

# 计算机网络(1)

网络概述、应用层、传输层

# 计算机网络概述

定义：互连的（通过交换网络互联主机）、自治（无主从关系）的计算机集合

交换节点：路由器或交换机

协议三要素：**语法**（传输格式）

**语义**（完成的动作、信息的含义）

**时序**（各种事件顺序）

计算机网络的结构：**网络边缘**：主机（端系统）

**接入网络**：数字用户线路（DSL）

电缆网络：多个用户**共享**一根电缆，例如混合光纤同轴电缆（HFC）

机构（企业）接入网络

无线接入网络

**网络核心**：互连的路由器网络，关键功能是路由和转发

16 判断 (2分) 采用10Mbps的HFC接入Internet可能比2Mbps的ADSL接入还慢。

☒ A. ✓

☐ B. ✗

一、填空题、  
1. 我们在学习一个计算机网络协议时，一个重要的内容就是分析该协议的数据包结构以及每个字段的具体意义与作用。事实上，这就是在分析该协议的两个基本要素，即（语法）和（语义）。

# 数据交换

电路交换 三个阶段：**建立连接，通信，释放连接**

预先建立电路连接，独占资源，在通信结束后才会释放资源，不适合突发数据传输，适合**强实时性应用**，传输时延小，有序，无冲突

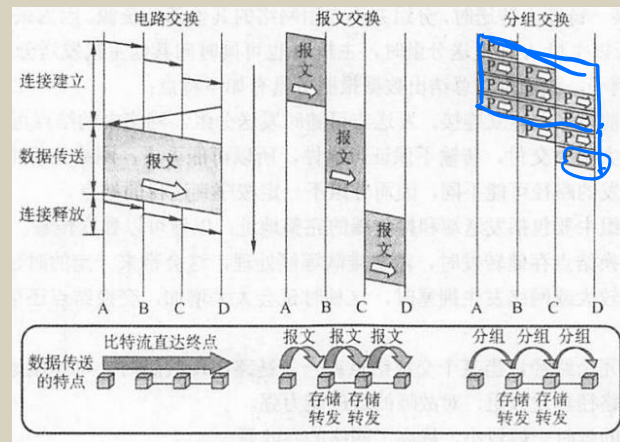
**多路复用**（共享中继线）

报文交换 采用**存储-转发**的交换方式，无须建立连接，动态分配链路，提高线路利用率，有**转发时延**。

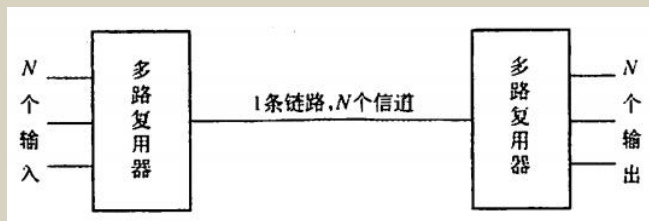
分组交换 采用**存储-转发**交换方式，需要拆分与重组报文，有额外开销，报文交付时间短。只需较小的路由器缓存空间。适用于**突发数据传输网络**。简单、无需呼叫建立，可能产生拥塞。可能失序、丢失、重复分组

报文交付时间：M为报文长度，n为路由器个数

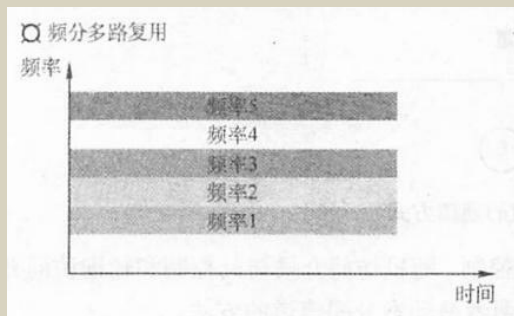
$$T = \frac{M}{R} + n \frac{L}{R}$$



# 多路复用



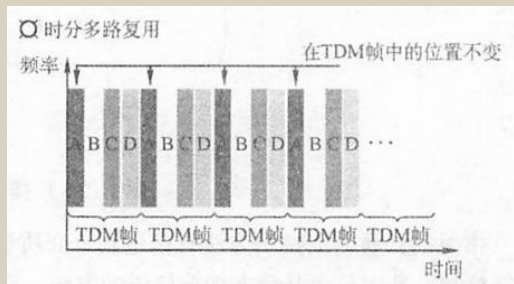
发送端把多个输入通道的信息整合到一个复用通道中，接收端把收到的信息分离出来并传送到对应的输出通道



频分多路复用FDM 各用户占用不同的频率带宽(Hz)资源

时分多路复用TDM 将时间分成若干时间片，轮流地分配给不同用户使用

波分多路复用WDM 光的频分多路复用



码分多路复用CDM 每个用户被指派一个唯一的**码片序列**  
发送1时，用户发送码片序列  
发送0时，用户发送码片序列的**反码**  
多个用户发送时，各路数据线性相加  
各用户码片序列**正交**（内积为0）  
**解码**：码片序列与编码信号作内积

# 多路复用

2. 在一个 CDMA 网络中, 某站点正接收另一码序列为  $(-1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1)$  的站点发送的数据, 若该站点收到  $(-111-1-1-11-1-1-111-11-1-1-111-11-111-1-1-11-1)$ , 则该站点收到的数据是 1001。

22. 一条广播信道上接有 3 个站点 A、B、C, 介质访问控制采用信道划分方法, 信道的划分采用码分复用技术, A、B 要向 C 发送数据, 设 A 的码序列为  $+1, -1, -1, +1, +1, +1, +1, -1$ 。站 B 可以选用的码片序列为 D。

A.  $-1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, +1$

B.  $-1, +1, -1, -1, -1, +1, +1, +1$

C.  $-1, +1, -1, +1, -1, +1, -1, +1$

D.  $-1, +1, -1, +1, -1, +1, +1, +1$

$$-1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 + 1 - 1 = 0$$

26. 【2014 统考真题】站点 A、B、C 通过 CDMA 共享链路, A、B、C 的码片序列分别是  $(1, 1, 1, 1)$ 、 $(1, -1, 1, -1)$  和  $(1, 1, -1, -1)$ 。若 C 从链路上收到的序列是  $(2, 0, 2, 0, 0, -2, 0, -2, 0, 2, 0, 2)$ , 则 C 收到 A 发送的数据是 D。

A. 000

B. 101

C. 110

D. 111

$$\cancel{1} (1 \times 2 + 1 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 0) = 1$$

$$\cancel{1} (0 - 2 + 0 - 2) = -1$$

$$\cancel{1} (0 + 2 + 0 + 2) = 1$$

图 3.9 停止-等待协议中数据帧和确认帧的发送时间关系

# 计算机网络性能

10 单选 (2分) 假设主机A到达主机B的路径上有4段链路，其速率分别是 $R_1=500\text{kbps}$ ， $R_2=2\text{Mbps}$ ， $R_3=1\text{Mbps}$ ， $R_4=100\text{kbps}$ 。若主机A向主机B以存储-转发的分组交换方式发送一个8MB (1M=1000000) 大文件，则传输该文件到主机B所需要时间至少约为

- ☒ A. 640s
- ☐ B. 64s
- ☐ C. 128s
- ☐ D. 32s

$$\frac{8 \times 10^6 \times 8}{100 \times 10^3} = 640\text{s}$$

2 单选 (2分) 在下图所示的采用“存储-转发”方式的报文交换网络中，所有链路的数据传输速率为100 Mbps。若主机H1向主机H2发送一个大小为1MB (1M=1000000) 的文件，则在不考虑传播延迟和结点处理延迟的情况下，从H1发送开始到H2接收完为止，需要的时间至少是



- ☐ A. 400 ms
- ☐ B. 40 ms
- ☒ C. 320ms
- ☐ D. 50 ms

$$\frac{1 \times 10^6 \times 8}{100 \times 10^6} \times 4 = 0.32\text{s}$$

# 计算机网络体系结构

协议是控制两个对等实体进行通信的规则集合，是**水平**的  
任一层实体需要使用下层服务，向上层提供服务，服务是**垂直**  
相邻层实体通过**接口**进行交互

**OSI参考模型：** 7应用层：支持用户通过用户代理（如浏览器）或网络接口使用网络

6表示层：处理两个系统间交换信息的**语法与语义**问题；数据表示转化；  
压缩/解压缩；加密/解密


5会话层：建立和维护对话，在数据流中插入同步点


4传输层：负责**端到端**的完整报文数据的传输；分段；重组；连接控制；**流量控制；拥塞控制；差错控制；SAP寻址；多路复用和分用**

3网络层：负责**源主机到目标主机**的分组交付；逻辑寻址；路由；转发

2数据链路层：**结点-结点**数据传输；组帧；物理寻址；**流量控制；差错控制**；访问接入控制

1物理层：在相邻**结点**之间，通过物理介质进行**比特**传输

**TCP/IP参考模型：**应用层、传输层、网际层、网络接口层

**5层参考模型：**应用层、数据层、网络层、数据链路层、物理层

报文、(报文)段、分组\数据报、(数据)帧



# 计算机网络体系结构

三、单项选择题（每题1分，共25分）

1. 在 OSI 参考模型中，实现数据表示转换功能的层是 (B)。

A. 应用层      B. 表示层      C. 会话层      D. 传输层

20. 【2009 统考真题】在 OSI 参考模型中，自下而上第一个提供端到端服务的层次是 (B)。

A. 数据链路层      B. 传输层      C. 会话层      D. 应用层

22. 【2011 统考真题】TCP/IP 参考模型的网络层提供的是 (A)。

A. 无连接不可靠的数据报服务      B. 无连接可靠的数据报服务  
C. 有连接不可靠的虚电路服务      D. 有连接可靠的虚电路服务

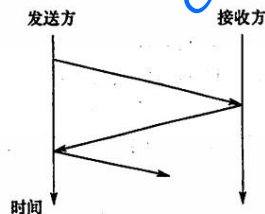
23. 【2013 统考真题】在 OSI 参考模型中，功能需由应用层的相邻层实现的是 (D)。

A. 对话管理      B. 数据格式转换      C. 路由选择      D. 可靠数据传输

24. 【2014 统考真题】在 OSI 参考模型中，直接为会话层提供服务的是 (C)。

A. 应用层      B. 表示层      C. 传输层      D. 网络层

28. 【2020 统考真题】下图描述的协议要素是 (C)。



I. 语法      II. 语义      III. 时序

A. 仅 I      B. 仅 II      C. 仅 III      D. I、II 和 III

29. 【2021 统考真题】在 TCP/IP 参考模型中，由传输层相邻的下一层实现的主要功能是 (B)。

A. 对话管理      B. 路由选择  
C. 端到端报文段传输      D. 结点到结点流量控制

30. 【2022 统考真题】在 ISO/OSI 参考模型中，实现两个相邻结点间流量控制功能的是 (B)。

A. 物理层      B. 数据链路层      C. 网络层      D. 传输层

相邻结点      整个网络      端到端

# 应用层概述

体系结构： 客户机/服务器结构(C/S)： 服务器： 7\*24提供服务；永久性访问地址/域名；可扩展；可以同时处理多个要求；不需要知道客户程序的地址；面向任务

客户机： 使用服务器提供的服务；间歇性接入网络；可能使用动态IP地址；不与其他客户机直接通信；必须知道服务器程序的地址；面向用户

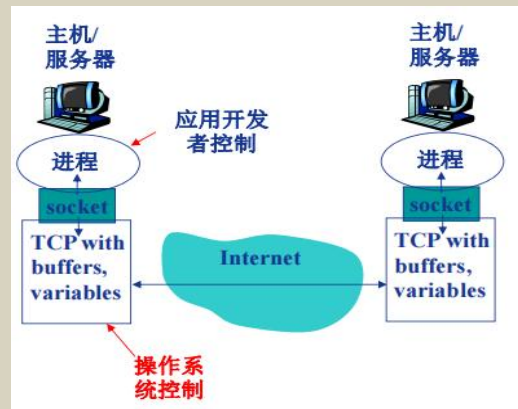
点对点结构P2P： 没有永远在线的服务器；任意端系统/节点之间（对等方）可以直接通讯；节点间歇性接入网络；节点可能改变IP地址

P2P结构本质上看仍然使用C/S模式，每个节点既作为客户访问其他结点资源，也作为服务器提供资源给其他结点访问

混合结构： Napster： 文件传输使用P2P；文件搜索采用C/S

进程通信： 套接字

进程标识符： IP地址+端口号



# HTTP协议（超文本传输协议）

C/S结构；1.0和1.1两个版本；使用TCP传输服务，工作在80端口；**无状态**（服务器不维护任何有关客户端过去所发请求的信息）

HTTP连接：非持久性连接：每个TCP连接传输一个对象；**HTTP1.0**使用

无流水的持久性连接：每个TCP连接允许传输多个对象，客户端收到前一个响应才发送新的请求；**HTTP1.1默认使用**

带流水的持久性连接：每个TCP连接允许传输多个对象，客户端遇到一个引用对象就尽快发出请求

HTTP请求  
消息格式：

请求行、首部行、消息体（ASCII码）

HTTP1.0请求方法：

GET（请求请求行中的url指明的对象）

POST（在消息体中上传客户端的输入）

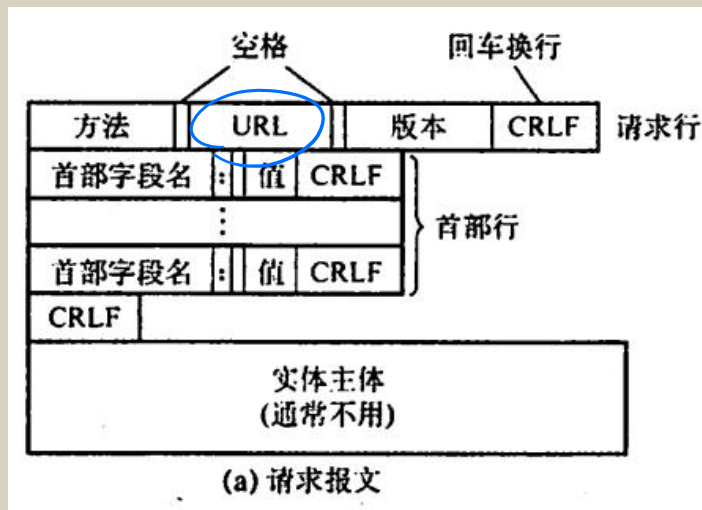
HEAD（请服务器不将所请求的对象放入响应消息中）

HTTP1.1请求方法：

GET、POST、HEAD

PUT（将消息体中文件上传到URL所指定的路径）

DELETE（删除URL所指定的文件）



# HTTP协议 (超文本传输协议)

HTTP响应消息格式： 状态码、首部行、响应数据 (ASCII码)

200 OK; 301 Moved Permanently; 400 Bad Request;  
404 Not Found; 505 HTTP Version Not Supported

Web**缓存**/代理服务器技术： 不访问服务器前提下满足客户端HTTP请求

**条件性**GET方法：

**代理服务器**向**网站服务器**发送HTTP请求消息，在首部添加If-modified-since: <date>字段，声明所持有版本的日期；

若缓存版本是最新的，则**网站服务器**发送**304 Not Modified**响应消息，并且响应消息中不包含对象；  
若缓存版本不同，则**网站服务器**返回正常响应报文，包含新对象。

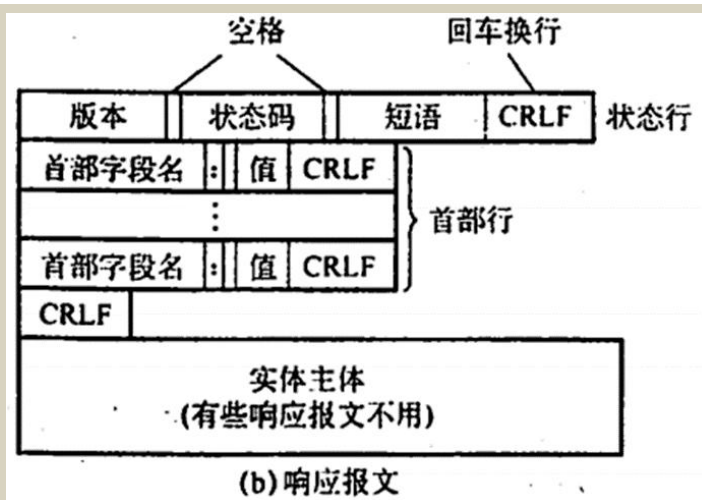
Cookie技术：客户第一次浏览某个使用cookie的网站时，服务器会为用户生成一个唯一的Cookie值，并在响应报文中以Set-Cookie字段告知用户

用户收到响应后，在**它管理的特定Cookie文件**中添加这个服务器的主机名和Cookie识别码。

当用户继续浏览这个网站时，会取出这个网站的识别码，并放入请求报文的**首部行**：**Cookie: xxxx**

服务器根据请求报文的识别码就能从数据库中查询到该用户的活动记录

主要功能：身份认证、构造购物车、个性化推荐、用户会话状态信息维护



# HTTP协议 (超文本传输协议)

04. 【2011 统考真题】某主机的 MAC 地址为 00-15-C5-C1-5E-28, IP 地址为 10.2.128.100 (私有地址)。图 1 是网络拓扑, 图 2 是该主机进行 Web 请求的一个以太网数据帧前 80B 的十六进制及 ASCII 码内容。

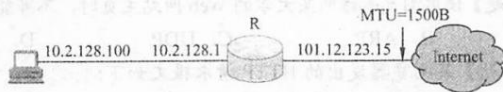


图 1 网络拓扑

0000	00 21 27 21 51 ee 00 15	c5 c1 5e 28 08 00 45 00	...!Q...^(..E.
0010	01 ef 11 3b 40 00 80 06	ba 9d 0a 02 80 64 40 aa	...:@...d@.
0020	62 20 04 ff 00 50 e0 e2	00 fa 7b f9 f8 05 50 18	b...P...{...P.
0030	fa f0 1a c4 00 00 47 45	54 20 2f 72 66 63 2e 68	.....GE T/rfc.h
0040	74 6d 6c 20 48 54 54 50	2f 31 2e 31 0d 0a 41 63	tml HTTP/1.1..Ac

图 2 以太网数据帧 (前 80B)

请参考图中的数据回答以下问题。

- Web 服务器的 IP 地址是什么? 该主机的默认网关的 MAC 地址是什么?
- 该主机在构造图 2 的数据帧时, 使用什么协议确定目的 MAC 地址? 封装该协议请求报文的以太网帧的目的 MAC 地址是什么?
- 假设 HTTP/1.1 协议以持续的非流水线方式工作, 一次请求-响应时间为 RTT, rfc.html 页面引用了 5 幅 JPEG 小图像。问从发出图 2 中的 Web 请求开始到浏览器收到全部内容为止, 需要多少个 RTT?  $6RTT$
- 该帧封装的 IP 分组经过路由器 R 转发时, 需修改 IP 分组头中的哪些字段?

注: 以太网数据帧结构和 IP 分组头结构分别如图 3 和图 4 所示。

6B	6B	2B	46~1500B	4B
目的 MAC 地址	源 MAC 地址	类型	数据	CRC

图 3 以太网帧结构

比特 0	8	16	24	31
版本	头部长度	服务类型	总长度	
标识		标志	片偏移	
生存时间(TTL)	协议		头部校验和	
源IP地址				
目的IP地址				

图 4 IP 分组头结构

1. (12 分) 假设你在浏览某网页时点击了一个超链接, URL 为 <http://www.kicker.com.cn/index.html>, 且该 URL 对应的 IP 地址在你的计算机上没有缓存; 文件 index.html 引用了 8 个小图像。域名解析过程中, 无等待的一次 DNS 解析请求与响应时间记为 RTTd, HTTP 请求传输 Web 对象过程的一次往返时间记为 RTTh。请回答下列问题:
- 你的浏览器解析到 URL 对应的 IP 地址的最短时间是多久? 最长时间是多久?
  - 若浏览器没有配置并行 TCP 连接, 则基于 HTTP1.0 获取 URL 链接 Web 页完整内容 (包括引用的图像, 下同) 需要多长时间 (不包括域名解析时间, 下同)?  $2 \times (1 + 8) = 18RTT$
  - 若浏览器配置 5 个并行 TCP 连接, 则基于 HTTP1.0 获取 URL 链接 Web 页完整内容需要多长时间?  $2 \times RTT + 2 \times 2 \times RTT = 6RTT$
  - 若浏览器没有配置并行 TCP 连接, 则基于非流水模式的 HTTP1.1 获取 URL 链接 Web 页完整内容需要多长时间? 基于流水模式的 HTTP1.1 获取 URL 链接 Web 页完整内容需要多长时间?  $RTT + 9RTT = 10RTT$   
 $RTT + RTT + RTT = 3RTT$

02. 从协议分析的角度, WWW 服务的第一步操作是浏览器对服务器的 (C)。

- 请求地址解析
- 传输连接建立
- 请求域名解析
- 会话连接建立



# FTP协议（文件传输协议）

6. 下列应用层协议中，具有带外控制（out of band control）特性的是（**B**）。

A. HTTP      B. FTP      C. SMTP      D. DNS

提供不同类型的主机系统之间的文件传输能力；  
以用户权限管理的方式提供用户对远程FTP服务器上的文件管理能力；  
以匿名FTP的方式提供公用文件共享的能力；  
采用C/S工作方式，使用TCP传输服务；**有状态**协议

11. 【2017 统考真题】下列关于 FTP 的叙述中，错误的是（**C**）。

A. 数据连接在每次数据传输完毕后就关闭  
B. 控制连接在整个会话期间保持打开状态  
C. 服务器与客户端的 TCP 20 端口建立数据连接  
D. 客户端与服务器的 TCP 21 端口建立控制连接

一个FTP服务器进程由两大部分组成：一个主进程负责接收新的请求；  
若干从属进程，负责处理单个请求

FTP在工作时使用两个并行的TCP连接：

- 控制连接：**端口21**，用来传输控制信息（用户发送的命令和服务器回复的应答码），控制信息均以7位ASCII格式传送；整个会话期间**一直保持打开**的状态。
- 数据连接：**端口20**，用来传送文件数据，分为主动模式（默认）和被动模式，是**非持续连接**

由于控制信息和有效数据分开（与HTTP不同），因此FTP的**控制信息**被称为**带外传送**的

# Email应用



## Email构成:

- 邮件客户端 (用户代理): 运行在PC机上的程序 (电子邮件客户端软件), 如outlook、foxmail等
- 邮件服务器: 存储发给某用户的Email, 拥有消息队列, 发送和接收邮件, 但必须能充当客户端和服务端
- 电子邮件使用的协议: 邮件发送协议 (SMTP) 和邮件读取协议 (POP3、IMAP)

SMTP (简单邮件传输) 协议: 用于**用户代理**向邮件服务器发送邮件或在**邮件服务器之间**发送邮件;  
控制两个相互通信的SMTP进程交换信息  
TCP; 端口25; **推式**协议; 只能包含7位ASCII码; C/S模式

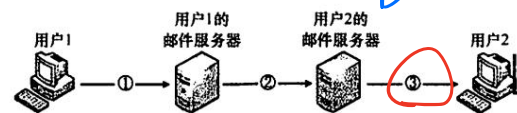
POP3 (邮局) 协议: 用于用户代理**从**邮件服务器读取邮件  
TCP; 端口110; **拉式**协议; C/S模式; 无状态; ASCII码; 下载并删除; 下载并保持

IMAP (因特网报文存取) 协议

MIME (多媒体扩展): 音频、视频、可执行文件、二进制对象

注: 一些基于万维网的电子邮件(如Hotmail、Gmail、163、QQ), **用户浏览器与邮件服务器之间的邮件发送或接收使用的是HTTP**

08. 【2012 统考真题】若用户 1 与用户 2 之间发送和接收电子邮件的过程如下图所示, 则中①、②、③阶段分别使用的应用层协议可以是 (D).



- A. SMTP、SMTP、~~SMTP~~  
B. ~~POP3~~、SMTP、POP3  
C. ~~POP3~~、SMTP、SMTP  
D. SMTP、SMTP、POP3

# DNS (域名解析系统)

使用联机分布式的DNS服务器（实现数据库系统），提供**域名向IP地址的翻译**；**主机别名**；**邮件服务器别名**；**负载均衡**等功能，C/S模型，其协议运行在UDP之上，53号端口

两种查询方式：本机的DNS客户端构造一个DNS请求报文，以UDP数据报方式发往本地域名服务器

迭代查询：也认为1这一步是递归查询，其他为迭代查询

递归查询

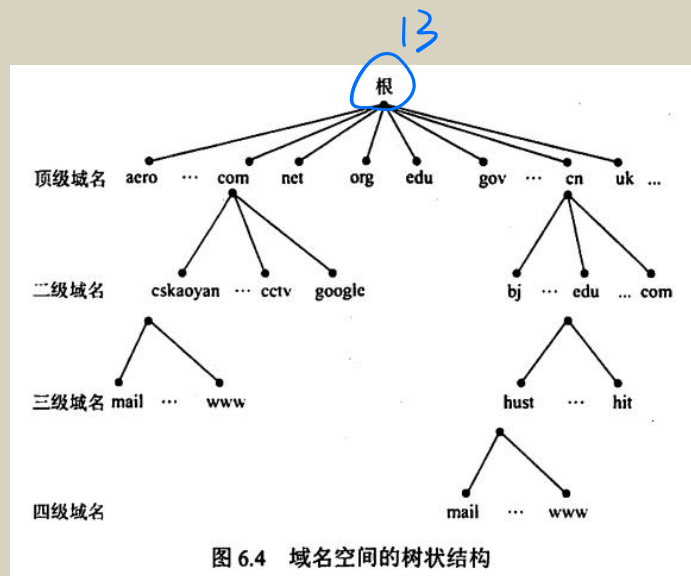
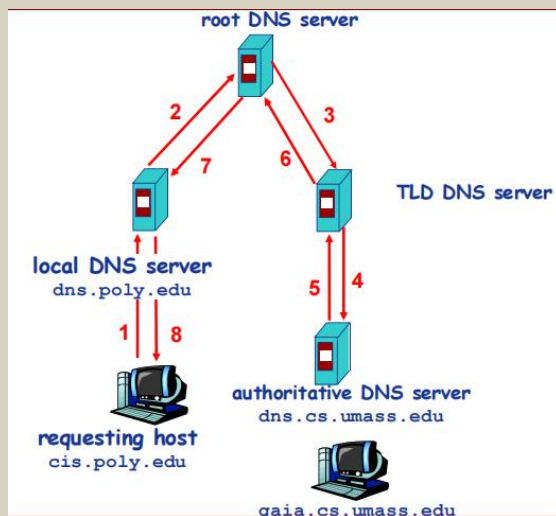
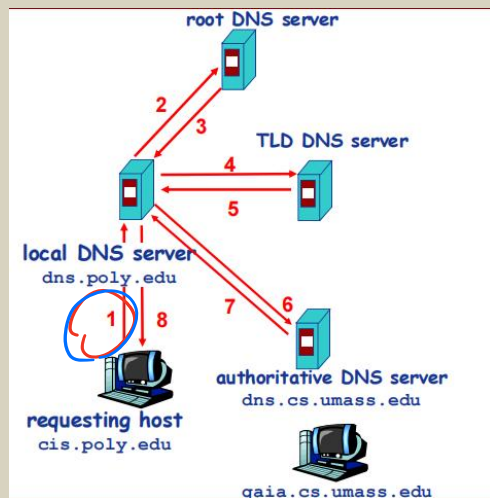


图 6.4 域名空间的树状结构



# DNS (域名解析系统)

DNS记录缓存和更新：本地域名解析服务器缓存获得的域名——IP映射  
一段时间过后，缓存失效；  
本地域名解析服务器会缓存顶级域名服务器的映射（根域名不经常被访问）

DNS记录：四元组(Name, Value, Type, TTL)

- Type=A：Name：主机域名；Value：IP
- Type=NS：Name：域名；Value：该域权威域名服务器的主机域名
- Type=CNAME：Name：某一真实域名的别名；Value：真实域名
- Type=MX：Name：邮件服务器别名；Value：邮件服务器的真实域名

多台主机也可以映射到同一域名（如负载均衡）  
一台主机也可以映射到多个域名（如虚拟主机）

表 6.2 常见应用层协议小结

应用程序	FTP 数据连接	FTP 控制连接	TELNET	SMTP	DNS	TFTP	HTTP	POP3	SNMP
使用协议	TCP	TCP	TCP	TCP	UDP	UDP	TCP	TCP	UDP
熟知端口号	20	21	23	25	53	69	80	110	161

- ❖例子：你刚刚创建了一个公司“Network Utopia”
- ❖在域名管理机构(如Network Solutions)注册域名networkutopia.com
  - 向域名管理机构提供你的权威域名解析服务器的名字和IP地址
  - 域名管理机构向com顶级域名解析服务器中插入两条记录

(networkutopia.com, dns1.networkutopia.com, NS)  
(dns1.networkutopia.com, 212.212.212.1, A)

- ❖在权威域名解析服务器中为www.networkutopia.com加入Type A记录，为networkutopia.com加入Type MX记录

# DNS (域名解析系统)

10. 【2016 统考真题】假设所有域名服务器均采用迭代查询方式进行域名解析。当主机访问规范域名为 `www.abc.xyz.com` 的网站时，域名服务器在完成该域名解析的过程中，可能发出 DNS 查询的最少和最多次数分别是 (C)。
- A. 0, 3      B. 1, 3      C. 0, 4      D. 1, 4

根、顶级(.com)、权威(xyz.com)、  
权威(abc.xyz.com)

12. 【2020 统考真题】假设下图所示网络中的本地域名服务器只提供递归查询服务，其他域名服务器均只提供迭代查询服务；局域网内主机访问 Internet 上各服务器的往返时间 (RTT) 均为 10ms，忽略其他各种时延。若主机 H 通过超链接 `http://www.abc.com/index.html` 请求浏览纯文本 Web 页 `index.html`，则从单击超链接开始到浏览器接收到 `index.html` 页面为止，所需的最短时间与最长时间分别是 (D)。



- A. 10ms, 40ms      B. 10ms, 50ms      C. 20ms, 40ms      D. 20ms, 50ms

最短:  $RTT + RTT$   
建立 TCP 连接获取。

最长:  $3 \times RTT + RTT + RTT$   
根、  
顶级、  
权威

# P2P应用——文件分发

一个服务器向N个结点分发一个文件； $u_s$ 为服务器上传带宽； $u_i$ 为结点i的上传带宽； $d_j$ 为结点j的下载带宽；服务器上传一个**字节**，结点就可以下载一个**字节**

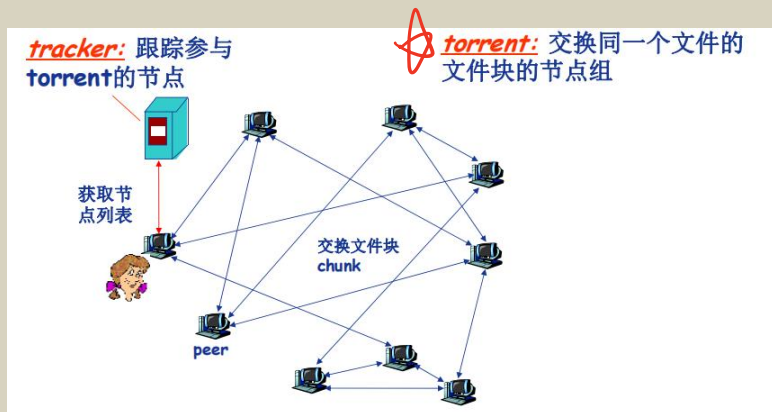
C/S结构：服务器串行发送N个副本

$$\max\left\{\frac{NF}{u_s}, \frac{F}{\min(d_i)}\right\}$$

P2P结构：服务器发送一个副本

$$\max\left\{\frac{F}{u_s}, \frac{F}{\min(d_i)}, \frac{NF}{u_s + \sum u_i}\right\}$$

BitTorrent (P2P分发文件协议)：



如何获取chunk：节点定期查询每个邻居所持有的chunk列表，然后节点发送请求，请求获取缺失的chunk（并且要先获取稀缺的chunk）

如何发送chunk：节点向正在向自己发送chunk且发送最快的4个节点发送chunk；由于网络动态变化，所以每10s重新评估最快的；每30s随机选择一个其他节点，向其发送chunk

# 多路复用多路分解

接收端进行多路分用：传输层依据头部信息将收到的报文段交给正确的Socket，即不同的进程

发送端进行多路复用：从多个Socket接收数据，为每个数据封装上头部信息，生成报文段，交给网络层

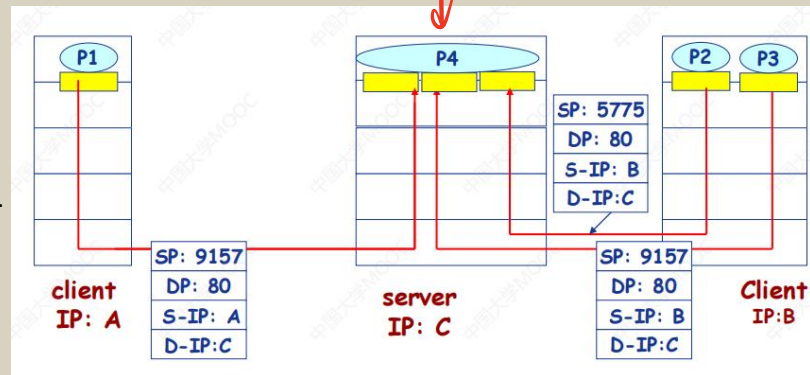
UDP的Socket用二元组标识（目的IP地址，目的端口号）：可以将来自不同源IP或端口号的报文段导向同一个Socket

TCP的Socket用四元组标识（源IP地址，源端口号，目的IP地址，目的端口号）：来自不同的源的数据只能通过各自的TCP连接被送到目的套接字，但这些套接字可以使用相同端口号，如Web服务器并行维护多个TCP连接，端口都使用80

端口号16bit，只标识本计算机应用层中的各进程：

服务器端使用：熟知端口号：0-1023；登记端口号1024-49151

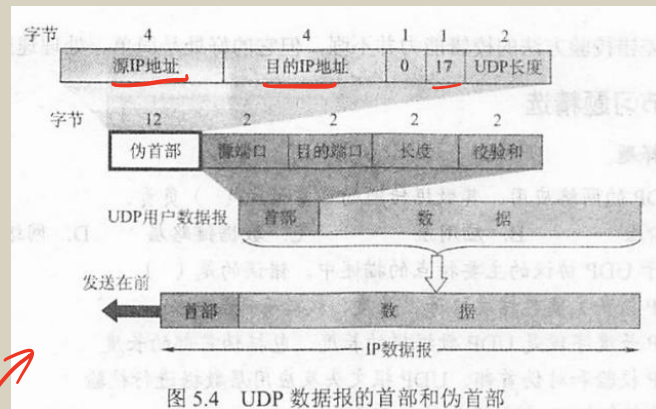
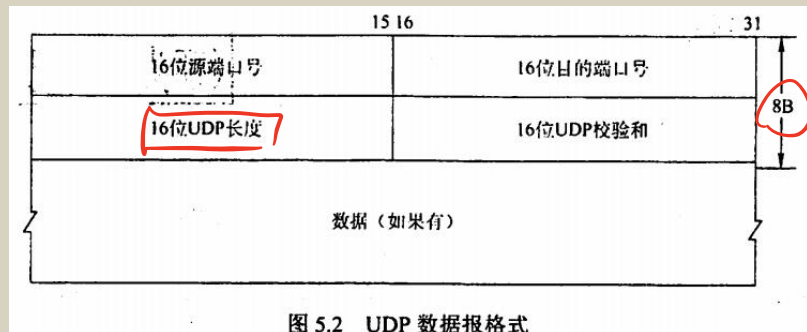
客户端使用：49152-65535（短暂端口号）



# UDP

基于Internet IP协议；多路复用和分用；简单错误校验（只检错不纠错）；无连接的协议；面向报文；

UDP报文段格式：



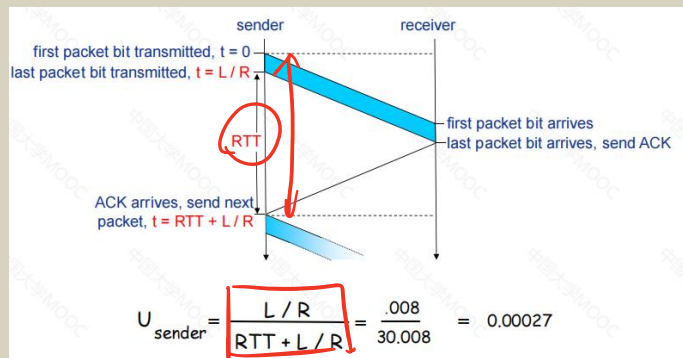
UDP长度：首部+数据的长度

UDP校验和的计算：发送方：在前面添加12B的伪首部；先把**全零**放入校验和字段；末尾补0使得报文长度为偶数字节；16bit（2B）的字串的拼接；**进位加在和的后面，按位取反**

接收方把收到的UDP数据报加上伪首部，按同样方法计算，当无差错时结果全为1，否则有错丢弃（不重传）或交付上层并附上错误报告。

12. 【2018 统考真题】UDP 协议实现分用时所依据的头部字段是 ( )
- A. 源端口号    B. 目的端口号    C. 长度    D. 校验和

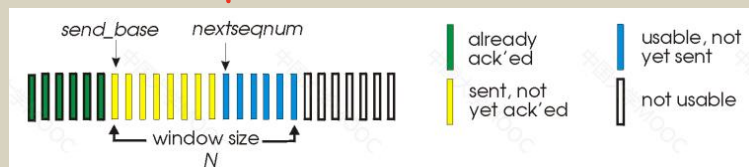
# 停-等协议、GBN、SR



停-等协议：发送方：每发送一分组，都要等待接收方的应答信号，才能发送下一分组；设置计时器

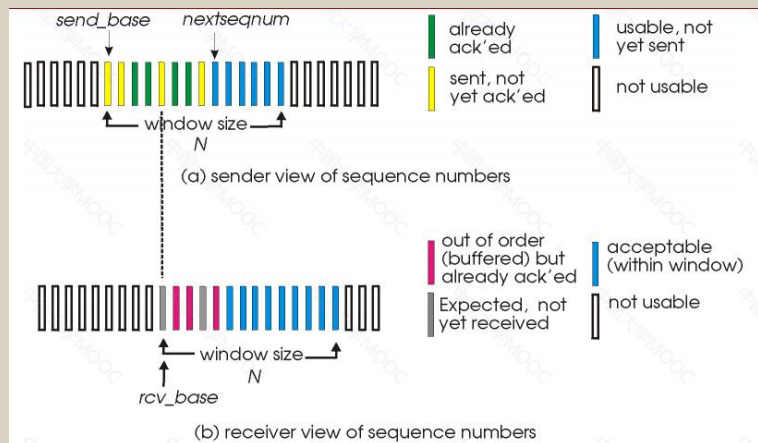
接收方：每接收一分组，都要反馈一个应答信号；发送的ACK(i)表示上一个被正确接收的分组编号为i

ACK0和ACK1



GBN：发送方：分组头部包含k-bit序列号；窗口尺寸为N；累积确认；只需为第一个已发送未确认的分组设置计时器；超时Timeout(n):重传序列号大于等于n的分组

接收方：发送拥有最高序列号的、已被正确接收的分组的ACK；接收到不是期望的分组直接丢弃，发送已确认的序列号最大的分组序号



SR：发送方：为每个分组设置定时器，只重传没收到ACK的分组

接收方：对每个分组单独进行确认，缓存乱序到达的分组

序列号比特数k与窗口尺寸的关系：Ns+Nr<=2^k

发 接



# 停-等协议、GBN、SR

15. 【2015 统考真题】主机甲通过 128kb/s 卫星链路, 采用滑动窗口协议向主机乙发送数据, 链路单向传播时延为 250ms, 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. 3

B. 4

C. 7

D. 8

窗口  $n$ .

$$\frac{1000 \times 8}{128 \times 10^3} \geq 80\% \Rightarrow n \geq 7.2$$

$$\frac{1000 \times 8}{128 \times 10^3} + 0.25 \times 2$$

14. 【2014 统考真题】主机甲与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, 信道带宽为 100Mb/s, 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、乙之间的单向传播时延是 50ms, 则甲可以达到的最大平均数据传输速率约为 ( )

A. 10Mb/s

B. 20Mb/s

C. 80Mb/s

D. 100Mb/s

有修正:

$$\frac{1000 \times 1000 \times 8}{0.1 + \frac{1000 \times 8}{100 \times 10^6}} \approx 80 \text{ Mb/s}$$

$$\min[80, 100] = 80$$

06. 在某卫星信道上, 发送端从一个方向发送长度为 512B 的帧, 且发送端的数据发送速率为 64kb/s, 接收端在另一端返回一个很短的确认帧。设卫星信道端到端的单向传播时延为 270ms, 对于发送窗口尺寸分别为 1、7、17 和 117 的情况, 信道的吞吐率分别为多少?

发送周期:  $\frac{512 \times 8}{64 \times 10^3} + 0.27 \times 2 = 0.064 + 0.54 = 0.604 \text{ s}$

①:  $\frac{512 \times 8}{0.604} = 6.8 \text{ kb/s}$     ②:  $\frac{512 \times 8 \times 7}{0.604} = 47.5 \text{ kb/s}$     ③:  $\frac{512 \times 8 \times 17}{0.604} = 140.5 \text{ kb/s}$     ④:  $\frac{512 \times 8 \times 117}{0.604} = 775.5 \text{ kb/s}$

16. 【2018 统考真题】主机甲采用停止-等待协议向主机乙发送数据, 数据传输速率是 3kb/s, 单向传播时延是 200ms, 忽略确认帧的传输时延。当信道利用率等于 40% 时, 数据帧的长度为 ( )

A. 240 比特

B. 400 比特

C. 480 比特

D. 800 比特

$$\frac{\frac{x}{3 \times 10^3}}{\frac{x}{3 \times 10^3} + 0.4} = 40\% \Rightarrow x = 800 \text{ b}$$

18. 【2020 统考真题】假设主机甲采用停-等协议向主机乙发送数据帧, 数据帧长与确认帧长均为 1000B, 数据传输速率是 10kb/s, 单向传播时延是 200ms。则甲的最大信道利用率为 ( )

A. 80%

B. 66.7%

C. 44.4%

D. 40%

$$\frac{\frac{1000 \times 8}{10 \times 10^3}}{\frac{1000 \times 8 \times 2}{10 \times 10^3} + 0.4} = 40\%$$

# TCP

点对点；可靠传输；流水线机制；发送方、接收方设置缓存；全双工；流量控制；拥塞控制；  
面向连接；面向字节流

发送方缓存：发送应用程序传送给发送方TCP准备发送的数据；TCP已发送但尚未收到确认的数据

接收方缓存：按序到达但尚未被接收应用程序读取的数据；不按序到达的数据

TCP报文段：

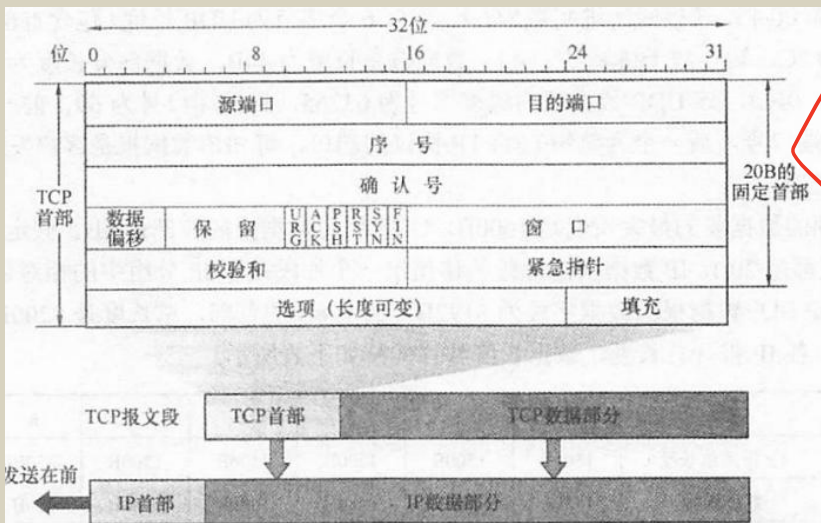


图 5.6 TCP 报文段

**序号：**报文段中**第一个字节**的编号，建立TCP连接时，双方随机选择序号

**确认号：**希望收到的下一个字节的序号；累积确认，该序号之前的所有字节均已被正确收到

**确认位ACK：**仅当ACK=1时确认号字段才有效，TCP规定，连接建立后所有传送的报文段都必须把ACK置1

**同步位SYN：**当SYN=1表示这是一个连接请求（ACK=0）或连接接受（ACK=1）报文

**窗口：**现在允许对方发送的数据量（接受方缓存有限）

**终止位FIN：**FIN=1，表示此报文段的发送方的数据已发送完毕，要求释放连接

**校验和：**同UDP，但伪首部中17改为6，UDP长度改为TCP长度



# TCP

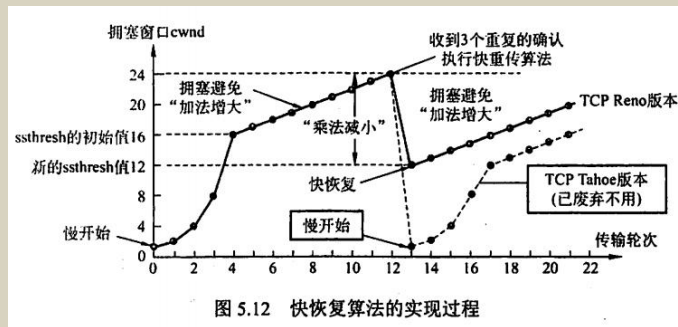
TCP的可靠数据传输：流水线机制；累积确认（只确认数据流中至第一个丢失字节为止的字节）；  
使用单一重传定时器；若超时或收到3个冗余ACK则重传

TCP的流量控制：接收方为TCP连接分配缓存；  
接收方通过报文段的头部字段将RevWindow（缓存的可用空间）告诉发送方；  
发送方限制自己已发送未确认的数据不超过RecWindow尺寸

TCP的拥塞控制：•慢启动：TCP连接建立时：CongWin=1；指数型增长：收到每个ACK时都增长一个MSS，相当于每个RTT将CongWin翻倍

•拥塞避免：当CongWin达到loss事件前值的一半时（Threshold），转换为线性增长

•网络拥塞处理：无论在慢开始还是在拥塞避免阶段：将Threshold设为出现拥塞时的发送方的CongWin的一半。收到3个重复ACK：将CongWin切到一半，等于Threshold，线性增长；Timeout：CongWin变成一，指数增长



发送窗口大小 = min（拥塞窗口大小，接收窗口大小）

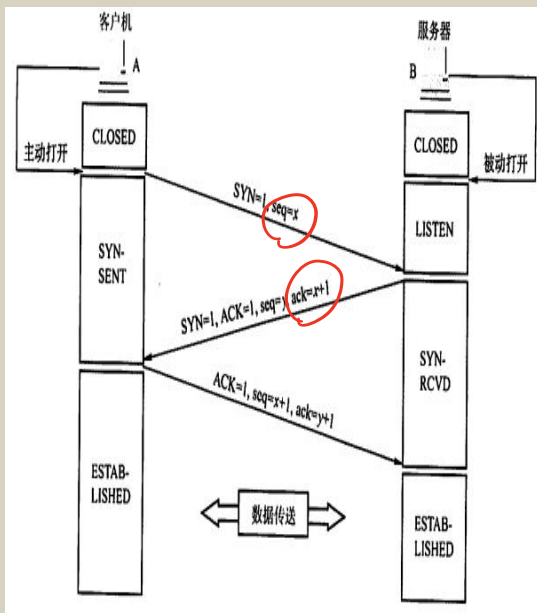
**区分**流量控制和拥塞控制：

流量控制关注的是：接收端数据接收处理与缓存能力

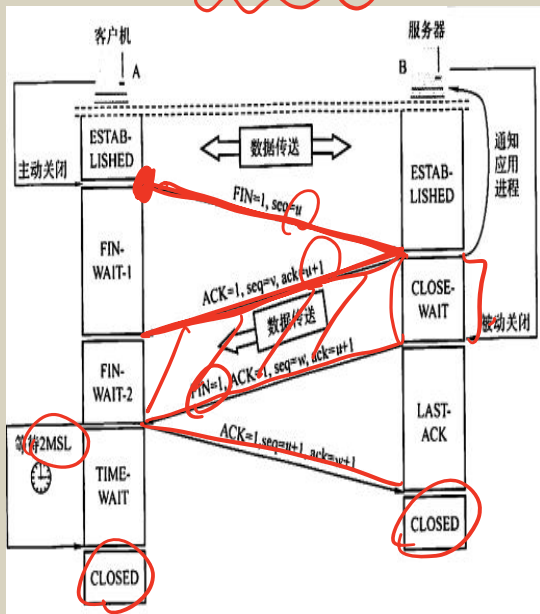
拥塞控制关注的是：网络传输能力

# TCP

## 建立连接



## 取消连接



- ① SYN=1代表该报文段是一个连接建立请求；FIN=1代表该报文段是一个连接释放请求。
- ② SYN报文段不能携带数据，会消耗掉一个序号；FIN报文段即使不携带数据也会消耗掉一个序号。
- ③ TCP是全双工的，可以想象为有两条数据通路，一方发送FIN=1报文段只会拆除一条数据通路，另一方还可以继续发送数据。
- ④ 客户机收到服务器发来的连接释放报文段后，TCP连接还未完全释放，必须经过2MSL（最长报文段寿命）后，客户机才会进入连接关闭的状态。

双方都可以主动提出释放连接请求

第二步：客户机到服务器端连接释放，  
但服务器仍可以发送数据给客户机

# TCP

15. TCP 使用三次握手协议来建立连接, 设 A、B 双方发送报文的初始序列号分别为 X 和 Y, A 发送 (①) 的报文给 B, B 接收到报文后发送 (②) 的报文给 A, 然后 A 发送一个确认报文给 B 便建立了连接 (注意, ACK 的下标为捎带的序号)。

① A. SYN=1, 序号=X B. SYN=1, 序号=X+1, ACK<sub>X</sub>=1  
C. SYN=1, 序号=Y D. SYN=1, 序号=Y, ACK<sub>Y+1</sub>=1  
② A. SYN=1, 序号=X+1 B. SYN=1, 序号=X+1, ACK<sub>X</sub>=1  
C. SYN=1, 序号=Y, ACK<sub>X+1</sub>=1 D. SYN=1, 序号=Y, ACK<sub>Y+1</sub>=1

20. 在一个 TCP 连接中, MSS 为 1KB, 当拥塞窗口为 34KB 时发生了超时效事件。如果在接下来的 4 个 RTT 内报文段传输都是成功的, 那么当这些报文段均得到确认后, 拥塞窗口的大小是 (C)。

A. 8KB B. 9KB C. 16KB D. 17KB

22. 在一个 TCP 连接中, MSS 为 1KB, 当拥塞窗口为 34KB 时收到了 3 个冗余 ACK 报文。如果在接下来的 4 个 RTT 内报文段传输都是成功的, 那么当这些报文段均得到确认后, 拥塞窗口的大小是 (D)。

A. 8KB B. 16KB C. 20KB D. 21KB

23. A 和 B 建立 TCP 连接, MSS 为 1KB。某时, 慢开始门限值为 2KB, A 的拥塞窗口为 4KB, 在接下来的一个 RTT 内, A 向 B 发送了 4KB 的数据 (TCP 的数据部分), 并且得到了 B 的确认, 确认报文中的窗口字段的值为 2KB。在下一个 RTT 中, A 最多能向 B 发送 (A) 数据。

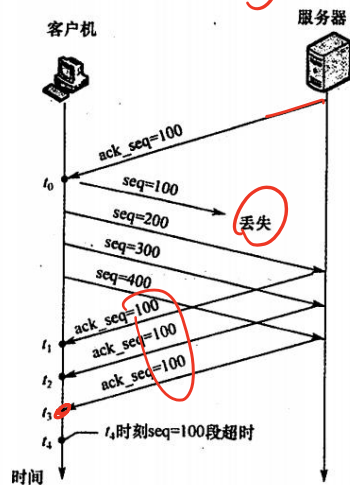
A. 2KB B. 8KB C. 5KB D. 4KB

33. 【2015 统考真题】主机甲和主机乙新建一个 TCP 连接, 甲的拥塞控制初始阈值为 32KB, 甲向乙始终以 MSS=1KB 大小的段发送数据, 并一直有数据发送; 乙为该连接分配 16KB 接收缓存, 并对每个数据段进行确认, 忽略段传输延迟。若乙收到的数据全部存入缓存, 不被取走, 则甲从连接建立成功时刻起, 未出现发送超时的情况下, 经过 4 个 RTT 后, 甲的发送窗口是 (A)。

A. 1KB B. 8KB C. 16KB D. 32KB

35. 【2019 统考真题】某客户通过一个 TCP 连接向服务器发送数据的部分过程如下图所示。客户在  $t_0$  时刻第一次收到确认序列号  $\text{ack\_seq}=100$  的段, 并发送序列号  $\text{seq}=100$  的段, 但发生丢失。若 TCP 支持快速重传, 则客户重新发送  $\text{seq}=100$  段的时刻是 (C)。

A.  $t_1$  B.  $t_2$  C.  $t_3$  D.  $t_4$



# TCP

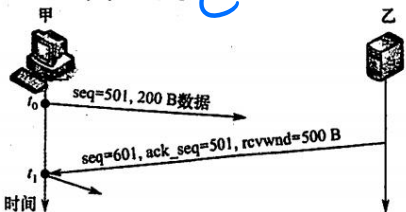
38. 【2020 统考真题】若主机甲与主机乙建立 TCP 连接时，发送的 SYN 段中的序号为 1000，在断开连接时，甲发送给乙的 FIN 段中的序号为 5001，则在无任何重传的情况下，甲向乙已经发送的应用层数据的字节数为 ( )。

- A. 4002 B. 4001 C. 4000 D. 3999

1001

5001 - 1001 = 4000

41. 【2021 统考真题】设主机甲通过 TCP 向主机乙发送数据，部分过程如下图所示。甲在  $t_0$  时刻发送一个序号  $seq=501$ 、封装 200B 数据的段，在  $t_1$  时刻收到乙发送的序号  $seq=601$ 、确认序号  $ack\_seq=501$ 、接收窗口  $rcvwnd=500B$  的段，则甲在未收到新的确认段之前，可以继续向乙发送的数据序号范围是 ( )。



- A. 501 ~ 1000 B. 601 ~ 1100 C. 701 ~ 1000 D. 801 ~ 1100

43. 【2022 统考真题】假设客户 C 和服务端 S 已建立一个 TCP 连接，通信往返时间  $RTT=50ms$ ，最长报文段寿命  $MSL=80ms$ ，数据传输结束后，C 主动请求断开连接。若从 C 主动发出 FIN 段时刻算起，则 C 和 S 进入 CLOSED 状态所需的时间至少分别是 ( )。

- A. 850 ms, 50 ms B. 1650 ms, 50 ms  
C. 850 ms, 75 ms D. 1650 ms, 75 ms

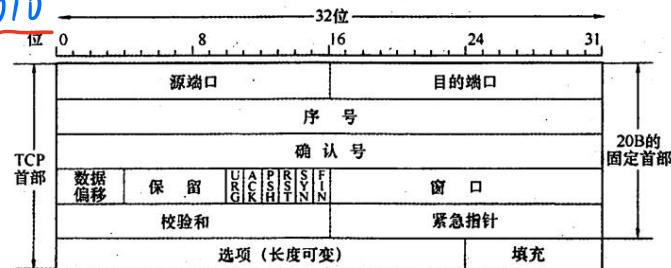
$RTT + 2MSL$

$1.5 \times RTT$

800ms

13. 一个 TCP 首部的数据信息（十六进制表示）为 0x0D 28 00 15 50 5F A9 06 00 00 00 7D 02 40 00 C0 29 00 00。TCP 首部的格式如下图所示。请回答：

0x0D 0010



- 源端口号和目的端口号各是多少？ 3308, 21
- 发送的序列号是多少？确认号是多少？ 0x505FA900, 0
- TCP 首部的长度是多少？  $7 \times 4 = 28B$
- 这是一个使用什么协议的 TCP 连接？该 TCP 连接的状态是什么？

T-T-P

SYN=1, ACK=0. 第一次握手

$1RTT + RTT + RTT + RTT$

1MSS 2MSS 4MSS

13. 【2022 统考真题】假设主机 H 通过 HTTP/1.1 请求浏览某 Web 服务器 S 上的 Web 页 news408.html，news408.html 引用了同目录下的 1 幅图像，news408.html 文件大小为 1MSS（最大段长），图像文件大小为 3MSS，H 访问 S 的往返时间  $RTT=10ms$ ，忽略 HTTP 响应报文的首部开销和 TCP 段传输时延，若 H 已完成域名解析，则从 H 请求与 S 建立 TCP 连接时刻起，到接收到全部内容止，所需的时间至少是 ( )。

- A. 30ms B. 40ms C. 50ms D. 60ms