



# 计算机网络与通信技术

知识点：拥塞控制

北京交通大学 王保华



# 拥塞控制

## 主要内容

- 拥塞控制原理
- TCP 拥塞控制
- 主动队列管理



# 拥塞控制

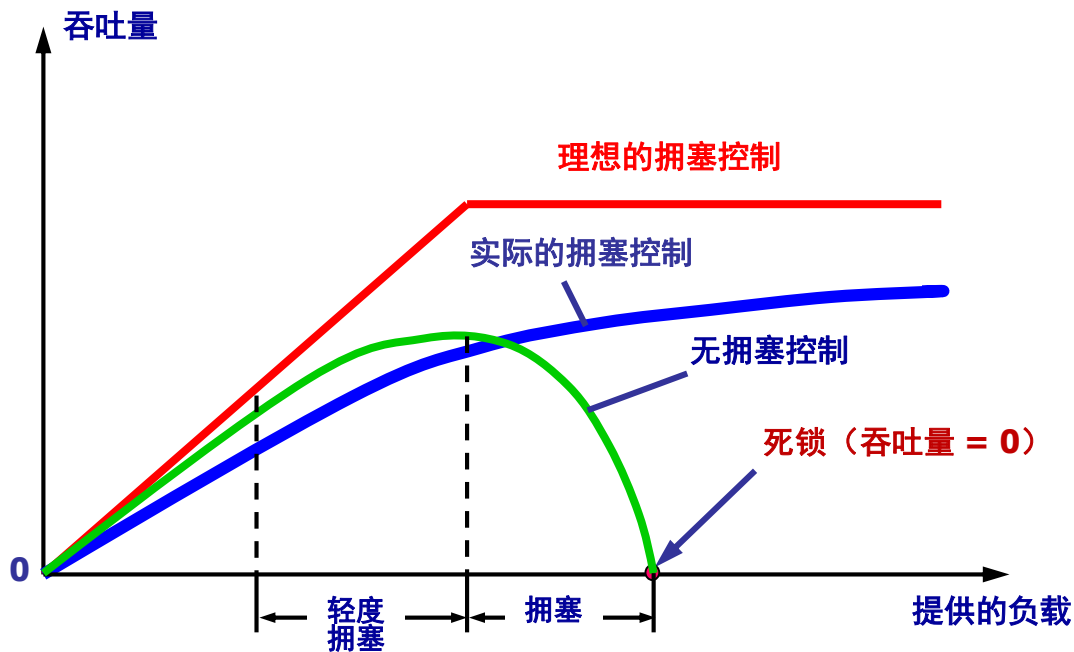
## 拥塞控制原理

- **拥塞定义：**对网络资源的需求大于可用资源，网络性能变坏。
- **具体原因：**链路速度、路由器处理能力、主机处理能力等。
- **控制目的：**防止过多的数据注入到网络中，使网络中的路由器或链路不致过载。
- **与流量控制区别：**控制的发起者不同。



# 拥塞控制

## 拥塞控制原理





# 拥塞控制

## 拥塞控制原理

- **控制方法：**开环控制和闭环控制。
- **检测指标：**上升意味着拥塞的增长。
  - 由于缺少缓存空间而被丢弃的分组的百分数；
  - 平均队列长度；
  - 超时重传的分组数；
  - 平均分组时延；
  - 分组时延的标准差，等等。



# 拥塞控制

## 主要内容

- 拥塞控制原理
- TCP 拥塞控制
- 主动队列管理



# 拥塞控制

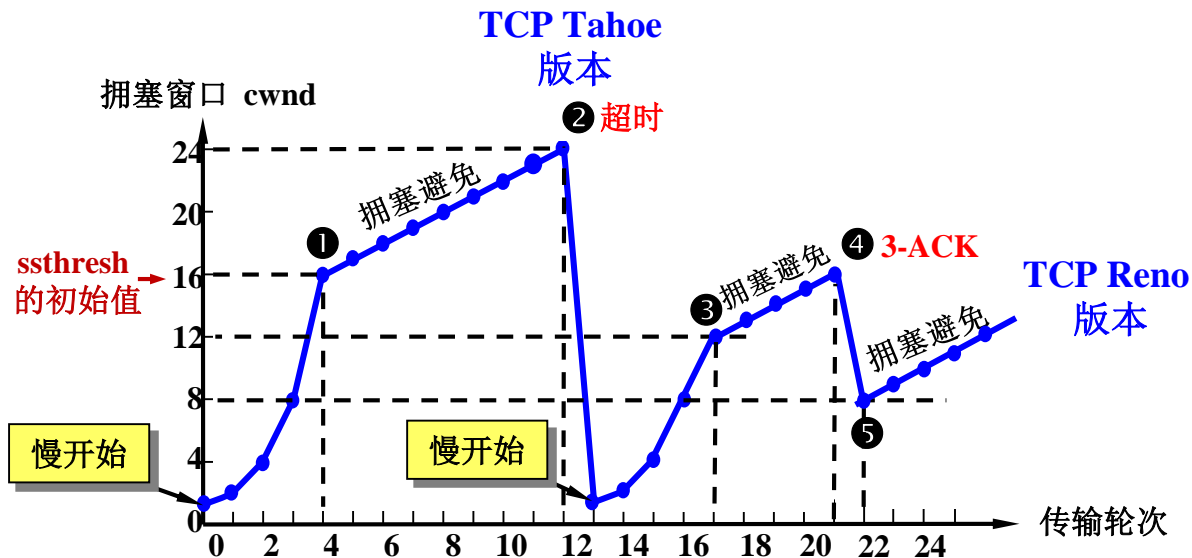
## TCP拥塞控制

- 控制方法四种（RFC 5681）：
  - 慢开始 (slow-start)
  - 拥塞避免 (congestion avoidance)
  - 快重传 (fast retransmit)
  - 快恢复 (fast recovery)



# 拥塞控制

## TCP拥塞控制



发送窗口的上限值 =  $\text{Min} [\text{rwnd}, \text{cwnd}]$





# 拥塞控制

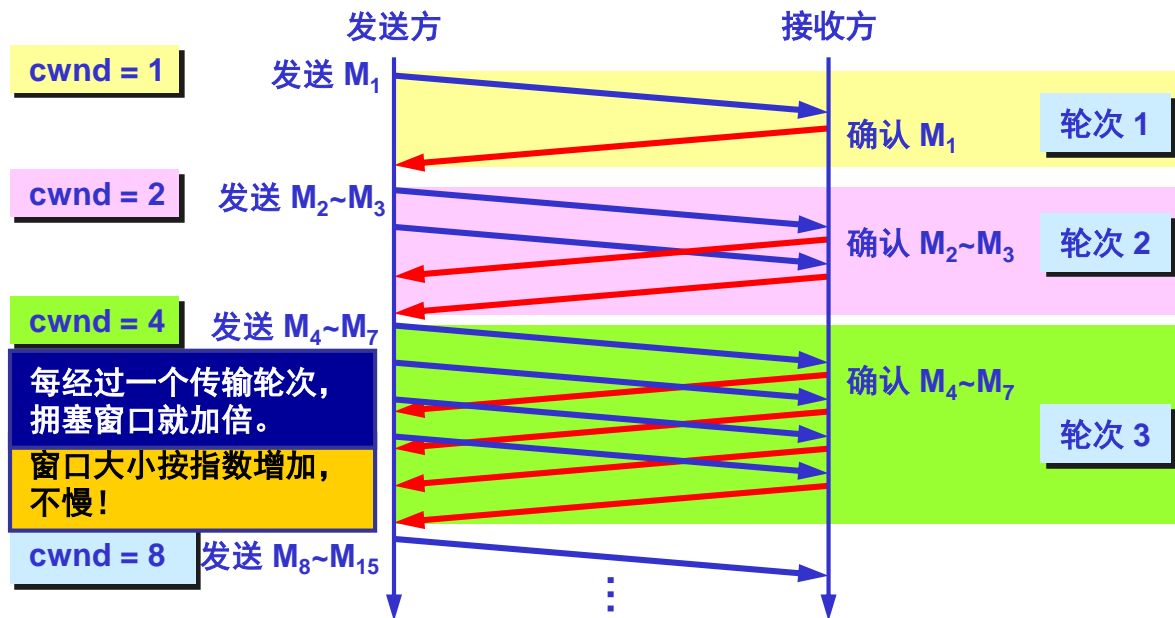
## TCP拥塞控制—慢开始

- 用来试探并且确定网络的负载能力。
- 算法的思路：由小到大逐渐增大拥塞窗口数值。
- 拥塞窗口  $cwnd$  的初始值，设置为不超过2至4个  $SMSS$  的数值。
- 然后接收到一个报文的确认，就将  $cwnd$  加1。
- 慢开始门限  $ssthresh$ ：防止拥塞窗口  $cwnd$  增长过大引起网络拥塞。



# 拥塞控制

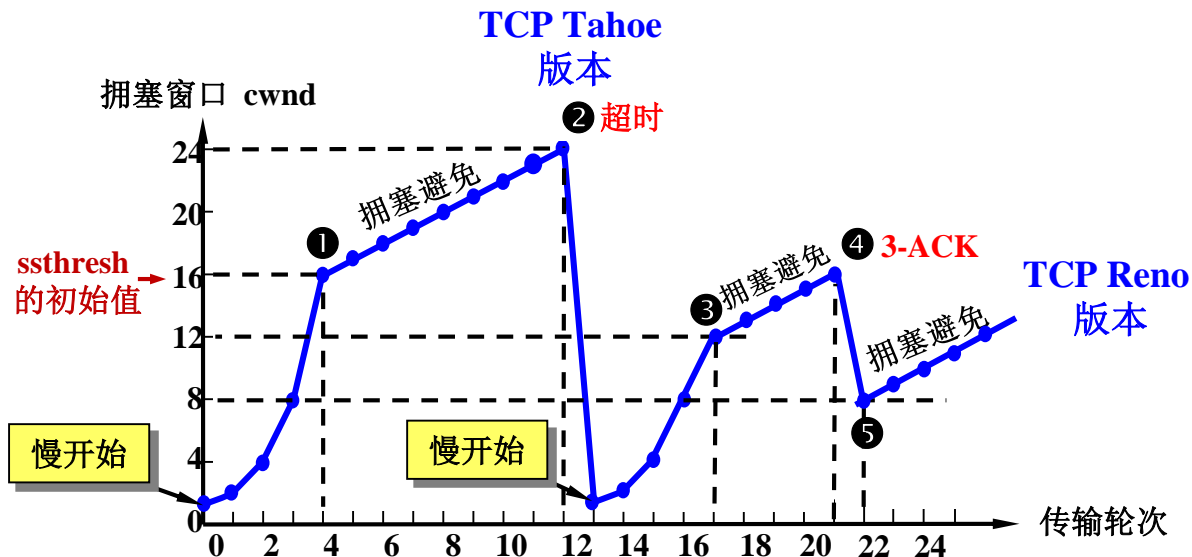
## TCP拥塞控制—慢开始





# 拥塞控制

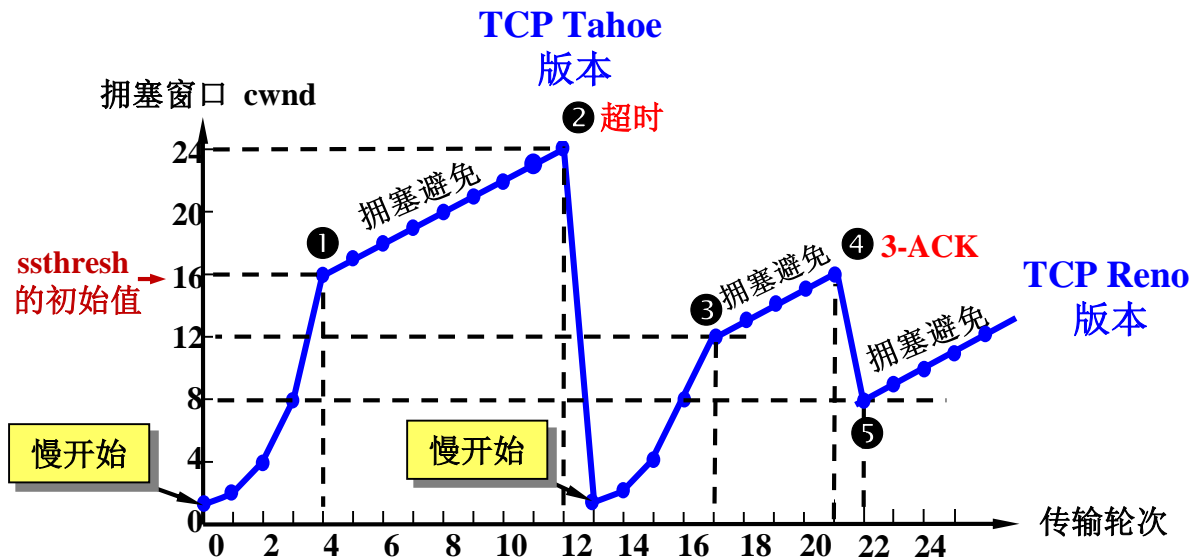
## TCP拥塞控制—拥塞避免





# 拥塞控制

## TCP拥塞控制—拥塞避免





# 拥塞控制

## TCP拥塞控制—快重传

- 发送方只要一连收到三个重复确认，就知道接收方确实没有收到报文段，因而应当立即进行重传（即“快重传”），这样就不会出现超时，发送方也不会误认为出现了网络拥塞。
- 使用快重传可以使整个网络吞吐量提高约20%.



# 拥塞控制

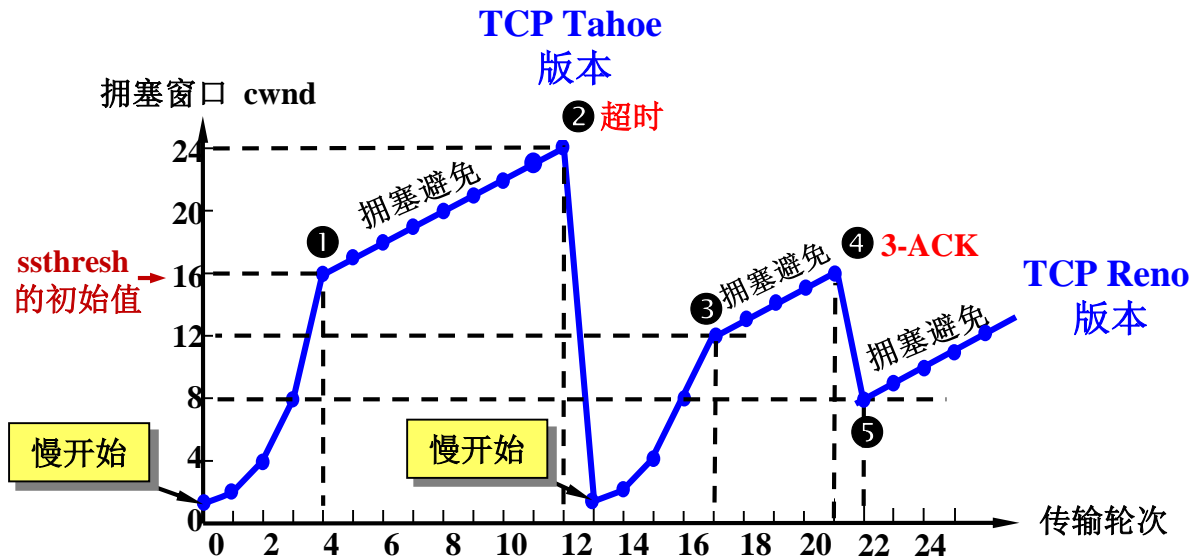
## TCP拥塞控制—快恢复

- 慢开始门限  $ssthresh = \text{当前拥塞窗口} / 2$  ;
- 新拥塞窗口  $cwnd = \text{慢开始门限 } ssthresh$  ;
- 开始执行拥塞避免算法, 使拥塞窗口缓慢地线性增大。



# 拥塞控制

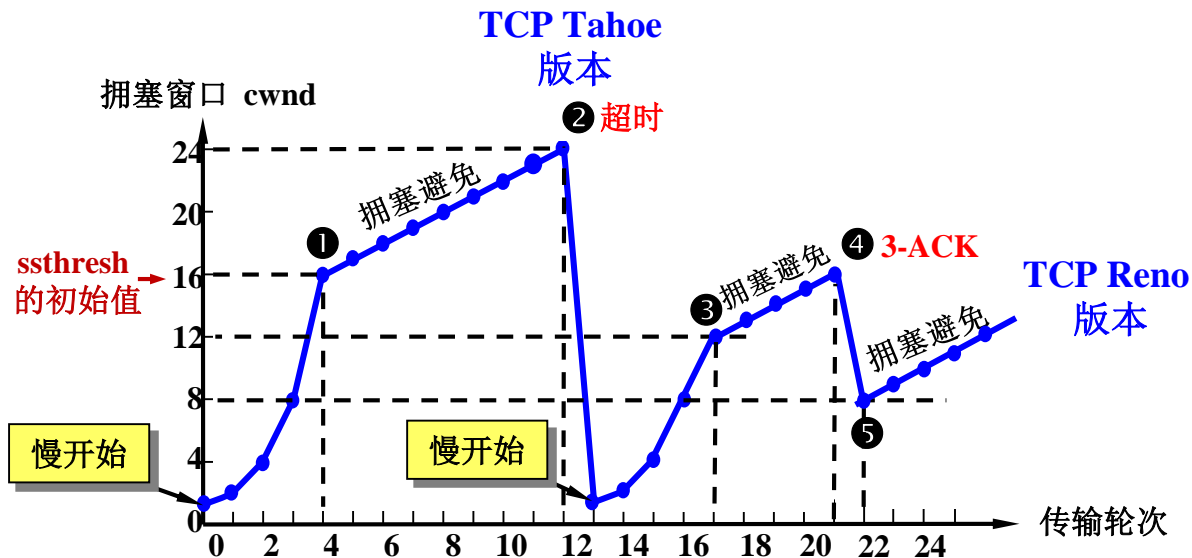
## TCP拥塞控制—慢恢复





# 拥塞控制

## TCP拥塞控制—慢恢复



- 拥塞避免：加法增大，乘法减小 (AIMD)
  - AI (Additive Increase)
  - MD (Multiplicative Decrease)





# 拥塞控制

## 主要内容

- 拥塞控制原理
- TCP 拥塞控制
- 主动队列管理



# 拥塞控制

## 主动队列管理

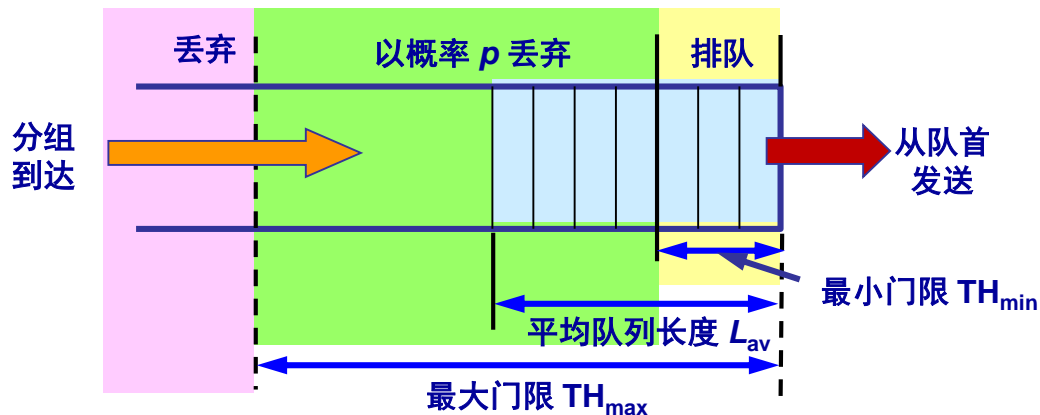
- 路由器队列管理：
  - FIFO
  - 尾部丢弃
  - 导致重传
  - 全局同步



# 拥塞控制

## 主动队列管理

- AQM (Active Queue Management)
- 随机早期检测 RED (Random Early Detection):
  - 当  $L_{AV} < Th_{min}$  时, 丢弃概率  $\rho = 0$ 。
  - 当  $L_{AV} > Th_{max}$  时, 丢弃概率  $\rho = 1$ 。
  - 当  $Th_{min} < L_{AV} < Th_{max}$  时,  $0 < \rho < 1$

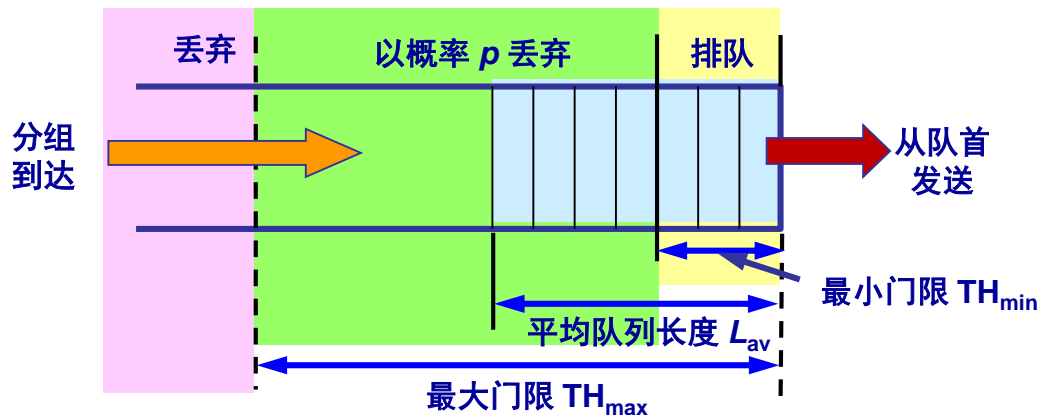




# 拥塞控制

## 主动队列管理

- AQM (Active Queue Management)
- 随机早期检测 RED (Random Early Detection):
  - 当  $L_{AV} < Th_{min}$  时, 丢弃概率  $p = 0$ 。
  - 当  $L_{AV} > Th_{max}$  时, 丢弃概率  $p = 1$ 。
  - 当  $Th_{min} < L_{AV} < Th_{max}$  时,  $0 < p < 1$





# 拥塞控制

## 主要内容

- 拥塞控制原理
  - 网络资源受限，发送端主动控制
- TCP 拥塞控制
  - 慢开始（小初始、指数增长）]
  - 拥塞避免（加法增大）
  - 拥塞控制（乘法减小、接着慢开始）
  - 快重传、快恢复
- 主动队列管理 AQM
  - 随机早检测（RED）
  - 队列丢弃策略