



# 计算机网络-课程总结

---

主讲人：李学明

单 位：重庆大学计算机学院

2020年12月



# 目录

---

- 1 课程考核考试
- 2 课程内容总结
- 3 问题解答讨论
- 4 典型习题解答



# 1. 课程考核考试

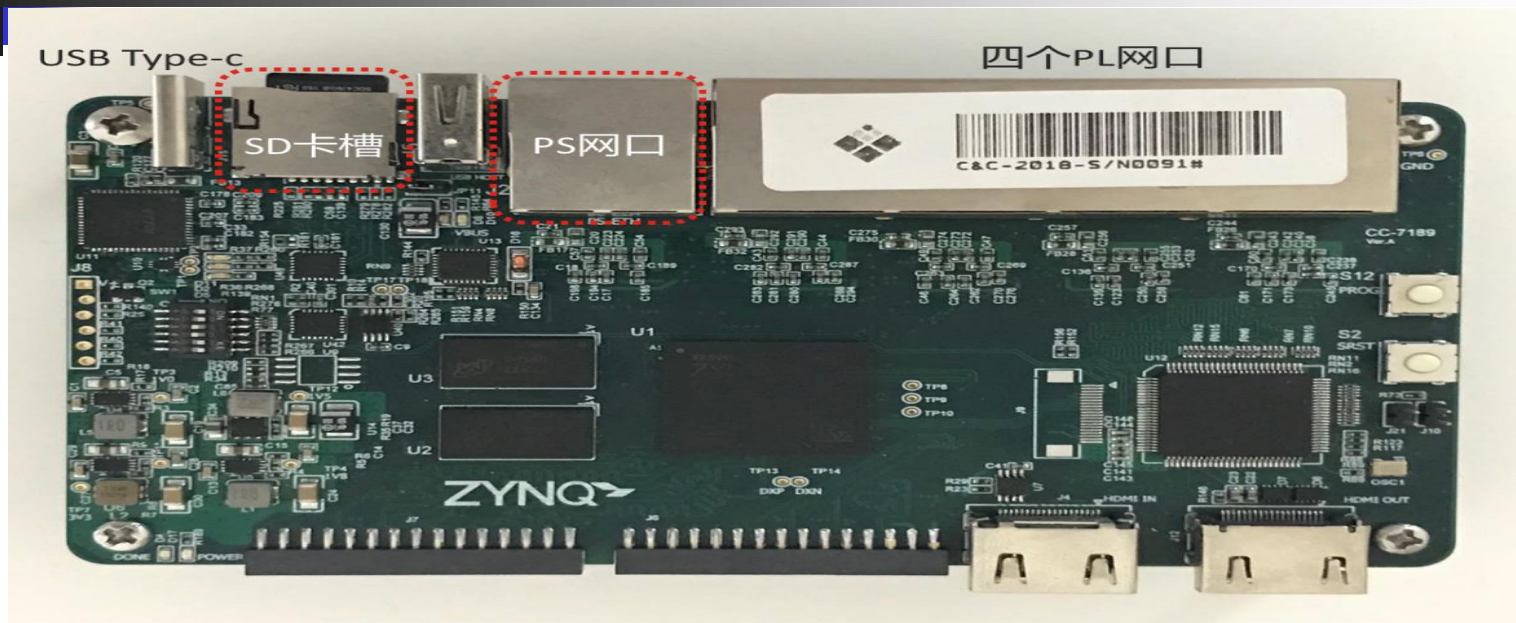
类型	作业	课程实验	课程设计	期末考试	论文阅读报告	合计
比例	10	20	10	55	5	100

- (1) 课程作业：3次，每次作业，每人单独提交
- (2) 课程实验：4个，每个实验，每人单独提交，实验过程报告
- (3) 课程设计：1个，以组为单位提交，源码+报告
- (4) 阅读报告：1份，以组为单位提交，报告

说明：单个环节未达到基本要求的，整个课程不及格

全部以sakai平台上的提交结果为准

## 实验4：特别说明，网络装置设计实现

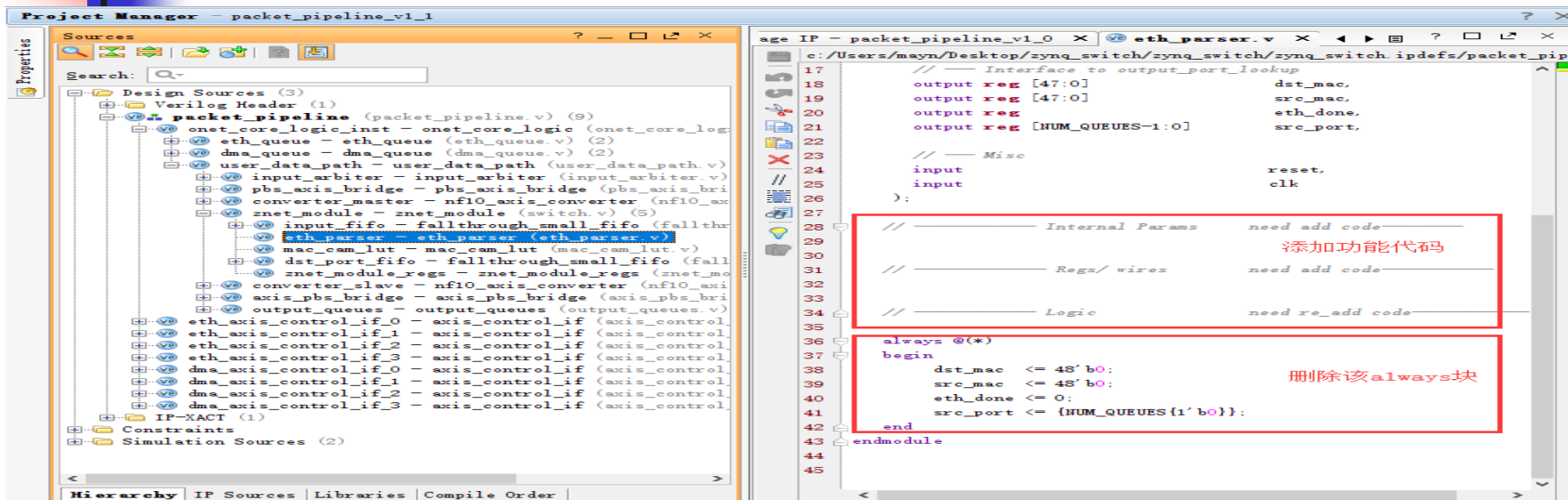


实验目的：利用电脑和Xilinx ZBOX板卡实现Ethernet交换机核心功能

实验过程：有一半是在课内统一安排的实验时间完成的（设计编程）

有一半要求同学们在课外，利用实验室开放时间去完成（验证）

# 实验4：特别说明



基本功能实现（核心是以下两点）：

(1) 交换机功能模块实现，实现交换机端口的状态管理维护、地址转发表的查询与管理维护、基于源地址学习的转发表学、以及帧收发等功能。

(2) 交换机配置软件实现。实现交换机的管理配置和操作命令。

**特别说明：**如果实现功能超过了基本要求，如增加了配置命令或交换机功能(VPN)，则总成绩会适当加分



# 课程设计：特别说明

---

## • Project ↵

### 1. 项目名称 ↵

(1) 多人聊天系统 ↵

(2) 共享白板系统 ↵

↵

### 2. 实践目的 ↵

掌握 Socket 编程的基本方法,掌握客户/服务器的实现原理,利用 Winsock API 或者 Java Socket API 编制一个能部署在 Internet 上的多人聊天系统或共享白板系统。 ↵

#### (1) 再次强调协议设计

PDU协议数据单元: 固定格式或自由格式

Request/response

同步(状态)

(2) 检查方式: 以组为单位检查,三个环节(讲解,演示,问答),随机抽人,随机提问

(3) 检查时间: 15周或16周,大家商量一个时间告诉我(或发在微信群里)



# 论文阅读报告：特别说明

文献阅读报告	该项目标准分值	项目完成情况（含报告情况）		
		检查优良	检查合格	未通过检查
主题指定或 主题自拟	5	4.0-5.0	3.0-3.5	0

项目	得分情况		
	优良	合格	未完成
	参考标准	参考标准	参考标准
论文阅读报告	<b>1. 选题与授课内容相符</b> <b>2. 计算机网络前沿话题</b> 3. 内容综合性好且全面 4. 具有独立见解和观点 5. 参考文献专业性强且新 <b>2篇英文、3篇中文文献</b> 6. 报告格式规范，符合要求	1. 选题与授课内容相符 2. 内容逻辑型较好 3. 专业性参考文献 3篇英文、2篇中文文献 4. 报告格式规范，符合要求	1. 未提交 2. 内容拼凑无逻辑 3. 抄袭或被抄袭



# 期末考试

---

考试时间：16周星期五





# 考试说明（闭卷考试）

## 期末笔试试卷结构

类型	单选题	填空题	简答题	综合题	总分
比例	20	10	40	30	100

说明：英文题目占40%左右

## 期末试卷各章节试题比例

章节	第一章	第二章	第三、四章	第五章	第六章	第七章
占比	5% 简介	10% 物理层	25% 数据链路层	30% 网络层	20% 传输层	10% 应用层

考试不是以知识、记忆为主，而是以理解、分析、比较、设计、应用等为主



## 2. 课程内容总结

### 2.1 计算机网络特性认识

- (1) 复杂巨系统（技术、规模、业务）
- (2) 解决问题：成员间的通信（成员间的协同？）
- (3) 解决思路：分而治之

分层结构+规范化

- (1) 单播
- (2) 多播
- (3) 广播

- (1) 短/长消息
- (2) 文本/多媒体
- (3) 实时消息

### 2.2 计算机体系结构

- (1) 分层体系（分多少层）（资源子网+通信子网）
- (2) 协议（每层功能的标准化）
- (3) 不同层之间的关系（服务关系）

## 2. 课程内容总结

### (4) 与每个层次相关的基本概念

- 1) (N)实体：某层中
- 2) (N)协议：通信双方的同层间
- 3) (N)服务：同一系统,相邻两层下对上

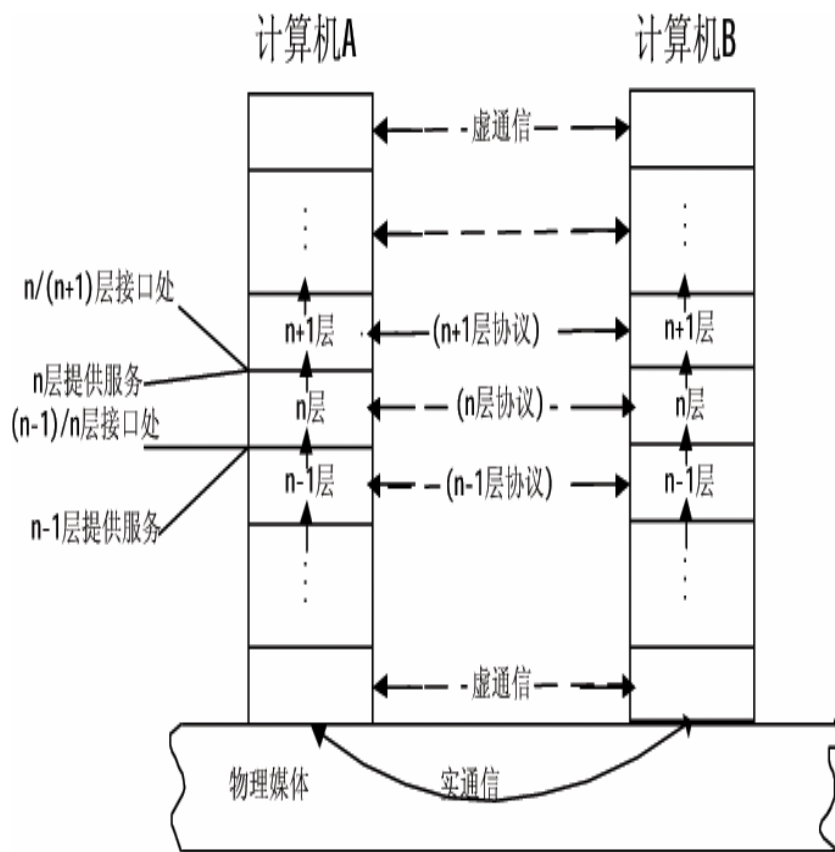
4) (N)接口：同一系统，相邻两层

### 形成两大基本关系：

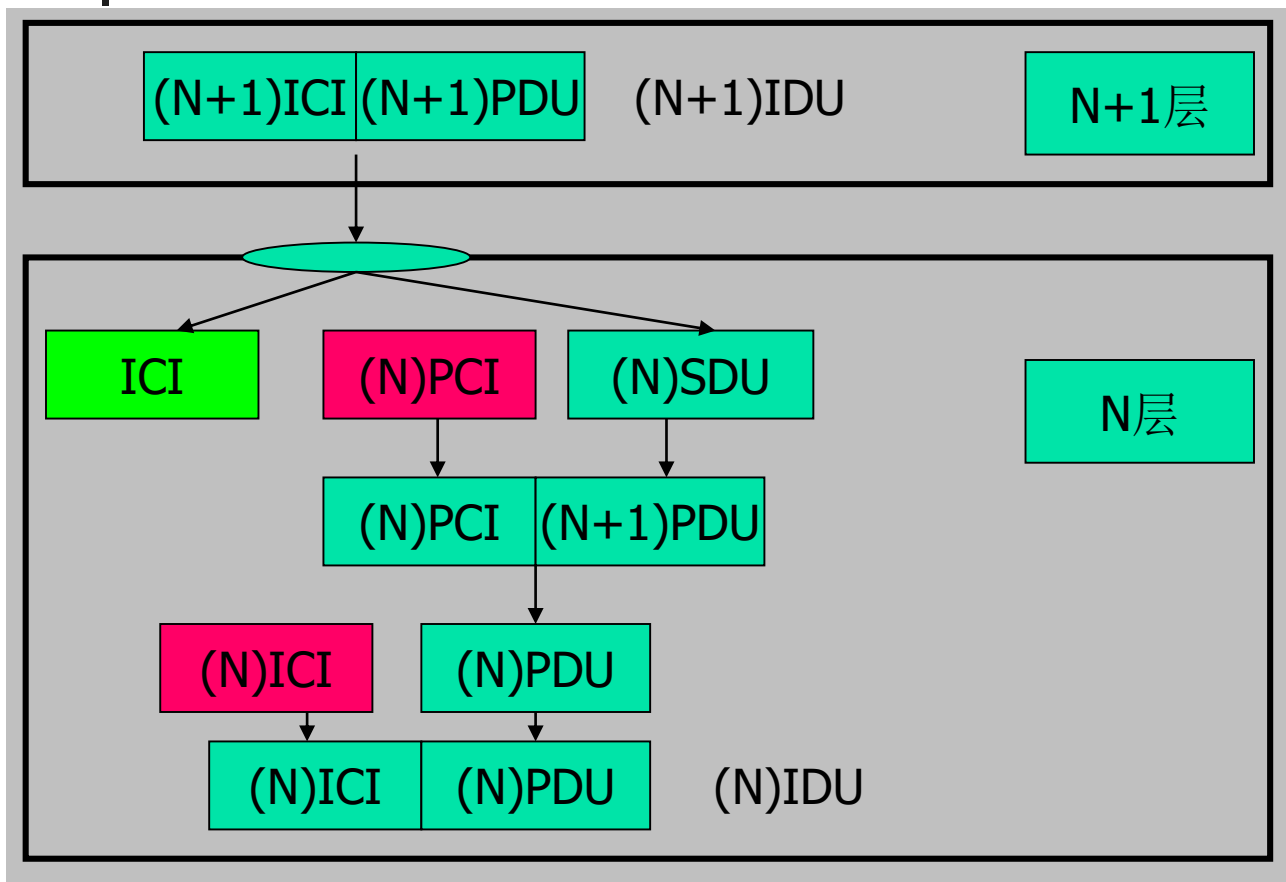
- 1) 服务与接口的关系；
- 2) 服务和协议的关系。

### (5) 协议三要素

语法、语义、同步



## 2. 课程内容总结



ICI:接口控制信息

PDU:协议数据单元

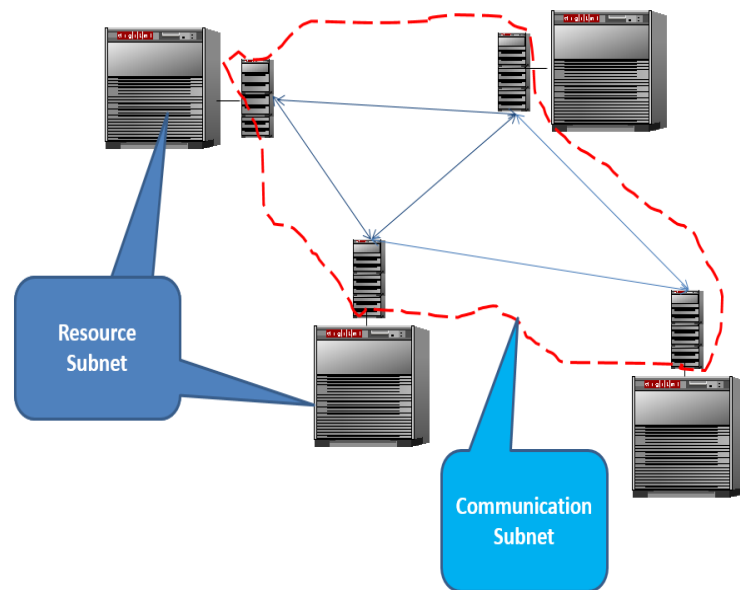
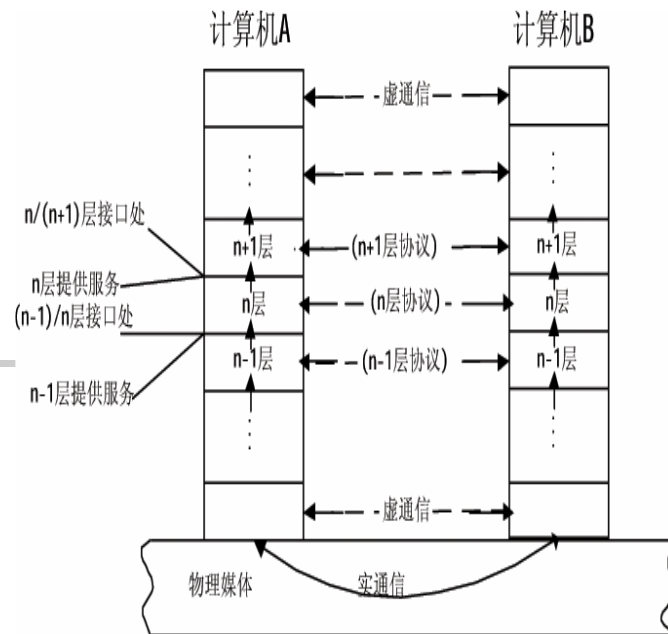
IDU:接口数据单元

SDU:服务数据单元

PCI:协议控制信息

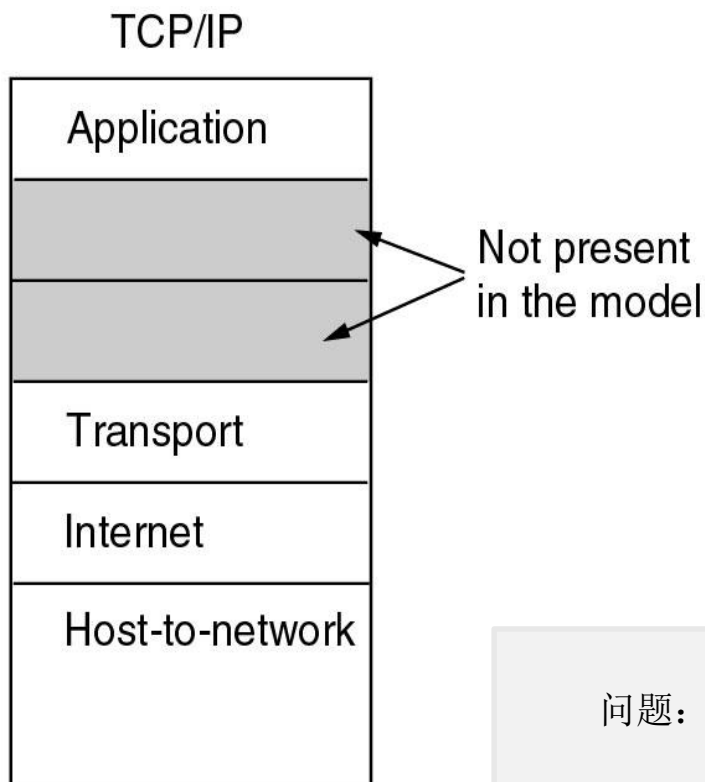
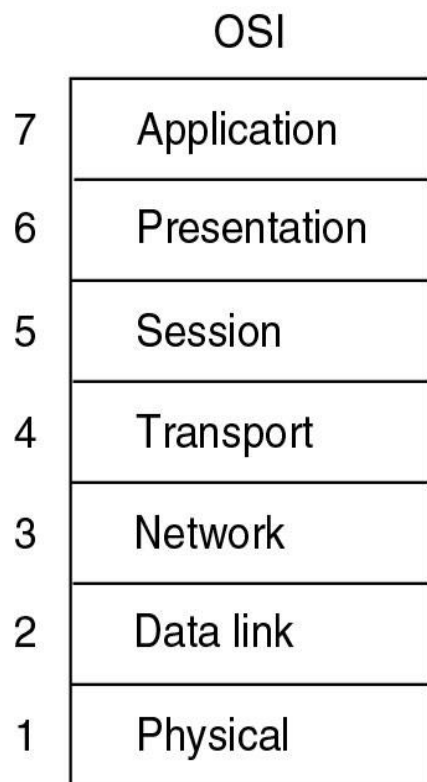
## 2. 课程内容总结

- ◆ 实通信(物理通信) vs 虚通信(逻辑通信)
- ◆ 资源子网 vs 通信子网
- ◆ 物理网络 vs 互联网络 (逻辑网络)

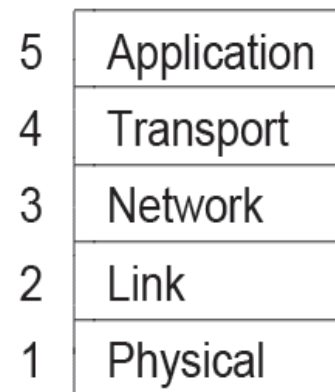


## 2. 课程内容总结

### 2.3 OSI模型和TCP/IP模型



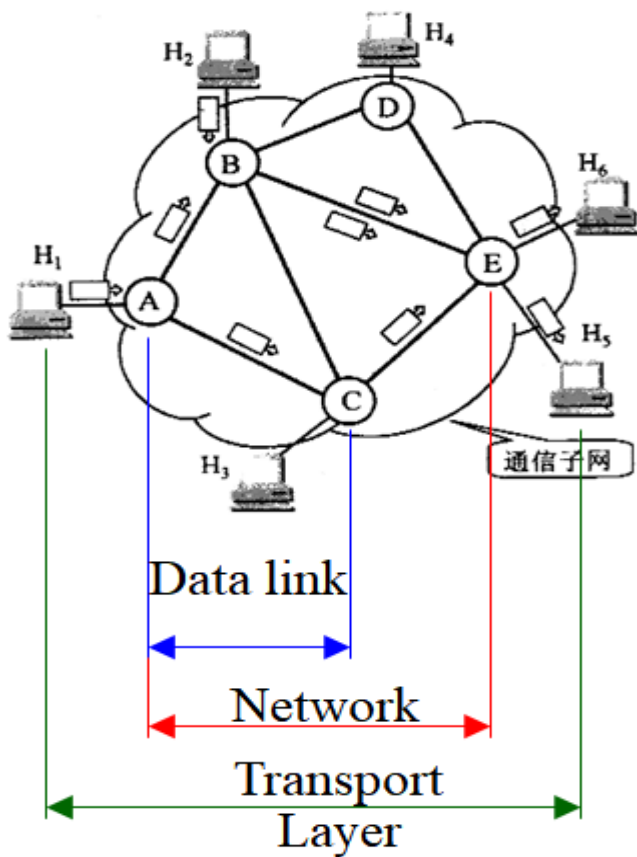
#### 讲课参考模型



问题：为什么TCP/IP取得了成功？

## 2. 课程内容总结

### 2.4 网络通信的三大层次



(1) Node-Node: 物理层+数据链路层  
over link, 相邻节点

(2) Host-Host: 网络层  
over network  
over links

(3) Process-Process: 传输层 (应用层)



## 2.5 相邻节点间的通信：点-点(多点)

### 通信约束：

- (1) 物理线路不能保证100%可靠
- (2) 如何在物理链路上提供可靠传输？

### 物理通信需要解决的问题：

- (1) 0、1数据如何从一端传输到另外一端？  
数据如何转换成信号？
- (2) 如何解决工程问题？





# 0、1数据如何变成信号？

---

问题1：采用什么来表示信号？

电信号、光信号、**其他信息号**

问题2：**模拟信号：电流信号**

数字数据➡模拟信号：

调制、数字调制、调制解调器

**数字信号：脉冲信号**

数字数据➡数字信号

数字信号编码。曼切斯特编码



# 如何通信的?工程实现

---

## 物理层:

- (1) 机械特性
- (2) 电器特性
- (3) 功能特性
- (4) 规程特性

## 介质与设备:

电通信: 双绞线、同轴电缆、网卡、调制解调器

光通信: **光纤**、光纤转发器 (光电转换)



# 如何在不可靠的物理通信上建立可靠的数据通信？

---

## 通信约束：

接收端收到某个信号后，不能完全依靠该信号本身来判断是否出了差错？

## 解决办法：

- (1) 附加冗余信息或冗余信号，以让接收端可以检查出差错
- (2) 反馈重传解决可靠通信

。 。 。

这就是**数据链路层**



# 数据链路层相关协议

---

差错与流控协议(滑动窗口协议):

- (1) 停止-等待协议
- (2) 连续ARQ协议
- (3) 选择重传ARQ协议

实际的协议:

BSC: 面向字符

HDLC: 面向规程



# 点-多点

---

点-多点(也是局域网的基础):

- (1) 共享结构
- (2) 交换结构

**Ethernet:**共享结构 → 交换结构,

共享结构: ALOHA→CSMA→CSMA/CD (有冲突的介质访问模式)

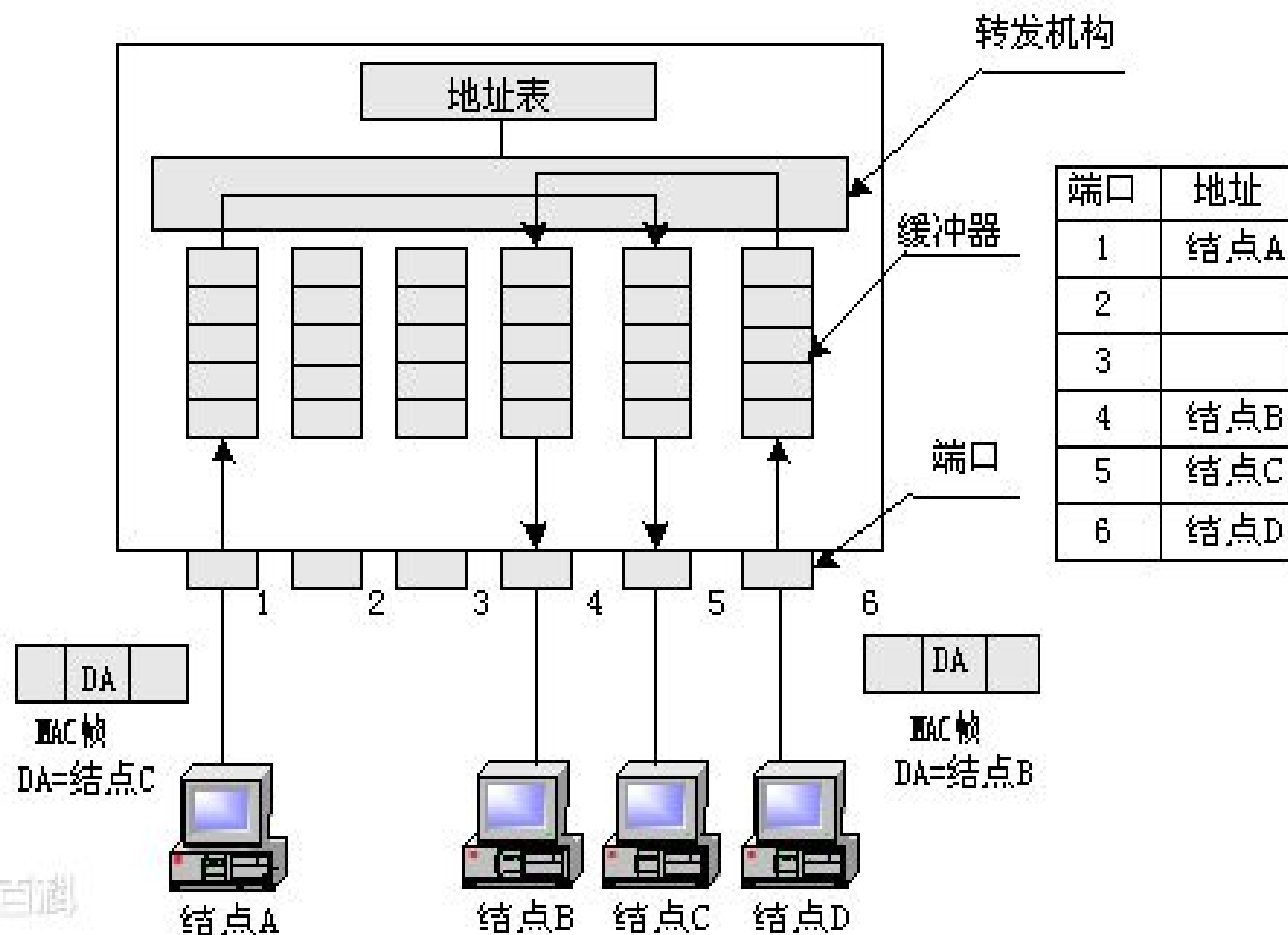
交换结构: 网桥(半交换)、交换机(存储转发) (无冲突的介质访问模式)

交换机就有**三大类转**发模式

- 1) 存储转发
- 2) 直通模式
- 3) 无碎片模式

扁平结构→VLAN结构(虚拟局域网)

# 交换机：无冲突的介质访问模式





# 无线链路？

---

无线局域网Wlan: IEEE802. 11

CSMA/CA

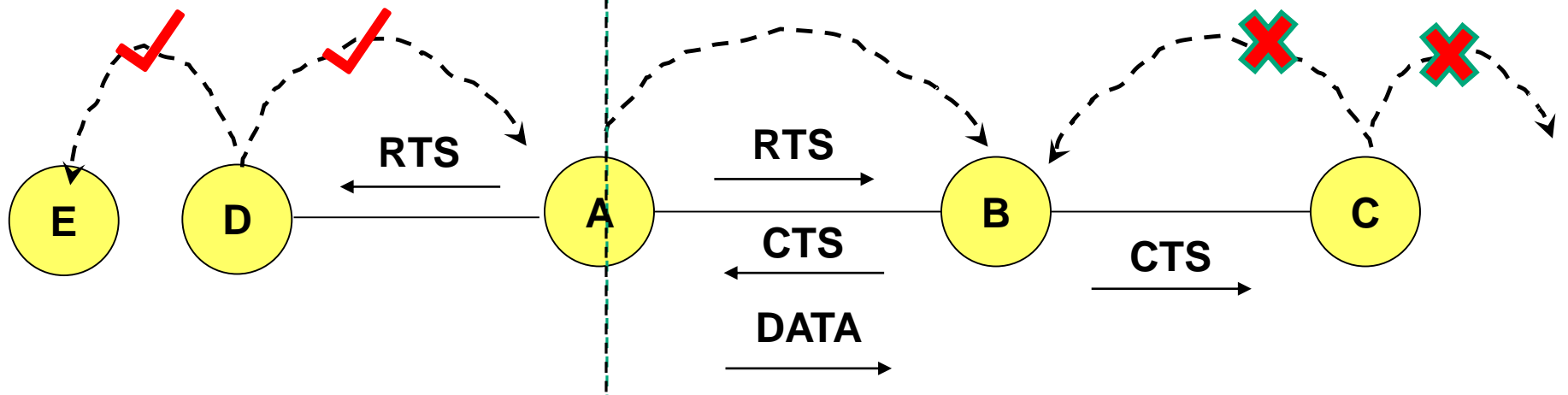
隐蔽站、暴露站问题

虚拟载波侦听

为什么引入RTS/CTS？

# Virtual carrier sensing: RTS/CTS examples

- **RTS/CTS avoids the problem of hidden terminals**
  - A and C want to send to B
  - A sends RTS (**Request To Send**) first
  - **Hidden node C** overhears **CTS** and keeps quiet  
(Transfer duration is included in both RTS and CTS)



- **RTS/CTS avoids the problem of exposed terminals**
  - A wants to send to B, D to another terminal E
  - **Exposed node D** overhears a **RTS** but not the **CTS**  
(D's transmission cannot interfere at A)

It can efficiently solve the problem of Hidden/Exposed Terminals , but not completely



## 2.6 跨网络通信: over network

问题：如何跨节点、网络传输数据？

办法：

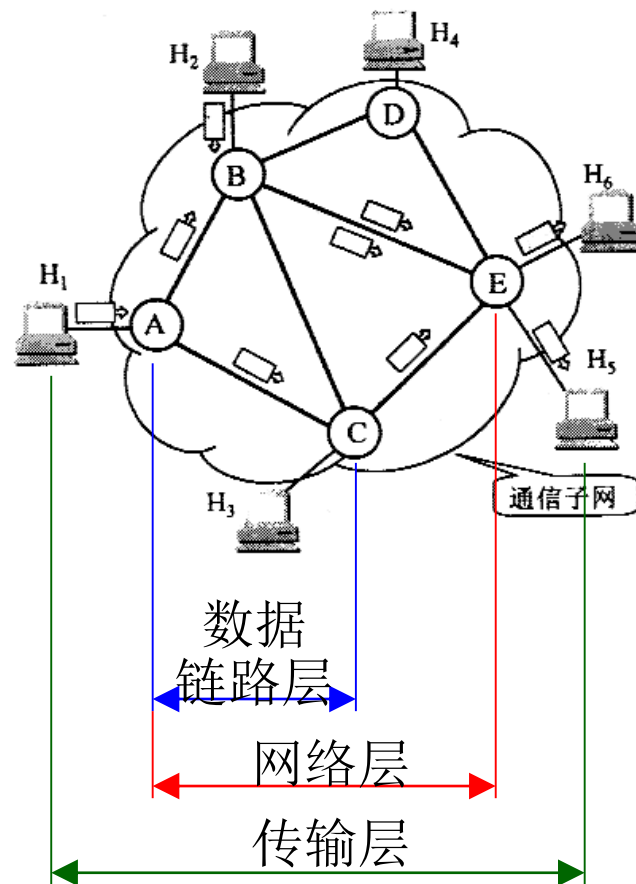
(1) 建立物理通路：电路交换

独占信道

(2) 共享信道：不建立物理链路

分组交换（存储转发技术）

分组如何交换：路由问题





## 2.6 跨网络通信：over network

---

路由问题：涉及两个问题

(1) **路由关系**如何维护？（routing）

在广域网络中：节点交换机间如何建立关系？

在IP网络中： 路由器间如何建立关系？

(2) 如何为数据分组确定路由？（forward）

根据路由表进行路由

虚电路：分组相同路径

数据报：分组独立选路（IP分组）



# 路由关系如何维护？(IP网络)

---

面临的问题：规模太大

解决办法：分治思想---AS自治系统划分

AS系统内：内部路由协议IGP

RIP、OSPF

AS系统间：外部路由协议EGP

BGP



# 通信模式

---

(1) 单播模式 (Unicast)

$A \rightarrow B$

(2) 多播模式 (Multicast)

$A \rightarrow B_1$

$\rightarrow B_2$

...

$\rightarrow B_n$

(3) 任播模式 (Anycast)

# IP网络： 虚拟互联网络



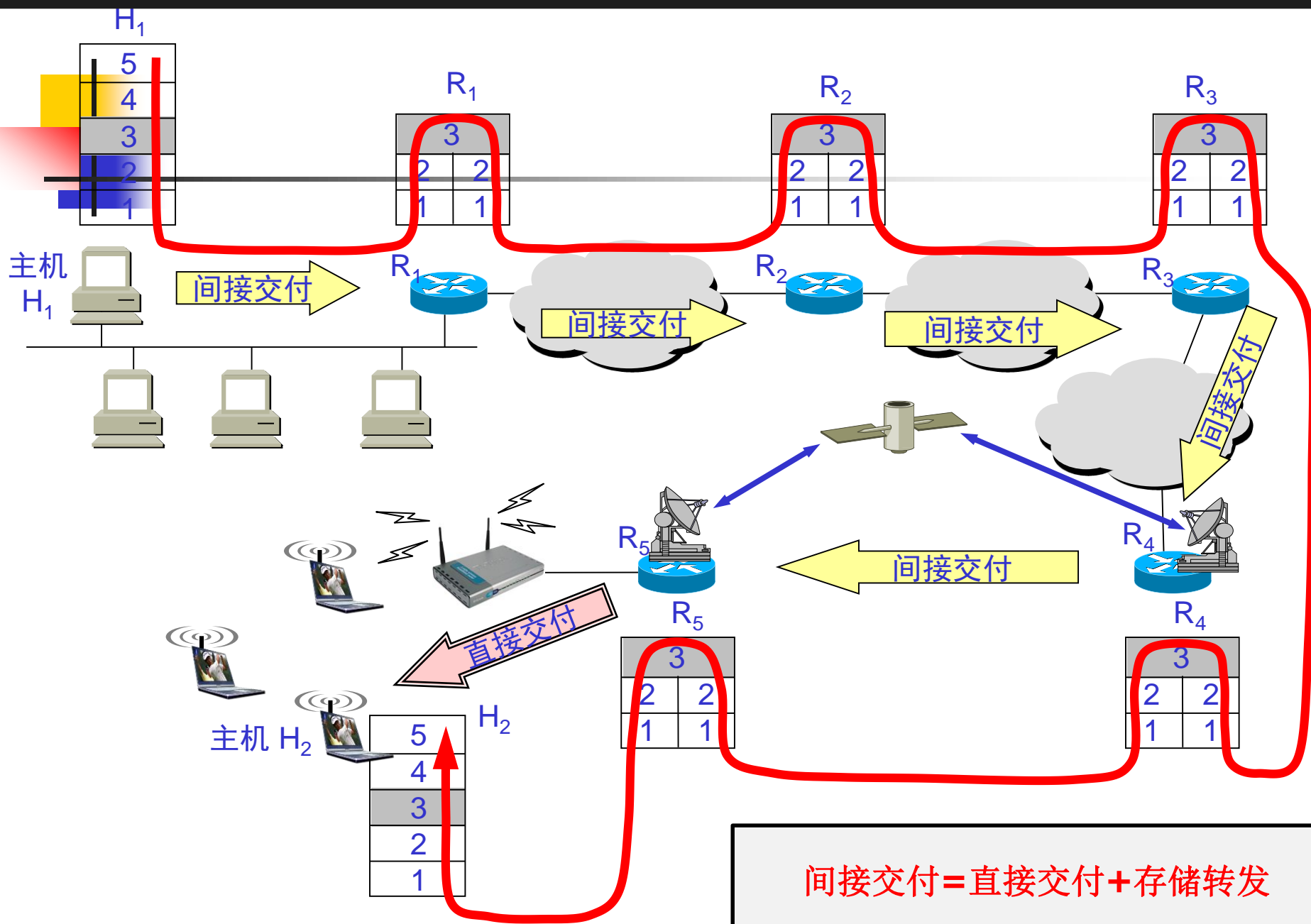
(a)实际的互连网络



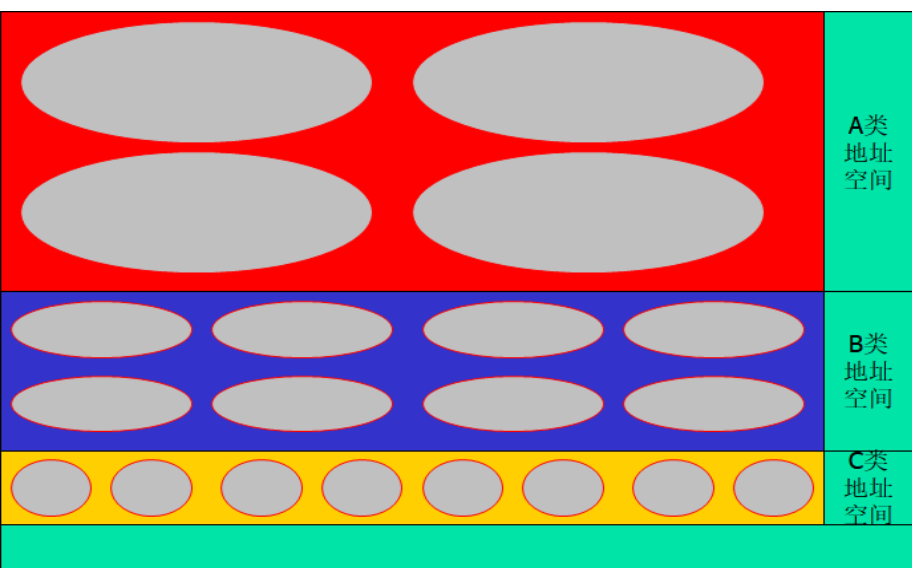
(b)虚拟互连网络(IP网)

- (1) IP网络： 是基于网络的互联，而不是基于主机的互联，层次化的IP地址
- (2) 虚拟互连网络： 逻辑互连网络，该网络中物理网络是异构的  
但从从用户看起来好像是一个统一的网络

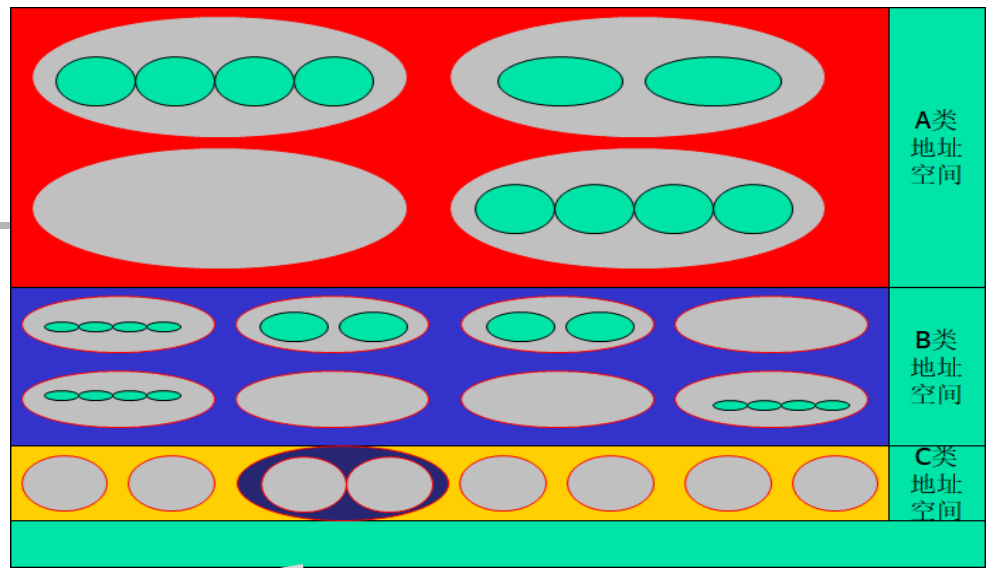
# 分组在互联网中的传送



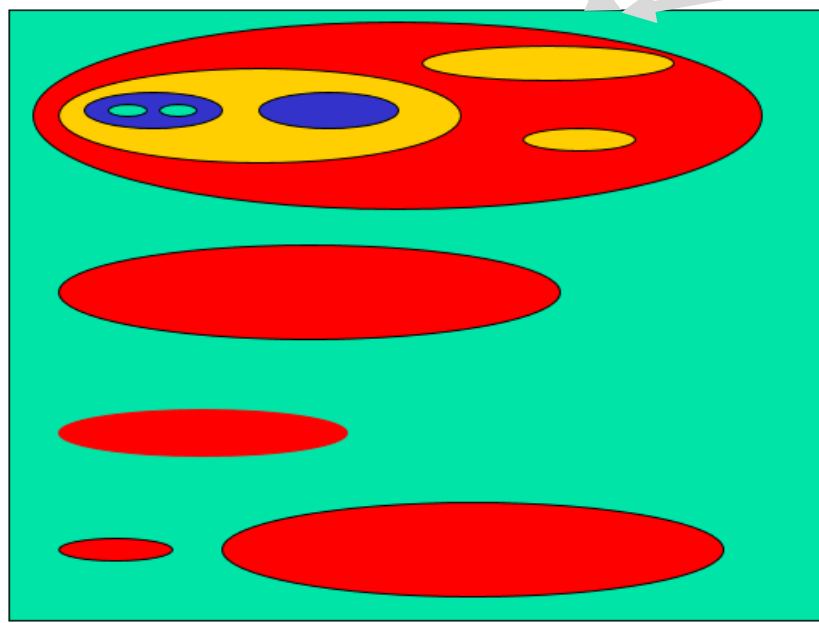
# IP地址划分方案演变：两级地址→可变多级地址



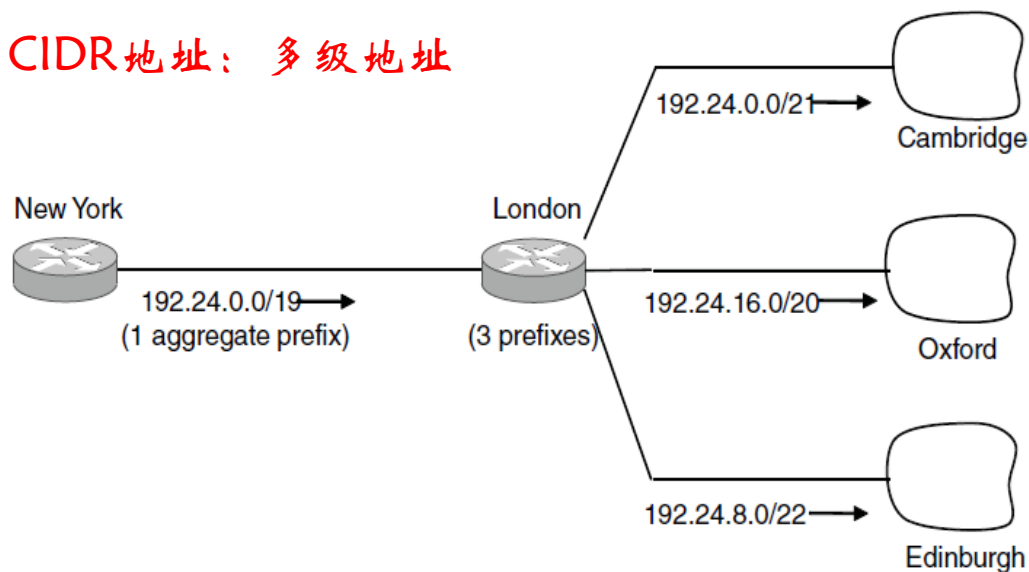
两级地址



两级地址+子网（超网）



CIDR地址：多级地址





## 2.7 进程间如何跨网络通信

---

面临的问题：

- (1) 如何标识跨网络通信的两个进程
- (2) 两个进程如何通过网络才能建立关系？
- (3) 两个进程间通信如何进行流控？
- (4) 网络不可靠，如何确保两个进程间的通信可靠？



# 网络拥塞对进程通信的影响

(1) **谁发现**了拥塞或者说怎样判断拥塞？

路由器(节点交换机)

(2) **发现者**如何处理**拥塞**？

路由器(节点交换机)：丢弃分组

如何把拥塞告知他人？

帧中继：前向通知、后向通知

IP网络：**只丢并发送源抑制报文**。

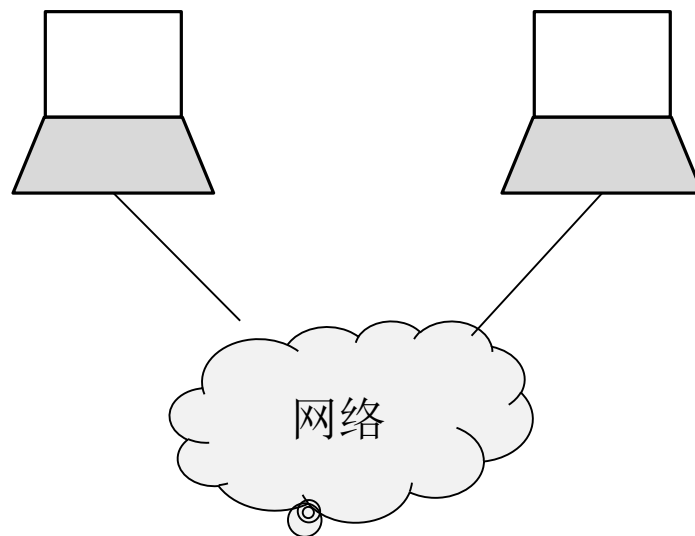
拥塞下通告有效吗？（源抑制报文可能丢失）

发送端能否自我感知拥塞？（**能**）

(3) **知道者**如何处理拥塞？

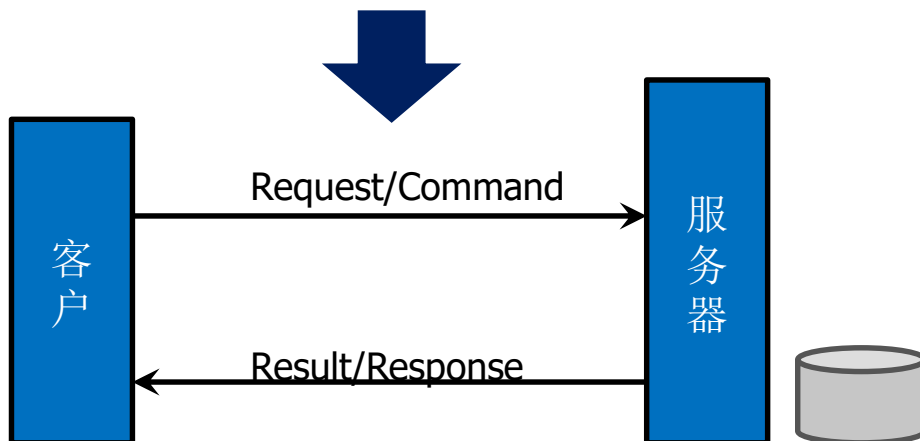
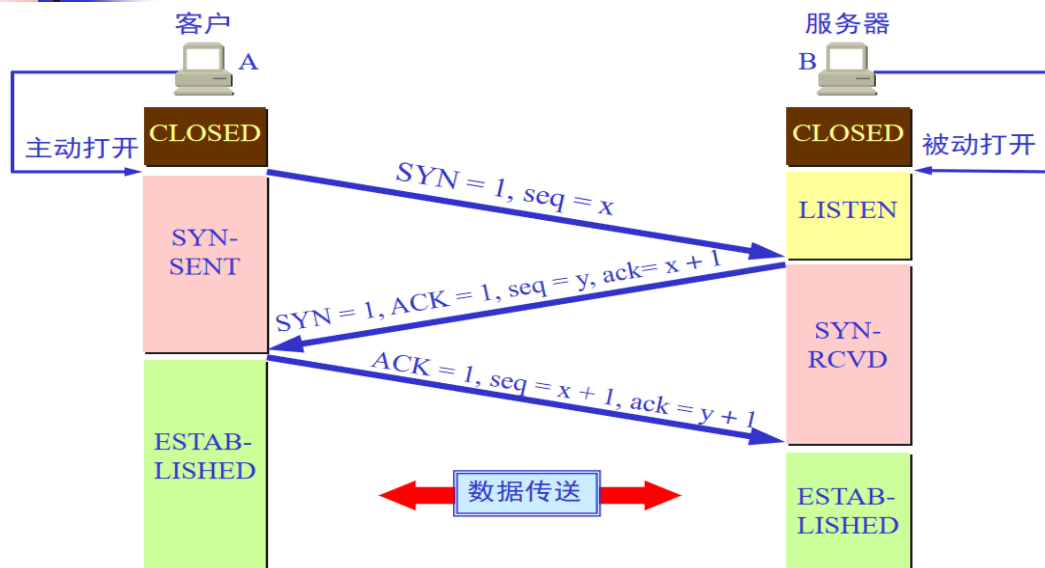
网络中的转发节点：**绕道走**

**向网络发送分组的节点：降低发送率（应用进程）**



流控：进程间的速率匹配  
+ 网络拥塞的影响

## 2.8 应用系统模式：C/S模式



连接方式:

主动+被动

主动方: 客户端

被动方: 服务器

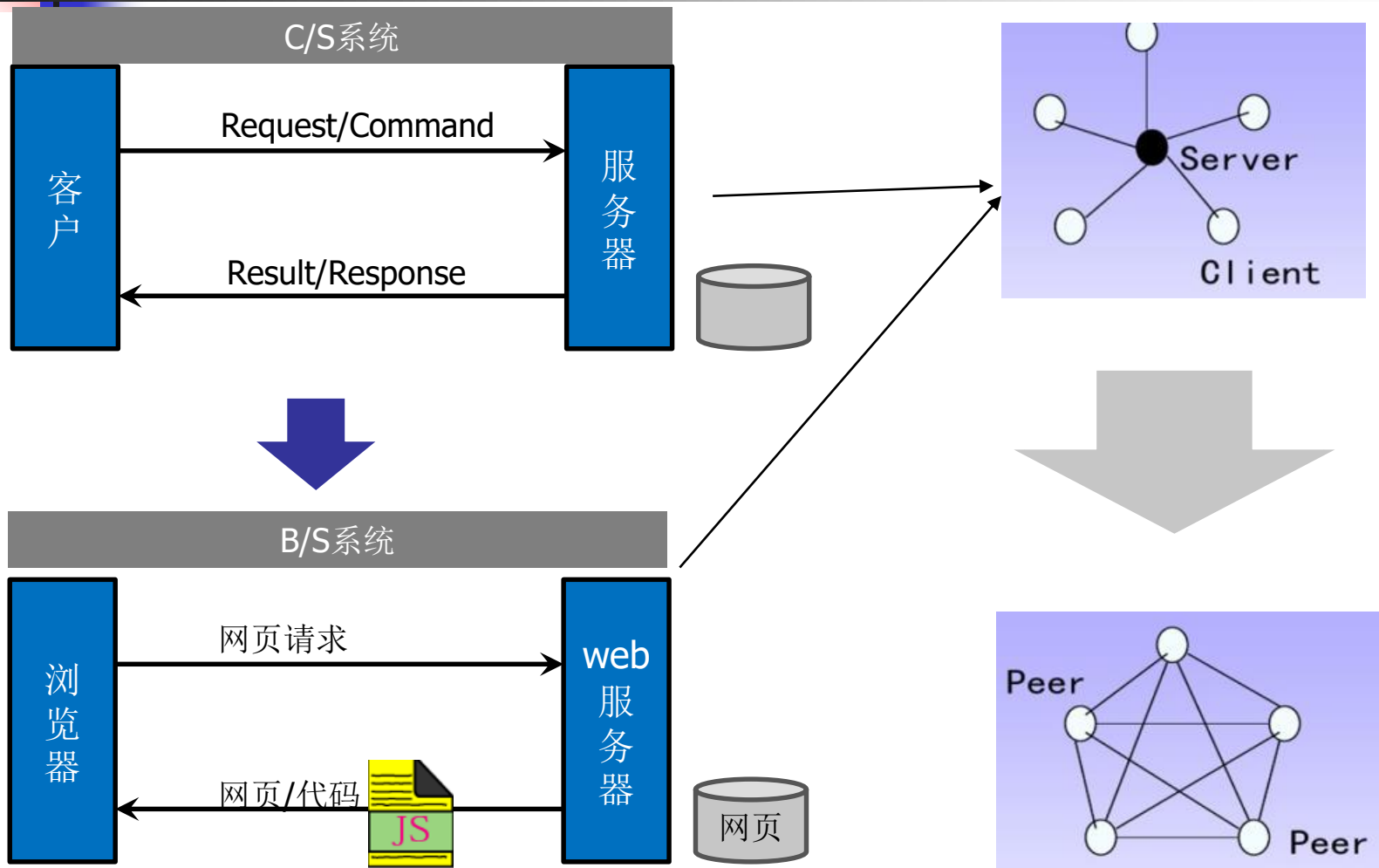
**Client/Server**产生原因

源于: **TCP**的连接建立模式

+ 应用需要

**Why?**

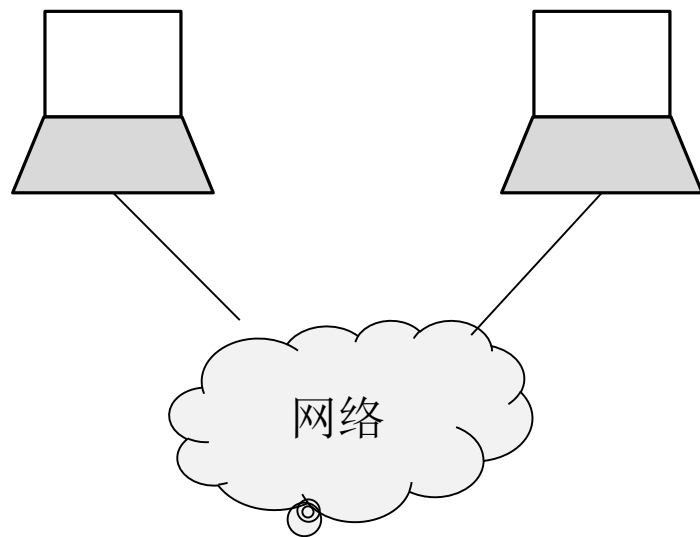
# 应用系统模式：C/S→B/S→P2P



## 2.9 数据链路层-传输层差别



1. 通常，直接相连
2. 点-点模式
3. 连接管理简单
4. 流控简单 (**ACK-Based**)
5. 数据收发管理简单



1. 连接依赖于下面的网络
2. 连接管理相对复杂（建立、释放、维护）
3. 必须考虑如何寻址
4. 流控需要考虑接收端、网络的影响
5. 收发数据管理复杂

受应用程序的影响较大，糊涂窗口综合症



## 各层寻址的区别

---

- 物理网络的寻址
- **IP网络(逻辑网络)**的寻址
- 进程通信的寻址
- 用户通信的寻址



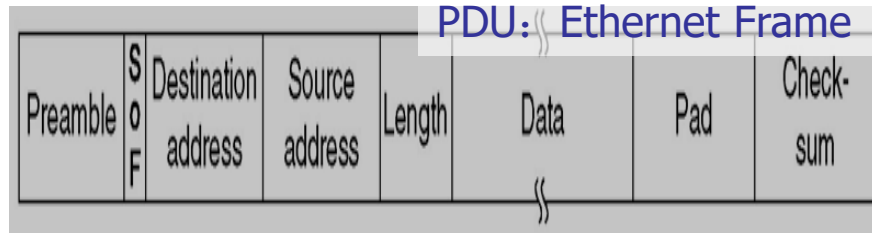
# 各层连接模式的区别

---

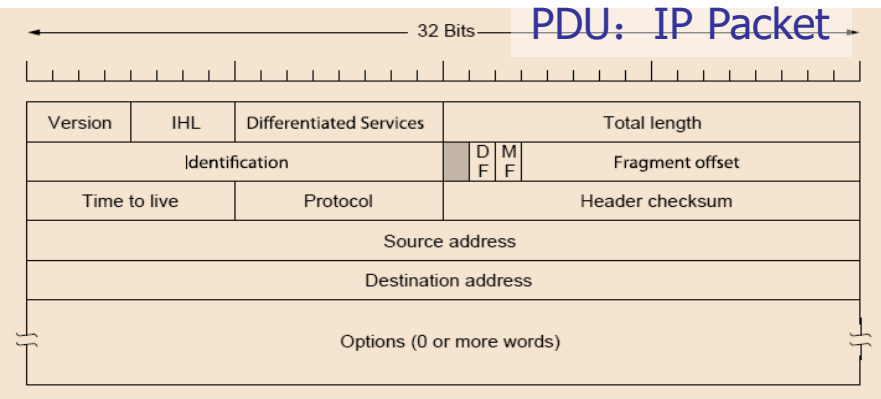
- 数据链路层的连接模式
- 网络层的连接模式
- 传输层的连接模式

# 应用层与其他各层：协议PDU区别(固定格式,自由格式)

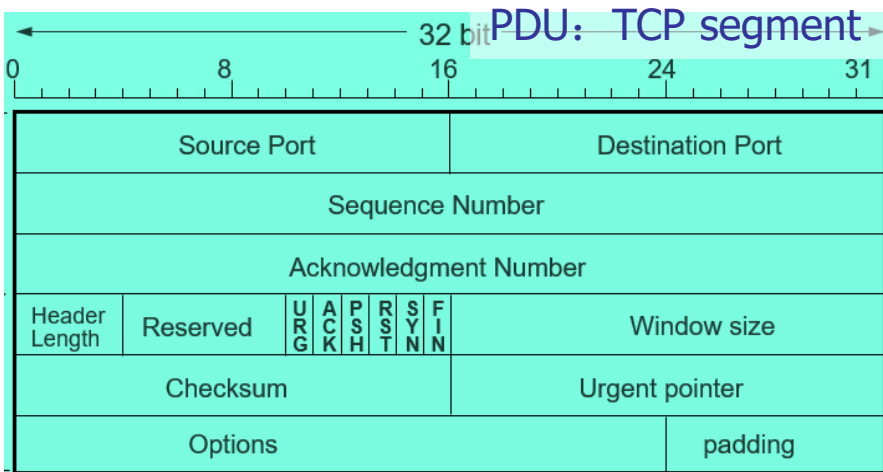
PDU: Ethernet Frame



PDU: IP Packet

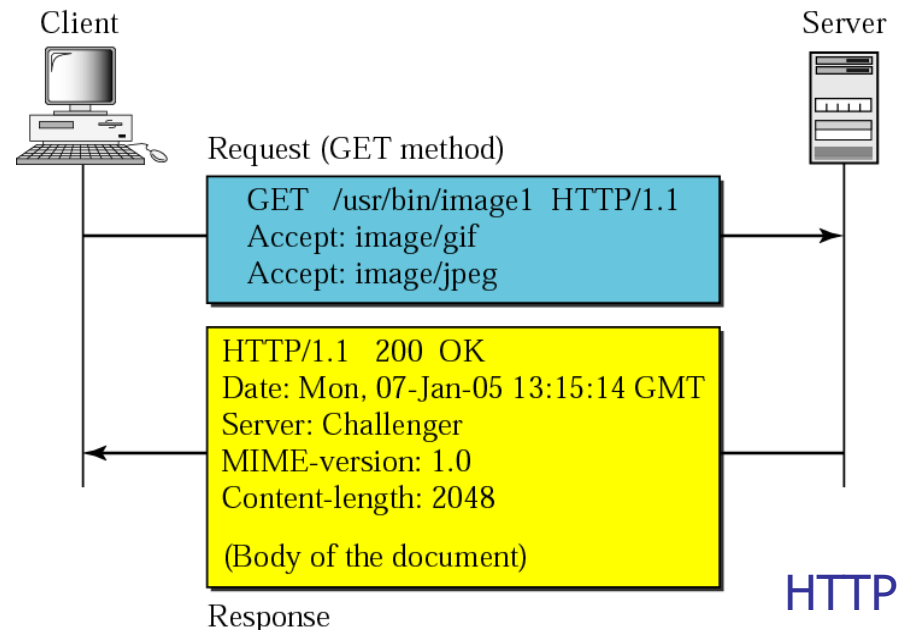


PDU: TCP segment



Email PDU

```
1: From: "it315" <it315_test@sohu.com>
2: To: <it315_test@sohu.com>
3: Subject: =?gb2312?B?TUINRdCt0unLtcP308q8/g==?=
4: Date: Thu, 1 Dec 2005 20:46:53 +0800
5: MIME-Version: 1.0
6: Content-Type: multipart/mixed;//定义邮件体类型为 mixed
7: boundary="----=_NextPart_000_0050_01C"//定义整个邮件内容的分隔符
8: X-Priority: 3
9: X-MSMail-Priority: Normal
10: X-Mailer: Microsoft Outlook Express 6.00.2900.2670
11: X-MimeOLE: Produced By Microsoft MimeOLE V6.00.2900.2670
12:
13: This is a multi-part message in MIME format邮件注释
14:
```





## 2.10 重点协议

---

重点协议1：滑动窗口协议

重点协议2：HDLC协议、PPP协议

重点协议3：CSMA/CD

重点协议4：CSMA/CA

重点协议5：IP协议、ARP、ICMP协议

重点协议6：TCP协议

重点协议7：RIP、OSPF、BGP、IGMP协议

重点协议8：Qos机制相关的协议

重点协议9：DNS协议、HTTP协议





## 3 问题解答讨论

---

Any Question about Course?

Any Problem about Internet?



# 下一代Internet

---

- 现有Internet面临的挑战和问题

**(1) 流量激增带来的挑战，可扩展性问题**

云计算、P2P、5G、实时视频交互、物联网

**(2) 移动应用带来的挑战，动态性问题**

5G、车联网、智能移动终端(手机)

**(3) 安全可信带来的挑战，安全可控问题**

用户、设备、内容等的激增，需要兼顾**网络安全、应用安全**  
**和内容安全**等几大方面的需求



# 主要原因

---

- TCP/IP网络

设计思想：**基于全局地址的点到点通信**，通信链路因路由  
由器转发数据包而被统计复用

- IP地址特点：二重特性，如身份+位置

- TCP/IP端到端通信：

服务连接的维护管理工作交由终端完成

简单的物联网终端难以胜任



# TCP/IP网络的三重绑定

---

<http://www.cqu.edu.cn/index.html>

A. 资源与位置绑定

[lixuemin@cqu.edu.cn](mailto:lixuemin@cqu.edu.cn)

B. 身份与位置绑定

TCP连接需要端口和IP地址

C. 控制与数据绑定

由路由器、交换机负责



# 下一代Internet: 资源与位置解耦

---

- 可扩展性问题: 要满足不同业务的需要, 应对流量激增挑战



CDN

CDN: Content Delivery Network



CCN/NDN

CCN: Content Centric Network  
NDN: Named Data Network



P2P→P4P (运营商参与的P2P)



# 下一代Internet: 身份与位置解耦

---

- 动态性问题: 移动通信



(1) 通信双方以身份进行标识(标识不变), 通信位置随时可以变动, 由网络跟踪更新

(2) 移动IP用IP做标识(标识不能变), 才造成了三边路由

# 下一代Internet: 控制与数据解耦

- 现有Internet:

控制、数据都是由交换机、路由器完成

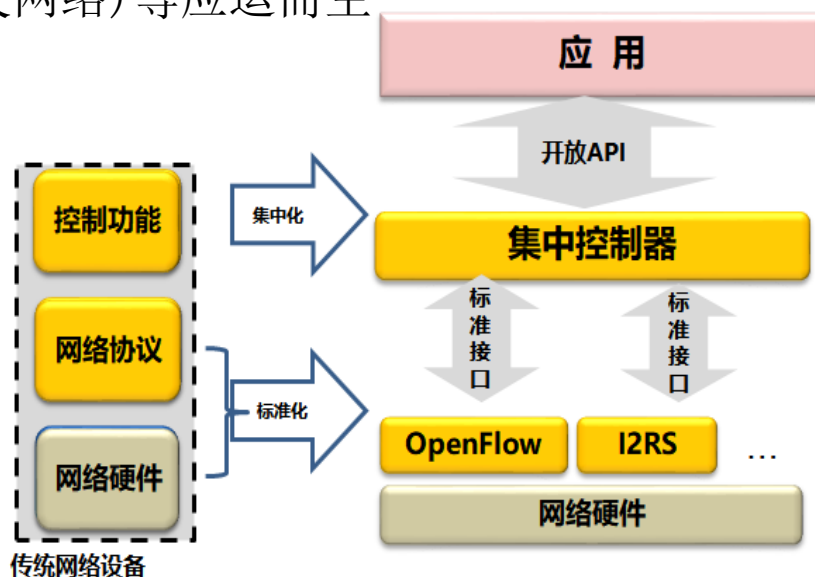
路由都是基于局部网络状态信息进行优化的



- SDN (software define network 软件定义网络) 等应运而生

## SDN基于数据转发、网络控制分离的思想

- 控制面与转发平面分离
- 开放的可编程接口
- 集中化的网络控制
- 网络业务的自动化应用程序控制



# NFV技术：Network Function Virtualization

## 网络发展趋势

- ◆ **移动性**，促进设备和网络流量爆发式发展
- ◆ **云计算服务**大量涌现对网络提出了更高要求
- ◆ **高性能通用服务器**大量交付
- ◆ 计算、存储、网络设备**融合发展**
- ◆ **网络虚拟化技术**使得硬件抽象化，网络具备弹性、可扩展性、自动化特征
- ◆ **软件定义网络**（SDN）技术涌现

## 运营商面临的挑战

- 需要**大量资本投资**来应对当前发展趋势
- 电信运营商在一段时间内需要面对网络**投资和收入的悬殊差距**
- **复杂性**: 运营商网络的专用、非标准化硬件设备大量增加，种类繁多
- 硬件设备使用**周期逐渐缩短**
- 缺乏灵活性和敏捷性: 不能实现随时**按需调度网络资源**
- 新业务系统**建设和上线复杂且周期时间长**，需要将集成已有网络设备，或者调用已有网络设备能力

**目标：专用硬件→“通用硬件+软件”，大幅降低成本，提高灵活度**



# NFV技术：Network Function Virtualization

NFV目的是希望通过**IT虚拟化**技术，采用业界**标准的大容量服务器、存储和交换机**承载各种各样的网络软件功能，实现网络能力的灵活配置，提高网络设备的统一化、通用化以及适配性，加快网络部署和调整的速度，降低业务部署的复杂度。





## 4 典型问题解答

---

### 例1:奈奎斯特定理计算

若有一四相调制解调器，单位脉冲(码元)宽度  
 $T = 833 * 10^{-6}$  秒，一个码元能运载2位二进制信息，  
求其数据传输速率和码元速率。

解：  $N = 2^2 = 4$

$$B = 1/T = 1/833 * 10^{-6} = 1200 \quad \text{Baud}$$

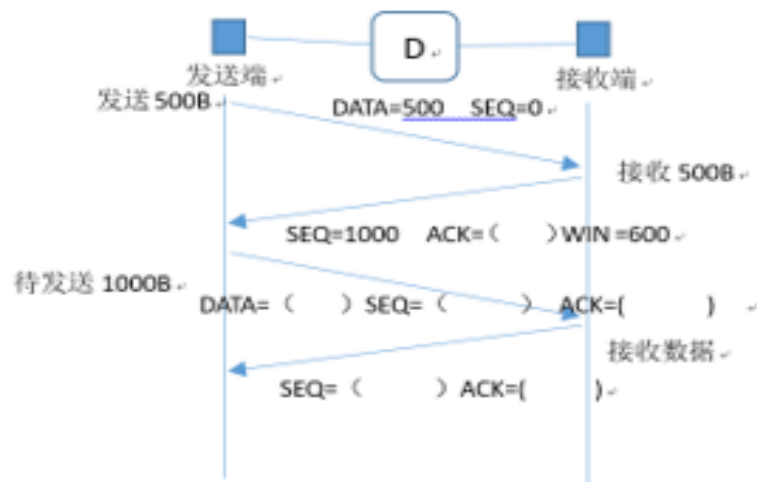
$$S = B * \log_2 N = 2400 \text{ bps}$$

## 4 典型问题解答

### 例2:TCP数据收发过程

下图为两主机通过 TCP 协议交互的过程。

- (1) 请根据下图中标注出的信息和交互过程，完成所有括号部分的内容填写。
- (2) 假如网络中的某个装置 D 对经过的数据报中 WIN 字段数值进行更改，那么它还需要修改其它哪个字段才能保证这个报文段可以正常被接收？
- (3) 以上修改会导致接收报文段的一方做出什么反应？





## 4 典型问题解答

---

### 例3：奈奎斯特定理计算

有一带宽为3KHz的理想低通信道，求其最高码元速率。  
若一个码元能运载3位二进制信息，求其信道容量。

解：  $N = 2^3 = 8$

$$B = 2W = 2 * 3000 = 6000 \text{ Baud}$$

$$C = 2W * \log_2 N = 2 * 3 * \log_2 8 = 18000 \text{ bps}$$



## 4 典型问题解答

---

### 例4：香农定理计算

求信噪比为30分贝，带宽为4KHZ的信道的最大数据速率(信道容量)

解：  $(S/N)_{db}: 10 * \log_{10} (S/N) = 30 \text{ db}$

$$S/N = 10^{30/10} = 10^3$$

$$\begin{aligned} C &= W * \log_2 (1 + S / N) \\ &= 4 * \log_2 (1 + 10^3) \\ &= 4 * \log (1 + 10^3) / \log 2 \\ &= 4 * 3 / 0.3010 \approx 40 \text{ K bps} \end{aligned}$$



## 4 典型问题解答

---

### 例5:时延计算

试在下列条件下比较电路交换和分组交换。要传送的报文共 $x$  (bit)。从源站到目的站共经过 $K$ 段链路，每段链路的传播时延为 $d$  (s), 数据率为 $b$  (bps)。

- (1) 在电路交换时电路的建立时间为 $s$  (s)
- (2) 在分组交换时分组长度为 $p$  (bit)，且各结点的排队等待时间可忽略不计。

问在怎样的条件下，分组交换的时延比电路交换的要小？



## 4 典型问题解答

---

### 时延计算解答:

传播时延 = 信道长度 / 电磁波在信道上的传播速度;

发送时延 = 数据块长度 / 信道带宽;

总时延 = 传播时延 + 发送时延 + 排队时延;

### (1) 电路交换:

$t=s$  时电路建立起来;

$t=s+x/b$  时报文的最后 1 位发送完毕;

$t=s+x/b+kd$  时报文到达目的地。

## 4 典型问题解答

(2) 分组交换:

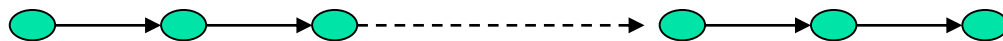
1) 最后1位在 $t=x/b$ 时发送完毕。

2) 到达最终目的地时, 每个分组必须被中间的路由器重发 $k-1$ 次, 每次重发花时间 $p/b$  (一个分组的所有比特都接收齐了, 才能开始重发)

最后1个分组的重发时间为:  $(k-1)p/b$

其余分组重发对总时延没有影响

所以总的延迟为 $x/b + (k-1)p/b + kd$ .



为了使分组交换比电路交换快, 令

$$\frac{x}{b} + (k-1)\frac{p}{b} + kd < s + \frac{x}{b} + kd$$

$$\therefore s > (k-1)\frac{p}{b}$$





## 4 典型问题解答

---

### 例6：时延计算

收发两端之间的传输距离为1000km，信号在媒体上的传播速率为 $2 \times 10^8 \text{m/s}$ 。试计算以下两种情况的发送时延和传播时延：

(1) 数据长度为 $10^7 \text{bit}$ ，数据发送率为 $100 \text{kb/s}$

(2) 数据长度为 $10^3 \text{bit}$ ，数据发送率为 $1 \text{Gb/s}$ 。

从以上计算结果可得出什么结论？



## 4 典型问题解答

---

例6解答:

$$\begin{aligned} (1) \text{发送时延} &= \text{数据块长度} / \text{信道带宽} \\ &= 10^7 / (100 * 10^3) = 100\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{传播时延} &= \text{信道长度} / \text{电磁波在信道上的传播速率} \\ &= (1000 * 10^3) / (2 * 10^8) = 5\text{ms} \end{aligned}$$

$$(2) \text{发送时延} = 10^3 / (1 * 10^6) = 1 \mu\text{s}$$

$$\text{传播时延} = (1000 * 10^3) / (2 * 10^8) = 5\text{ms}$$

由以上结果可得:

- 若数据长度大而发送率低, 则在总的时延里, 发送时延往往大于传播时延
- 若数据长度短而发送速率高, 则传播时延又可能是总时延中的主要成分



## 4 典型问题解答

---

### 例7：传输效率计算

长度为100字节的应用层数据交给运输层传送，需要加上20字节的TCP首部，再交给网络层传送还需加上20字节的IP首部，最后交给数据链路层的以太网传送，加上首部和尾部共18字节。试求数据的传输效率。

若应用层的数据长度为1000字节，则数据的传输效率为多少？



## 4 典型问题解答

---

### 例7解答:

(1) 长度为100字节

$$\begin{aligned}\text{传输效率} &= \text{数据有效长度} / \text{数据总长度} \\ &= 100 / (100 + 20 + 20 + 18) \\ &= 63.3\%\end{aligned}$$

(2) 长度为1000字节

$$\begin{aligned}\text{传输效率} &= 1000 / (1000 + 20 + 20 + 18) \\ &= 94.5\%\end{aligned}$$



# 其他传输效率计算

---

- 传输的有效性计算：
  - (1) 有效传输效率
  - (2) 有效传输速率
  - (3) 信道利用率
- - (1) 停止等待协议
  - (2) **ARQ**协议
  - (3) 以太网协议、**TCP/IP**协议



## 4 典型问题解答

---

### 例8: ARQ协议相关计算

卫星信道的数据率为1Mb/s，取卫星信道的单程传播时延为0.25秒。数据帧长为2000bit，忽略误码率、确认帧长和处理时间。试计算下列情况下的信道利用率：

- (1) 停止等待协议。
- (2) 连续ARQ协议， $WT=7$
- (3) 连续ARQ协议， $WT=127$
- (4) 连续ARQ协议， $WT=255$



## 4 典型问题解答

---

解答:

**每个数据帧的发送时间:**

$2000\text{bit} / (1\text{Mb/s}) = 2\text{ms}$ . 所以  $t = 2\text{ms}$ , 一帧发送完毕.

**发送方发完一帧后收到确认的时间** (忽略误码率, 确认帧和处理时间)

$$t_T = 250\text{ms} + 2\text{ms} + 250\text{ms} = 502\text{ms}$$

因此, 两个发送成功的数据帧之间的最小时间间隔 (即周期) 为  $502\text{ms}$ .

如果在  $502\text{ms}$  内可以发送  $k$  个帧 (每个帧的发送用  $2\text{ms}$  时间), 则信道利用率是  $2k/502$ .



## 4 典型问题解答

---

解答:

1) 停止等待协议时, 数据帧逐个发送, 因此

$$U = 2\text{ms} / 502\text{ms} = 1/251$$

2) 连续ARQ协议, 发送窗口为7, 因此

$$U = 2 * 7\text{ms} / 502\text{ms} = 7/251;$$

3) 连续ARQ协议, 发送窗口为127, 因此

$$U = 2 * 127\text{ms} / 502\text{ms} = 127/251;$$

**4) 连续ARQ协议, 发送窗口为**

$$255, U = 2 * 255\text{ms} / 502\text{ms} = 255/251 > 1,$$

由于信道利用率必须要小于等于1, 因此,  $U = 1$ .





## 4 典型问题解答

---

### 例9:Ethernet冲突与重传计算

以太网上只有两个站，它们同时发送数据，产生了碰撞。于是按二进制指数类型退避算法进行重传。

重传次数记为  $i$ ， $i=1, 2, 3, \dots$ 。试计算第1次重传失败的概率、第2次重传失败的概率、第3次重传失败的概率，以及一个站成功发送数据之前的平均重传次数  $I$ 。

## 4 典型问题解答

解答：退避策略

- 1) 基本退避时间设为争用期  $T_0 = 2\tau$
- 2) 退避时间与重传次数  $n$  有关:  $T = rT_0$
- 3)  $0 \leq r \leq 2^k - 1$  ,  $K = \min(n, 10)$  ,  $n$  为重传次数
- 4) 当重传达16次仍不成功, 则丢弃该帧, 报告上层

第  $i$  次重传失败概率: 第  $i$  次重传时发生冲突

A: (0, 1, 2, ... m-1) B: (0, 1, 2, ..., m-1)

**冲突概率**  $= m/m^2 = 1/m$  ( $m = 2^{k-1}$ ,  $k$  为重传次数,  $k = i$ )  
 $= 0.5^{k-1}$

冲突概率就是重传失败概率



## 4 典型问题解答

---

显然：

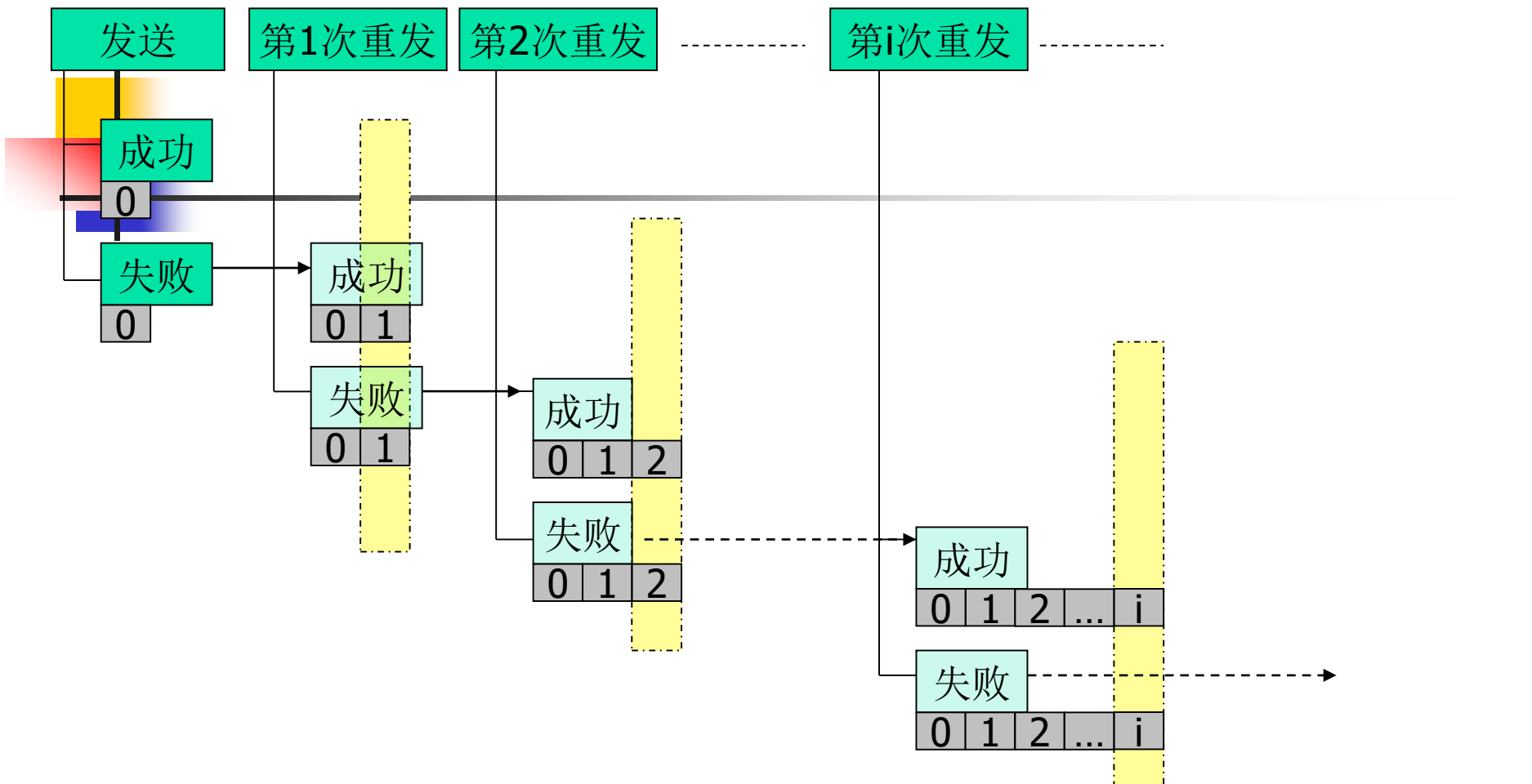
第1次重传失败的概率为0.5；

第2次重传失败的概率为0.25；

第3次重传失败的概率为0.125。

平均重传次数

$$I=1.642 \quad (1.637)$$



在第*i-1*次重发失败的情况下，第*i*次重发报文经过若干次以后一定会成功发送

第*i*次重发次数的数学期望是： $(0.5)^1(0.5)^2...(0.5)^{i-1}=(0.5)^{i(i-1)/2}$

重发次数= $(0.5)^0+(0.5)^1+(0.5)^3+(0.5)^6+(0.5)^{10}$

$=1+0.5+0.125+0.0156+0.001=1.642$

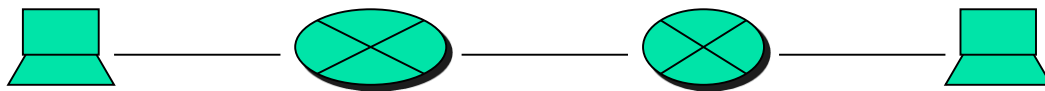
## 4 典型问题解答

### 例10：广域网相关计算

一个数据包分组交换网允许各结点在必要时将收到的分组丢弃。设结点丢弃一个分组的概率为 $p$ 。

现有一个主机经过两个网络结点与另一个主机以数据报方式通信，因此两个主机之间要经过三段链路。当传送数据报时，只要任何一个结点丢弃分组，则源点主机最终将重传此分组。试问：

- (1) 每一个分组在一次传输过程中平均经过几段链路？
- (2) 每一个分组平均要传送几次？
- (3) 目的主机每收到一个分组，连同该分组在传输时被丢弃的传输，平均需要经过几段链路？





## 4 典型问题解答

---

解答：（1）从源主机发送的每个分组可能走

1段链路（主机-结点） ， 其概率为 $p$

2段链路（主机-结点-结点）或 ， 其概率为 $(1-p)p$

3段链路（主机-结点-结点-主机）。其概率为 $(1-p)^2$

一个分组平均通路长度的期望值是这3个概率的加权和，即等于

$$L=1*p+2*p(1-p)+3*(1-p)^2= p^2-3p+3$$

注意，当 $p=0$ 时， 平均经过3段链路；

当 $p=1$ 时， 平均经过1段链路；

当 $0<p<1$ 时，平均经过的链路在1~3之间。可能需要多次发送

## 4 典型问题解答

- 2) 一次传送成功的概率= $(1-p)^2$ , 令  $\alpha = (1-p)^2$ ,  
两次传送成功的概率= $(1-\alpha)\alpha$ ,  
三次传送成功的概率= $(1-\alpha)^2\alpha$ ,

.....  
因此每个分组平均传送次数

$$T = \alpha + 2\alpha(1-\alpha) + 3\alpha(1-\alpha)^2 + \dots \\ = [\alpha / (1-\alpha)] [(1-\alpha) + 2(1-\alpha)^2 + 3(1-\alpha)^3 + \dots]$$

因为  $\sum_{k=1}^{\infty} kq^k = q/(1-q)^2$

$$\text{所以 } T = [\alpha / (1-\alpha)] * (1-\alpha) / [1 - (1-\alpha)]^2 \\ = 1/\alpha = 1/(1-p)^2$$

- 3) 每个接收到的分组平均经过的链路数

$$H = L * T = (p^2 - 3p + 3) / (1-p)^2。$$



## 4 典型问题解答

---

### 例11: CSMA/CD最短帧长计算举例

#### (1) 基本原理

1) 单程信号传播时延:  $\tau = L/v$

式中:  $L$ —链路长(米),  $v$  —信号传播速度

2) 冲突检测时间:  $t = 2\tau = 2L/v$

3) 一个帧的发送时间:  $t = L_f/c$

式中:  $L_f$ —帧长,  $c$ —数据速率

4) 最小帧长:  $L_{fmin} = 2\tau c = 2(L/v) * c$





## 4 典型问题解答

---

### (2) 实例:

若10Mbps的CSMA/CD总线网结点间最大距离为2.5km, 信号在电缆中的传播速度为 $2 \times 10^8$  m/s, 求该网的最小帧长 $L_{\text{fmin}}$

解:  $c = 10\text{Mbps} = 10 \times 10^6 \text{ b/s}$ ,  $L = 2500\text{m}$

$$V = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$L_{\text{fmin}} = 2 * (L/v) * c$$

$$= 2 * 2500\text{m} / (2 \times 10^8 \text{ m/s}) * 10 \times 10^6 \text{ b/s}$$

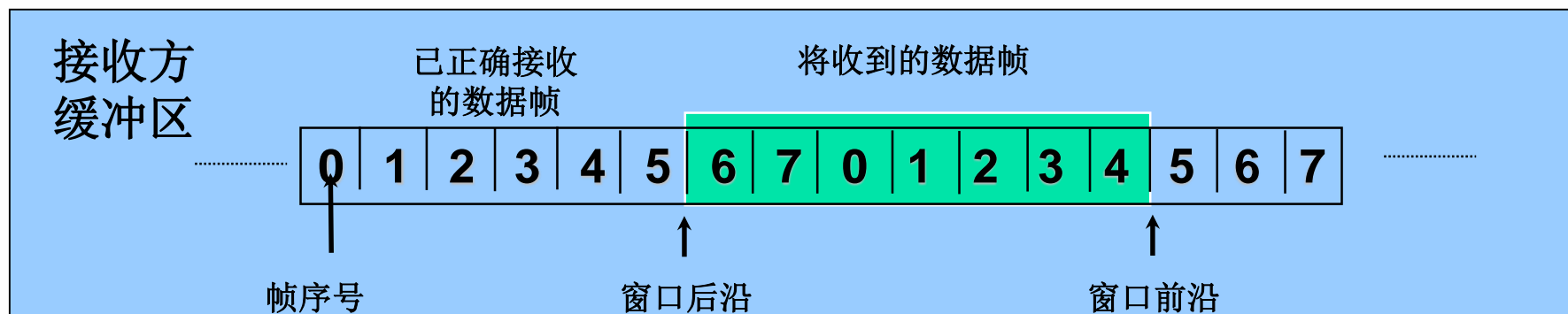
$$= 250 \text{ bit}$$

## 4 典型问题解答

例12：滑动窗口协议中，发送窗口与接收窗口的大小满足：

$$W_T + W_R \leq 2^n \quad (n \text{ 为序号的位数})$$

原因何在？





## 4 典型问题解答

---

滑动窗口能够正常工作的前提：

不管因为何种原因重发的报文不能是接收方想要接收的报文，必须是接收方已经接收过的数据。否则，接收方就会不能辨别重复的报文，从而导致传输错误。也就是说，发送方发送窗口中的报文编号不能和接收端接窗口中的报文编号重复。如果报文编号无限制，则接收窗口的大小就没有限制。反之，如果报文编号有限制，采用可重用编号模式（位数为 $n$ ）：两个窗口的大小显然不能大于 $2^n$ 。

$$W_T + W_R \leq 2^n \quad (n \text{ 为序号的位数})$$



## 4 典型问题解答

---

对连续ARQ而言：

1)  $W_r=1$

2)  $W_r>1$ ：无意义。

原因在于：不管接收端缓存了多少帧，一旦某帧出错，都要从出错帧重传。缓存已没有任何意义。



## 4 典型问题解答

---

### 例13：IP分片

一个数据报长度为4000字节（固定首部长度）。现经过一个网络传送，但此网络能够传送的最大数据长度为1500字节（Ethernet）。试问应该划分为几个短些的数据报片？各数据报片的数据字段长度、偏移字段和MF标志应为何数值？

解答：3片。

数据字段长度分别为1480，1480和1020字节。

片偏移字段的值分别为0，185和370。

MF字段的值分别为1，1和0。



## 4 典型问题解答

---

### 例14: TCP的拥塞控制

设TCP的ssthresh的初始值是8（单位为报文段）。当拥塞窗口上升到12时网络发生了超时，TCP使用慢开始和拥塞避免。试分别求出第一次到第15次传输的各拥塞窗口大小。

解答：

初始时：cwind=1

第01轮传输(前)：cwind=1, ssthresh=8

第02轮传输(前)：cwind=2, ssthresh=8

第03轮传输(前)：cwind=4, ssthresh=8

第04轮传输(前)：cwind=8, ssthresh=8

第05轮传输(前)：cwind=9, ssthresh=8



## 4 典型问题解答

---

第06轮传输(前): cwind=10, ssthresh=8

第07轮传输(前): cwind=11, ssthresh=8

第08轮传输(前): cwind=12, ssthresh=8; 传输后发现拥塞

第09轮传输(前): cwind=1, ssthresh=6

第10轮传输(前): cwind=2, ssthresh=6

第11轮传输(前): cwind=4, ssthresh=6 (cwind大于了8)

第12轮传输(前): cwind=6, ssthresh=6

第13轮传输(前): cwind=7, ssthresh=6

第14轮传输(前): cwind=8, ssthresh=6

第15轮传输(前): cwind=9, ssthresh=6

拥塞窗口分别为: 1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9.

## 4 典型问题解答

### 例15：链路层协议设计题

设计一个用于共享线路的数据链路层协议。要求采用面向连接的单工传输模式，有帧可靠性保证机制。请给出你所设计的数据链路层协议中的如下内容：

- (1) 协议的帧结构，包括字段组成、字段长度或长度范围。
- (2) 解释每个字段的含义和可能的取值；
- (3) 给出面向连接的数据传输典型过程（不考虑差错情况）

解答：

(1) 帧结构如下：(5 分)

目的地址	源地址	控制字段	序号	数据长度	数据字段	校验和
6 字节	6 字节	1 字节	1 字节	2 字节	0-4000 字节	2 字节

(2) 各字段含义：(5 分)

目的地址：目的站的 MAC 地址

源地址：源站的 MAC 地址

控制字段：用于表示当前帧的类型，分别是：1-数据帧；2-请求发送；3-同意接收；

4-数据正确接收；5-数据帧错误；6-发送结束；其余-保留

序号：0-255，每次连接从 0 开始，控制帧需要不变，数据帧序号循环累加

帧数据长度：实际数据字段字节数，有效值为 0-4000

校验和：对整个帧的 CRC 校验





# 结束语

---

不是有希望才坚持  
而是坚持才有希望