

一 概论

1. 网络把许多计算机连接在一起，互连网把许多网络通过路由器连接在一起

2. 互连网的组成

(1) 边缘部分：用户直接使用的部分，由所有连接在互联网上的主机组成

(2) 核心部分：为边缘部分提供服务，由网络和连接网络的路由器组成

3. 端系统之间的通信

(1) 客户-服务器方式 C/S

(2) 对等连接方式 P2P

4. 路由器是一种专用计算机，用于实现分组交换，转发收到的分组

5. 三种交换

(1) 电路交换

① 需要建立连接，通信过程占用端到端的通信线路资源

② 整个报文的比特流连续地从源点直达终点，好像在一个管道中传输

(2) 报文交换

- ① 整个报文先传送到相邻节点，全部存储下来后查找转发表，转发到下一个节点。

(3) 分组交换

- ① 以分组为单位进行存储转发，分组=首部+报文段
- ② 单个分组传送到相邻节点，存储下来后查找转发表，转发到下一个节点。

6. 数据块的大小用 2 的次方，速率的大小用 10 的次方

7. 时延

- (1) 发送时延（传输时延）= 帧长度 ÷ 发送速率
- (2) 传播时延 = 信道长度 ÷ 电磁波的传播速率
- (3) 时延带宽积 = 传播时延 × 带宽，留存在管道中的比特数
- (4) 往返时间 RTT

8. 网络协议由语法、语义、同步三要素构成

9. 体系结构

- (1) OSI 七层协议（应用层、表示层、会话层、运输层、网络层、数据链路层、物理层）
- (2) TCP/IP 四层协议（应用层、运输层、网络层、链路层）

(3) 五层协议（应用层、传输层、网络层、数据链路层、物理层）

10. 五层

(1) 应用层

- ① 任务是通过应用进程间的交互完成特定网络应用
- ② 定义了应用进程间通信和交互的规则
- ③ 传输的数据单元为**报文**

(2) 运输层

- ① 任务是向两台主机之间的进程间通信（应用层）提供通用的数据传输服务
- ② TCP 传输的数据单位为**报文段**
- ③ UDP 传输的数据单位为**用户数据报**

(3) 网络层

- ① 任务是为分组交换网上的不同主机提供通信服务
- ② 把运输层产生的报文段或用户数据报封装成分组进行传送
- ③ 传输的数据单位为**分组**或 **IP 数据报**

(4) 数据链路层

- ① 任务是将网络层交付下来的 IP 数据报封装成帧，并在两个相邻节点之间的链路上传输。
- ② 传输的数据单位为**帧**

(5) 物理层

- ① 任务是确定相关物理参数

② 传输的数据单位为**比特**（比特流）

11. IP 层可以向上支持多种运输层协议，而不同的运输层协议上还有多种应用层协议；IP 协议可以向下运行在多种类型的网络（数据链路层协议）上。

层次	协议	数据单元	中间设备
物理层	CDMA	比特	转发器、集线器
数据链路层	PPP、CSMA/CD	帧（MAC帧）	交换机、网桥
网络层	IP、ARP、RIP	分组 / IP数据报	路由器
传输层	TCP、UDP、ARQ	报文段 / 用户数据报	网关
应用层	HTTP、FTP	报文	

二 物理层

1. 码分多址复用 CDMA

- (1) 每个站都被指派一个码片序列，互不相同、两两正交
- (2) 要发送 1 就发送码片序列，要发送 0 就发送反码
- (3) 各站的码片序列规格化内积为 0，自身内积为 1
- (4) X 站用码片向量 S 与未知叠加信号求内积后，所有其他站的信号都被过滤掉，只剩下 S 站发送的信号
- (5) 用 S 站的码片序列与收到的信号求内积即得到 S 站的发送信号
- (6) 解题：用未知信号与各站的码片序列求规格化内积，得到 1 则发送了 1，得到 -1 则发送了 0，得到 0 则未发送信号

三 数据链路层

1. 封装成帧

(1) 最大传送单元 MTU：帧的数据部分长度上限，即网络层交付下来的 IP 数据报的最长长度为 MTU，IP 数据报的有效数据部分长度为 MTU-20 字节。

(2) 帧有首部和尾部

2. 透明传输

(1) 透明：某一个实际存在的事物看起来好像不存在一样

(2) 在数据链路层透明传输数据：无论什么样的比特组合的数据，都能按照原样没有差错地通过数据联络层

3. 差错检测

(1) 循环冗余检验 CRC：仅实现了无差错接受，不是可靠传输

(2) 根据生成位多项式 $P(X)$ 得到 n 位除数 P

(3) 在被除数后面补 n 个 0，最后得到 n 位余数 R

(4) 上商时，取被除数的最高位

(5) 减法时，替换为异或

(6) 发送时：余数 R 作为帧检验序列 FCS，拼接在数据末尾

(7) 接收时：余数为 0 则认定无差错，接受

4. 点对点协议 PPP

- (1) 零比特填充实现透明传输
- (2) 发送时：只要发现有 5 个连续的 1，就在后面插入一个 0
- (3) 还原时：只要发现有 5 个连续的 1，就删除后面的一个 0

5. 以太网

- (1) 以太网是局域网的一种实现标准
- (2) 计算机通过适配器（网卡）和局域网进行通信，每张适配器具有唯一的物理地址 MAC。
- (3) 以太网采用 CSMA/CD 协议，载波监听多点接入/碰撞检测。
- (4) 载波监听：不管在想要发送数据之前，还是发送数据之中，都必须不停地检测信道进行监听。
- (5) 多点接入：许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上
- (6) 碰撞检测：发送前必须确认空闲才发送，发送时如果检测到碰撞则停止发送
- (7) 端到端往返时间 2τ 为争用期，经过争用期还没有检测到碰撞，就可以肯定这次发送不会发生碰撞
- (8) 对于 10Mbps 以太网，争用期为 $51.2\mu\text{s}$ ，512 比特时间
- (9) 最短帧长为 512 比特，凡是长度小于 512 比特的帧都一律视为无效帧
- (10) 最短帧长 $= 2\tau \times \text{传输速率}$ ， $\tau = \text{信道长度} \div \text{传播速率}$

6. 以太网的 MAC 层

- (1) MAC 帧前需要插入 8 字节的前同步码和帧定界符
- (2) 全 1 地址为广播帧，发送给本局域网上所有站点

7. 以太网的扩展

- (1) 同一时刻在一个碰撞域中只能有一个站在发送数据
- (2) 集线器：在物理层扩展，全转发
- (3) 交换机：在数据链路层扩展，根据收到的帧的 MAC 地址进行有选择地过滤转发

8. 以太网交换机的自学习功能

- (1) 记录下 (源地址，端口，时间)，更新时间
- (2) 查表，有则单点转发；无则广播（不包括源地址）
- (3) 可能会出现兜圈子现象，需要 STP 生成树协议切断环路

9. 虚拟局域网

- (1) 每个 VLAN 是一个广播域
- (2) 在数据链路层上，同一 LAN 不同 VLAN，不能直接通信

四 网络层

1. IP 地址

- (1) IP 地址 ::= {<网络号>, <主机号>} 或 {<网络前缀>, <主机号>}
- (2) 点分十进制记法、CIDR 斜线记法
- (3) ABC 类地址可指派的网络数，需要从网络号中减去 1/2/3 位用于标识 ABC
- (4) 地址块的 IP 地址数 = $2^{\text{主机号}}$
- (5) 可指派的地址数 = 最大主机数 = $2^{\text{主机号}} - 2$
- (6) 不可指派地址：
 - ① 最大地址：全 1，广播
 - ② 最小地址：全 0，本主机
- (7) 子网掩码
- (8) CIDR 地址块划分 P129 4-25
 - ① 需要考虑不可指派地址
 - ② 需要考虑路由接口和 WAN 接口

2. IP 数据报格式

- (1) 首部固定部分 20 字节，160 比特
- (2) 片偏移以 8 个字节为偏移单位，片偏移字段 = 片起点 \div 8
- (3) 生存时间 TTL：跳数限制，每到达一个路由器就减 1，若减为 0 则丢弃不转发
- (4) 标识符：母片和子片标识符相同，子片标识必须相同才能组装

在一起

3. IP 层转发分组的过程

- (1) 基于终点的转发：基于分组首部中的目的地址
- (2) 查找路由表，确定下一跳路由器的 IP 地址
- (3) 调用 ARP 协议，解析出下一跳路由器的 MAC 地址
- (4) 交付给数据链路层，把 MAC 地址写入 MAC 帧首部

(5) 分组转发算法

- ① 尝试直接交付
- ② 特定主机路由 a.b.c.d/32 例：DNS 服务器
- ③ 顺序查找转发表，进行子网掩码 AND 运算（最长前缀匹配）
- ④ 默认路由 0.0.0.0/0 例：到互联网

4. ARP 协议

- (1) ARP 协议用于解决同一个局域网上的主机或路由器的 IP 地址和 MAC 地址的映射问题
- (2) 在主机的 ARP 高速缓存中存放从 IP 地址到 MAC 地址的映射表
- (3) 广播发送 ARP 请求分组，若接收方一致则收下，并单播发送 ARP 响应分组。设置生存时间。

5. 路由选择协议 > 内部网关协议 IGP > 路由信息协议 RIP

- (1) 每个路由器维护到其他目的网络的距离向量表

(2) 仅和相邻路由器交换信息，交换信息的内容是本路由器知道的全部信息，即自己现在的路由表

(3) 按固定的时间间隔交换

(4) 可以正确收敛，但好消息传播得快，坏消息传播得慢

(5) 距离向量算法

① 修改报文中的所有项目，把下一跳字段地址都改为 x ，把所有距离的值加 1

② 目的网络 $\left\{ \begin{array}{l} \text{有} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{下一跳相同} \rightarrow \text{替换} \\ \text{下一跳不同} \rightarrow \text{新的距离更小}(<) \text{则更新} \end{array} \right. \\ \text{没有} \rightarrow \text{新增} \end{array} \right.$

五 运输层

1. 运输层向它上面的应用层提供通信服务，属于面向通信部分的最顶层，也是用户功能中的最低层。

2. 通信的两端是两个主机中的应用进程，端到端的通信是应用进程到应用进程间通信。

3. 端口号

(1) 服务器端使用的端口号

① 熟知端口号（全球通用端口号）

② 登记端口号

(2) 客户端使用的端口号（短暂端口号）

4. UDP 协议

(1) 无连接、尽最大努力交付、面向报文、没有拥塞控制、支持一对多、首部开销小

5. TCP 协议

(1) 面向连接、提供可靠交付、面向字节流、有拥塞控制、只能一对一、首部开销大、全双工通信

6. TCP 报文段的首部格式

- (1) 固定首部 20 字节，160 比特
- (2) ack 确认号 = N，表明到 N-1 为止的所有数据都已正确收到
- (3) rwnd 窗口字段指出现在允许对方发送的数据量，表示的是发送本报文段一方的接收窗口大小

7. 自动重传请求 ARQ

- (1) 丢弃有差错的报文
- (2) 丢弃重复的报文，但重传确认
- (3) 未收到确认，超时重传
- (4) 收下迟到的确认，但什么也不做
- (5) 流水线传输：发送方可以连续发送多个分组，不必每发完一个分组就停顿下来等待对方确认。可以使信道上一直有数据在传送，提高了信道利用率。
- (6) 连续 ARQ 协议和滑动窗口协议：接收方采用累积确认方式，在收到几个分组后，对按序到达的最后一个分组发送确认。

8. TCP 的可靠传输

- (1) 发送双方各都有两个窗口
- (2) 发送窗口 = 已发送但未收到确认的部分 + 可用窗口
- (3) 根据 B 给出的接收窗口值和期望收到的序号（确认号），A 可以构造出自己的发送窗口

- (4) A 的发送窗口是根据 B 的接收窗口设置的，但由于确认报文未送达原因，两窗口大小不是即时同步

9. TCP 的流量控制

- (1) 流量控制：让发送方不要发送太快，以便接收方来得及接收
- (2) 发送方的发送窗口不能超过接收方给出的接收窗口。窗口单位为字节。
- (3) 为打破零窗口死锁，设置持续计时器，收到零窗口通知时就启动计时器，时间到就发送一个零窗口探测报文。

10. TCP 的拥塞控制

- (1) 拥塞控制：防止过多的数据注入到网络中，这样可以使网络中的路由器和链路不至于过载。
- (2) 发送方维持拥塞窗口 $cwnd$ ，发送窗口 $= \min(cwnd, rwnd)$
- (3) 慢开始算法：初始窗口为 1，每经过一个 RTT 就翻倍
- (4) 慢开始门限 $ssthresh$ ： $cwnd > ssthresh$ 时改用拥塞避免算法
- (5) 拥塞避免算法：加法增大 AI，每经过一个 RTT 就加一
- (6) 超时：调整 $ssthresh$ 减半，乘法减小 MD， $cwnd$ 归一
- (7) 快重传算法：接收方要立即发送确认，发送方就可以尽早知道发生了报文段丢失；发送方一旦连续收到 3 个重复确认，就可以知道现在并未出现网络拥塞，而是接收方少收到了报文段，因此立即重传。接下来不启动慢开始算法，而执行快恢复算法。

(8) 快恢复算法: 3-ACK 时, rwnd 不归一, 而是设置为减半后的新门限 ssthresh

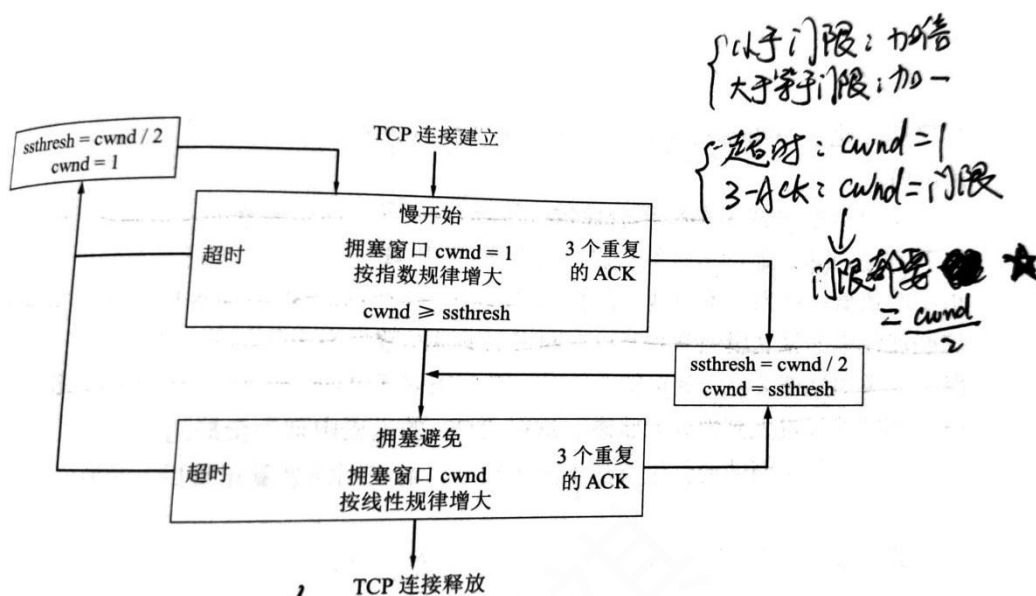


图 5-27 TCP 的拥塞控制的流程图

5-39 (1) 拥塞窗口与 RTT 的关系曲线如图 A-9 所示。

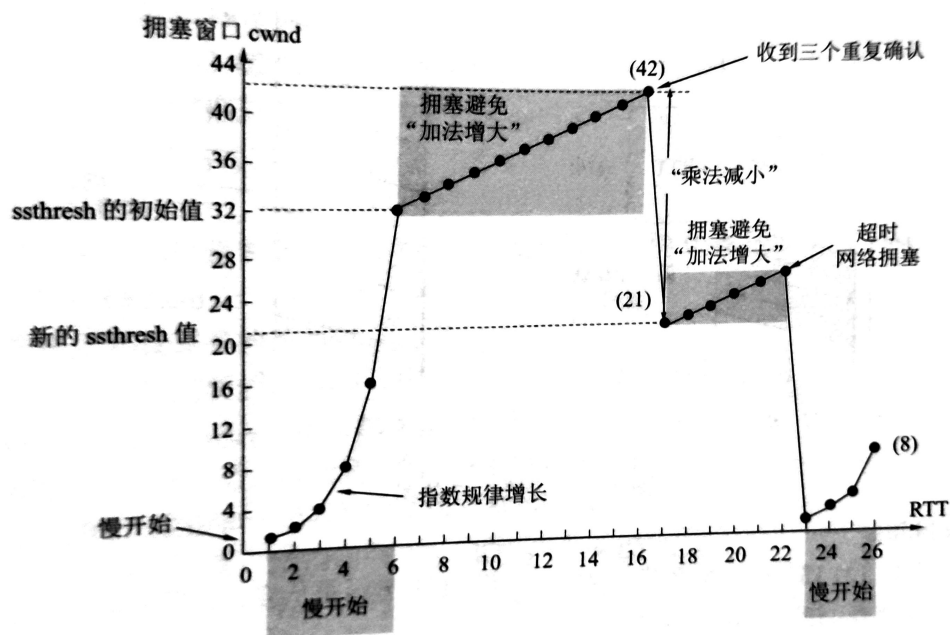


图 A-9 拥塞窗口与 RTT 的关系曲线