

计算机与网络技术

第11讲 网络层、传输层

课程回顾

- 计算机网络概述
- 物理层
- 数据链路层
- 网络层
- 传输层
- 应用层
- 网络安全
- 网络上的音频/视频服务
- 无线网络和移动网络

提纲

- 计算机网络概述
- 物理层
- 数据链路层
- 网络层
- 传输层
- 应用层
- 网络安全
- 网络上的音频/视频服务
- 无线网络和移动网络



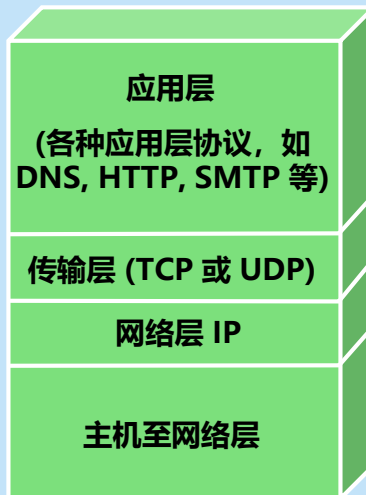
具有五层协议的体系结构

OSI 的体系结构



(a)

TCP/IP 的体系结构



(b)

五层协议的体系结构

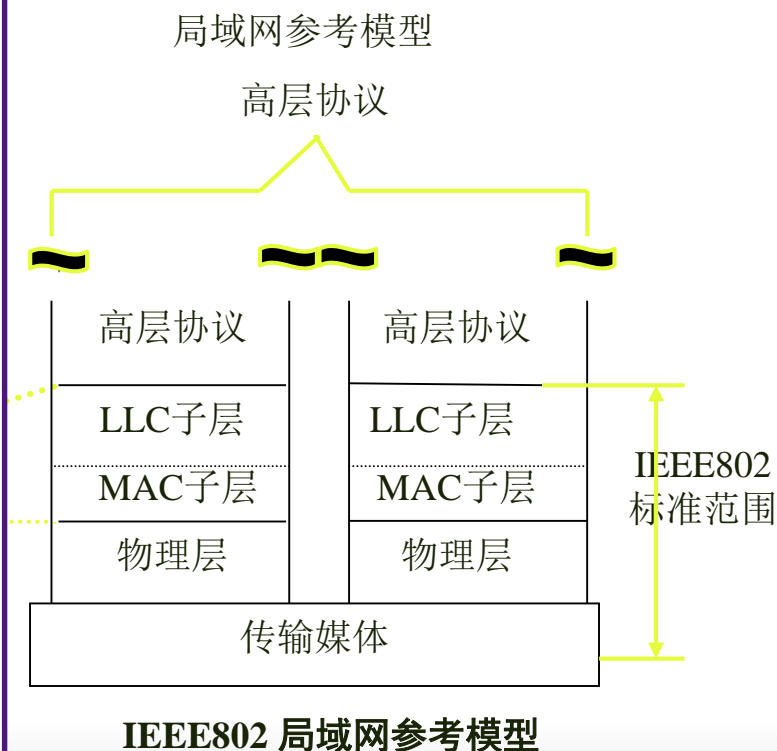


(c)

计算机网络体系结构: (a) OSI 的七层协议; (b) TCP/IP 的四层协议; (c) 五层协议

IEEE 802模型

- 物理层
 - 确保二进制位信号正确传输，位流的正确传送与接收。标准规范
 - 局域网传输介质与拓扑结构
 - 物理接口的机械特性、电气特性、功能特性和规程特性
 - 传输信号的编码方案。局域网常用的编码方案有：曼彻斯特码、差分曼彻斯特码、非归零码、4B/5B码、8B/6T和8B/10B等。
 - 错误校验码以及同步信号的产生与删除
- MAC子层（介质访问控制）
 - MAC是数据链路层的一个功能子层。MAC直接与物理层相邻。
 - 合理的信道分配，解决信道竞争问题。完成介质访问控制功能，为竞争的用户分配信道使用权，并具有管理多链路的功能。
 - MAC子层为不同的物理介质定义了介质访问控制标准。IEEE802的介质访问控制标准有CSMA/CD、Token-Ring、Token-Bus等。
- LLC子层（逻辑链路控制）
 - LLC子层的功能包括：数据帧的组装与拆卸、帧的收发、差错控制、数据流控制和发送顺序控制等功能并为网络层提供：面向连接服务和无连接服务。
 - LLC在MAC子层的支持下向网络层提供服务。可运行于所有802局域网和城域网协议之上的数据链路协议。
 - LLC子层与传输介质无关，它独立于介质访问控制方法，隐藏了各种802网络之间的差别，向网络层提供一个统一的格式和接口。



802.3 以太网 CSMA/CD

总线拓扑实例：

❖ Ethernet

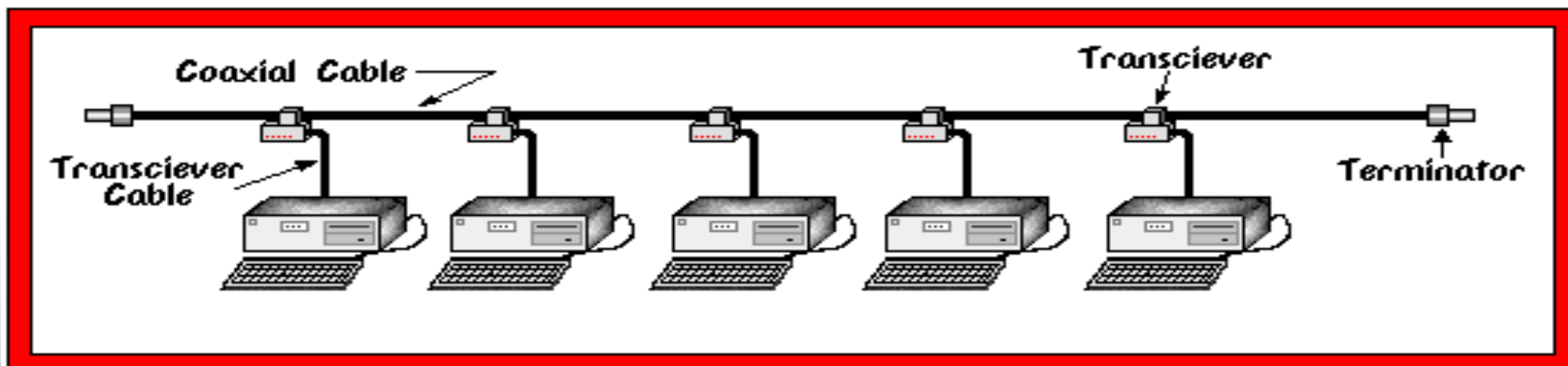
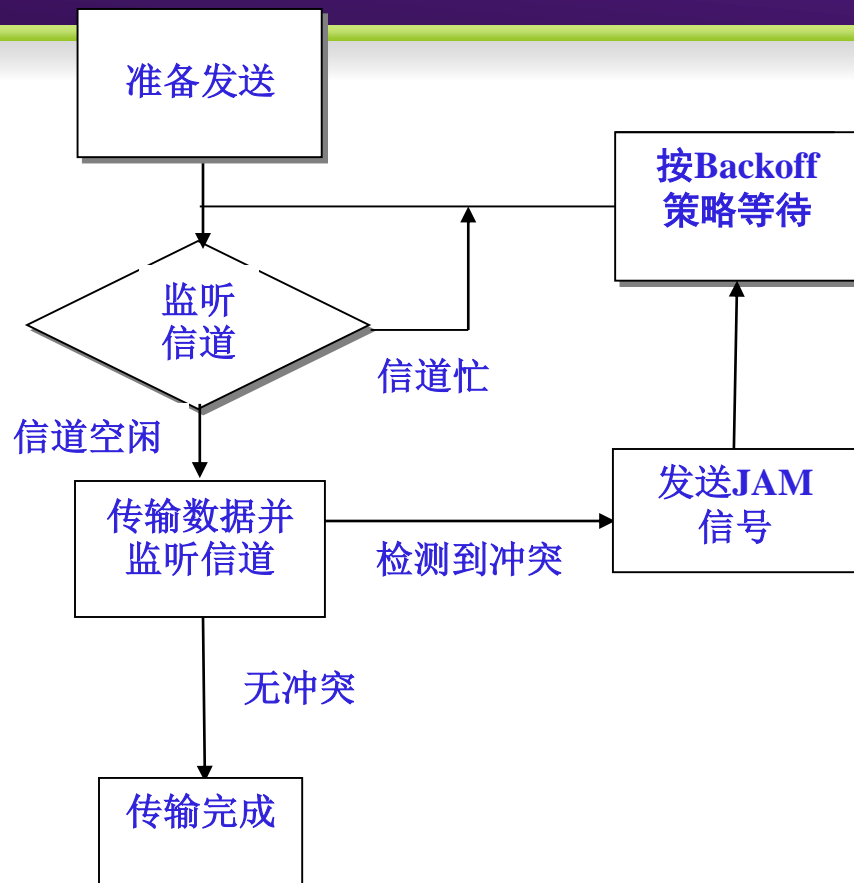
❖ 载波侦听

❖ 冲突检测

❖ CSMA/CD

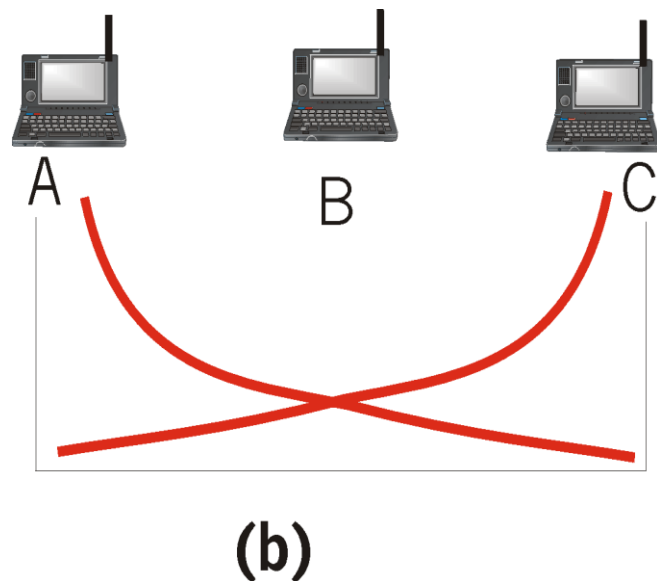
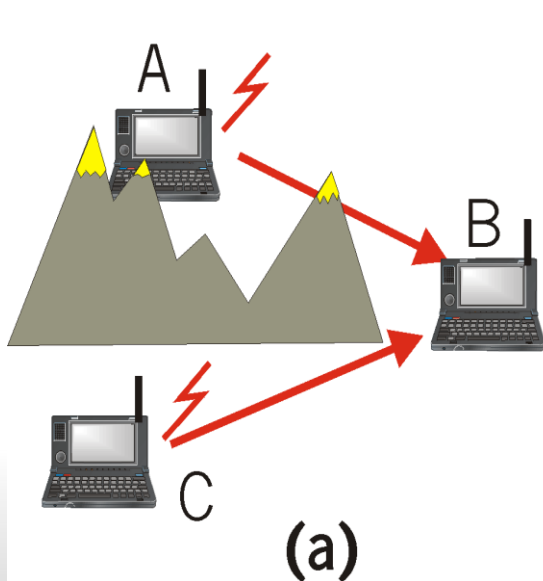
❖ 截断二进制指数重发

$$T = 2\tau \times (2^i - 1)$$



802.11 无线局域网CSMA/CA

- * **隐蔽站**: A, C两个站点不能互相“听见”
 - * 障碍物, 信号衰减
 - * 在B站点发生冲突
- * **802.11MAC的设计目标**: 避免可能在B站发生的冲突
- * **CSMA/CA**: 带有冲突避免 (Collision Avoidance) 策略的CSMA



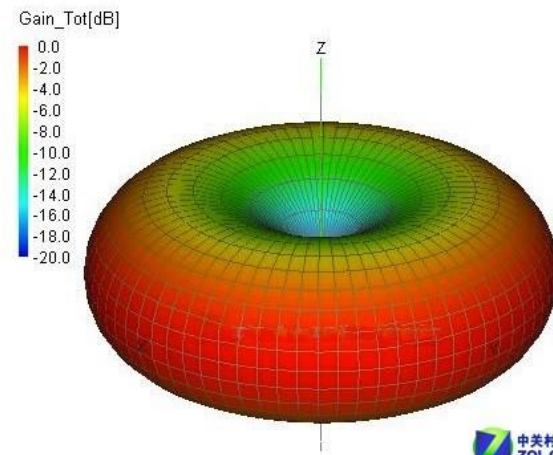
局域网布线、接口与物理结构



❖ WIFI

- ❖ 便捷
- ❖ 快速
- ❖ 建设扩展容易

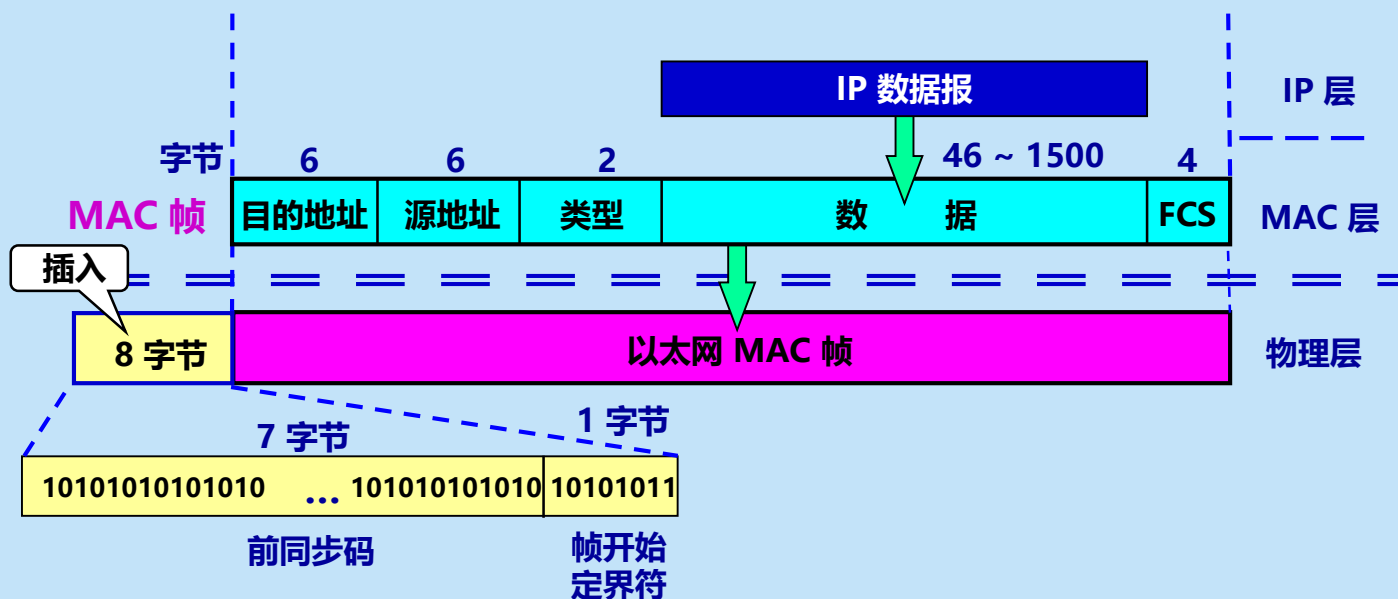
❖ WAPI



数据链路层

MAC 帧的格式

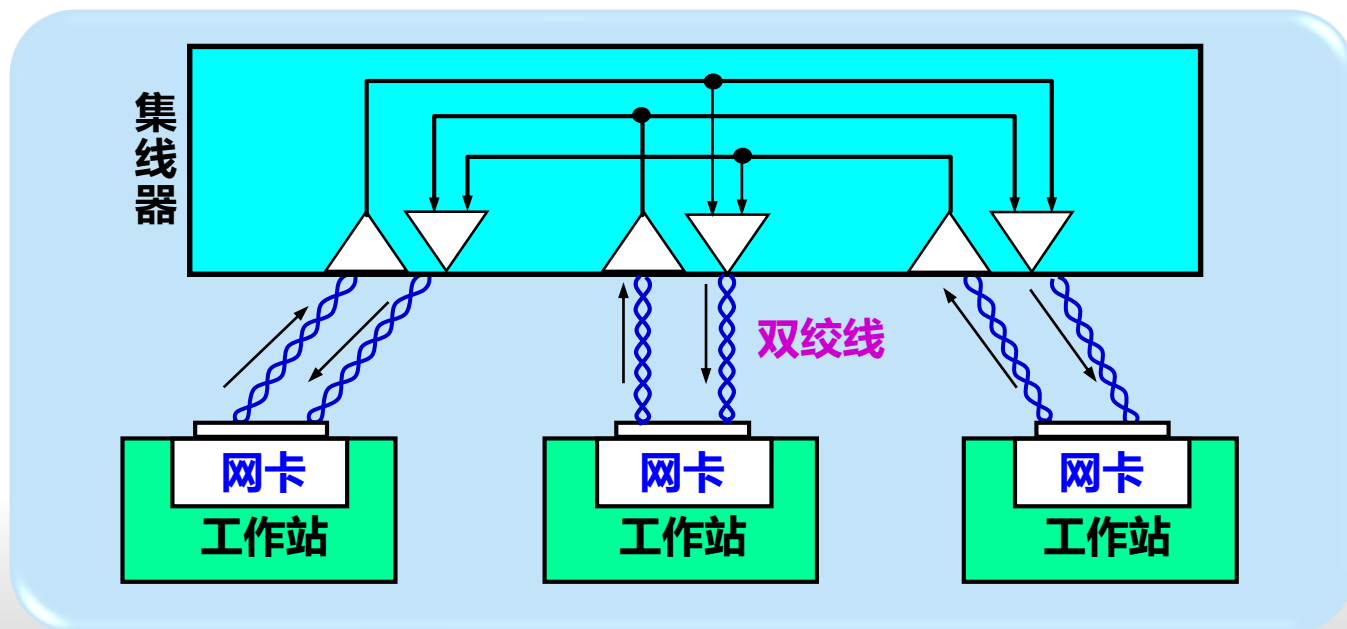
- 常用的以太网 MAC 帧格式有两种标准：
 - DIX Ethernet V2 标准
 - IEEE 的 802.3 标准
- 最常用的 MAC 帧是以太网 V2 的格式。



数据链路层

集线器的一些特点

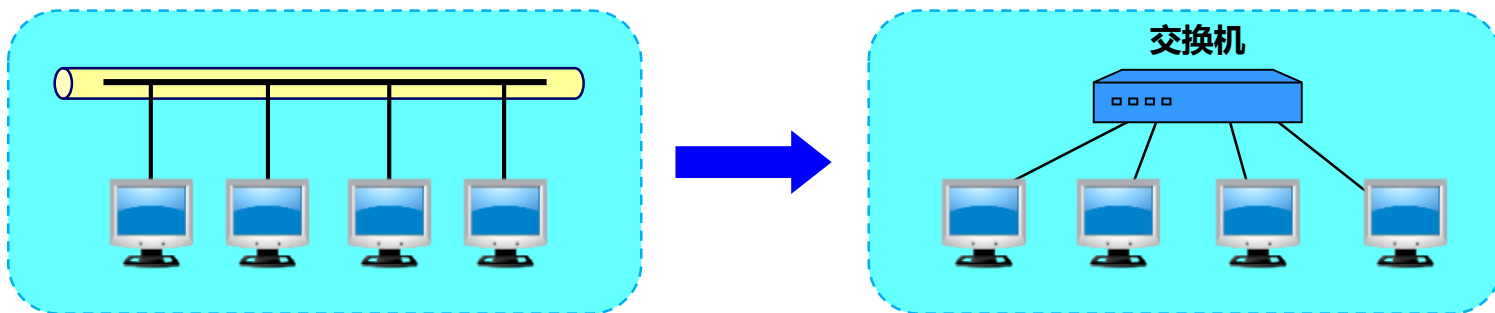
- 集线器是使用电子器件来模拟实际电缆线的工作，因此整个系统仍然像一个传统的以太网那样运行。
- 使用集线器的以太网在逻辑上仍是一个总线网，各工作站使用的还是 CSMA/CD 协议，并共享逻辑上的总线。
- 集线器很像一个多接口的转发器，工作在物理层。
- 集线器采用了专门的芯片，进行自适应串音回波抵消，减少了近端串音。



数据链路层

从总线以太网到交换机星形以太网

- 采用以太网交换机的星形结构成为以太网的首选拓扑。
- 交换机工作在**数据链路层**
- 以太网交换机不使用共享总线，没有碰撞问题，因此不使用 CSMA/CD 协议，以全双工方式工作。但仍然采用以太网的帧结构。



提纲

- 计算机网络概述
- 物理层
- 数据链路层
- 网络层
- 传输层
- 应用层
- 网络安全
- 网络上的音频/视频服务
- 无线网络和移动网络



网络层

包的广域网传输

存储转发

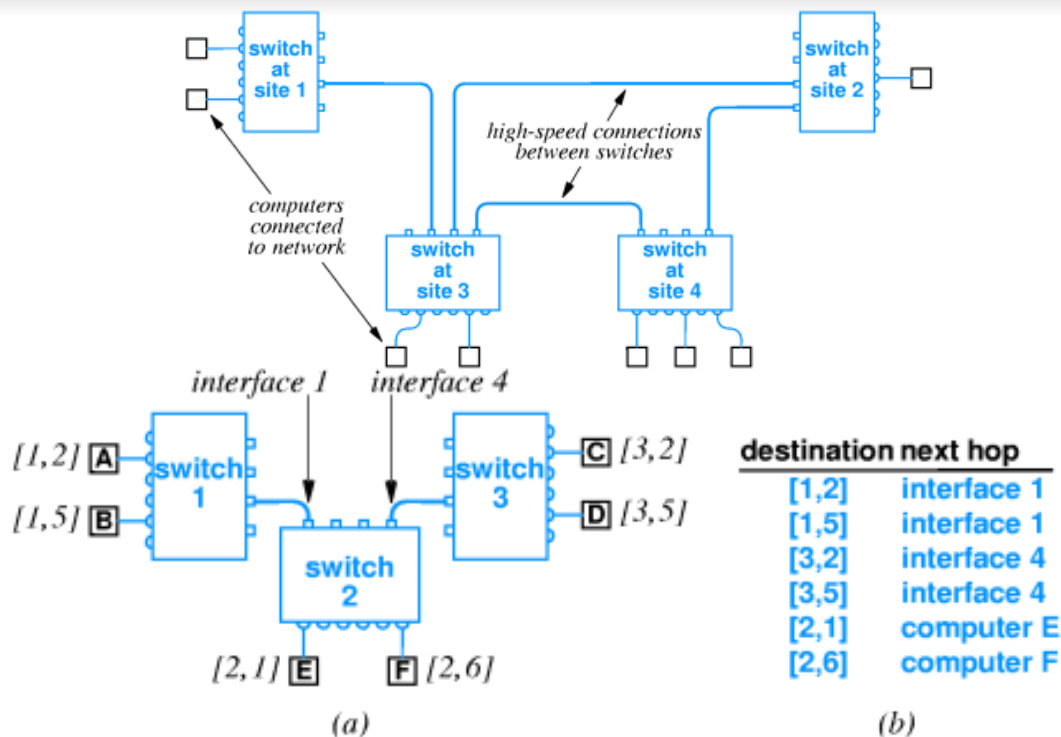
- ◆ 存储副本
- ◆ 调度处理
- ◆ 根据什么？

广域网编址

下一站转发

源地址独立性

- ◆ 下一站转发不依赖于包的源地址，也不依赖于所走过的路径



| destination | next hop |
|-------------|----------|
| 1 | - |
| * | (1,3) |

node 1

| destination | next hop |
|-------------|----------|
| 2 | - |
| 4 | (2,4) |
| * | (2,3) |

node 2

| destination | next hop |
|-------------|----------|
| 1 | (3,1) |
| 2 | (3,2) |
| 3 | - |
| 4 | (3,4) |

node 3

| destination | next hop |
|-------------|----------|
| 2 | (4,2) |
| 4 | - |
| * | (4,3) |

node 4

- ❖ 抽象编址：一个地址对应唯一网络终端*
- ❖ 抽象邮递方案
 - ❖ 发送方（源地址）
 - ❖ 接收方（目的地址）
- ❖ IP地址的构成-IPv4
 - ❖ 32bits
 - ❖ 前缀（计算机从属的物理网络）
 - ❖ 后缀（网络中唯一的一台计算机）



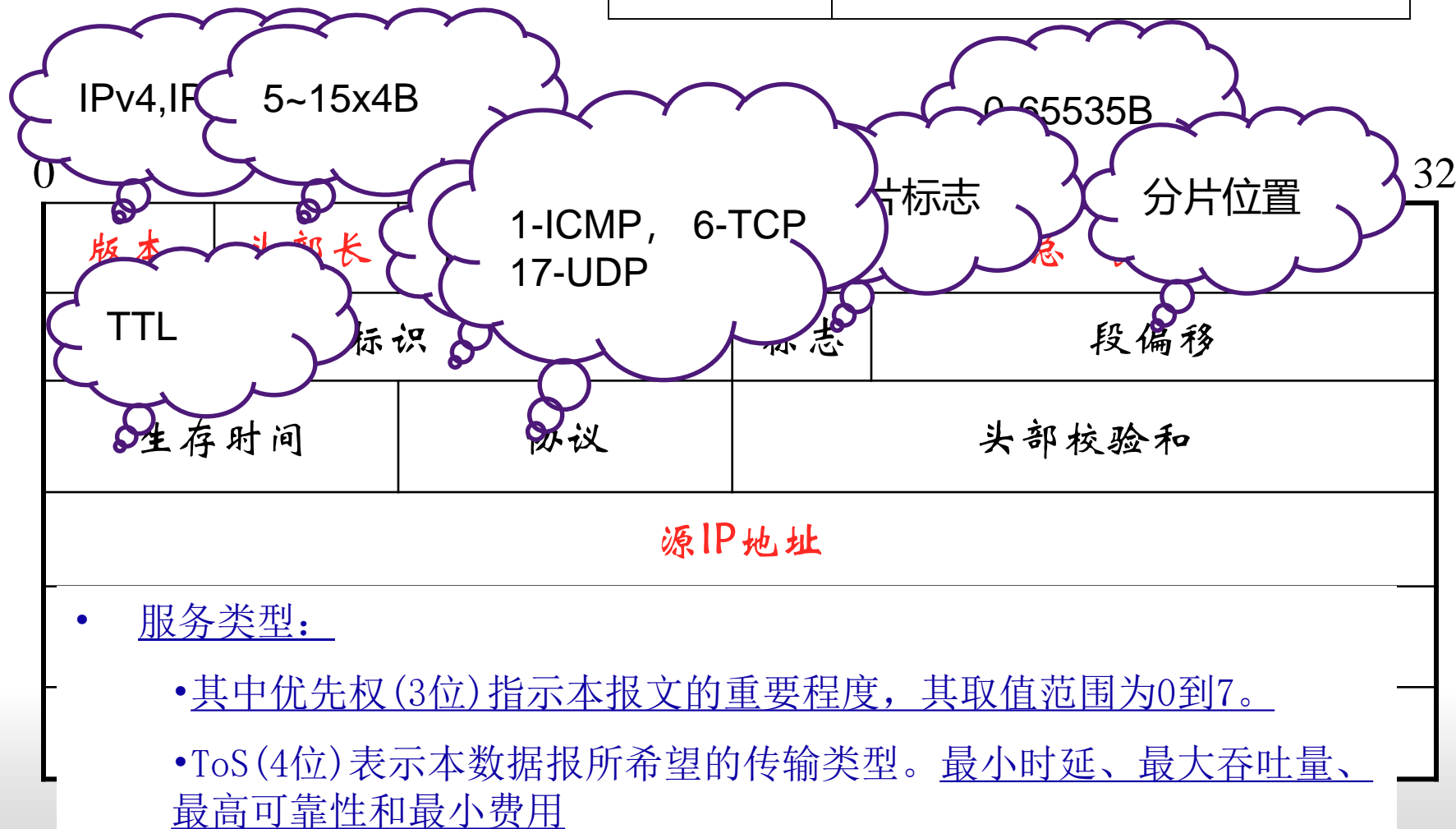
- ◆ Mac-48位
- ◆ C0-63-94-12-D1-28

IP数据报及其传输

➤ IP数据报的构成

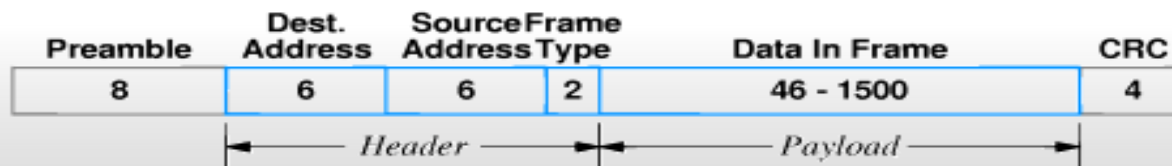
➤ 基本结构

| 头部 | 数据区 |
|----|-----|
|----|-----|

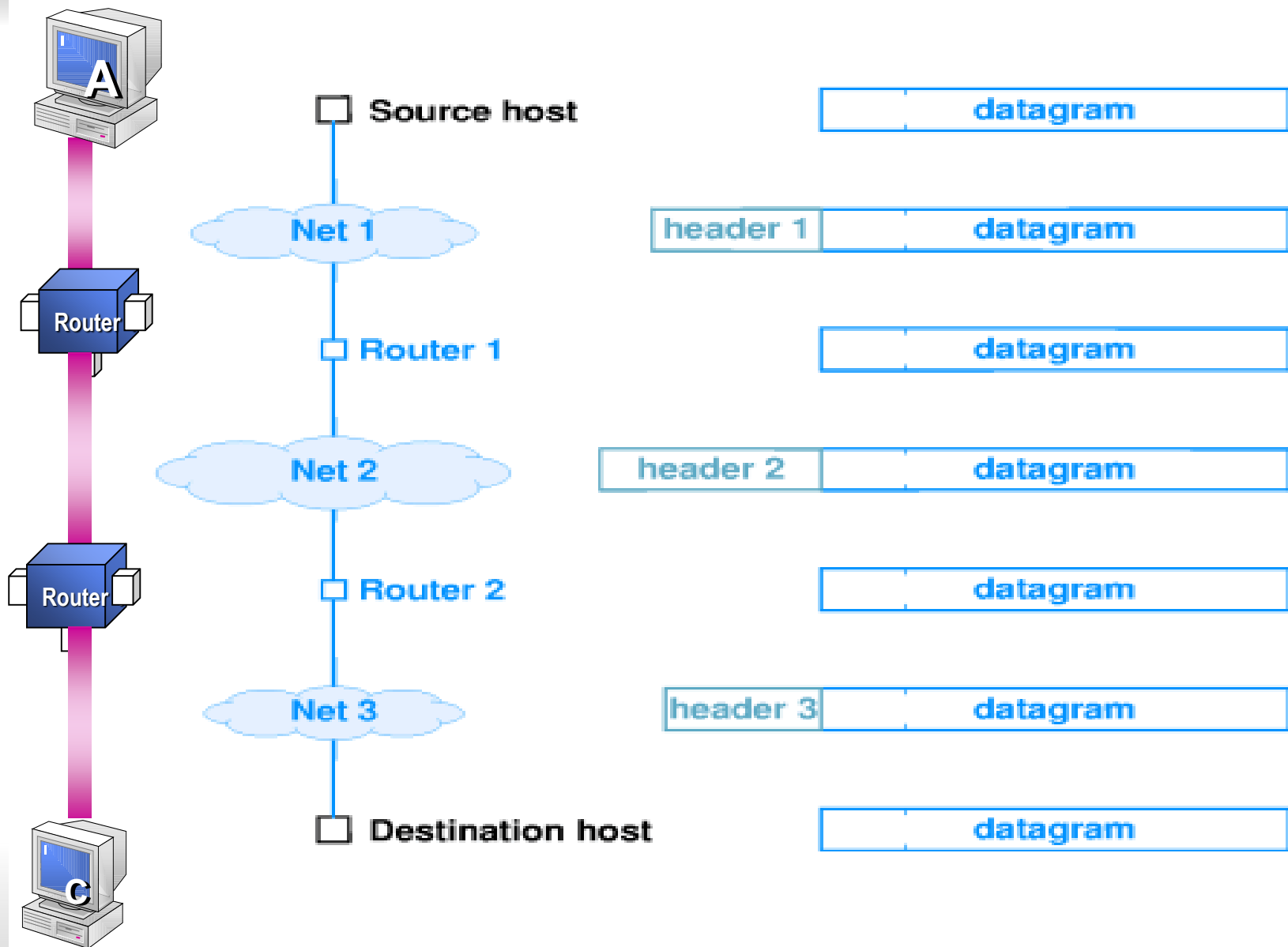


IP数据报及其传输

- IP数据报的互联网传输
 - 数据报的封装 (encapsulation)
 - 帧头部中帧类型标示
 - 下一站物理编址
- 帧(frame)
 - 帧的格式
 - 帧对于保证传输质量的作用 (头与尾)
 - 字节填充
 - 传输差错与奇偶校验



IP数据报及其传输



IP数据报及其传输

➤ IP数据报转发

➤ 下一站转发

➤ 路由表构成

➤ 目的地:网络

➤ 掩码

➤ 下一站

➤ 数据报头部中的目的地址与下一站地址的关系

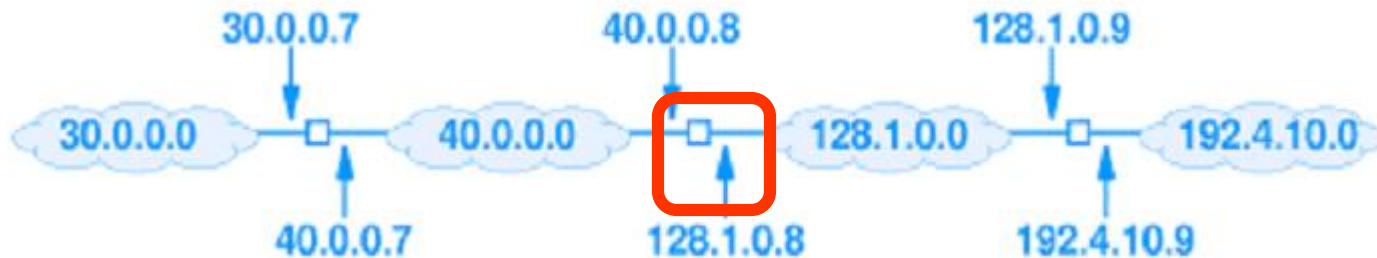
30.0.0.5

40.0.0.5

128.10.0.5

192.4.10.5

| Destination | Mask | Next Hop |
|-------------|---------------|----------------|
| 30.0.0.0 | 255.0.0.0 | 40.0.0.7 |
| 40.0.0.0 | 255.0.0.0 | deliver direct |
| 128.1.0.0 | 255.255.0.0 | deliver direct |
| 192.4.10.0 | 255.255.255.0 | 128.1.0.9 |

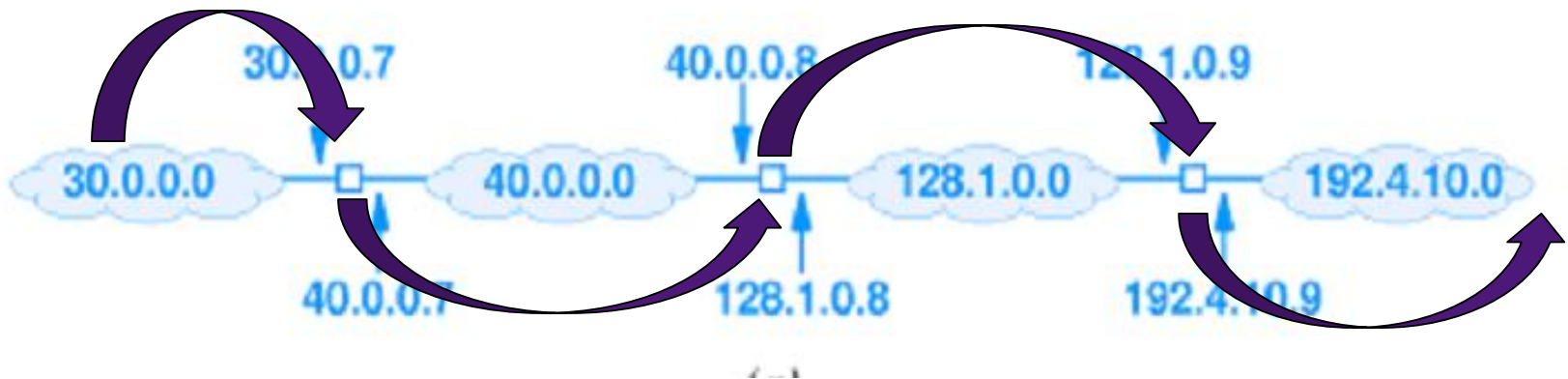


网络层：地址解析协议 (ARP)

❖ 地址解析

❖ 将IP地址翻译成等价的硬件地址

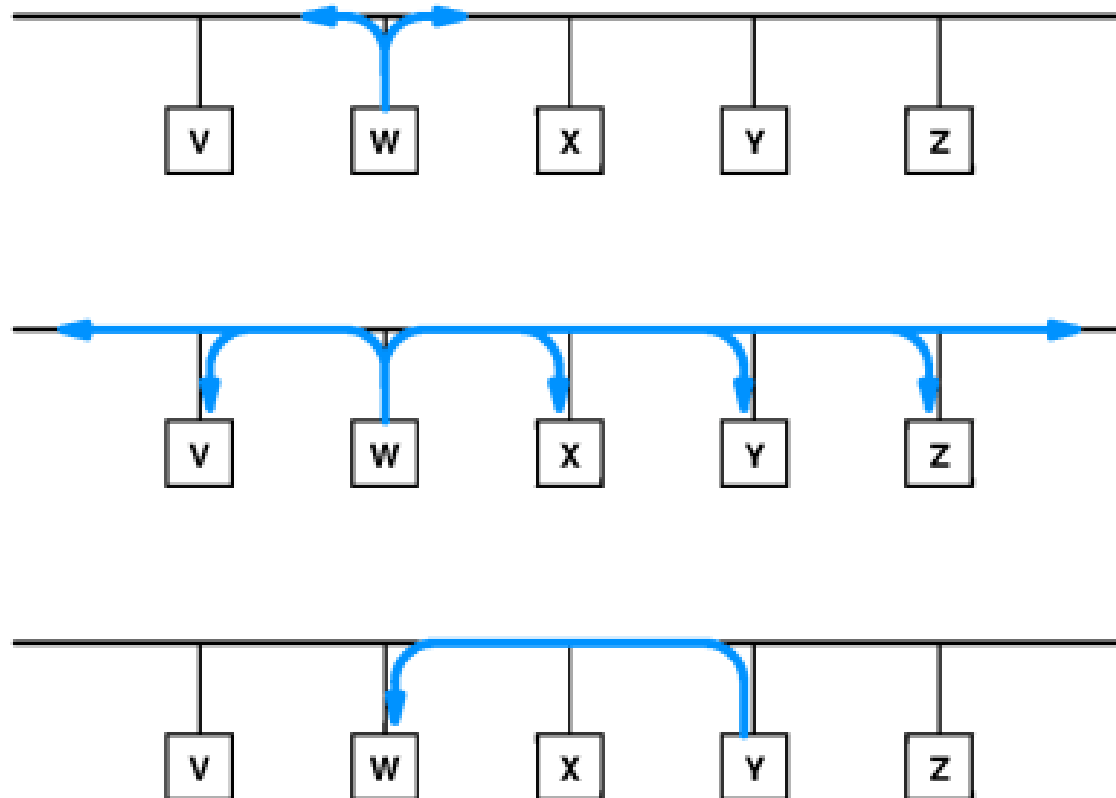
❖ 地址解析的条件是在一个物理网内部



网络层：地址解析协议 (ARP)

❖ ARP基本原理

❖ 请求消息、应答消息



网络层：地址解析协议 (ARP)

❖ ARP消息格式

❖ 普适性

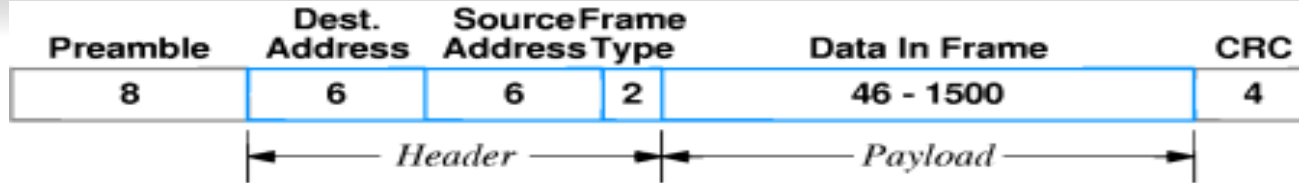
❖ 使用现状

| 硬件地址类型(1) | | 协议地址类型(0x800) |
|-----------------|--------|-----------------|
| 硬件地址长度 | 协议地址长度 | 操作类型 |
| 发送方硬件地址 (字节0~3) | | |
| 发送方硬件地址 (字节4~5) | | 发送方协议地址 (字节0~1) |
| 发送方协议地址 (字节2~3) | | 目的地硬件地址 (字节0~1) |
| 目的地硬件地址 (字节2~5) | | |
| 目的地协议地址 (字节0~3) | | |

❖ ARP消息传输



帧格式及其实例



□ 帧类型字段

- 2个字节，表征帧数据的类型。IP or ARP frame?

□ 目的地址和源地址字段

- 地址字段长度：2个字段，各6个字节

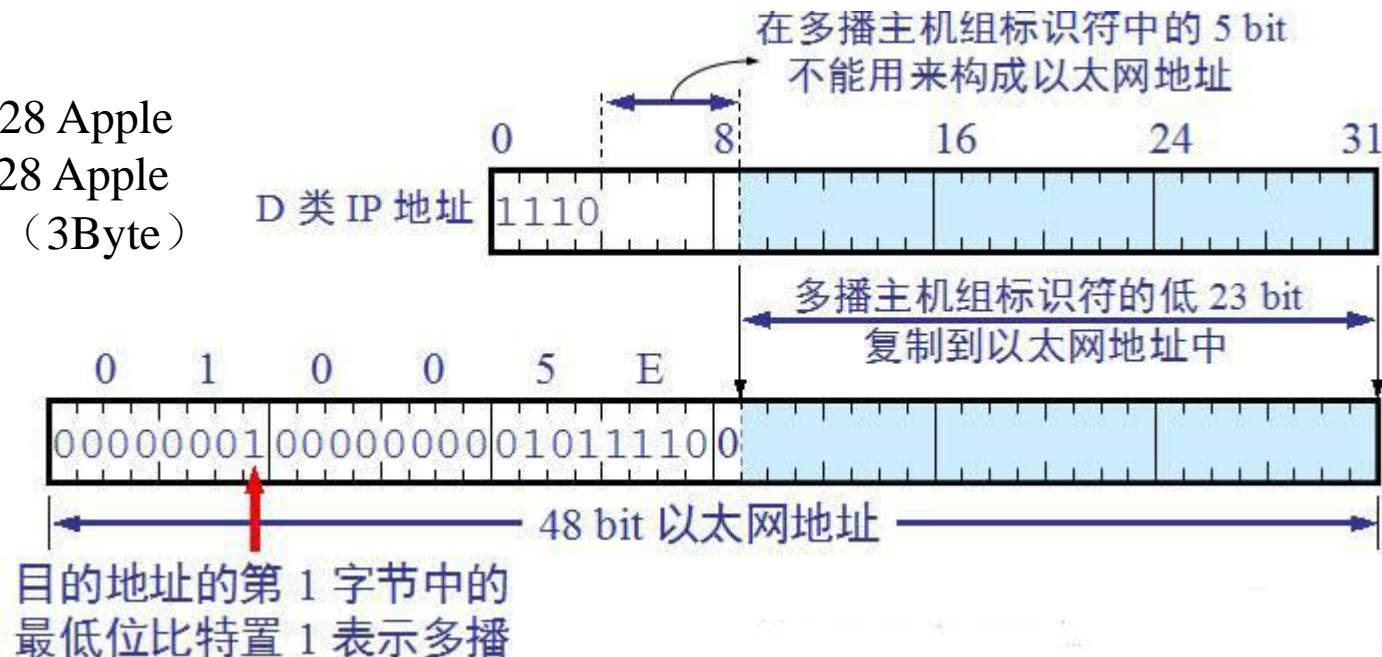
□ 目的地址

Mac

C0-63-94-12-D1-28 Apple

54-26-96-12-D1-28 Apple

OUI (3Byte) + ID (3Byte)



网络层：地址解析协议 (ARP)

❖ ARP消息传递过程实现

❖ 发送方

❖ 地址联编缓存

❖ 查询缓存 → 广播请求消息 → 接收应答消息

❖ 接收方

❖ 利用接收到的请求消息更新自己的地址联编表

❖ 构造应答消息

❖ 发送应答消息

| 硬件地址类型 | | 协议地址类型 |
|-----------------|--------|-----------------|
| 硬件地址长度 | 协议地址长度 | 操作类型 |
| 发送方硬件地址 (字节0~3) | | |
| 发送方硬件地址 (字节4~5) | | 发送方协议地址 (字节0~1) |
| 发送方协议地址 (字节2~3) | | 目的地硬件地址 (字节0~1) |
| 目的地硬件地址 (字节2~5) | | |
| 目的地协议地址 (字节0~3) | | |

IP数据报及其传输

□ 反向地址解析协议

- (Reversed Address Resolution Protocol)
- RARP实现MAC地址到IP地址的转换
- RARP请求包中是由发送者填充好的源端MAC地址，而源端IP地址域为空(需要查询)

□ 应用

- DHCP
- (Dynamic Host Configuration Protocol)
- 动态主机设置协议

DHCP客户端

DHCP服务器



- ①发现阶段：客户端广播发送DHCP DISCOVER报文
- ②提供阶段：服务器回应DHCP OFFER报文
- ③选择阶段：客户端广播发送DHCP REQUEST报文
- ④确认阶段：服务器回应DHCP ACK报文

网络连接详细信息(D):

| 属性 | 值 |
|------------------------|---|
| 连接特定的 DNS 后缀 | tsinghua.edu.cn |
| 描述 | Broadcom 802.11ac Network Adapter |
| 物理地址 | 90-9C-4A-CE-48-1A |
| 已启用 DHCP | 是 |
| IPv4 地址 | 183.173.13.215 |
| IPv4 子网掩码 | 255.255.248.0 |
| 获得租约的时间 | 2024年11月29日 8:15:24 |
| 租约过期的时间 | 2024年11月29日 9:53:46 |
| IPv4 默认网关 | 183.173.8.1 |
| IPv4 DHCP 服务器 | 166.111.8.6 |
| IPv4 DNS 服务器 | 166.111.8.28 166.111.8.29 101.7.8.9 |
| IPv4 WINS 服务器 | |
| 已启用 NetBIOS over Tcpip | 是 |
| IPv6 地址 | 2402:f000:3:800:cd02:2e16:fad1:3256 |
| 临时 IPv6 地址 | 2402:f000:3:800:cd9a:d7ea:bb6c:f890 |
| 连接-本地 IPv6 地址 | fe80::d490:c149:cd9a:ba46%18 |
| IPv6 默认网关 | fe80::9629:2fff:fe37:8802%18 |
| IPv6 DNS 服务器 | |

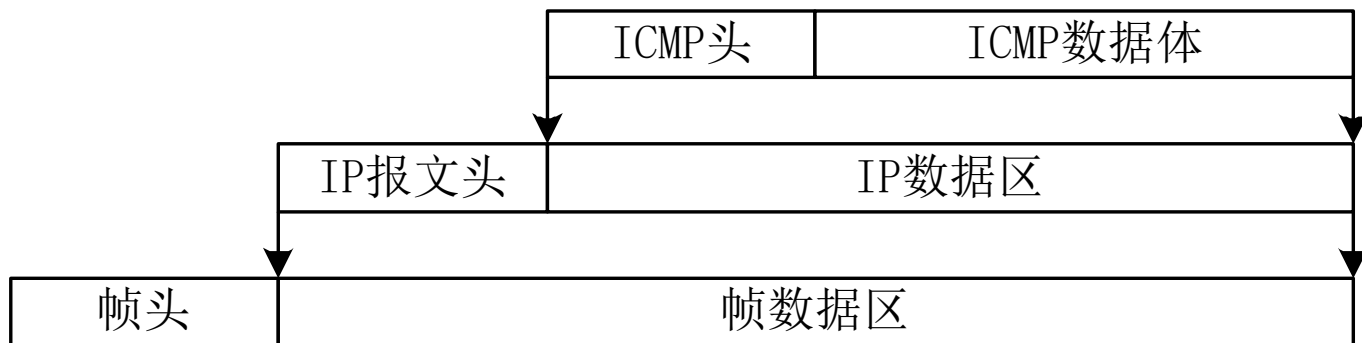
差错报告机制（ICMP）

- Internet控制报文协议
(Internet Control Message Protocol)
 - 差错报文
 - 源抑制
 - 超时（包、段）
 - 目的不可达（主机、网络）
 - 重定向
 - 要求分段
 - 信息报文
 - 回应请求/应答
 - 地址屏蔽码请求/应答



差错报告机制 (ICMP)

➤ ICMP报文的传输

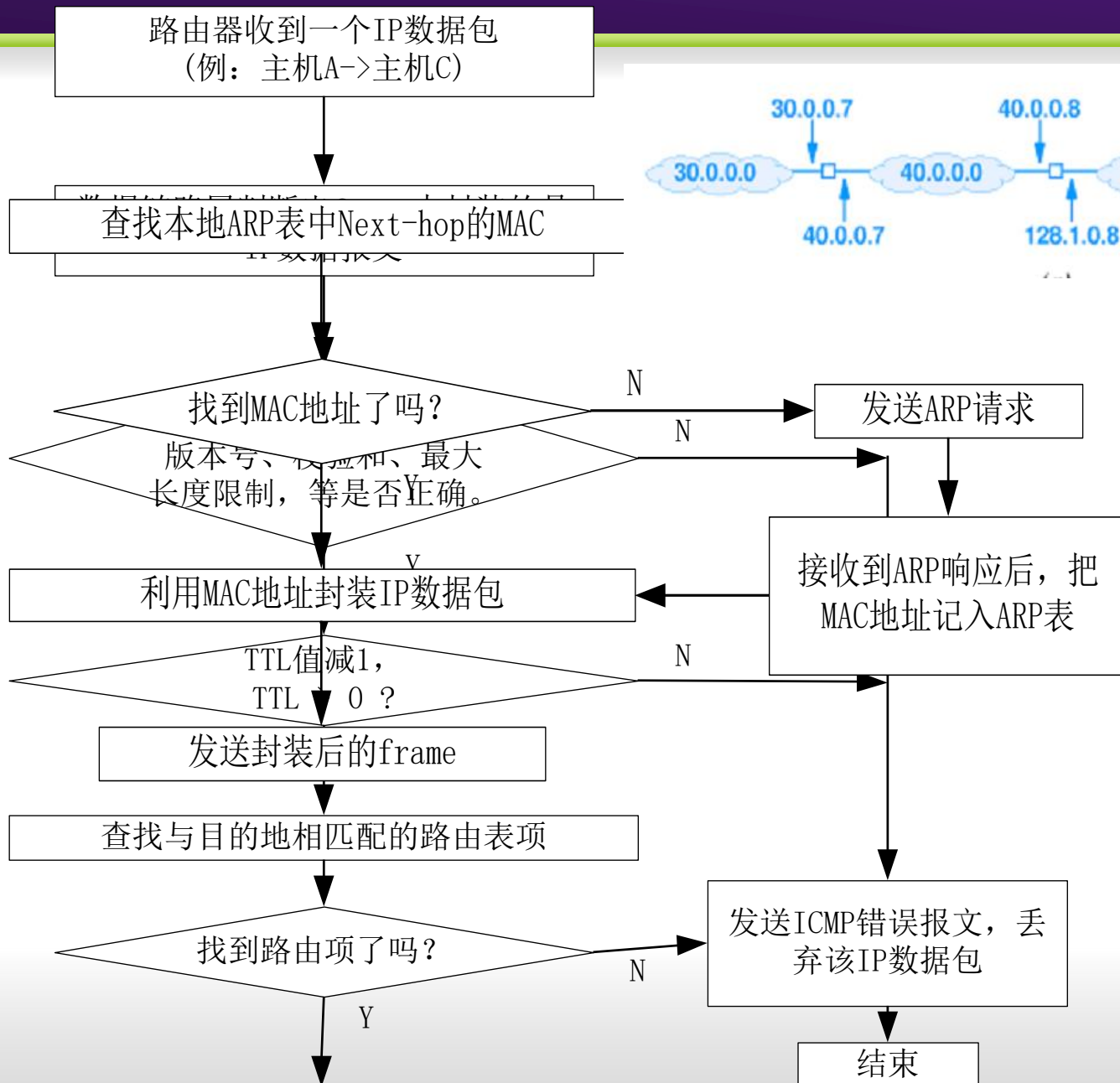


| | | | |
|---------|---|----|----|
| 0 | 7 | 8 | 15 |
| 类型 | | 代码 | |
| 校验和 | | | |
| 数据区(变长) | | | |

ICMP报文格式

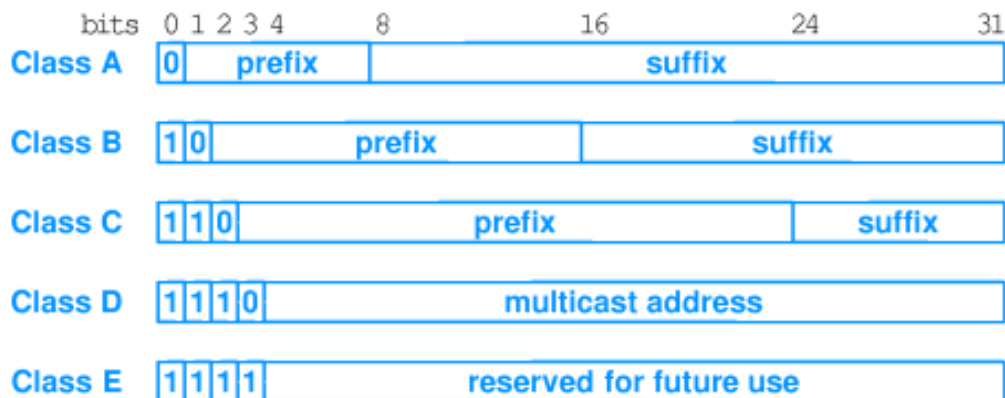
| TYPE | CODE | Description | Query Error | |
|------|------|---|-------------|---|
| 0 | 0 | Echo Reply——回显应答 (Ping应答) | x | |
| 3 | 0 | Network Unreachable——网络不可达 | | x |
| 3 | 1 | Host Unreachable——主机不可达 | | x |
| 3 | 2 | Protocol Unreachable——协议不可达 | | x |
| 3 | 3 | Port Unreachable——端口不可达 | | x |
| 3 | 4 | Fragmentation needed but no frag. bit set——需要进行分片但设置不分片比特 | | x |
| 3 | 5 | Source routing failed——源站选路失败 | | x |
| 3 | 6 | Destination network unknown——目的网络未知 | | x |
| 3 | 7 | Destination host unknown——目的主机未知 | | x |
| 3 | 8 | Source host isolated (obsolete)——源主机被隔离 (作废不用) | | x |
| 3 | 9 | Destination network administratively prohibited——目的网络被强制禁止 | | x |
| 3 | 10 | Destination host administratively prohibited——目的主机被强制禁止 | | x |
| 3 | 11 | Network unreachable for TOS——由于服务类型TOS, 网络不可达 | | x |
| 3 | 12 | Host unreachable for TOS——由于服务类型TOS, 主机不可达 | | x |
| 3 | 13 | Communication administratively prohibited by filtering——由于过滤, 通信被强制禁止 | | x |
| 3 | 14 | Host precedence violation——主机越权 | | x |
| 3 | 15 | Precedence cutoff in effect——优先中止生效 | | x |
| 4 | 0 | Source quench——源端被关闭 (基本流控制) | | |
| 5 | 0 | Redirect for network——对网络重定向 | | |
| 5 | 1 | Redirect for host——对主机重定向 | | |
| 5 | 2 | Redirect for TOS and network——对服务类型和网络重定向 | | |
| 5 | 3 | Redirect for TOS and host——对服务类型和主机重定向 | | |
| 8 | 0 | Echo request——回显请求 (Ping请求) | x | |
| 9 | 0 | Router advertisement——路由器通告 | | |
| 10 | 0 | Route solicitation——路由器请求 | | |
| 11 | 0 | TTL equals 0 during transit——传输期间生存时间为0 | | x |
| 11 | 1 | TTL equals 0 during reassembly——在数据报组装期间生存时间为0 | | x |
| 12 | 0 | IP header bad (catchall error)——坏的IP首部 (包括各种差错) | | x |
| 12 | 1 | Required options missing——缺少必需的选项 | | x |
| 13 | 0 | Timestamp request (obsolete)——时间戳请求 (作废不用) | x | |
| 14 | | Timestamp reply (obsolete)——时间戳应答 (作废不用) | x | |
| 15 | 0 | Information request (obsolete)——信息请求 (作废不用) | x | |
| 16 | 0 | Information reply (obsolete)——信息应答 (作废不用) | x | |
| 17 | 0 | Address mask request——地址掩码请求 | x | |
| 18 | 0 | Address mask reply——地址掩码应答 | | |

IP数据报后的处理过程



网络层：IP地址

❖ 地址分类



地址空间的划分

| 地址类别 | 可变前缀位数 | 数值范围 | 网络最大数目 | 后缀位数 | 网络最大主机数目 |
|------|--------|---------|-----------|------|------------|
| A | 7 | 0~127 | 128 | 24 | 16,777,216 |
| B | 14 | 128~191 | 16,384 | 16 | 65,536 |
| C | 21 | 192~223 | 2,097,152 | 8 | 256 |

IPv4困境

- 40亿IP->40亿网民
- 北美占有3/4, 约30亿
- 中国-2.5亿->网民8亿
- 网络:1600万;分类200万
- 2011年2月3日分配完毕

解决方案

- 局域网-私有地址:
-10.....,172.....,192.....
- NAT网络地址转换
-Network Address Translator
- CIDR
- (无类型域间选路, Classless Inter-Domain Routing)
 - 192.168.1.0/22
- IPv6

A类地址

- 3.0.0.0/8: 通用
- 9.0.0.0/8: IBM
- 11.0.0.0/8: 国防部
- 12.0.0.0/8: AT&T贝尔实验室
- 13.0.0.0/8: 施乐
- 15.0.0.0/8: HP
- 16.0.0.0/8: DEC
- 17.0.0.0/8: 苹果
- 18.0.0.0/8: MIT
- 19.0.0.0/8: 福特汽车
- 55.0.0.0/8: 波音
- 56.0.0.0/8: 邮政局



IP的未来IPv6

□ IPv6的目标

- 不能有效分配的情况下，也能支持数十亿的主机
- 减小路由表的大小
- 简化协议，使得路由器能够更快的处理包；
- 提供比IPv4更好的安全性
- 更多的关注服务类型，特别是实时数据
- 可扩展性
- 支持移动功能
- 在一段时间内，允许IPv4与IPv6共存

□ IPv6的主要变化

— 地址变长，128位

- 2002:6505:91bb:4:fda4:8175:b62a:9738
- 192.168.89.9 -> ::192.168.89.9
- 0000:0000:0000:0000:0000:0000:c0a8:5909

— IP头简化,提高路由器处理速度

- 12->8
- 由于IPv6包头定长，取消头部长度假域；40字节
- 取消与分段有关的域，IPv6采用由主机做分段；
- 取消Checksum域；
- Protocol域取消，用Next header域表示；

— 更好的支持选项功能、安全性提高、更注重服务类型

| | | | | | |
|------------|----------|----------|----|----------|----------|
| 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 24 |
| 版本号(4b) | 流量等级(8b) | 流标签(20b) | | | |
| 载荷长度(16b) | | | | 下一报头(8b) | 跳数限制(8b) |
| 源地址(128b) | | | | | |
| 目的地址(128b) | | | | | |

| | | | |
|----------------|------------------|-------------------|------------|
| IPv6报头 下一报头 | 路由扩展头 下一报头=分片 | 分片扩展头 下一报头=TCP | TCP头+TCP数据 |
|----------------|------------------|-------------------|------------|

| | | | | |
|-------------------|-----|---------|-----|--|
| 版本 | 头部长 | 服务类型 | 总 长 | |
| 标识 | | 标志 | 段偏移 | |
| 生存时间 | 协议 | 头部校验和 | | |
| 10 ^{9.6} | | 源IP地址 | | |
| | | 目的地IP地址 | | |
| IP可选项（可以省略） | | | 充填帧 | |

IPv4与IPv6过渡

双栈策略

在IPv6结点中加入IPv4协议栈

双协议栈的结点称作
“IPv6/IPv4结点”

既可以收发IPv4分组，也可以收发IPv6分组

IPv4与IPv4结点互通

IPv6与IPv6结点互通

隧道技术

与IPv4兼容的IPv6地址

192.168.89.9

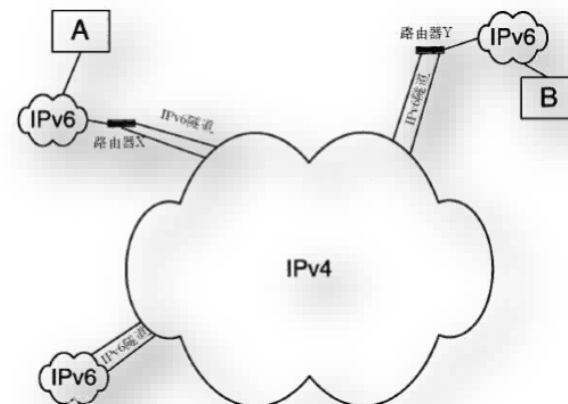
::192.168.89.9

隧道两端的IPv6节点
双栈节点

IPv6封装到IPv4

建隧道-隧道类型

- 路由器-路由器隧道
- 路由器-主机隧道
- 主机-主机隧道



隧道适配器 isatap.tsinghua.edu.cn:

```
连接特定的 DNS 后缀 . . . . . : tsinghua.edu.cn
IPv6 地址 . . . . . : 2402:f000:1:1501:200:5efe:101.5.148.245
本地链接 IPv6 地址. . . . . : fe80::200:5efe:101.5.148.245%21
默认网关. . . . . : fe80::5efe:166.111.21.1%21
```

- 尽力（best-effort）传输
- IP不保证处理的问题
 - 数据报重复
 - 延迟传送与乱序传送
 - 数据的损坏
 - 数据报的丢失

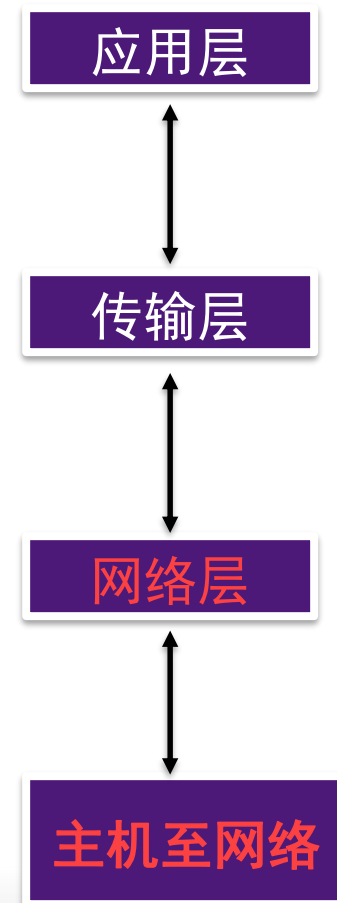
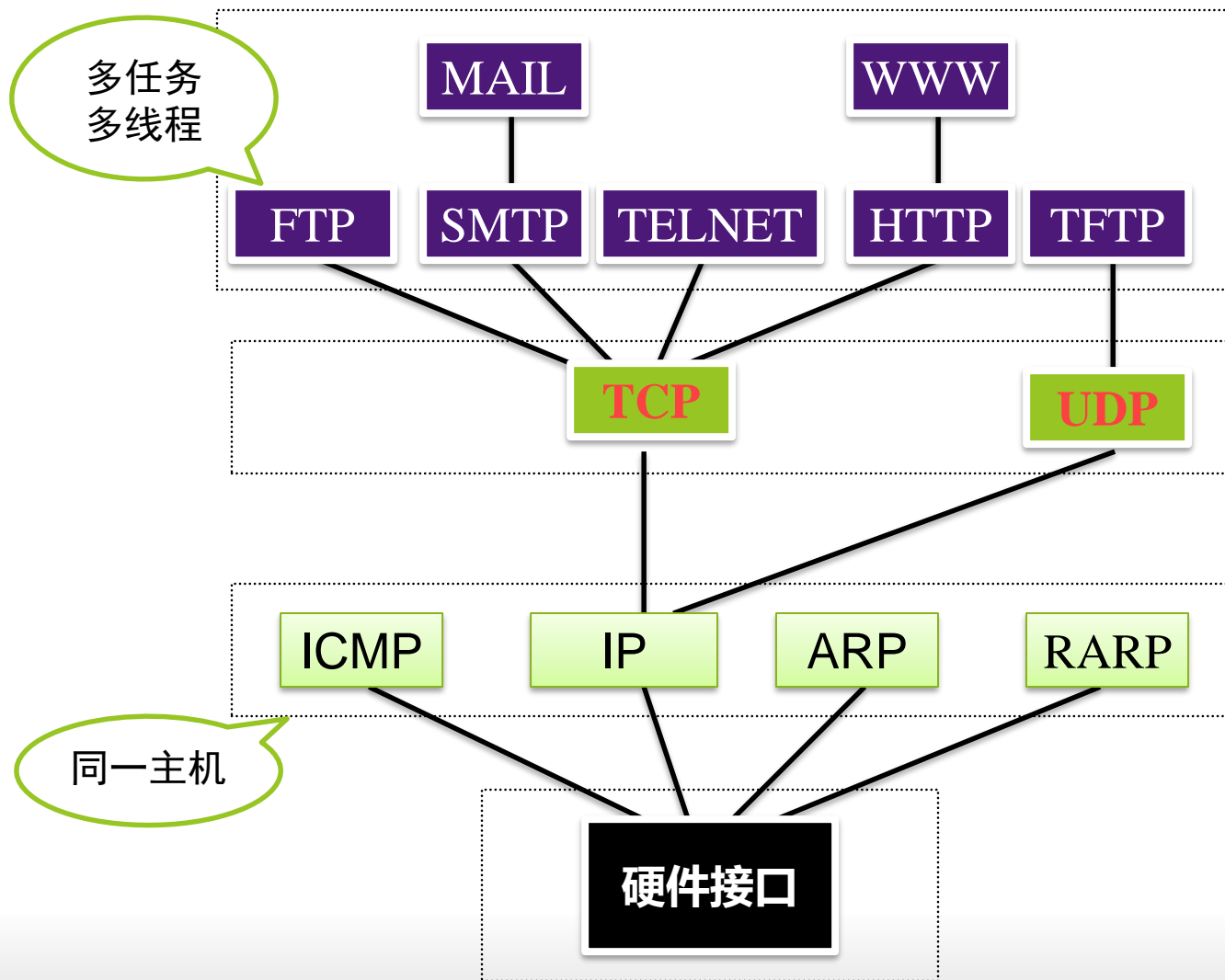


提纲

- 计算机网络概述
- 物理层
- 数据链路层
- 网络层
- 传输层
- 应用层
- 网络安全
- 网络上的音频/视频服务
- 无线网络和移动网络



TCP/IP模型



TCP/IP参考模型

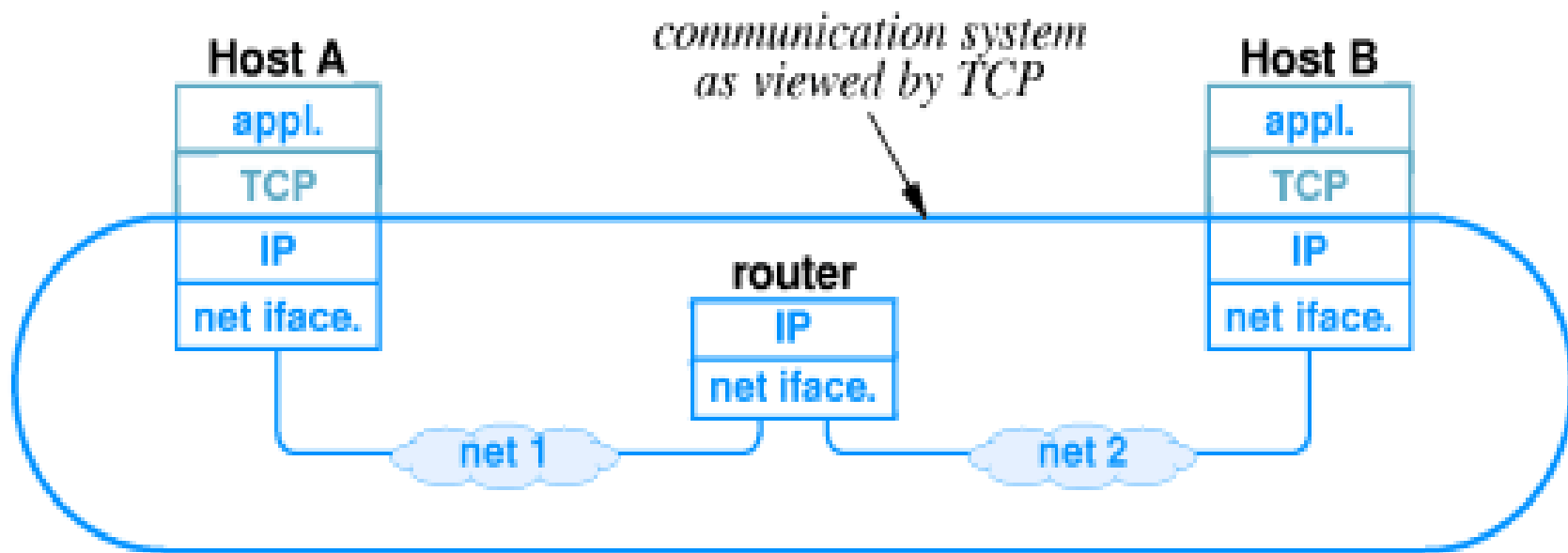
TCP:传输控制协议

➤ TCP服务模式

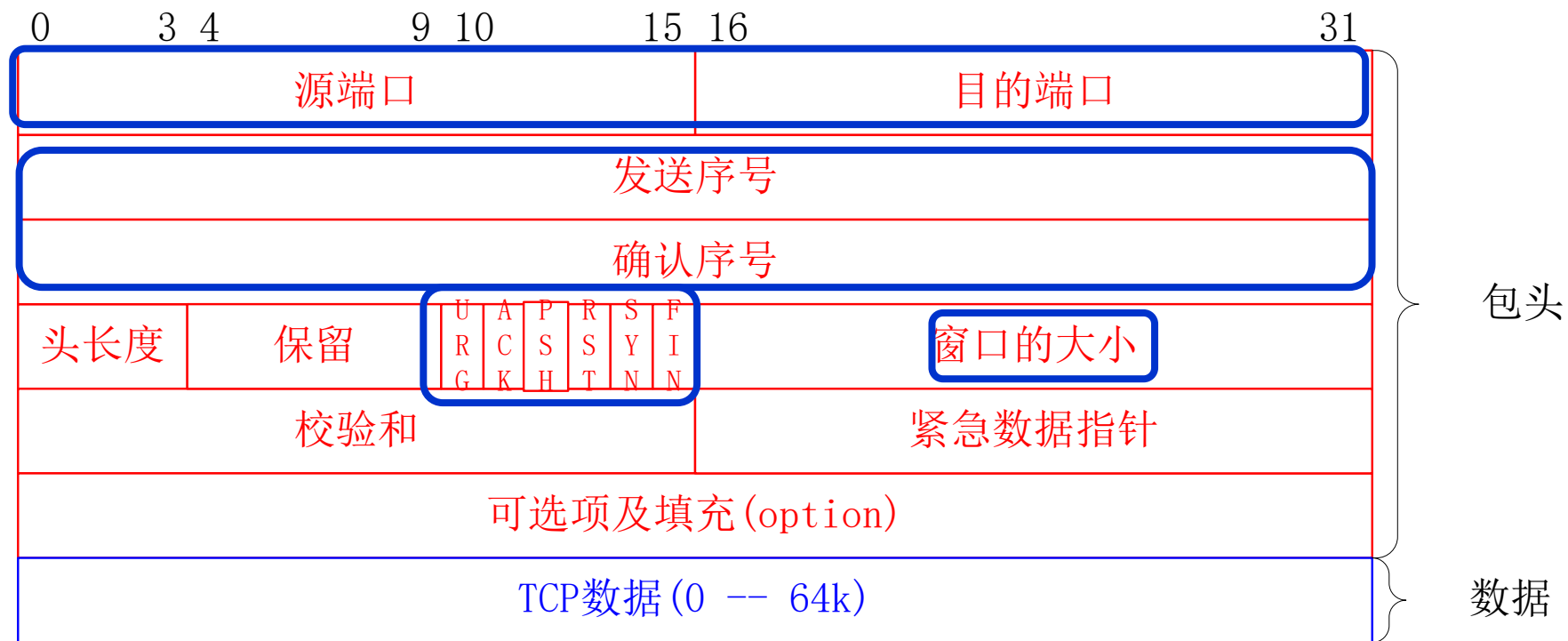
- 端对端服务
- 虚连接
- TCP把IP看作一个包通信系统
- 路由器不需要TCP服务

➤ TCP数据报的特点

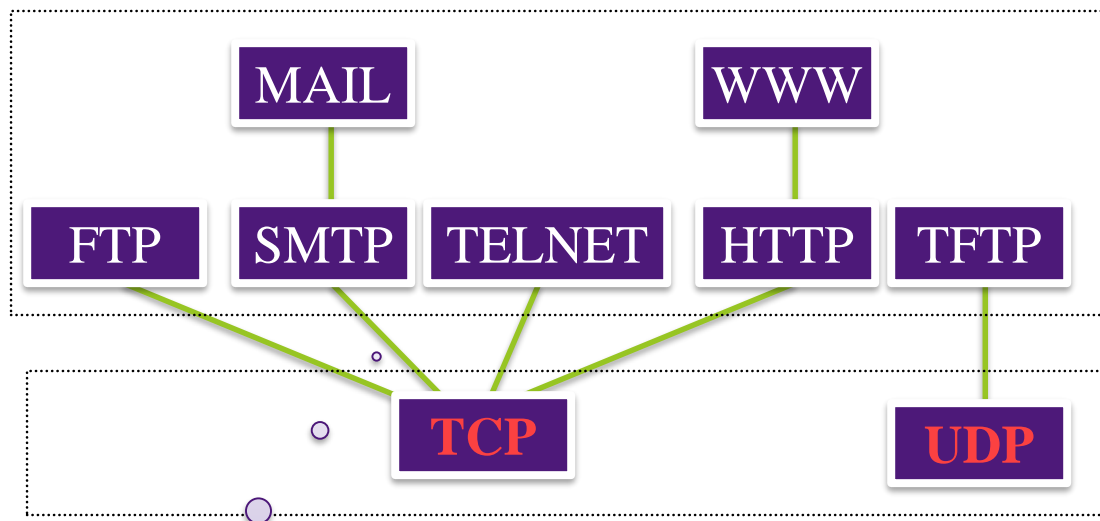
- 面向连接
- 点对点通信
- 全双工通信
- 无结构的数据流
- 完全可靠性
- 有缓冲的传送，实现拥塞控制



TCP报文格式

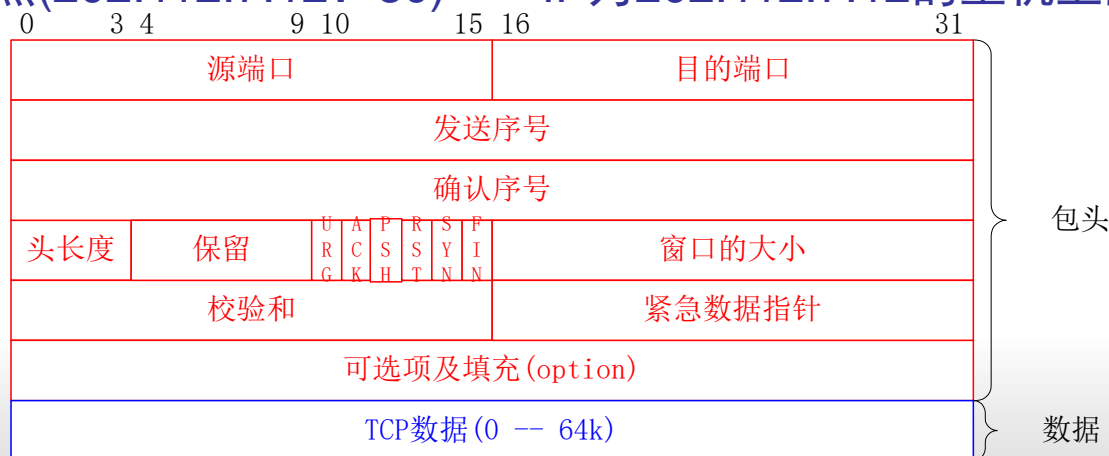


TCP报文格式



发给谁?

- 一台主机、多个应用程序
 - 同时使用TCP或UDP协议进行通信
 - 如何区分发送给哪个应用程序
 - TCP/UDP中引入了端口(port)的概念
- 端口——16-bit的无符号整型值
 - 端口号，标识传输层协议和应用程序之间的数据接口
 - 一个应用程序对应着唯一的一个端口号
 - 端口号是由不同主机的TCP协议独立分配的
 - 无法实现全局唯一，本地唯一
- 端口号和IP地址合起来，即(host,port)对
 - 唯一地标识TCP的一个连接的端点(endpoint)
 - 端点(202.112.7.12: 80)——IP为202.112.7.12的主机上的80号TCP端口



TCP报文格式

□ 常用的TCP端口号

- 20 FTP server (data channel)
- 21 FTP server (control channel)
- 23 Telnet server
- 25 SMTP server
- 80 Web server (HTTP)
- 110 POP3 server
- 139 NetBIOS session service

➤ 建立TCP连接

➤ TCP协议建立连接的过程就是一个通信双方序号同步的过程

(1) A->B SYN

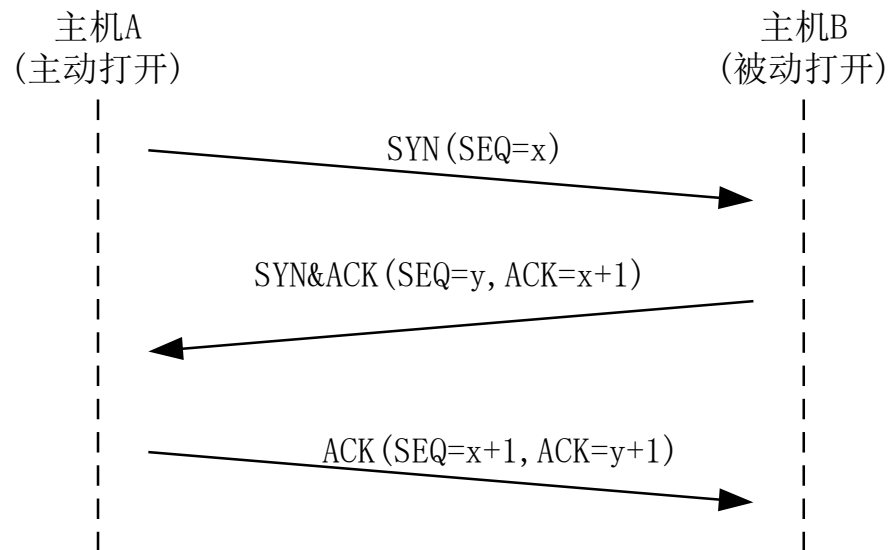
我的序号为x;

(2) B->A SYN&ACK

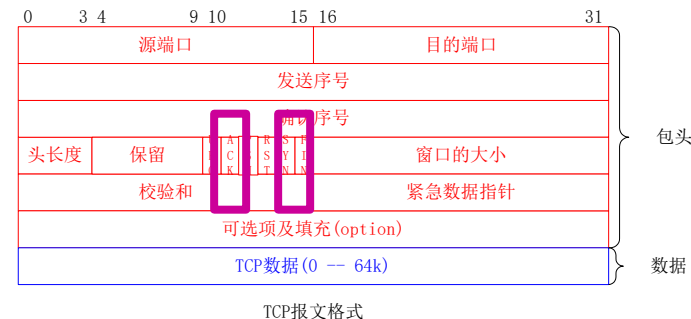
我的序号为y, 你的序列号为x+1;

(3) A->B ACK

我的序号为x+1, 你的序列号为y+1;

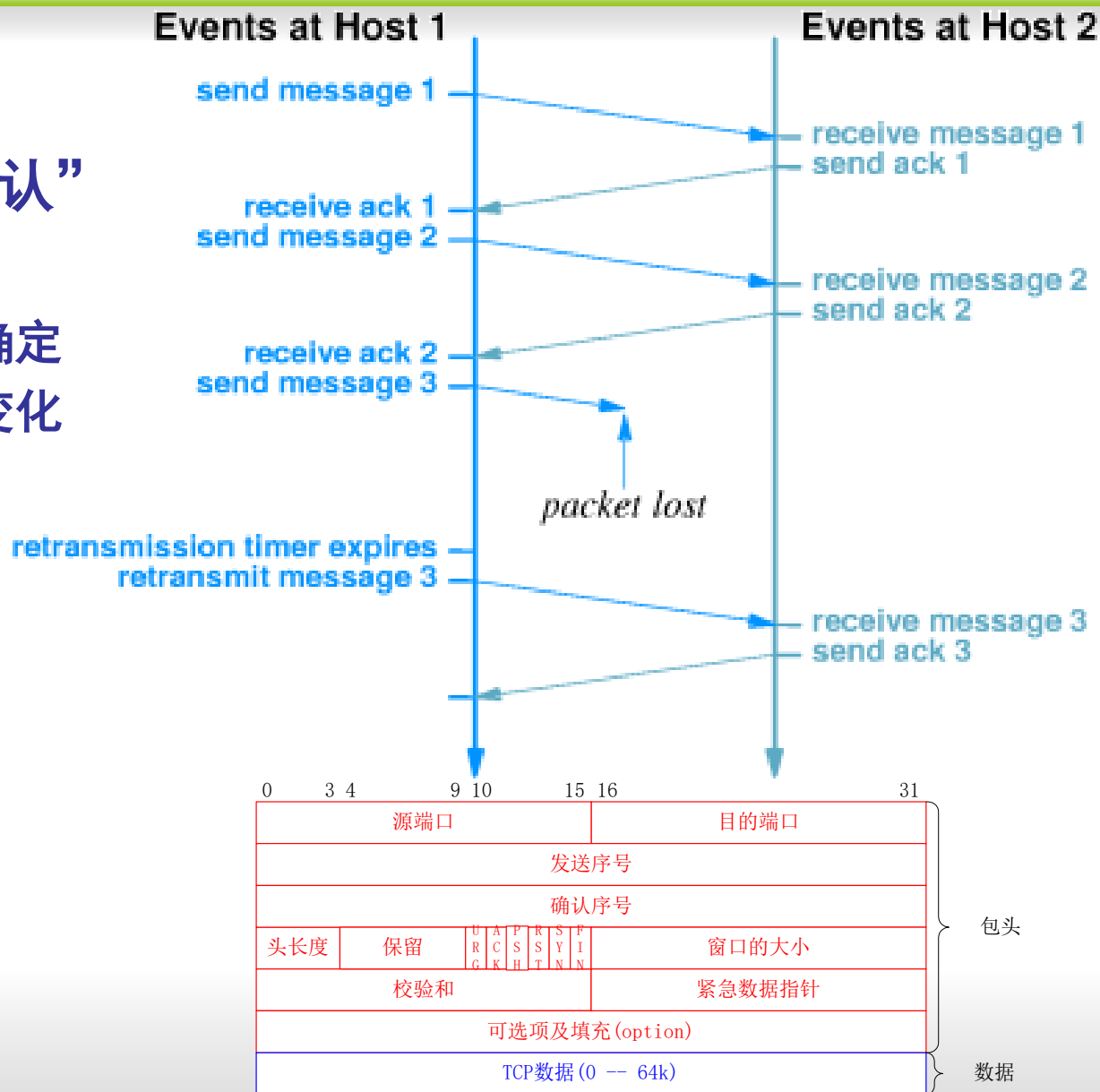


三次握手建立TCP连接



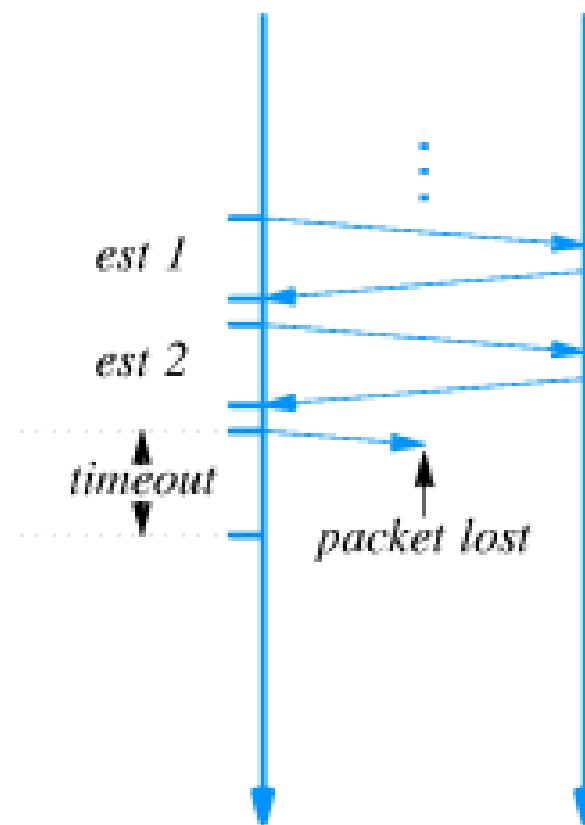
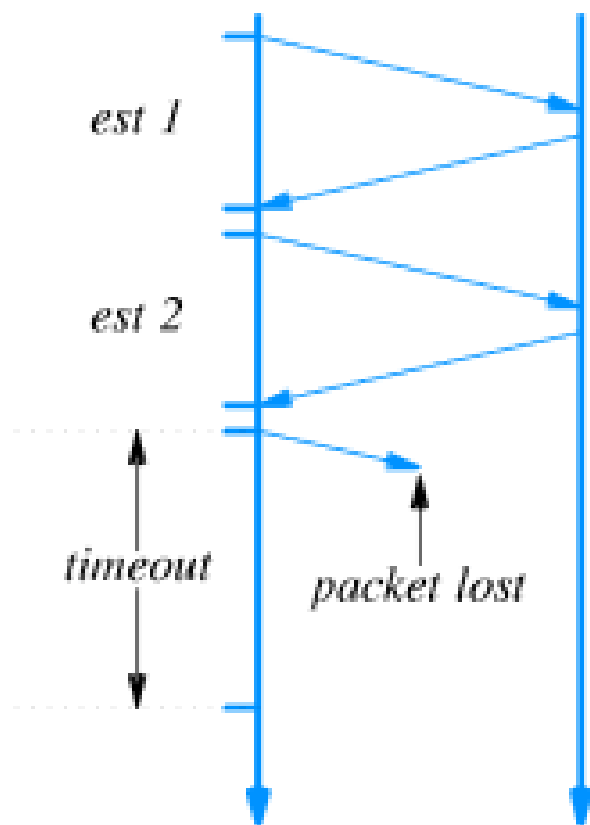
TCP:传输控制协议

- 包丢失与重发
 - 等待“接收确认”
 - 超时重发
 - 等待时间的确定
 - 延迟时间的变化



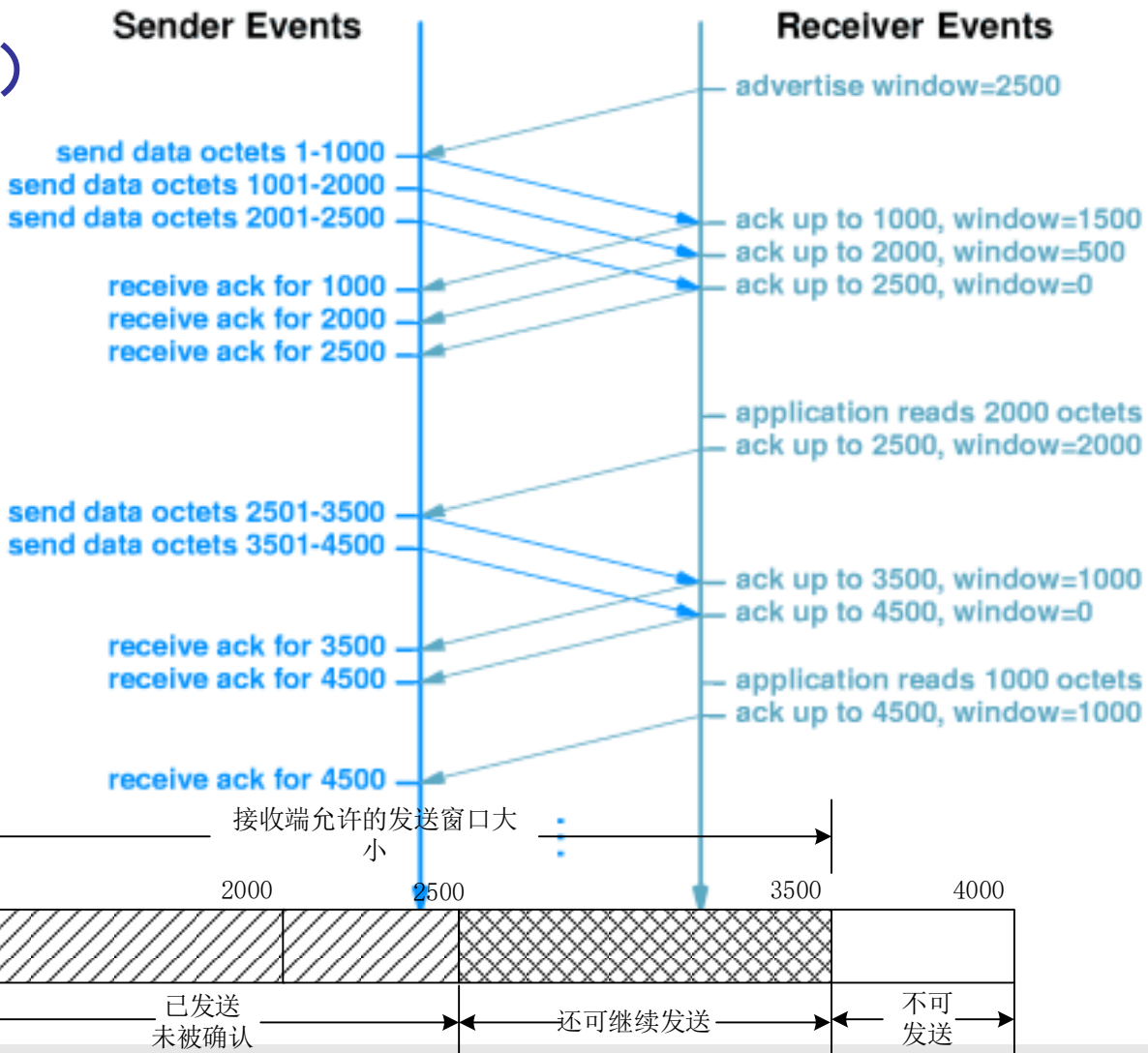
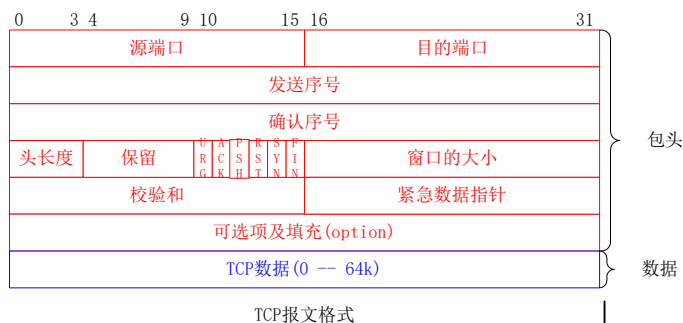
➤ 适应性重发

- 往返时间的估计加权
- 变化量的估计



TCP:传输控制协议

- 发送与接收缓冲区
- 窗口（剩余缓冲区空间）
 - 接收窗口通告
- 拥塞控制
 - 滑动窗口



TCP中的滑动窗口机制

➤ 连接释放方式

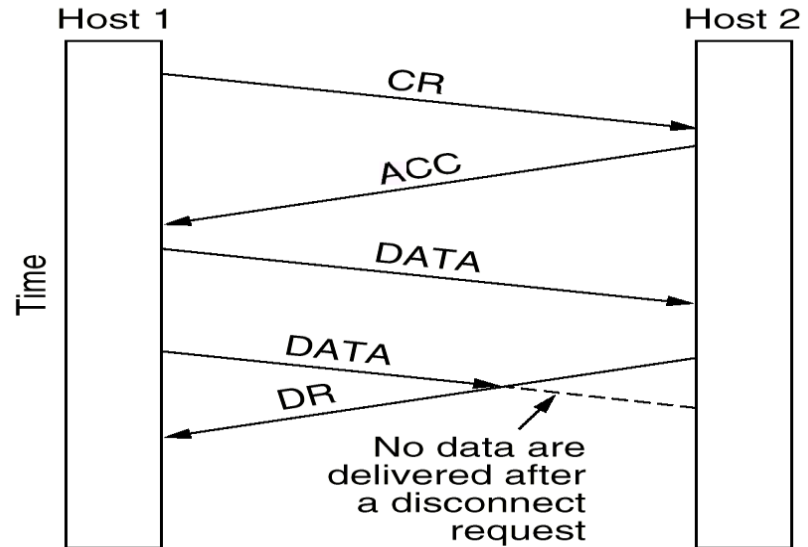
两种连接释放方法

– 非对称式

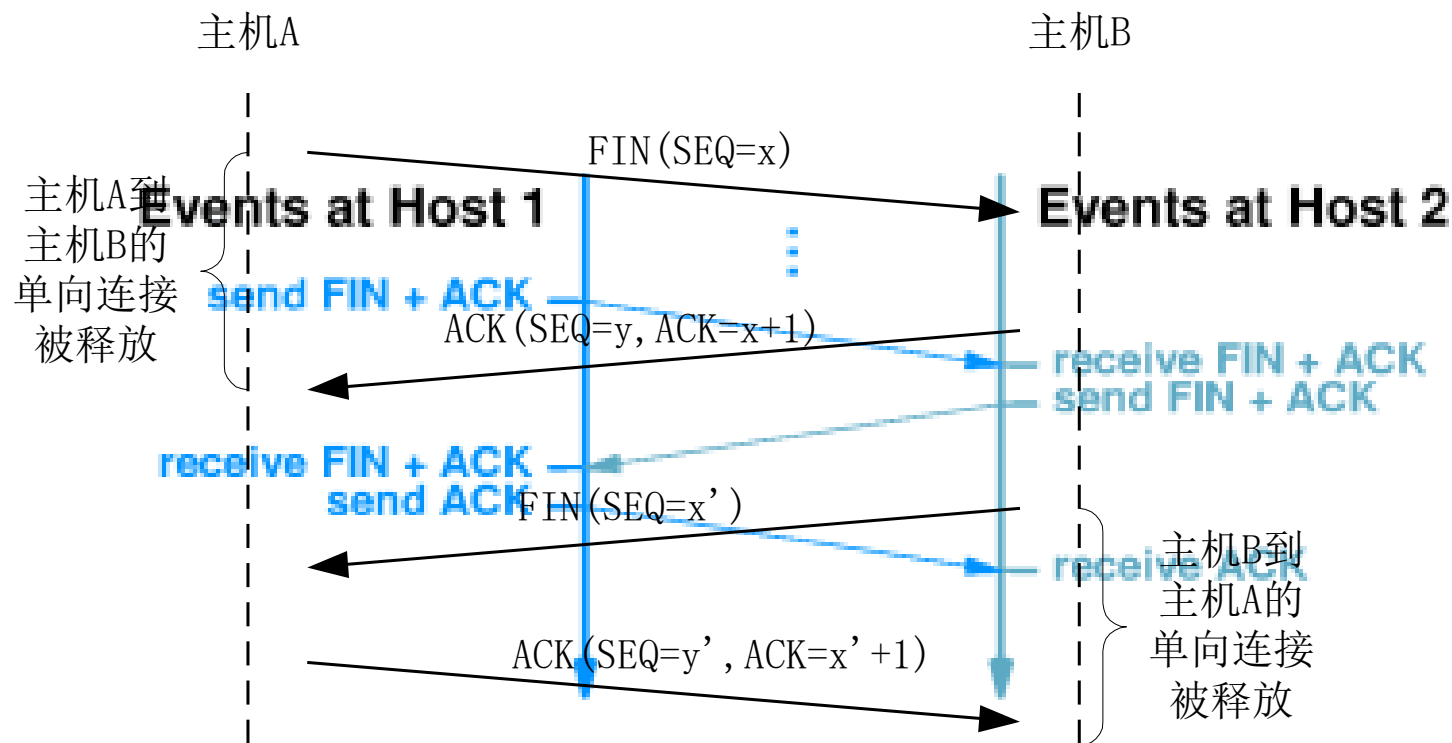
- 任何一方都可以关闭双向连接；存在丢失数据的危险；

– 对称方式

- 每个方向的连接单独关闭，双方都执行 DISCONNECT 才能关闭整条连接
- 使用三次握手 + 定时器的方法释放连接
在绝大多数情况下是成功的



➤ 释放TCP连接



TCP连接的释放过程

■UDP协议：提供应用程序之间传送数据报的基本机制

- UDP: 简单，无连接

- UDP增加内容

 - 端口：UDP能够区分在同一台主机上运行的多个程序；

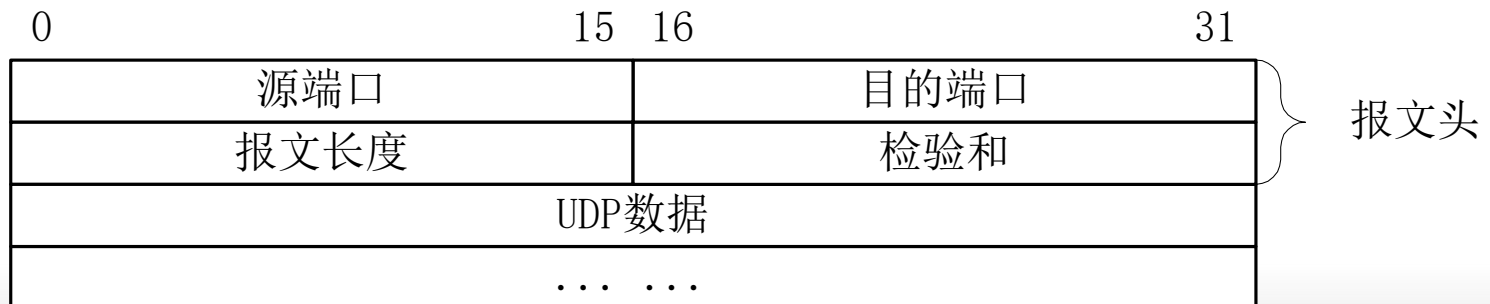
 - 检验和：确认数据有效

- UDP工作：

 - 不对发送数据缓冲

 - 保留各个消息之间的边界，不会把应用层多次发送的数据合并成一个包发送出去

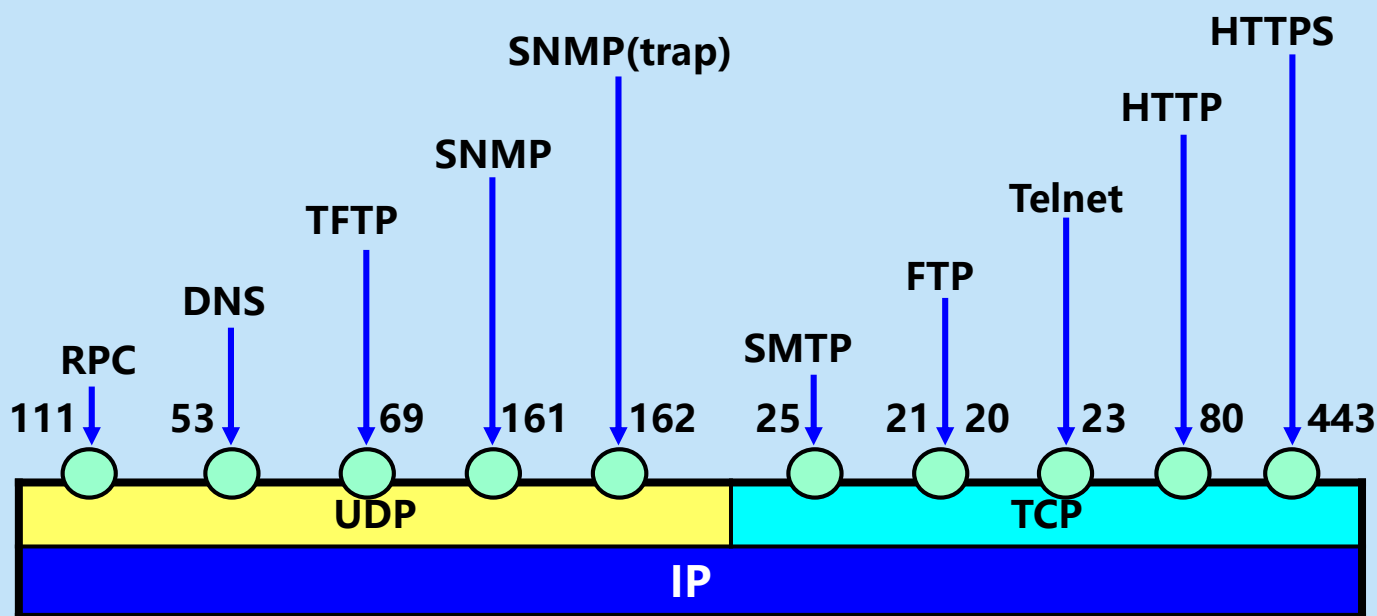
- 通过UDP协议，可以发送组播数据



UDP报文的格式

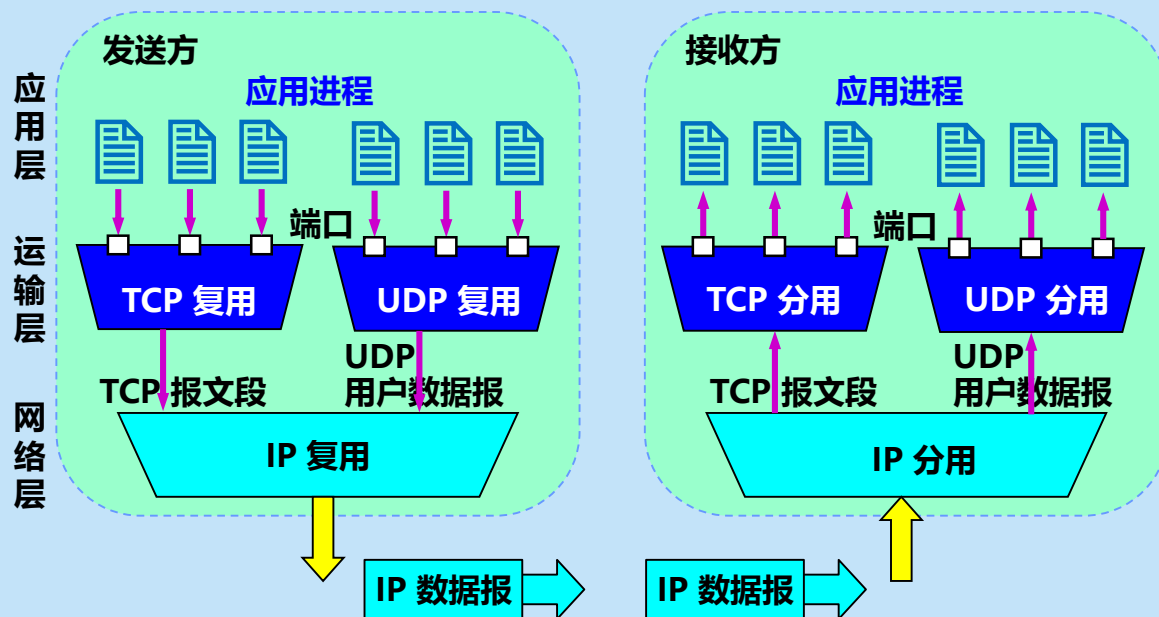
传输层

常用的熟知端口



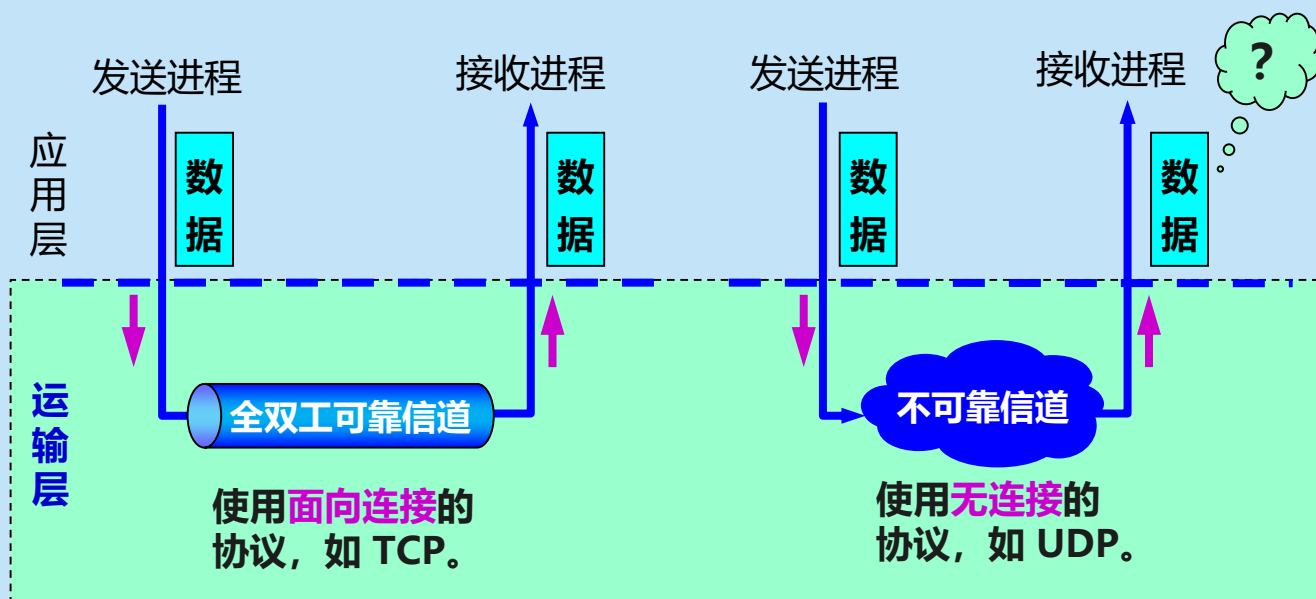
单位网络管理员如何禁止用户上网聊天、看剧、购物、游戏、.....?

基于端口的复用和分用功能



传输层

可靠信道与不可靠信道



TCP和UDP的比较

□ 服务性质

- 传输可靠性-TCP
- 传输开销-UDP
- 传输速度-UDP
- 传输类型
 - 是否广播

□ UDP使用场景

- DNS (Domain Name System, 域名系统)
- 实时音视频传输
- 在线游戏
- 物联网 (IoT) 设备通信
- 增强现实 (AR) 和虚拟现实 (VR)



移动通讯网



□ 模拟通讯

- 1973年4月3日
- 摩托罗拉公司发明, 马丁.库帕

□ GSM

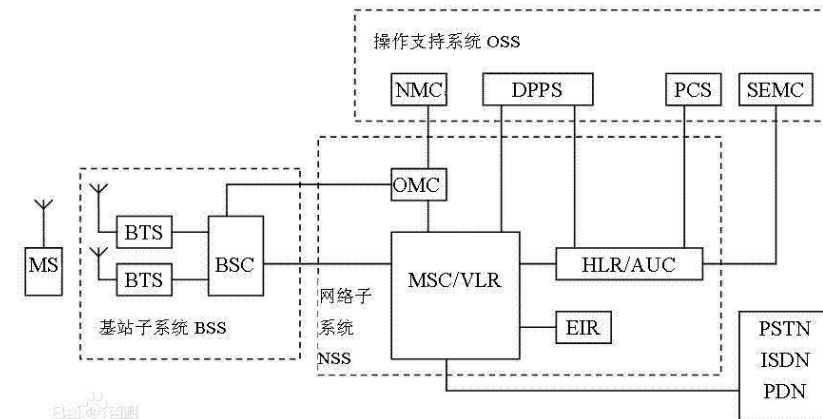
- 全球移动通信系统
- Global System for Mobile Communication
- 1991欧洲电信标准组织ETSI
- 900MHz, 1.8GHz

□ GPRS

- 通用分组无线服务技术
- General Packet Radio Service
- 56~114Kbps

□ CDMA

- 码分多址, Code Division Multiple Access
- 800MHz, 1.6GHz
- 1995



移动通讯网

□ 3G

- 第三代移动通信技术，是指支持高速数据传输的蜂窝移动通讯技术，1998-2008
- 同时传送声音及数据信息
- 下行3.6Mbit/s，上行384kbit/s

□ WCDMA

- 欧洲厂商
- Wideband CDMA 80%
- 中国联通

□ CDMA2000

- 美国高通北美公司
- 中国电信

□ TD-SCDMA

- Time Division-Synchronous CDMA（时分同步CDMA）
- 中国移动



移动通讯网

□ 4G

- 第四代移动通信技术
- **TD-LTE**, FDD-LTE
- LTE (Long Term Evolution, 长期演进)
- 20Mbps, 甚至最高可以达到高达100Mbps
- 中国主导制定的TD-LTE-Advanced和FDD-LTE-Advanced同时并列成为4G国际标准



□ 5G

- 网速可达200Mbps – 1Gbps
- 支持智能设备, 自组织网络
- 2019年3月30日, 首个行政区域5G网络-上海

5G

□ 网络结构

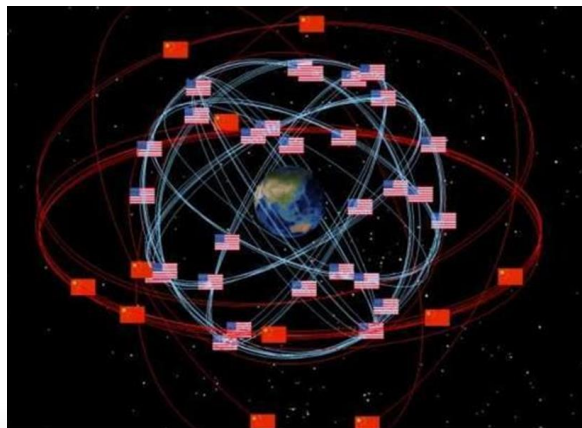
- 物理网络层
- 中间环境层
- 应用网络层



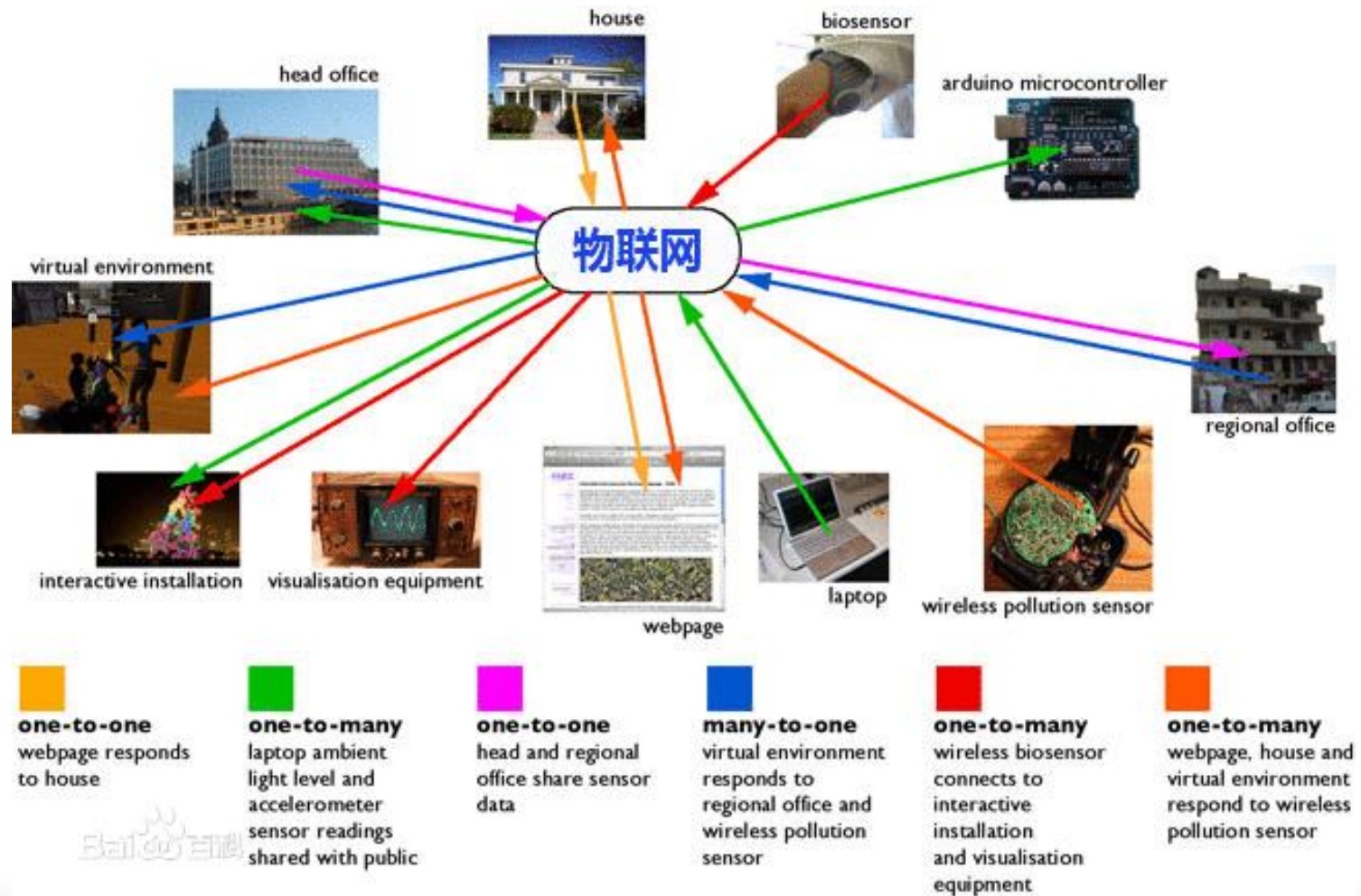
卫星通讯

- GPS-美
- GLONASS-俄
- GALILEO-欧
- 北斗-中

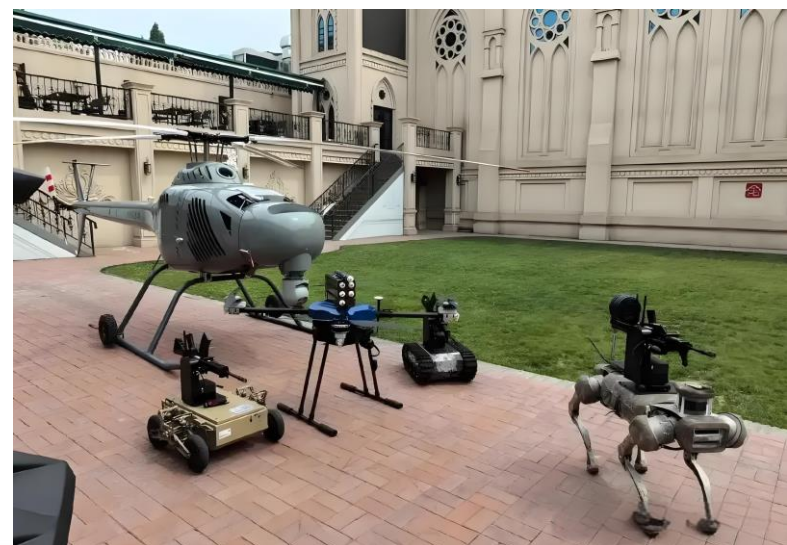
- 短报文通信：北斗系统用户终端具有双向报文通信功能，用户可以一次传送40-60个汉字的短报文信息



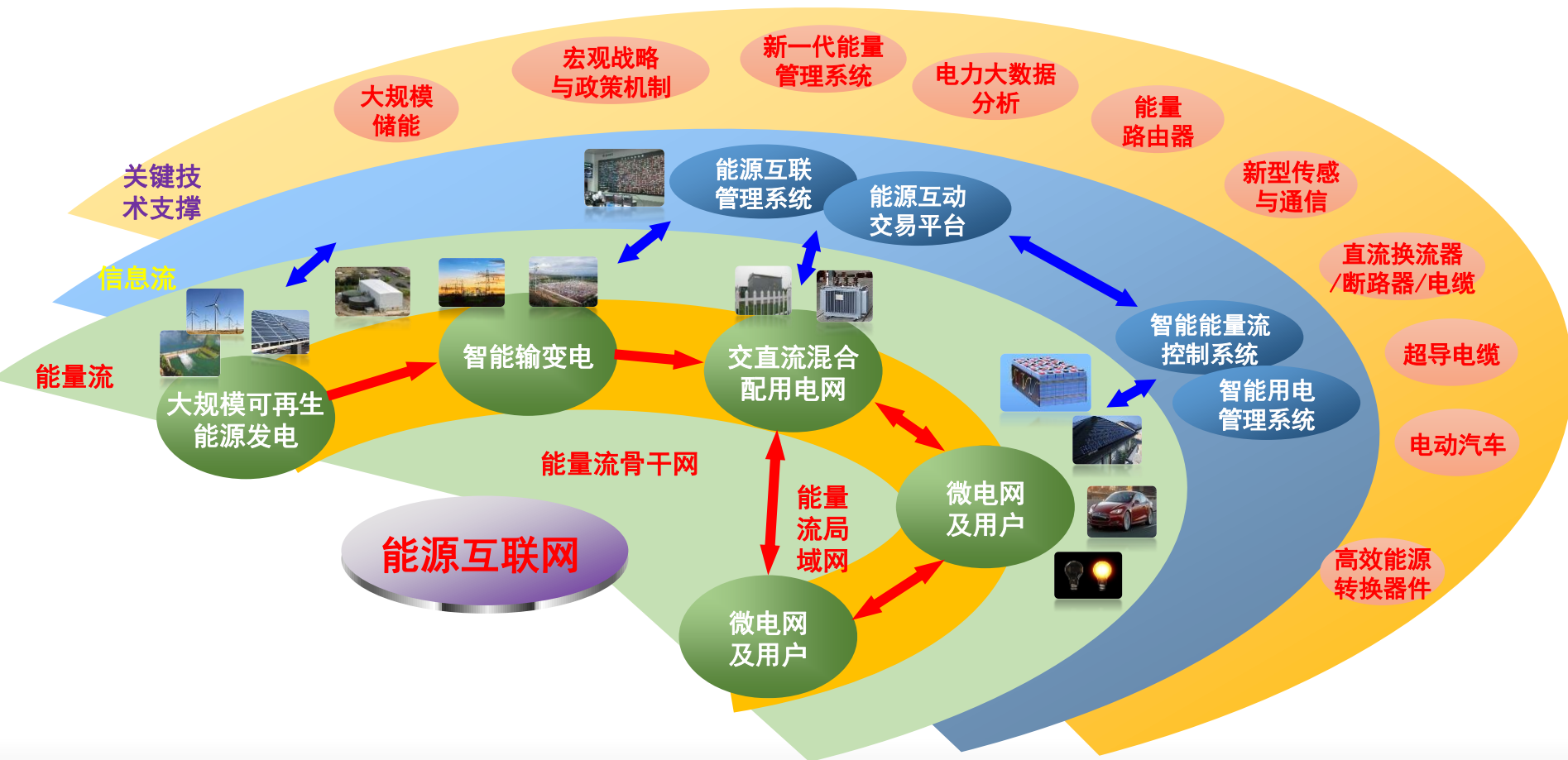
物联网



单兵作战系统



互联网架构



谢 谢

请不要将课件上传到公共网络平台上~~