

计算机网络：课程总结

华中科技大学电子信息与通信学院
通信工程系
陈京文

Email: jwchen@hust.edu.cn

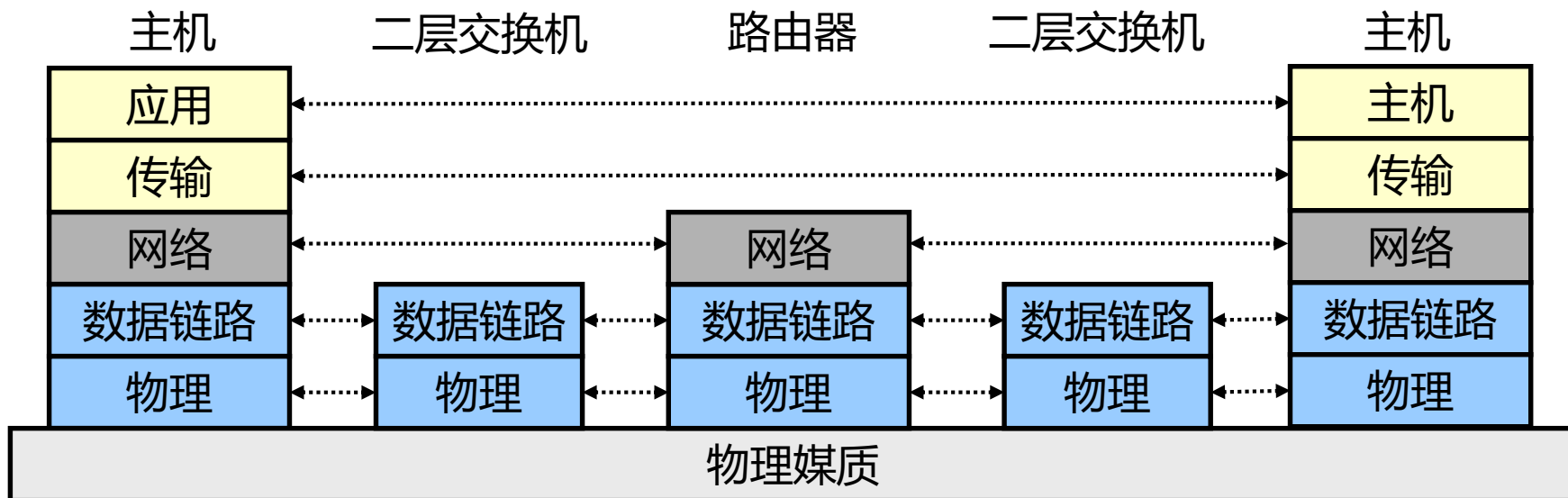
2020.11.18



内容提要

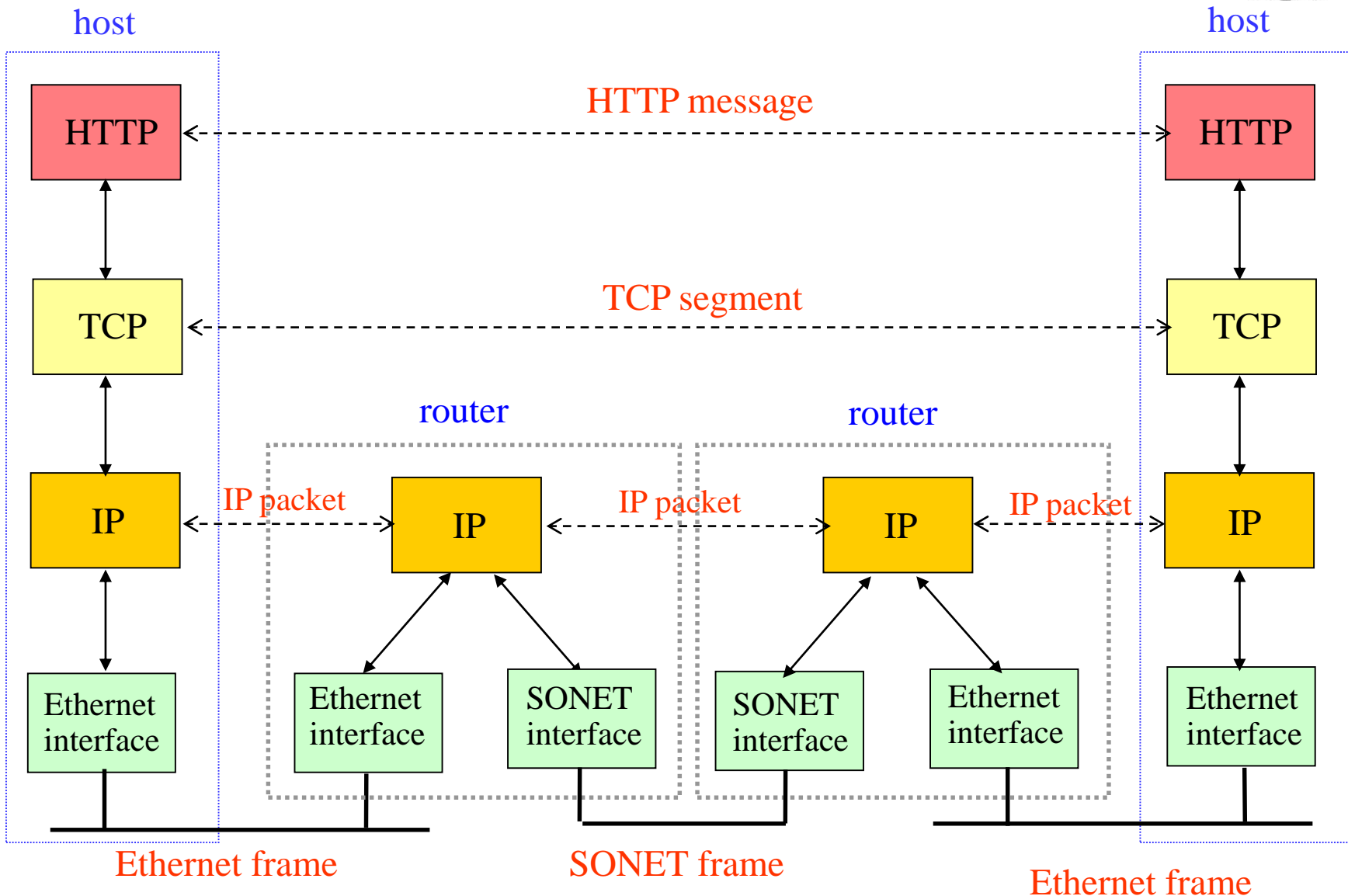
- 计算机网络：分层的信息传递
- 自底向上视角：连通节点
- 自顶向下视角：端到端信息传输
- 共性网络技术

计算机网络体系架构：分层



- 各层的功能及含义
- OSI参考模型与Internet架构比较
- 不同类型节点所实现的层及其功能、相关基本问题

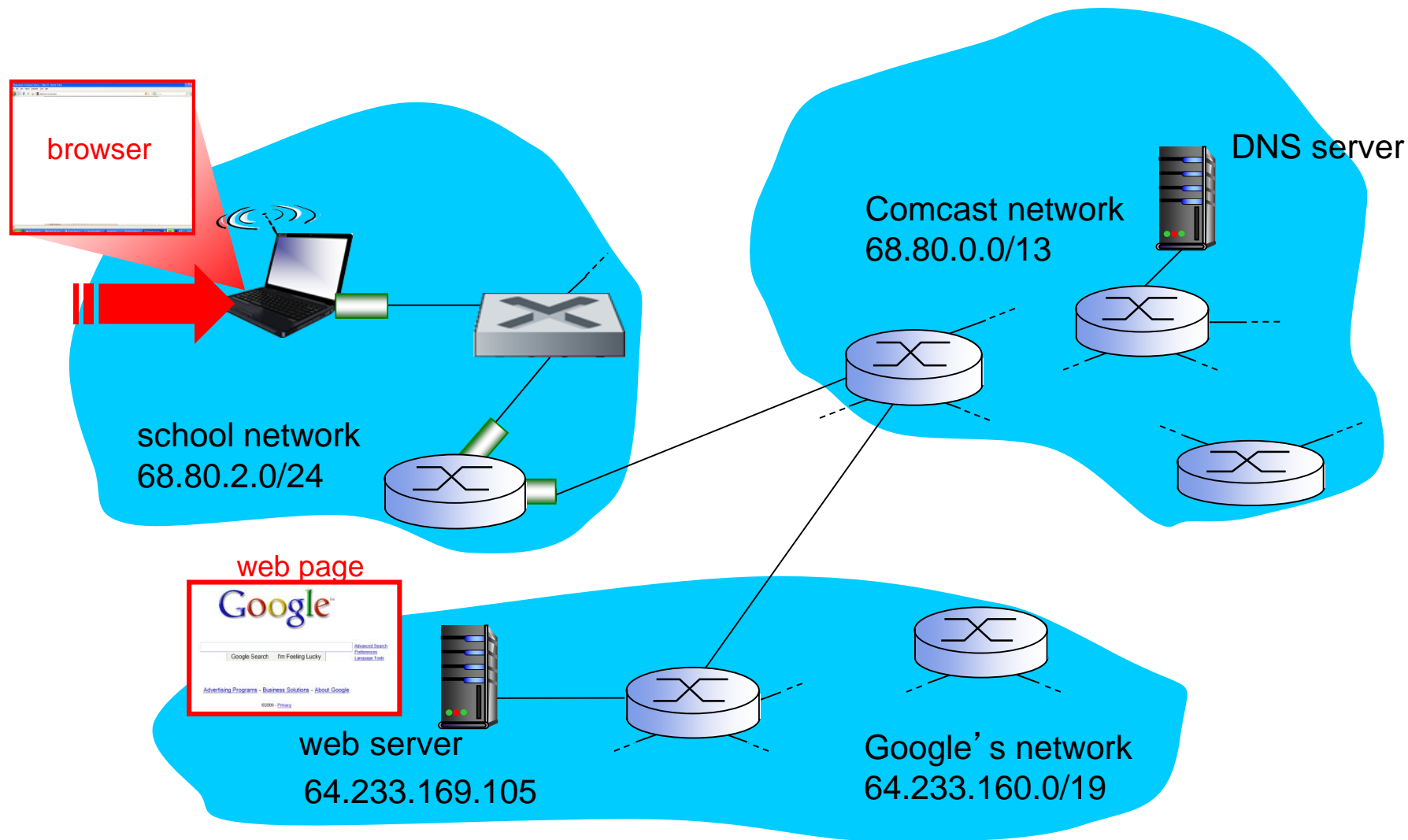
节点及层间数据传输示例



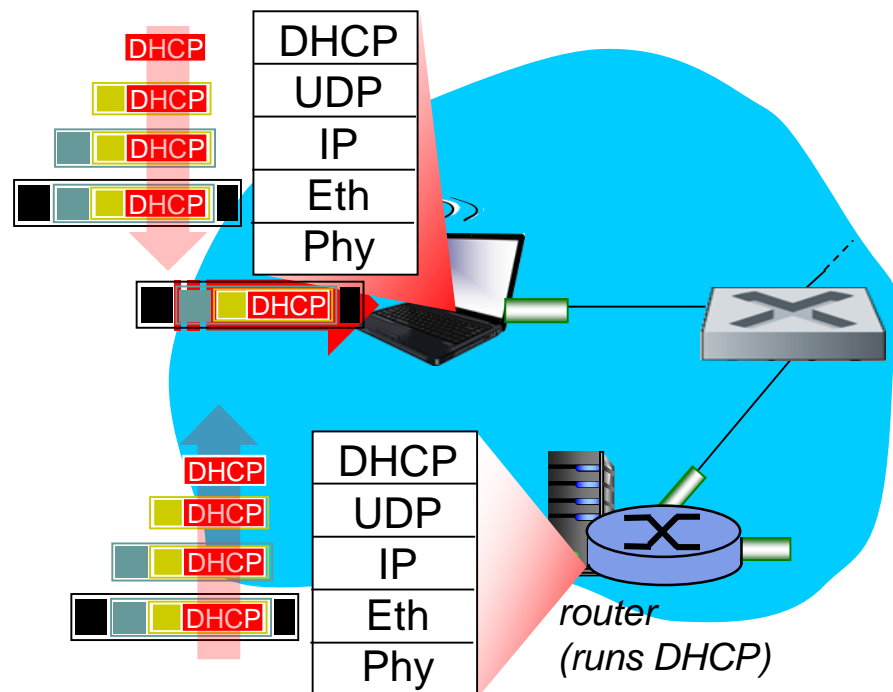
网络性能

- **吞吐量**：分组流输出速率
 - **单个分组流视角**：一个分组流经网络传输的流量输出速率
 - 影响因素：输入流量，共存分组流，传输路径及链路容量，节点输出调度，...
 - **网络系统视角**：网络所有输出流量速率之和
 - 影响因素：输入流量，网络容量
- **时延**
 - 构成元素：传播，传输，排队，(节点处理)
- **时延带宽积**
 - 采用单向时延：对应于网络中“飞行”的分组数据量
 - 采用**往返时延(RTT)**：主要是考虑滑动窗口算法中的确认返回时间

网络应用示例：Web访问

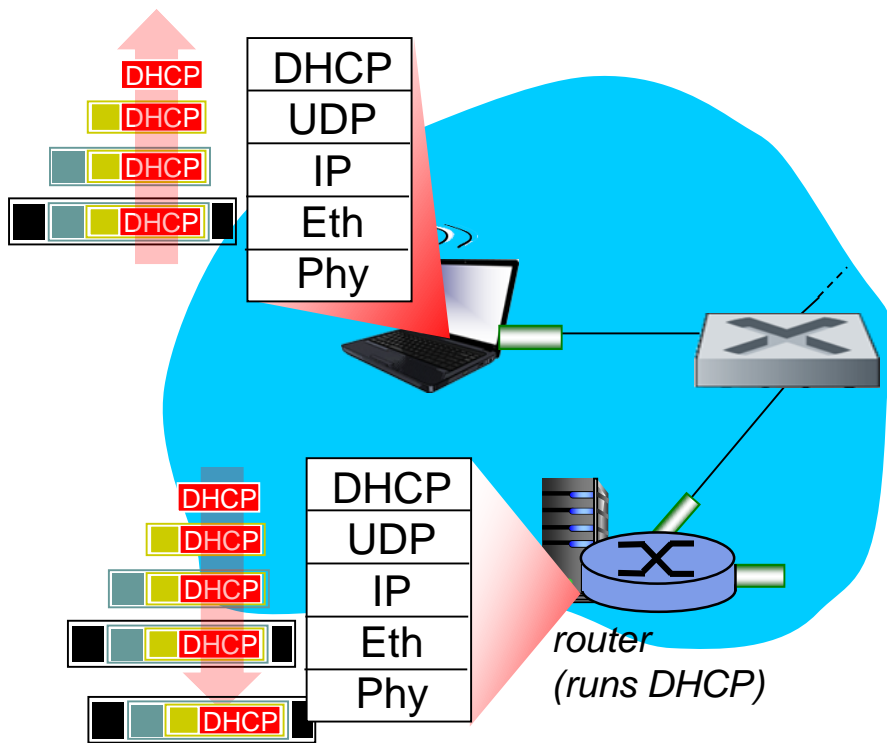


连接至Internet



- 终端主机连接至Internet，需要配置主机IP地址、缺省(首跳)路由器IP地址、DNS服务器IP地址：如采用**DHCP**
- DHCP请求消息依次封装于**UDP**报文段、**IP**数据报、**802.3**以太网帧中传输
- 以太网帧在局域网中**广播**(目的地址: **FFFFFFFFFFFFFF**)，被同时运行着DHCP的路由器收到
- 数据由以太网依次**解复用**至IP、UDP、DHCP

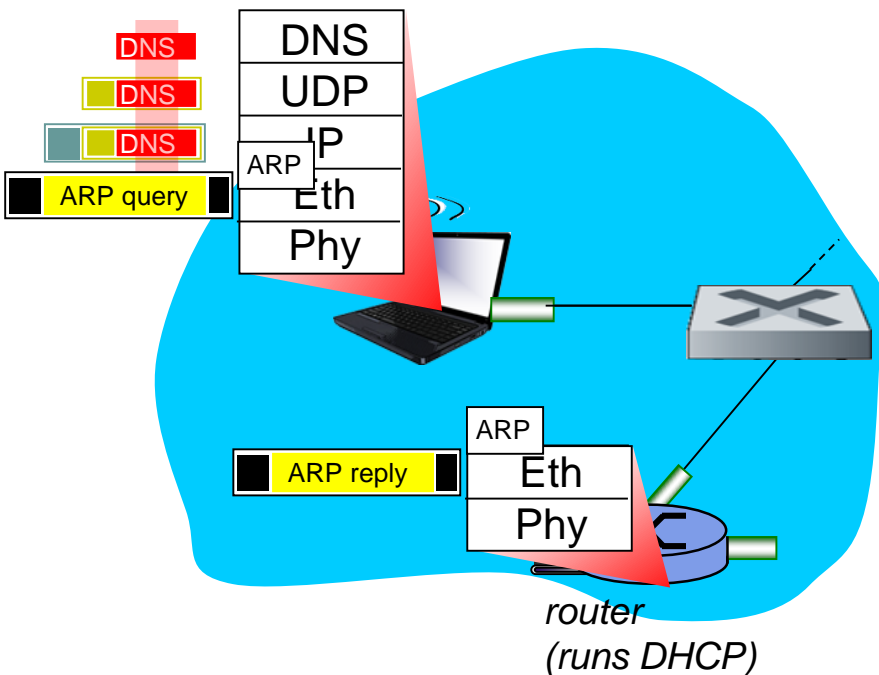
连接至Internet (续)



- DHCP服务器生成**DHCP ACK**消息，包含客户端IP地址、首跳路由器IP地址、DNS服务器的IP地址及名字
- DHCP服务器依次封装后的帧，通过LAN转发(转发表基于**自学习**)，客户机解复用
- 客户机中的DHCP客户端收到DHCP ACK消息

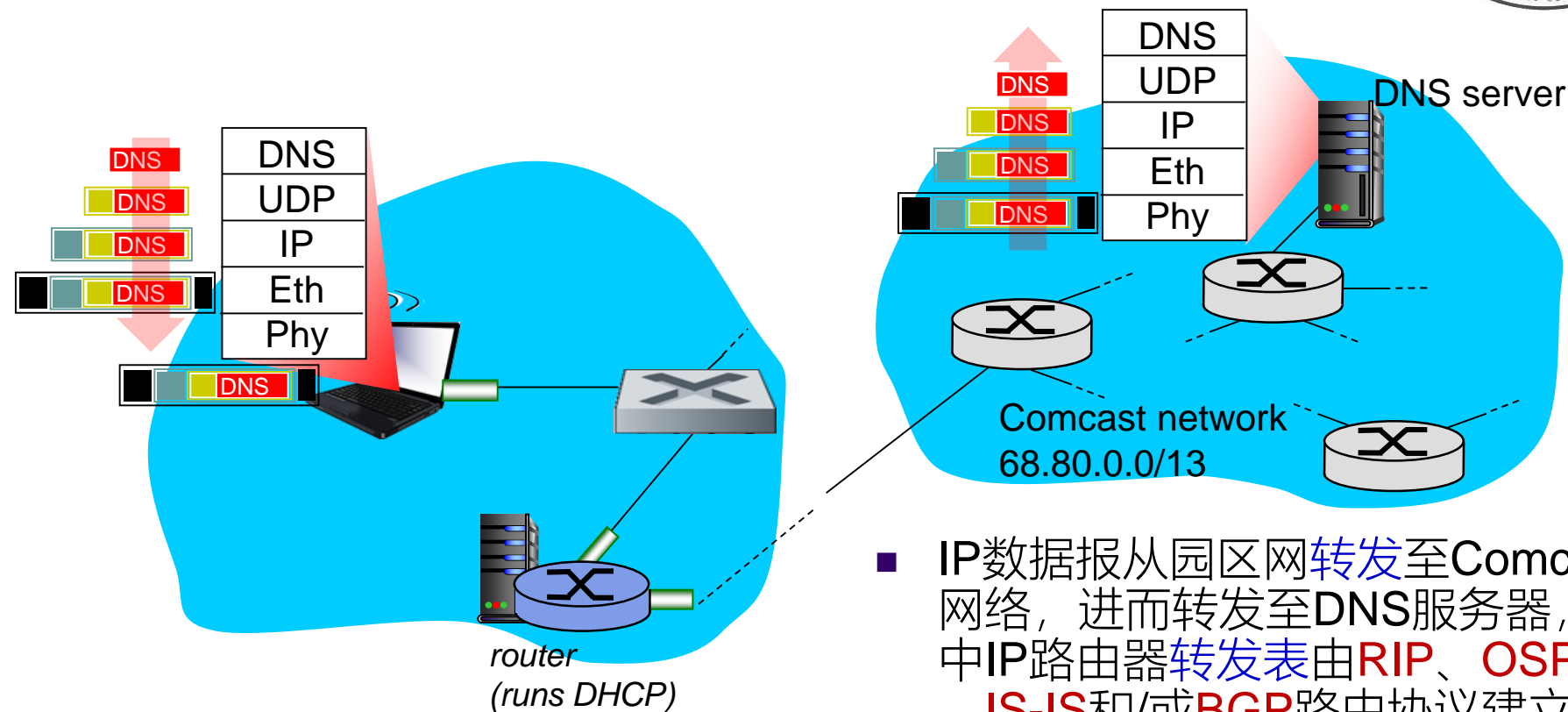
客户机现在获得IP地址，获知首跳路由器IP地址、DNS服务器的IP地址及名字

ARP



- 发送**HTTP Request**消息之前，需要知道**www.google.com**的地址信息：**DNS**
- **DNS Query**消息依次封装于**UDP**报文段、**IP**数据报、**Ethernet**帧；欲发送该帧至首跳路由器，需要获知其**MAC**地址：**ARP**
- **ARP Query**消息在**LAN**中广播，首跳路由器收到后，回复以**ARP Reply**消息，给出其网络接口的**MAC**地址
- 客户机现在知道首跳路由器的**MAC**地址，因此可以发送包含**DNS Query**的帧

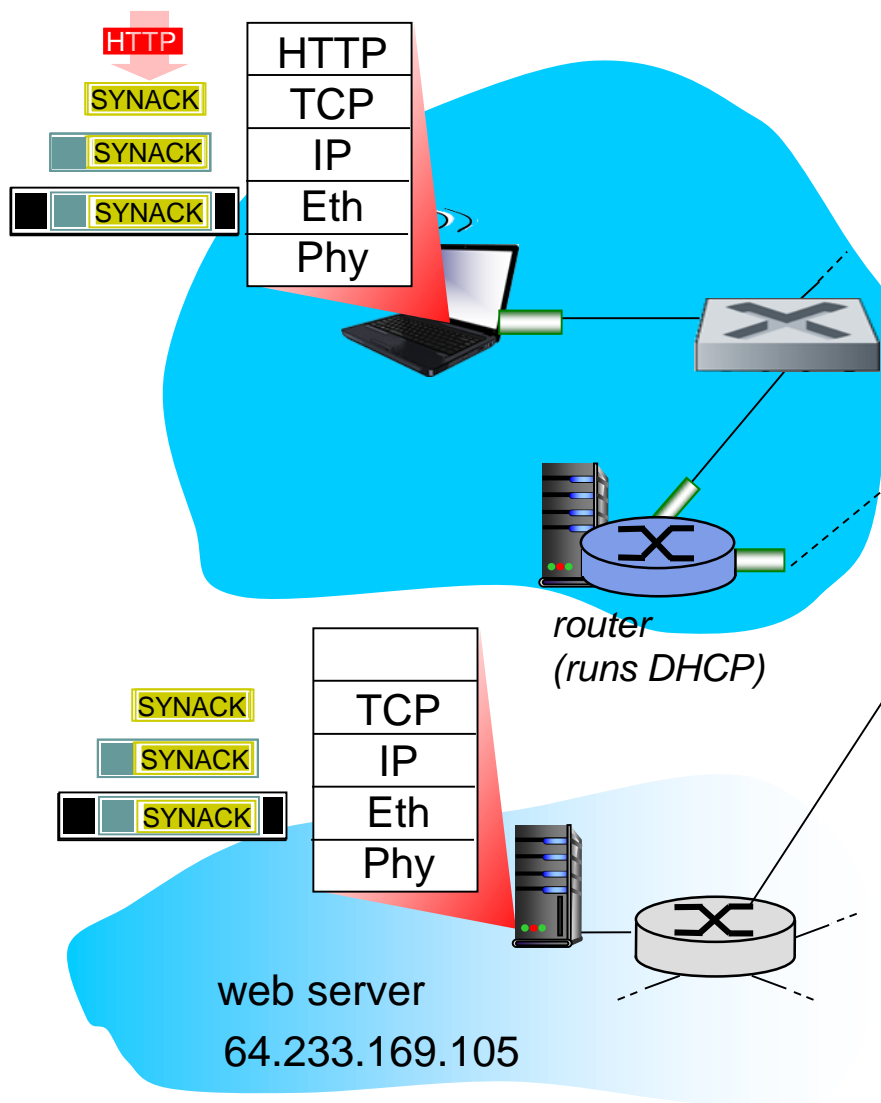
使用DNS



- 包含DNS Query的IP数据报，经由LAN交换机转发至首跳路由器

- IP数据报从园区网转发至Comcast网络，进而转发至DNS服务器，其中IP路由器转发表由RIP、OSPF、IS-IS和/或BGP路由协议建立
- 解复用至DNS服务器
- DNS服务器回复以www.google.com的地址信息

TCP连接建立

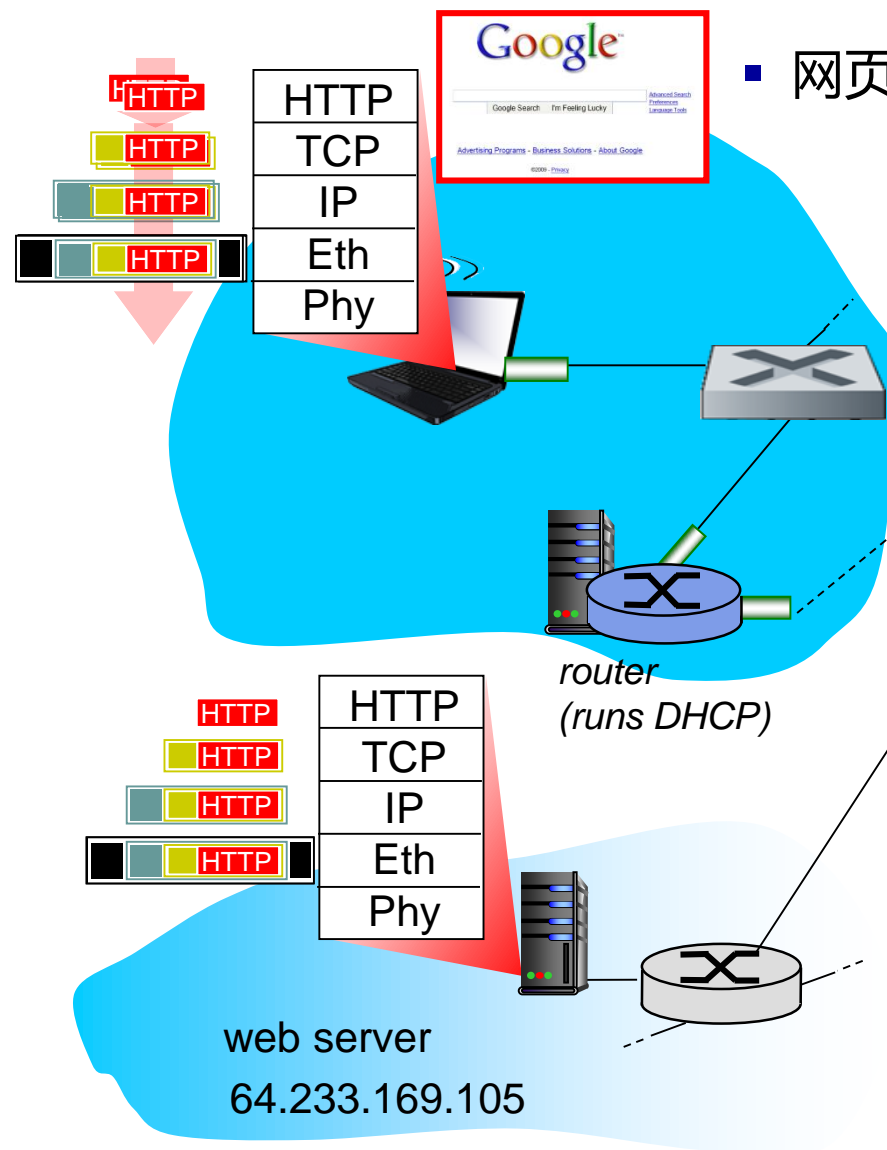


- 发送HTTP request之前, 客户端首先建立一个至Web服务器的**TCP连接**
- TCP **SYN**报文段(三次握手的第一步)封装后转发至 Web 服务器
- Web服务器回复以TCP **SYN+ACK**报文段(三次握手第二步)
- 客户端回复TCP ACK报文段, 从而建立了TCP连接

HTTP请求/回复

■ 网页内容最终显示出来!

- HTTP Request经由TCP连接发送
- 包含HTTP Request的IP数据报转发至www.google.com
- Web服务器回复以HTTP Reply消息(包含网页内容)
- 包含HTTP Reply的IP数据报转发至客户端





内容提要

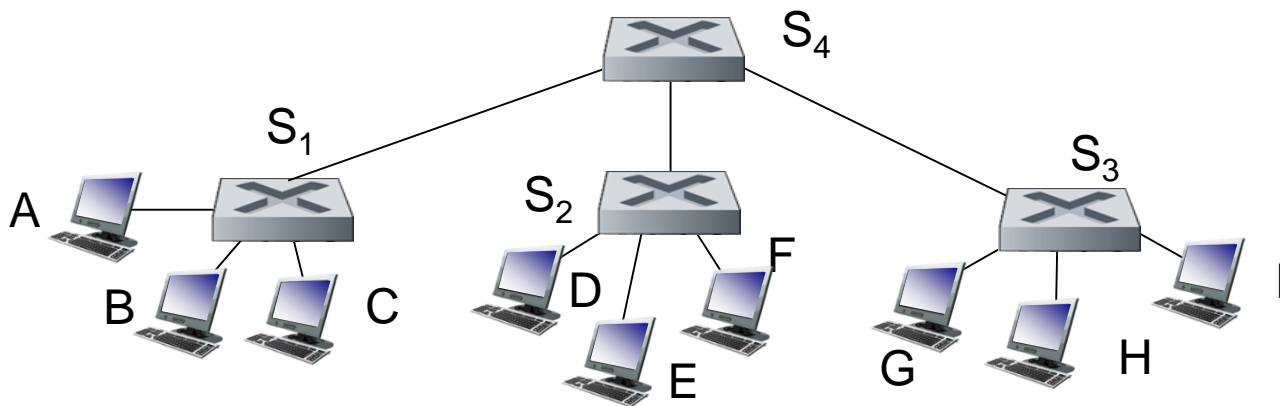
- 计算机网络：分层的信息传递
- 自底向上视角：连通节点
- 自顶向下视角：端到端信息传输
- 共性网络技术

网络连通：物理层/数据链路层



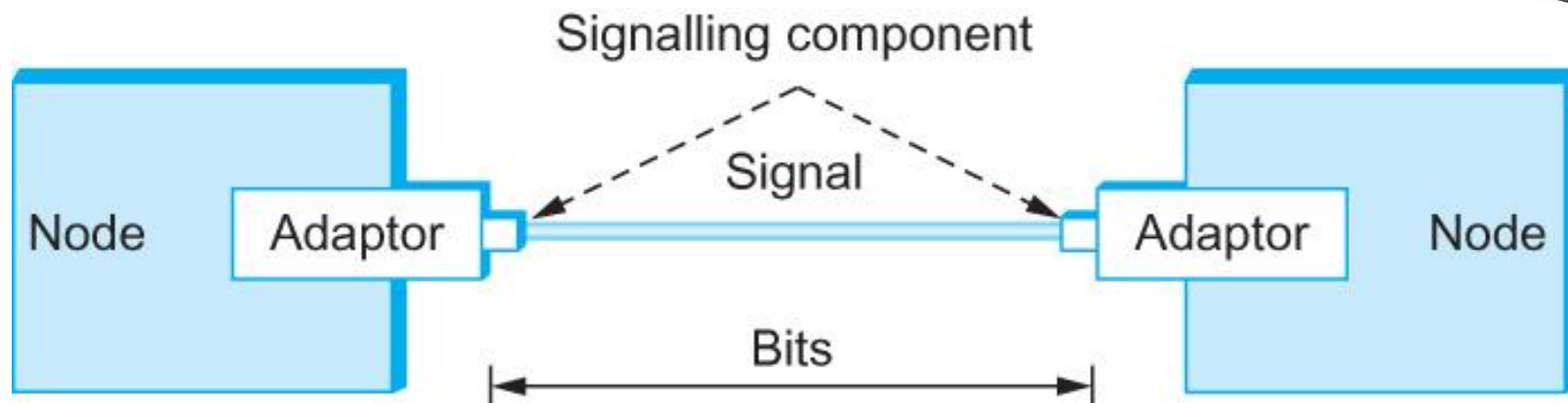
无线局域网

其它类型？



交换式以太网局域网

物理层

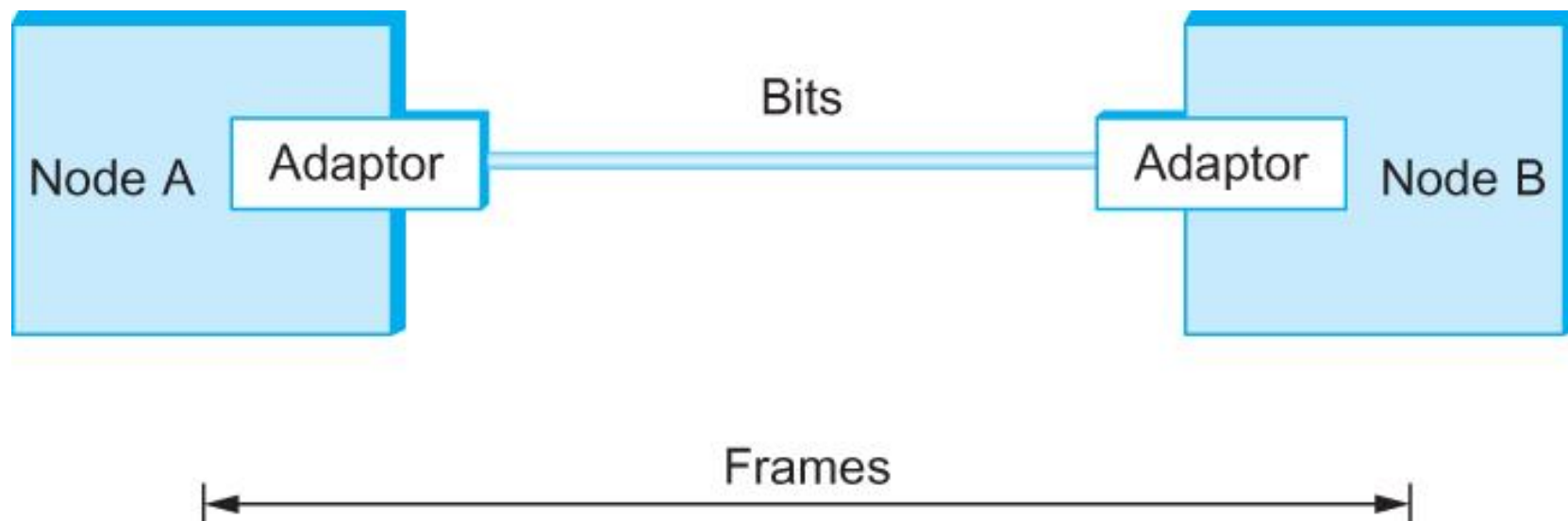


- 在物理链路上**传输原始比特流**
- 物理链路
 - 有线，无线
 - 直连链路，租用专线
 - 点到点，广播
- 编码
 - NRZ, NRZI, Manchester, 4B/5B

数据链路层：基本问题

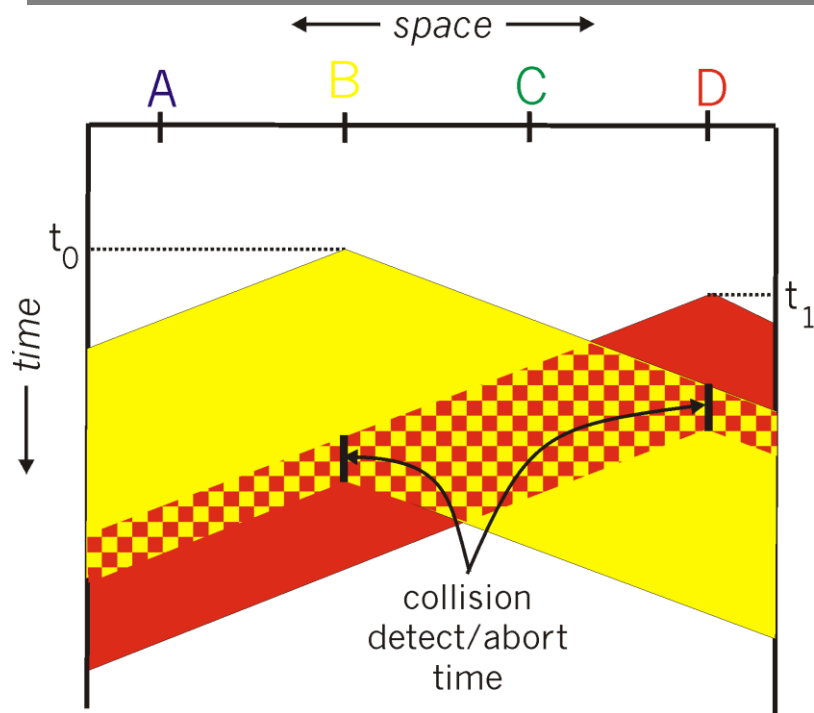
- 成帧
 - 给定收到的一系列连续的比特，如何确定相应的数据帧(不可分割的数据块)，即确定帧的起始和结尾
- 差错检测
 - 检测数据帧传输过程中产生的错误
- 可靠传输
 - 纠正可能的传输错误，实现数据帧的可靠传输
- 媒体接入控制(MAC)
 - 协调多台主机对于共享链路的接入(使用)
- 分组交换
 - 如何转发分组(帧)

直接链接(1)



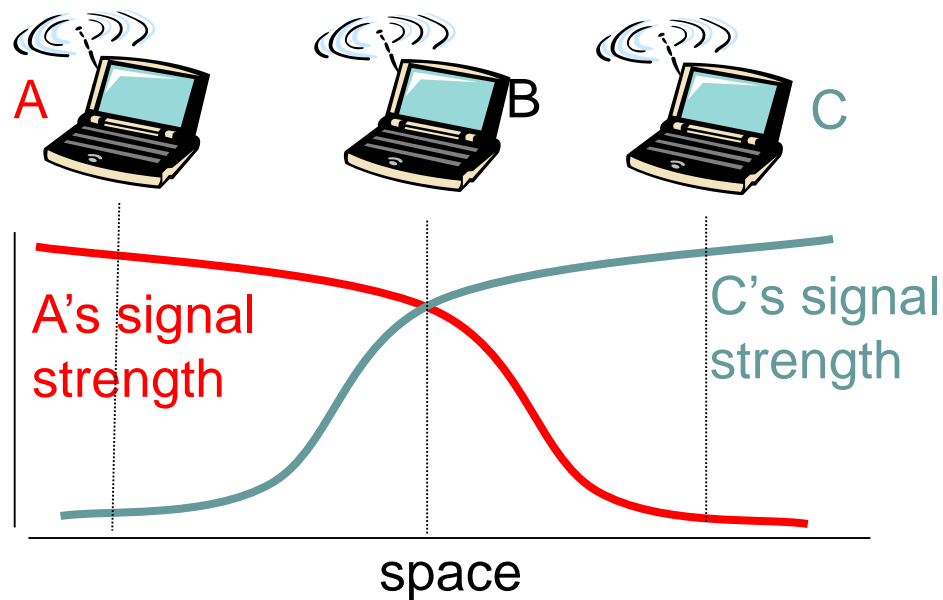
- 在邻接的两个网络接口之间传输帧
- 成帧：面向字节，面向比特
- 差错检测：二维奇偶校验，CRC
- 可靠传输：滑动窗口 —— 确认，超时，重传

直接链接(2)



以太网(共享式)

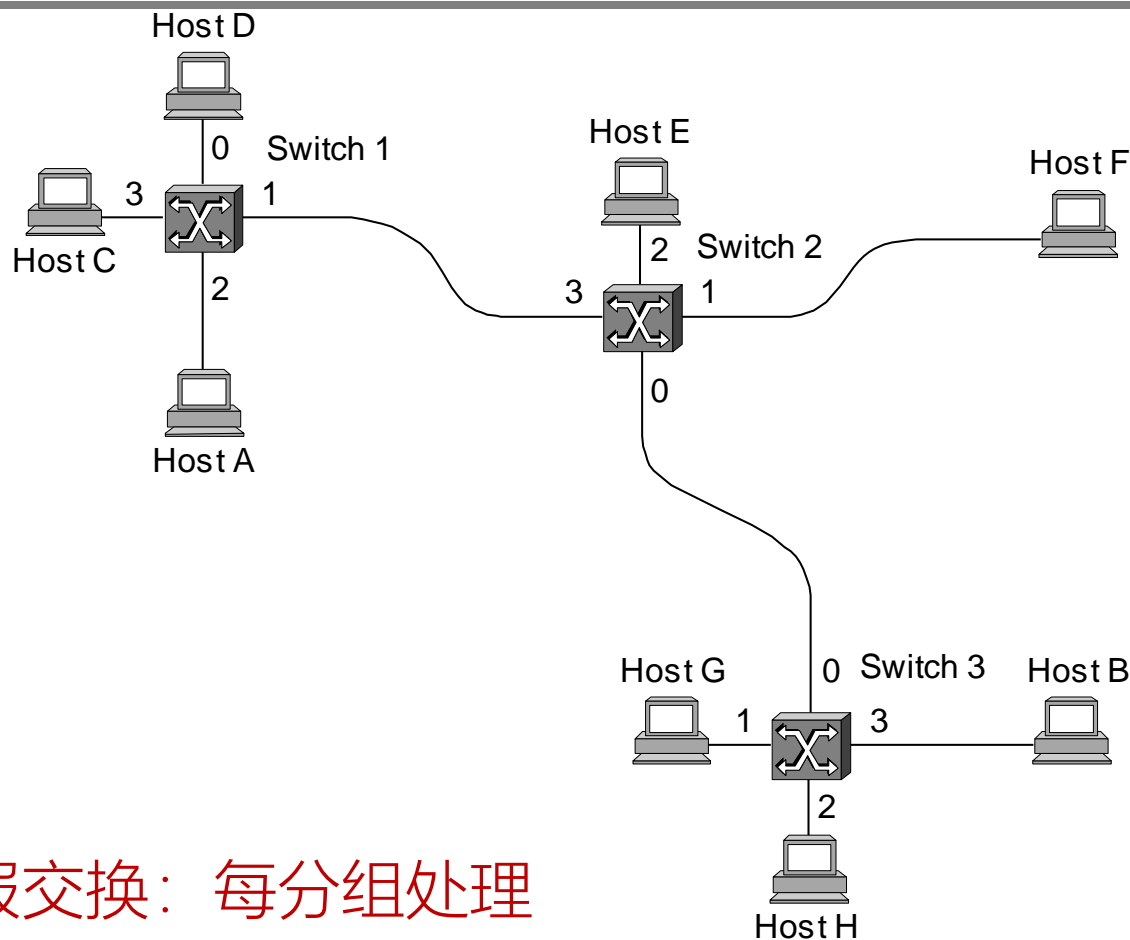
- 帧结构, 最小长度
- 媒体接入控制: **CSMA/CD**



无线局域网

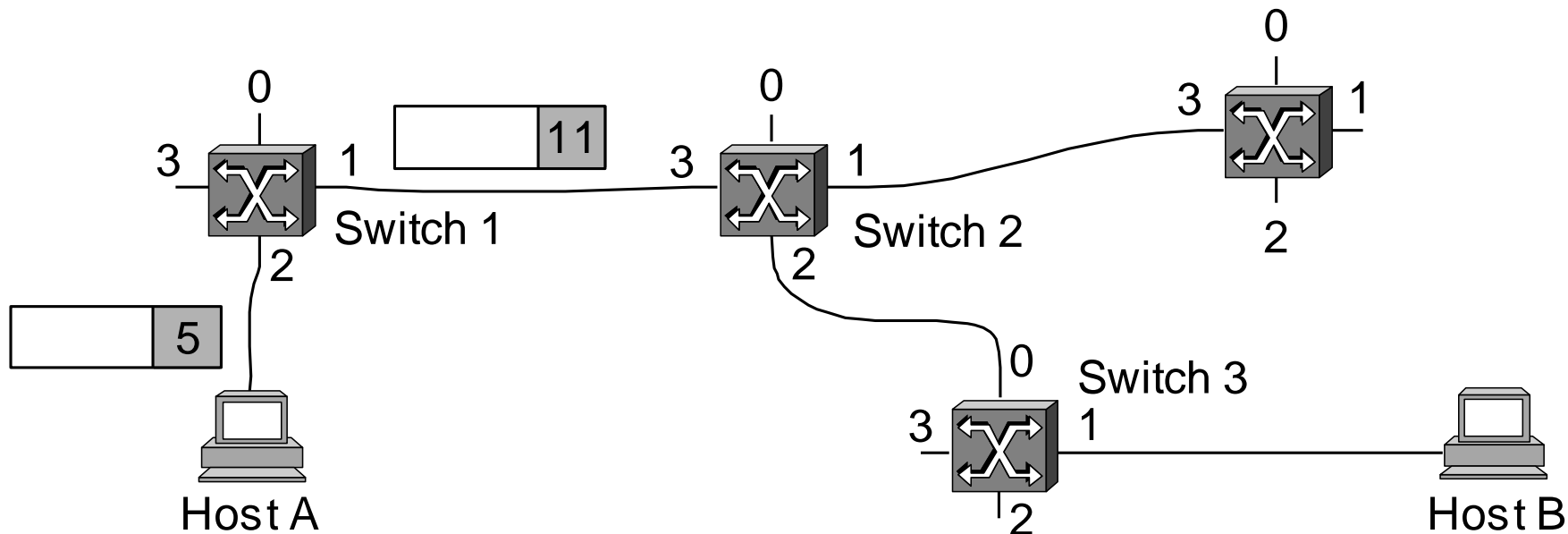
- 基本限制, **MACA**

交换网络(1)



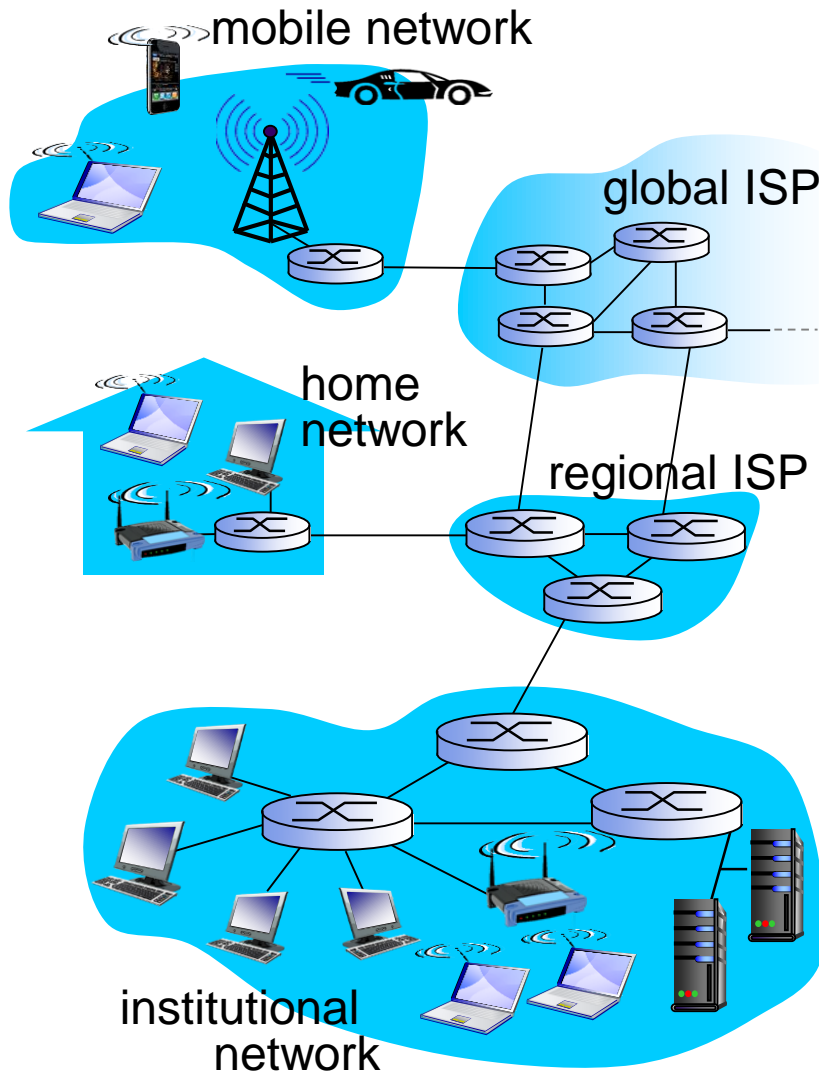
- 数据报交换：每分组处理
 - 每收到一个分组，查询交换/转发表以确定输出端口，存储转发
- 交换/转发表的建立和维护
 - 网桥/局域网交换机：自学习，生成树

交换网络(2)



- **虚电路交换**：基于逻辑连接(即虚电路)
 - 每个分组包含虚电路号(VCI)，用于虚电路表查找的索引
- 虚电路表的建立和维护

网络连通：网络层





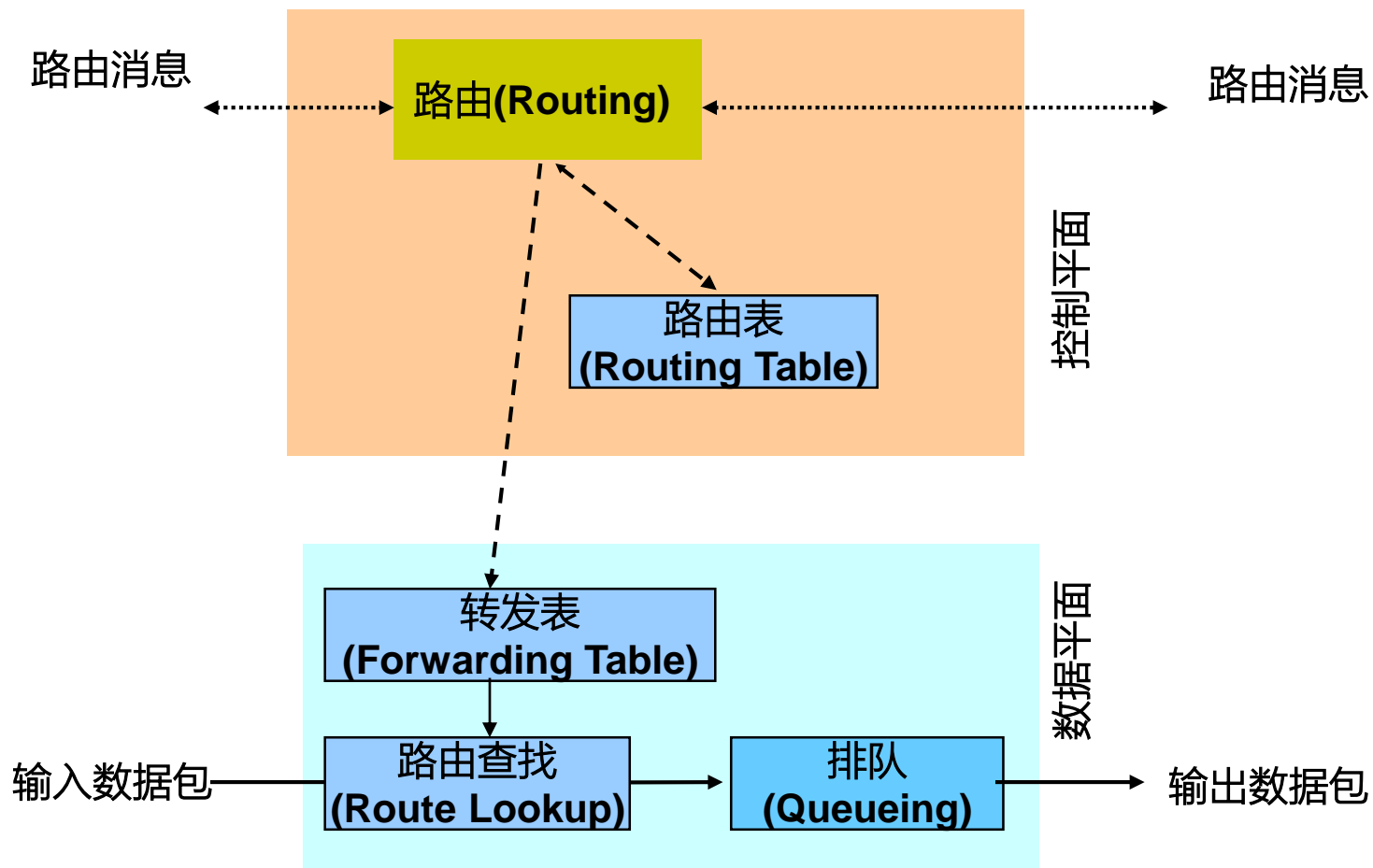
网络层：互联网络

- 在互联的网络中的**主机之间传输分组**
 - 由于互相连接的网络的异质性，这一功能也称之为**网络互联(internetworking)**
- 基本问题
 - **服务模型**：提供何种传输服务
 - **编址**：辨识主机
 - **分组转发**：数据报，虚电路
 - **路由**：计算任意两个节点之间的传输路径

IP

- IP服务模型：最小服务
 - 数据报传送，尽力交付服务
- IP编址：网络号 + 主机号
 - 初始方案：有类别的 — A, B, C, ...(D, E)类地址
 - 改进：子网划分，CIDR
- IP数据报传输
 - 分段与重组
 - 基于转发表的数据报转发：最长前缀匹配
- 辅助协议
 - ARP, DHCP, ICMP

路由与转发



路由算法

- 路由问题：寻找任意两个节点之间的**最小开销路径**
 - 拓扑信息分发，路由计算
 - 对于数据报交换而言，通常为**最小开销路径对应的下一跳**
- **距离向量路由**
 - 每个路由节点**告知其直接相连节点(邻居)其距离向量(拓扑信息)**
 - 基于收到的距离向量，每个路由节点**计算优化自己的距离向量、至其他节点路径的下一跳**
- **链路状态路由**
 - 每个路由节点**洪泛其链路状态(拓扑信息)至所有其它所有节点**
 - 基于收到的链路状态，建立全网络拓扑的视图，每个路由节点**计算至所有其它节点的最短路径路径对应的下一跳**

网络层：路由协议

- Internet路由：两层式(2-tiered)
 - 域内(Intra-domain)路由：自治系统(AS)内部
 - 域间(Inter-domain)路由：自治系统之间
- 域内路由：RIP, OSPF
 - 最短路径路由
- 域间路由：BGP
 - 可达性优于最优性
 - BGP简介

连通节点：中间节点

- **集线器(Hub)**：物理层设备
 - 将从一个端口收到的原始比特复制到所有其它端口 — 广播分组
 - 单一类型的局域网协议
- **交换机(Switch)**：通常指数据链路层交换机
 - 通过选定端口转发分组
 - 单一类型的局域网协议
- **网桥(Bridge)**：数据链路层设备
 - 桥接(连接)多个局域网，即在连接的局域网之间转发分组
 - 早期网桥通常只有少数端口，连接不同类型的共享式局域网
 - 现代的二层(数据链路层)交换机相当于多端口网桥
- **路由器(Router)**：网络层设备
 - 在互联的网络之间转发分组



内容提要

- 计算机网络：分层的信息传递
- 自底向上视角：连通节点
- 自顶向下视角：端到端信息传输
- 共性网络技术

网络应用

- 网络应用：数据传输真正的源和目的地
 - 多样性
 - 存在共性的功能需求，如可靠传输
 - 通信模式：请求/响应(request/reply)，消息流(message stream)
 - 网络应用的服务需求：数据丢失，带宽，时间敏感性
- 网络应用层
 - 模式：C/S、P2P
 - 域名服务和DNS
 - Web和HTTP：消息及含义，Web与对象
 - NAT：如何扩展IPv4地址空间

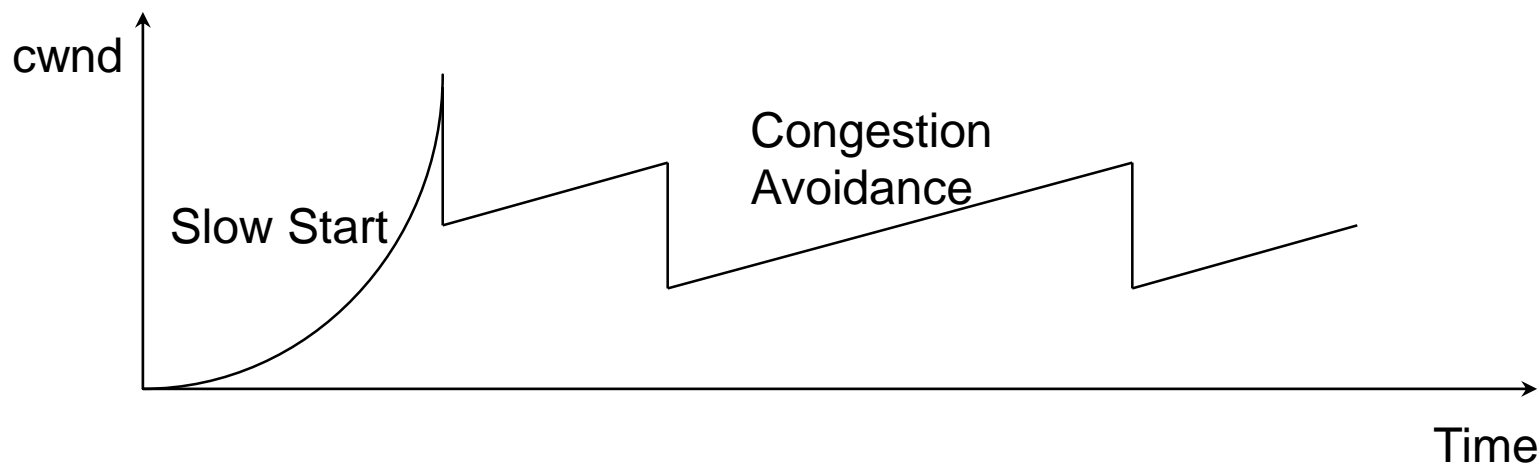


传输层(1)

- 提供运行在终端主机中的应用进程之间的逻辑通信
 - 基于网络层提供的服务，服务于应用层协议，也称为端到端协议
- 技术挑战：克服底层网络服务的不足，为应用进程提供其所期待的服务
 - 自适应重传，流量控制，拥塞控制
- UDP：在IP基础上加了一层复用
- TCP：基础
 - 字节流传输
 - 基于端口的复用
 - 连接：建立与终止

传输层(2)

- TCP滑动窗口算法：不仅仅是数据可靠传输
 - 自适应重传
 - 快速重传
 - 流量控制：发送窗口大小受接收方的影响
 - 拥塞控制：发送窗口大小受到网络拥塞水平的影响
 - 网络拥塞及控制基本概念， AIMD， 慢启动， 快速恢复





内容提要

- 计算机网络：分层的信息传递
- 自底向上视角：连通节点
- 自顶向下视角：端到端信息传输
- 共性网络技术



共性问题与技术机制

- 编址
- 交换
- 路由
- 可靠数据传输
- 流量控制
- 拥塞控制
- 资源分配

编址

- 地址：用于识别网络系统中一个实体的字符串
 - 数据传输、复用、内容访问必需的功能
 - 对于主机之间数据传输而言，编址方案与交换技术相关
- 数据链路层编址：MAC地址
- 网络层编址：主机地址，如IP地址
- 传输层编址？
- 应用层编址？

交换

- 交换 —— 借助一定数量的中间节点，实现大量终端主机的间接连通，有效率地共享网络资源
- 交换机制：电路，虚电路，数据报
- 基本问题：编址，电路/分组处理
- 数据报交换：依靠交换/转发表
- 如何建立和维护交换/转发表
 - 静态，动态
 - 逐跳，源路由
 - 集中式，分布式
 - 自学习，计算
 - 例如，数据链路层交换机/网桥采用自学习算法(+生成树)，而网络层的路由器通常采用路由计算方法

路由

- 路由 —— 网络层交换
 - 路由器：网络层交换机
- 基础问题：如何确定源节点与目的节点之间的端到端路径
- 如何建立/维护路由节点中的路由/转发表
 - 通常采用动态分布式算法，如距离向量、链路状态
 - 其他选项？

可靠数据传输

- 差错检测：比特错误，分组丢失，链路/节点失效
- 可靠数据传输(差错纠正) — 屏蔽传输过程中的错误，实现无错数据传输
 - 比特级：纠错码(error correction code)
 - 分组级：滑动窗口算法
- 滑动窗口算法：确认，超时，重传
 - 应用实例：数据链路层可靠传输
 - 应用实例：传输层可靠传输，如TCP
 - 应用于其它层？

其它共性技术

- 流量控制
 - 同步发送端的数据发送速度和接收端的数据接收速度
- 拥塞控制
 - 发送端减少其发送流量 —— 短时间尺度
 - 其它选项?
- 资源分配(教学内容尚未涉及)
 - 在分组流之间分配网络资源(带宽、缓存), 以满足不同分组流的服务需求和区分对于不同分组流的服务

网络协议

- 交互的消息类型
 - 如请求，响应
- 消息语法
 - 协议消息中的字段及其定义
- 消息语义
 - 协议消息字段的含义
- 消息交互的规则
 - 何时、如何发送/响应协议消息
- 很多协议采用特定的算法，如OSPF和IS-IS均采用链路状态算法计算路由

总结



- 基本概念
- 基本问题和共性技术
- 常见算法和协议

Q&A