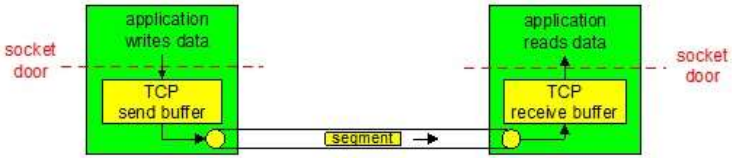

哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
立足航天，服务国防，面向国民经济主战场

3.5 TCP协议

刘亚维

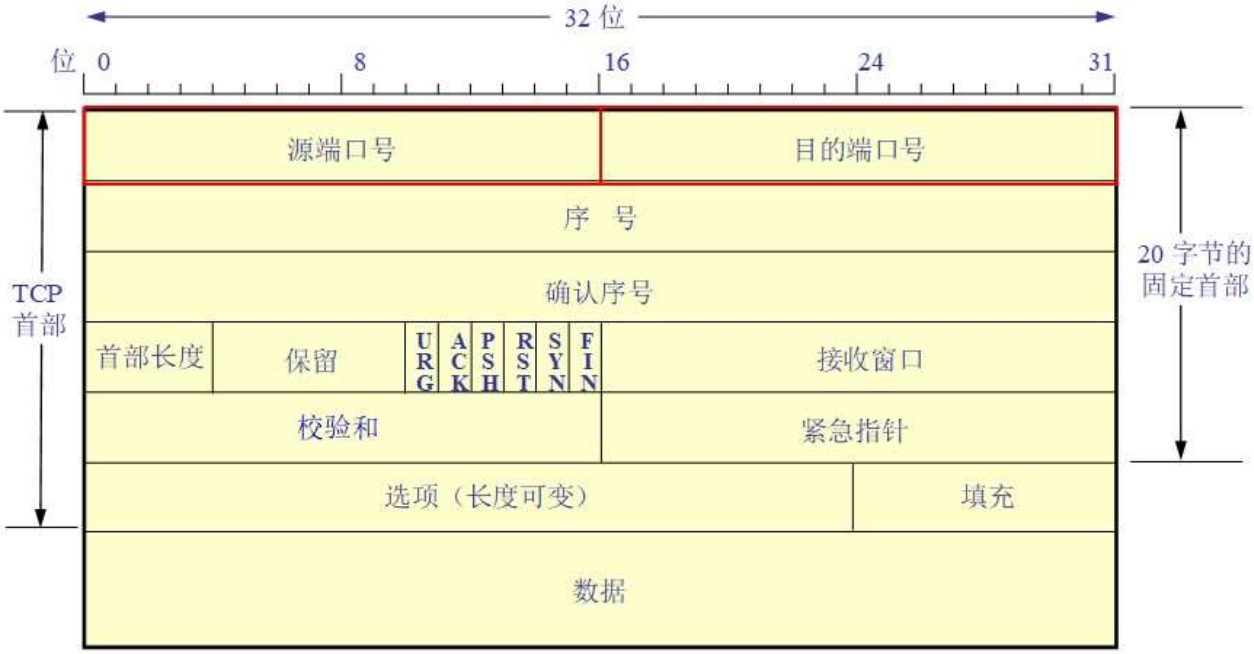
TCP概述: RFCs-793, 1122, 1323, 2018, 2581

- 点对点
  - 一个发送方，一个接收方
- 可靠的、按序字节流
- 流水线机制
  - TCP拥塞控制和流量控制机制设置窗口尺寸
- 发送方/接收方缓存



- 全双工(full-duplex)
  - 同一连接中能够传输双向数据流
- 面向连接
  - 通信双方在发送数据之前必须建立连接。
  - 连接状态只在连接的两端中维护，在沿途节点中并不维护状态。
  - TCP连接包括：两台主机上的缓存、连接状态变量、socket等
- 流量控制机制
- 拥塞控制

TCP段结构



- **源端口号与目的端口号字段分别占16位**
  - **多路复用/分解**

111

TCP段结构

- **序号字段与确认序号字段分别占32位**
  - **对每个应用层数据的每个字节进行编号**
  - **确认序号是期望从对方接收数据的字节序号，累计确认**

TCP段结构

- **首部长度字段占4位**
  - **4字节为计算单位**

TCP段结构

- **保留字段占6位**
  - **目前值为0**

TCP段结构

6位标志位（字段）

- URG=1时，表明紧急指针字段有效
- ACK=1时，标识确认序号字段有效
- PSH=1时，尽快将段中数据交付接收应用进程
- RST=1时，重新建立TCP连接
- SYN=1时，表示该TCP段是一个建立新连接请求控制段
- FIN=1时， 表明请求释放TCP连接

115

TCP段结构

- **接收窗口字段占16位**
  - **流量控制**

TCP段结构

- **校验和字段占16位**
  - **包括TCP伪首部、TCP首部和应用层数据三部分**

117

TCP段结构

- **紧急指针字段占16位**
  - **URG=1时才有效**
  - **指出紧急数据最后一个字节在数据中的位置**

TCP段结构

- **选项字段的长度可变**
  - **最大段长度MSS**
  - **时间戳**
  - **SACK**

TCP段结构

- **填充字段，长度为0~3个字节**
  - **取值全0**

TCP: 序列号和ACK

序列号:

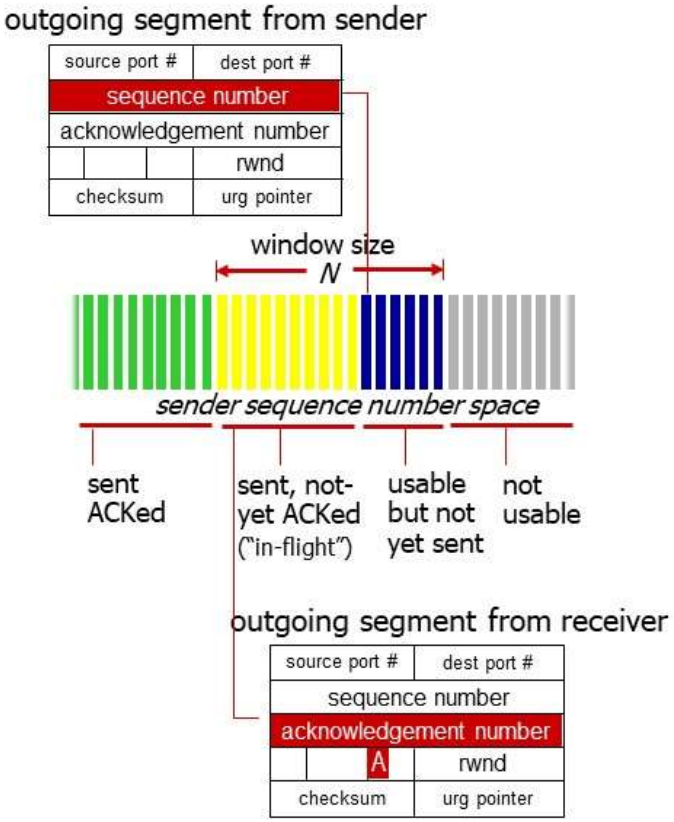
- 序号是段（Segment）中第1个字节的编号，而不是段的“连续”编号
- 建立TCP连接时，双方随机选择序列号

ACKs:

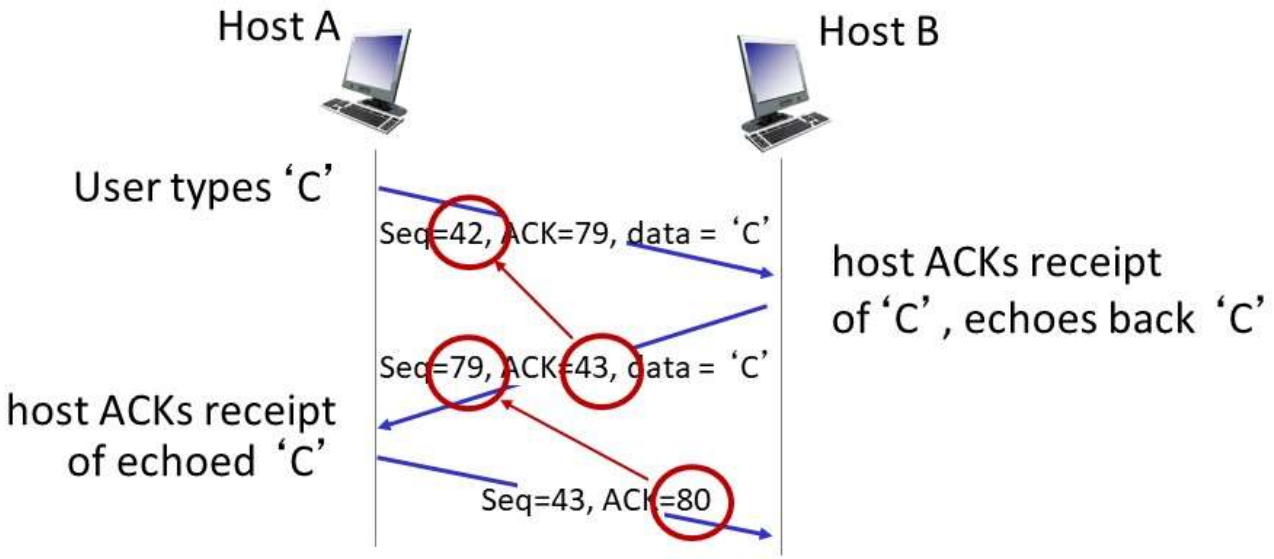
- 期望接收到的下一个字节的序列号
- 累计确认：该序列号之前的所有字节均已被正确接收到

Q: 接收方如何处理乱序到达的段？

- A: TCP规范中没有规定，由TCP的实现者做出决策



TCP sequence numbers, ACKs



simple telnet scenario

TCP可靠数据传输概述

- TCP在IP层的不可靠服务基础上实现可靠数据传输服务
- 流水线机制
- 累积确认
- TCP使用单一重传定时器
- 触发重传的事件
  - 超时
  - 收到重复ACK
- 渐进式

TCP RTT和超时

- 问题：如何设置定时器的超时时间?
- 大于RTT
  - 但是RTT是变化的
- 过短：
  - 不必要的重传
- 过长：
  - 对段丢失时间反应慢

- 问题：如何估计RTT?
- SampleRTT: 测量从段发出去到收到ACK的时间
  - 忽略重传
- SampleRTT变化
  - 测量多个SampleRTT，求平均值，形成RTT的估计值EstimatedRTT

$$EstimatedRTT = (1-\alpha)*EstimatedRTT + \alpha*SampleRTT$$

指数加权移动平均

α典型值：0.125

125