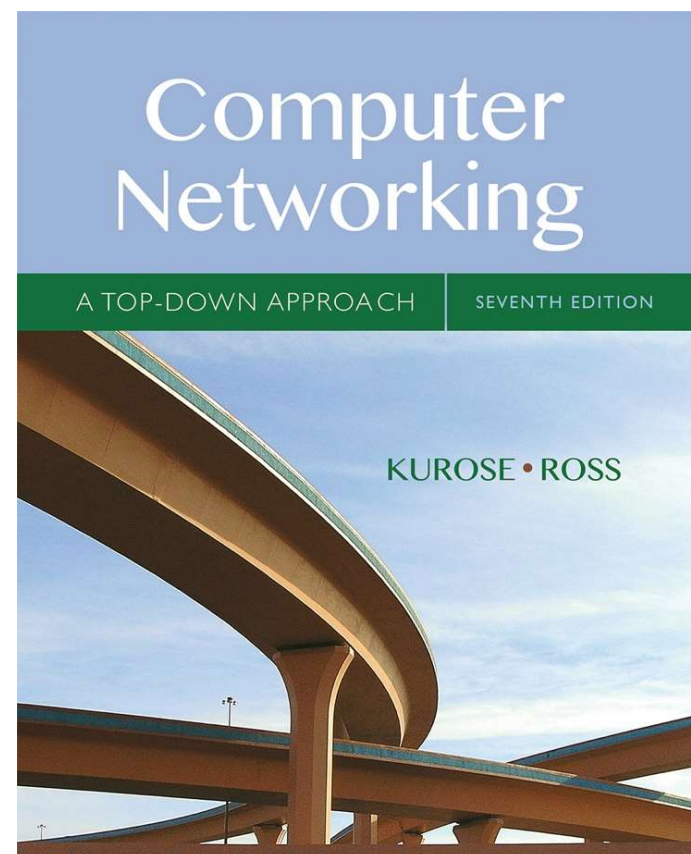


第 1 章

计算机网络复习

中国科学技术大学
自动化系 郑烱
改编自 Jim kurose, Keith Ross



**Computer
Networking: A Top
Down Approach**
7th edition
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley
April 2016

第1章：计算机网络复习

目标:

- ❑ 复习网络课程中的关键原理、技术和协议
- ❑ 同步一下学习进度

提纲:

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网

第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网



第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网



1.1 什么是计算机网络

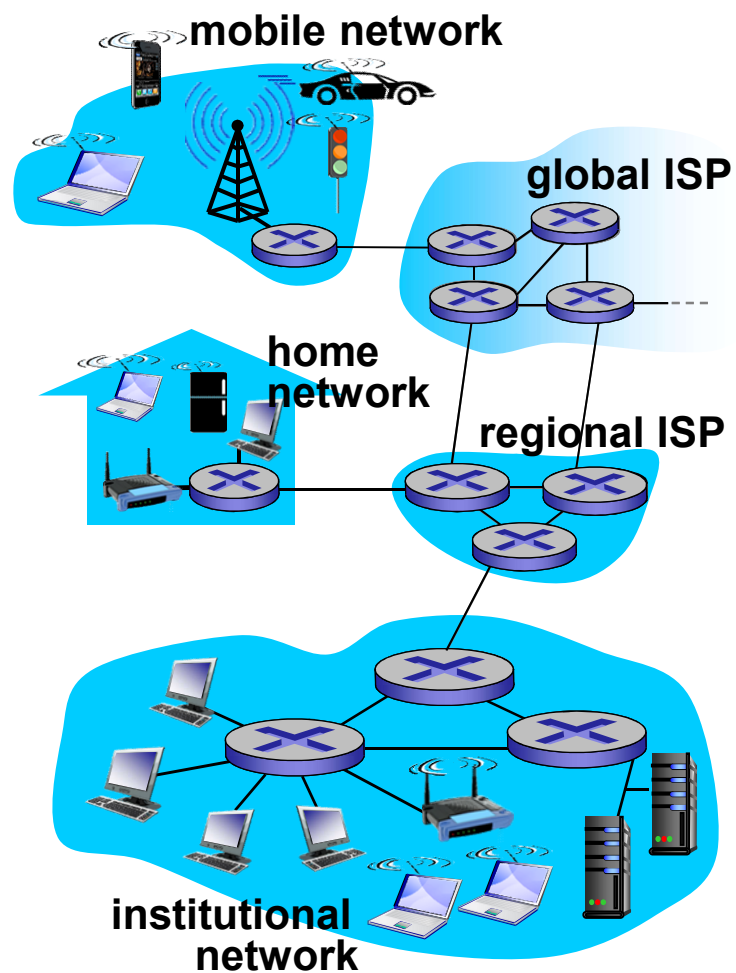
□ 从构成的角度来看:

- 点: (端系统, 网络应用) + 路由器等网络交换设备
- 边: 链路
- 协议: 对等层实体在通信过程中所遵循的规则的组合:
语法+语义+时序

□ 从服务的角度来看:

- 能够为应用提供通信服务的通信架构(有连接可靠的服务和无连接的不可靠服务)
- 使用通信服务相互配合工作的分布式应用

构成角度看计算机网络



1.2 网络边缘

- 网络的结构= 网络边缘(应用, 主机)+网络核心(路由器等网络交换设备及链路)+接入网络与通信链路
- 网络边缘: 运行应用的端系统 (端系统中的应用交互方式)
 - C/S模式, 特点(资源在服务器, 客户端主动, 方便管理, 不便扩展)
 - P2P模式, 特点(资源在各个Peer, 管理困难, 扩展性强)
- 利用网络的服务
 - 面向连接的服务
 - 无连接的服务

1.3 网络核心

□ 网络核心

- 组成：网络交换设备如：路由器+链路
- 功能：数据交换（全局的路由+局部的转发）

□ 数据交换方式及比较

- 线路交换：不适合计算机之间的通信
 - ⑩ FDM TDM WDM
 - ⑩ 线路建立时间长、不可靠、不适合突发式的计算机之间的通信
- 分组交换：存储转发方式，统计复用
 - ⑩ VC，Datagram

1.4 网络接入与物理媒介

- ❑ 将端系统连接到边缘路由器的链路或网络
- ❑ 住宅接入：点到点接入
 - ADSL
 - HFC: Cable Modem
 - FTTH, GPON, EPON
 - Home Networks
- ❑ 机构接入：LAN
 - 以太网
 - WLAN
- ❑ 物理链路
 - 导向型介质
 - 非导向型介质
- ❑ 常用介质
 - TP双绞线
 - 同轴电缆
 - 光纤
 - Radio

1.5 互联网络结构与ISP

□ 近似层次型结构

- T-1 ISP
- T-2 ISP(Regional ISP)
- Local ISP

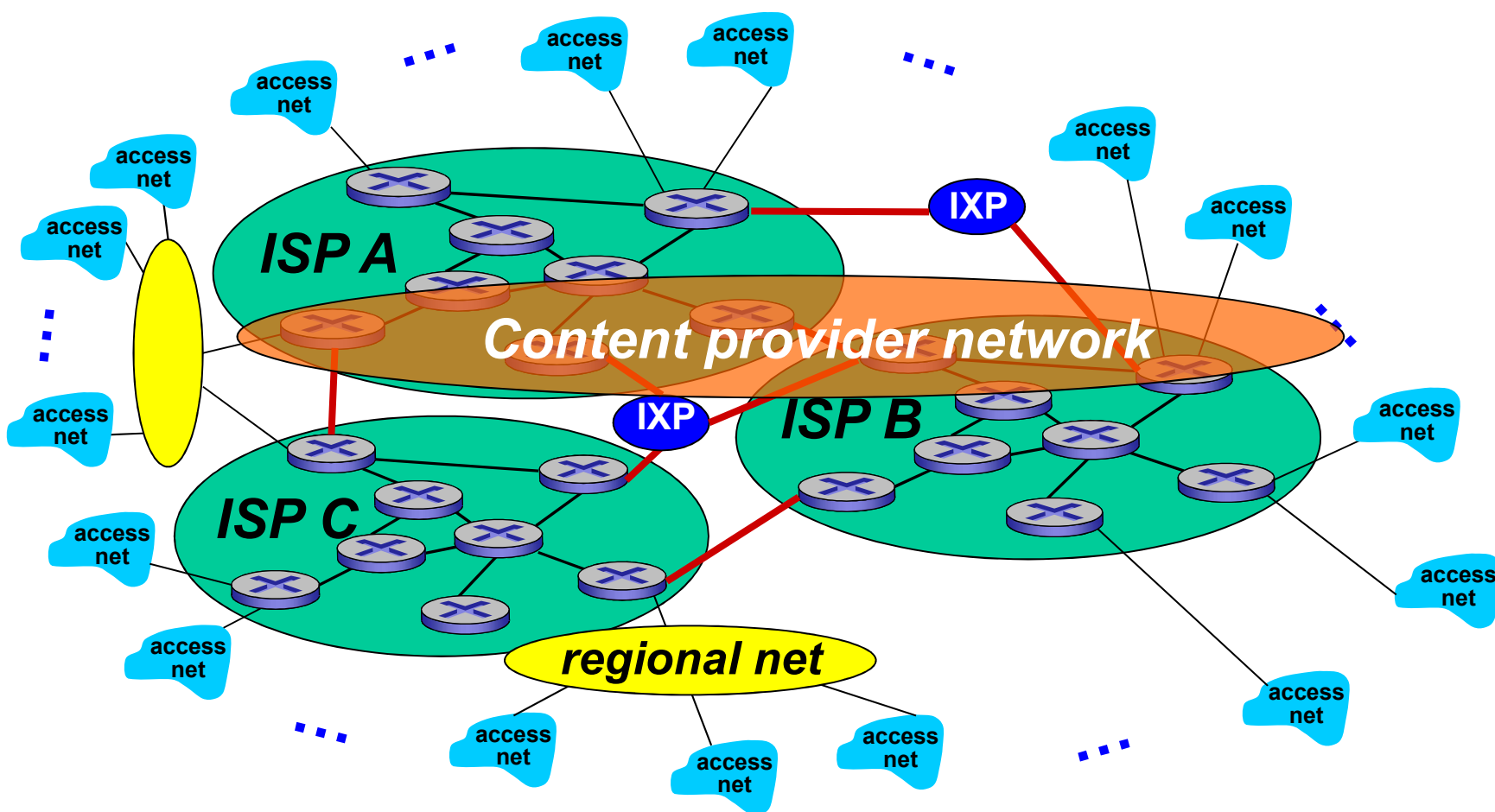
□ ISP之间的连接

- POP
- 对等连接
- IXP

□ 内容提供商网络

- 在全球部署DC
- 内容提供商网络在多处与各个**ISP**相联
- 内容提供商自己部署专用网络将全球**DC**相联
 - ⑩ 内容提供商**DC**自己之间的访问，通过自己部署的专网
 - ⑩ 用户接入后通过离用户最近的**DC**为之服务

松散的层次性ISP结构和ICP网络



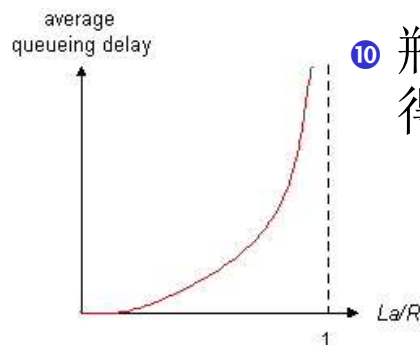
1.6 分组交换网络中的延迟与丢失

□ 延迟的4个原因

- 处理延迟
- 排队延迟
- 传输延迟
- 传播延迟
- n段所有延迟之和

□ 流量强度: La/R

- 排队延迟 依赖流量强度的公式



□ 丢失原因: 缓冲区溢出+ 出错没通过校验

□ 吞吐量:

- 瞬间吞吐量
- 平均吞吐量
- 瓶颈链路决定了主机之间的吞吐量

⑩ 从每段链路获得的大致带宽是 $1/N$

⑩ 瓶颈链路是所有链路段中获得带宽最小的

1.7 协议层次与服务模型

- 为什么要分层：网络比较复杂，分层实现比较容易设计、调试、实现；
- 分层：将复杂的网络功能划分成功能明确的层次，上层利用下层提供的服务来实现本层的协议，从而为上层提供更复杂的功能；
- 一些术语和概念：
 - 实体：实现某个协议的软件或者硬件模块
 - 服务、服务访问原语、服务访问点
 - 面向连接的服务，无连接的服务
 - 协议，协议数据单元PDU
 - 服务和协议之间的关系（区别与联系）

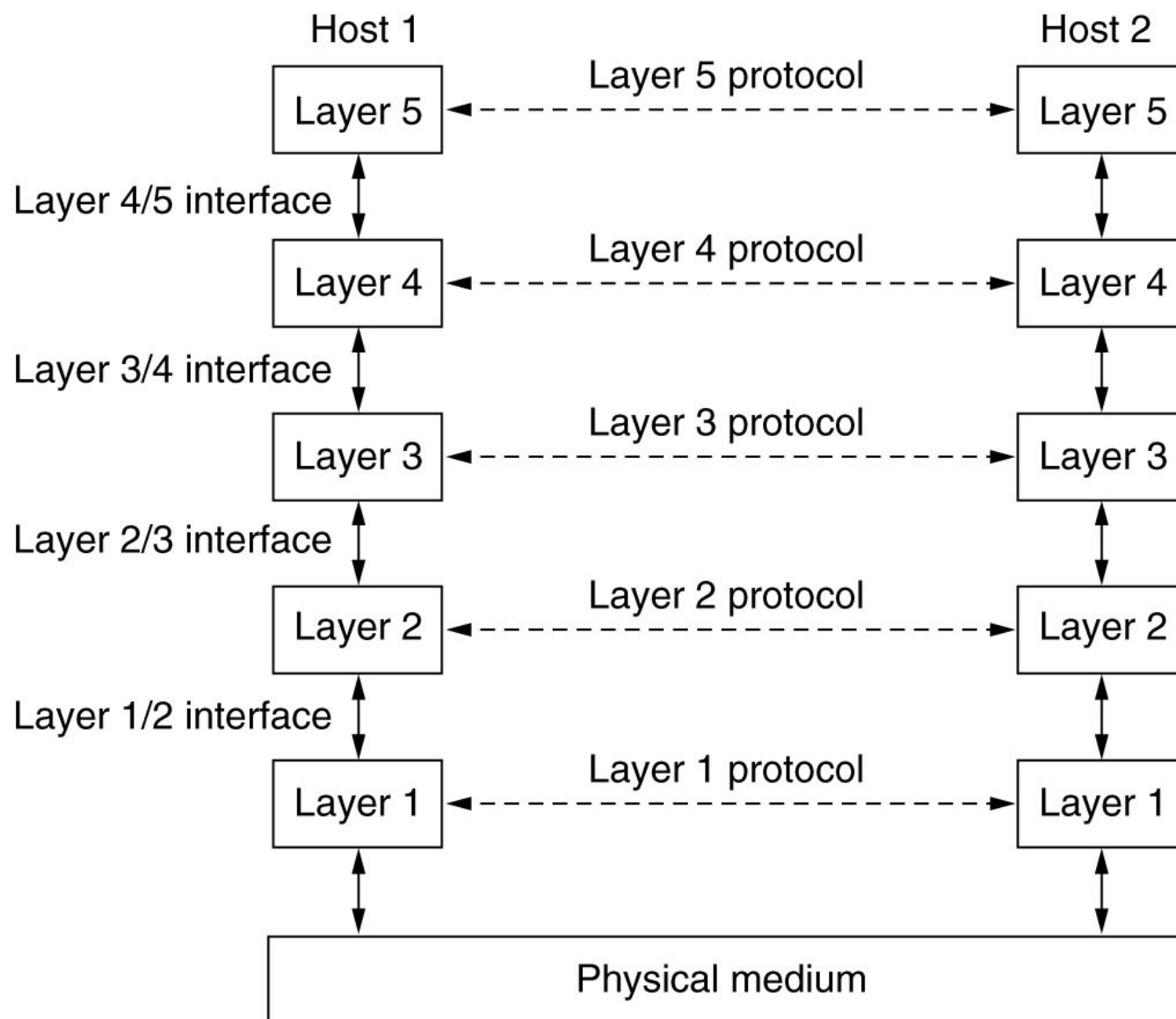
1.7 协议层次与服务模型

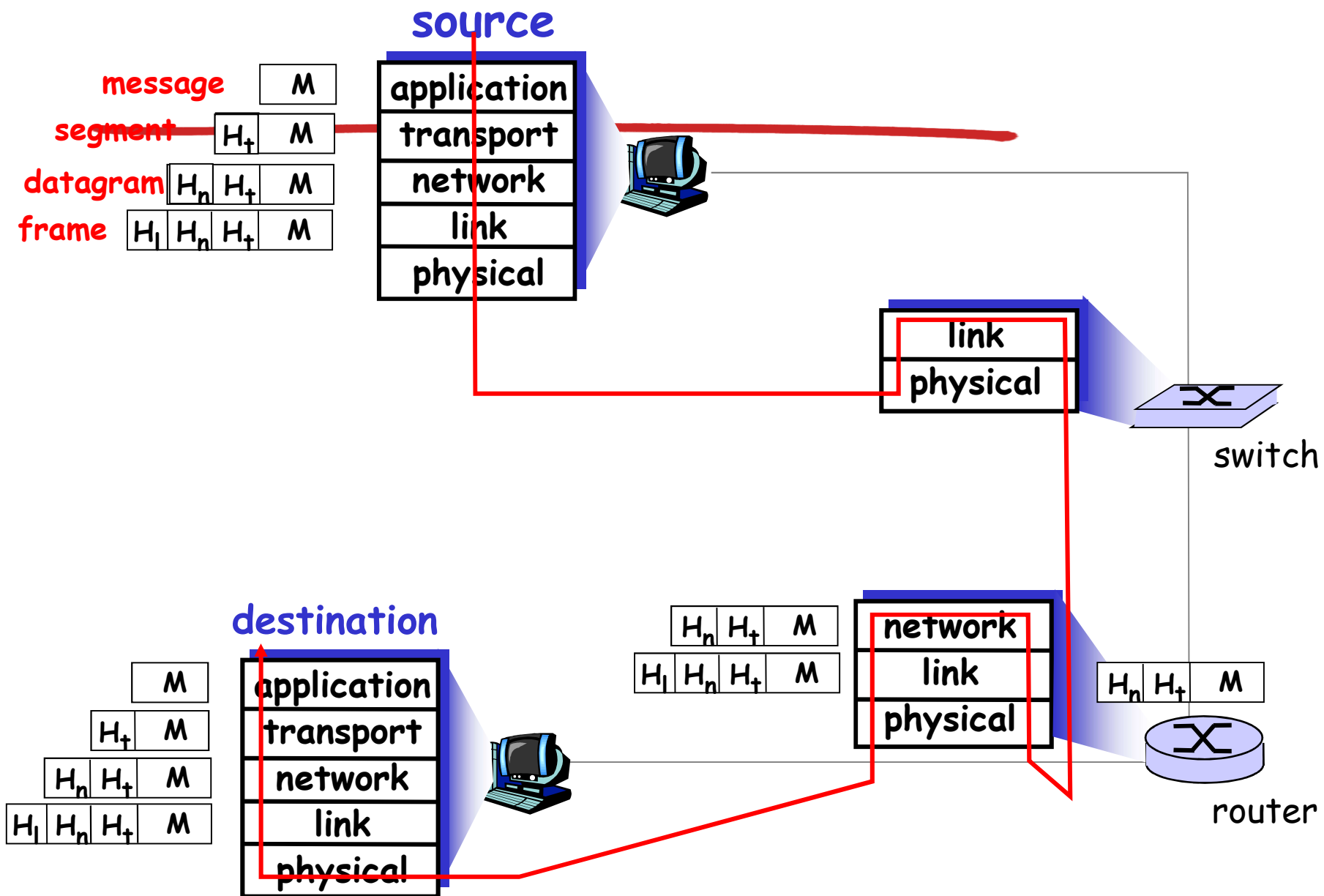
□ 互联网络分层模型及每一层的功能

- 应用层：按照应用协议交换报文，实现各类应用
- 传输层：进程到进程的报文段
- 网络层：主机到主机的分组传输
- 链路层：点到点帧传输
- 物理层：**bit**序列和物理信号转换

□ 封装和解封装

- 源主机的大的封装
- 中间交换节点的小的解封装和封装
- 目标主机的大的解封装



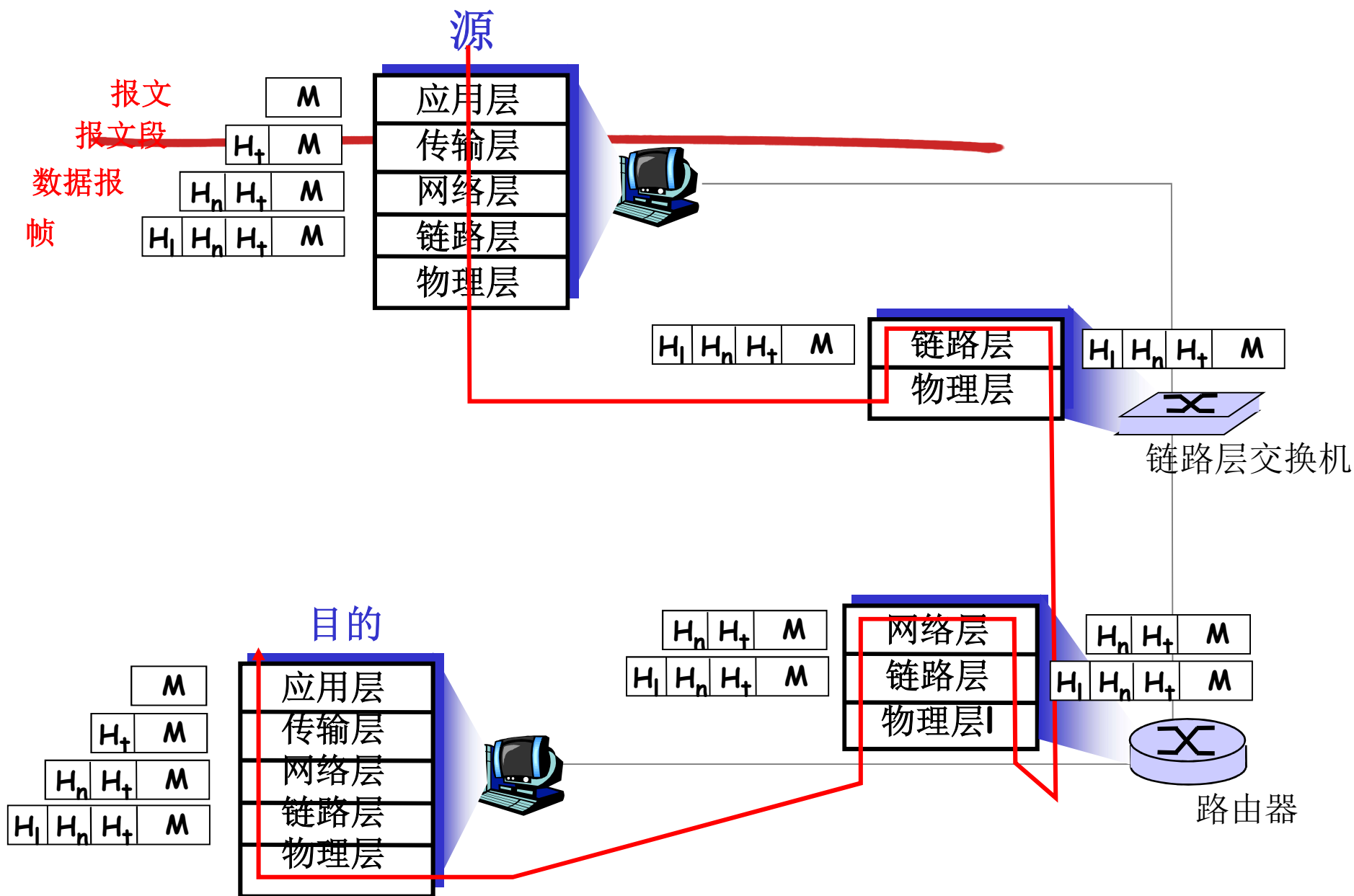


1.8 互联网历史

□ ARPANET->Internet

- 美国军方资助的分组交换试验网
- 1983年转换成TCP/IP架构
- 由于TCP/IP架构的包容性、免费使用、架构便于应用创新吸引更多的用户等原因，用户数量、节点数量和应用数量越来越多。
- NSF建立ARPANET的访问网
- 民用网络从军用网络脱开，成为现在的互联网。
- 技术：新的应用形式、各层次：传输层、网络层、接入形式、链路方式，在应用需求和网络规模等的牵引下不断向前演化
- 非技术：规模、用户数快速增加，杀手级（多媒体，电子商务，游戏，社交网络等）应用不断涌现，带动实体经济的发展，深刻地改变人类社会的运转模式

□ 术语：IETF（ITU，IEEE）、RFC



第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网

2.1 应用层

□ 原理+应用实例+SOCKET编程

□ 应用部署

- 只集中在端系统上，对网络核心的路由器没有任何改变
- 互联网架构鼓励应用创新
- 互联网成功的重要原因之一

2.1 网络应用原理

□ 应用架构

- C/S P2P 混合

□ 进程间通信

- 同主机：操作系统定义的通信方法
- 不同主机：利用网络提供的架构交换报文

□ SOCKET

- 一个整数，OS用于标示应用通信关系所采用的本地标示
- TCP：连接的本地标示
- UDP：端节点的本地标示

2.1 网络应用原理

- 进程编址：**IP+PORT**（本质上在传输层上引入端口号，用于区分应用，**TCP**和**UDP**使用端口号的方式不同）
- 应用所需服务考虑的因素（网络基础设施所提供服务的指标）
 - 丢失率可靠性；延迟、延迟差（抖动）；带宽；安全性
- 传输层协议
 - **TCP**提供的服务特性：可靠字节流服务，面向连接，流量控制，拥塞控制
 - **UDP**提供的服务特性：无连接，不可靠的服务
 - 都能够提供进程的标示，区分不同的进程

2.2 WEB和HTTP

□ WEB应用包括:

- HTTP协议
- HTML
- CLIENT, SERVER

□ 术语: 网页、对象、引用URL

□ HTTP协议

- 定义了C和S之间通信的报文格式, 解释和时序
- HTTP连接
 - ⑩ 持续性连接1.0 非持续性连接1.1 2.0, 3.0
- 往返延迟RTT和对象的抓取时间

2.2 WEB和HTTP

□ HTTP报文格式:

- 请求报文：方法+响应报文：状态码

□ COOKIES: 把原始的HTTP协议从无状态变成有状态的机制

- 服务器HTTP响应报文中的**setcookies**字段，客户端**cookie**文件
- 客户端**http**请求报文中的**cookies**字段，服务器**cookie**存储（关联着用户的id行为等）

□ WEB缓存

- 作用：通过本地命中，减少这些对象的访问延迟；进一步减少接入链路的流量强度，从而降低派对延迟带来总体平均延迟的减少；减轻服务器的负担。
- 优点：降低延迟，服务器负担，减少接入链路流量

2.3 EMAIL

□ 电子邮件应用的构成

- 用户代理+邮件服务器+SMTP

□ 邮件报文格式解析

- 报文头 报文体
- **MIME**: 邮件多媒体扩展, 可以在邮件中编解码多媒体内容

□ 邮件存取协议

- 作用: 邮件客户端从服务器上将发送给自己的邮件拉取回来
- 常用: **IMAP+POP3+http**

2.4 DNS

- ❑ DNS作用：完成域名到**IP**地址的转换（还包括，别名->正规名字；邮件服务器名字->正规名字转换等）
- ❑ 应用层面的基础设施，其他应用使用的应用。
- ❑ DNS的概念：分布式、层次数据库
 - 命名是分层的：字符串有意义，层次命名防止重名
 - 域名信息存储和服务是分布的，每个域名服务器担任一个区域**ZONE**的名字到**IP**地址的权威转换，也缓存名字-ip信息的转换
- ❑ DNS的构成
 - 解析器（本地应用） + 域名服务器 + **DNS**协议

2.4 DNS

- 域名解析的过程(解析器->本地DNS服务器->上层域名服务器->..->权威名字服务器, 返回)
 - 递归解析
 - 叠代解析
- DNS缓存
 - 作用: DNS名字服务器或者本地缓存名字和IP (还有其他map) 映射, 查询时提高效率
 - ⑩ 为了应对源端map的修改, 过期时间, 一致性
 - ⑩ 高效和一致性的折中
 - 本地缓存+服务器缓存

2.5 视频流化服务和CDN

- 下载播放和流化播放
- 服务器向客户端进行视频流化的方式
 - UDP流化、http流化
 - DASH (Dynamic, Adaptive Streaming over HTTP)
- DASH 流化的过程
 - 客户端获取告示文件
 - 客户端按照情况，向（可能是不同的）服务器请求不同视频质量的内容块
 - 智能表现在客户端，根据当时缓存的播放数据块的情况，各服务器通往它自己的网络情况，决定什么时候向哪个服务器请求哪些块

2.5 视频流化服务和CDN

□ CDN:

- 单个服务器，或者服务器群向客户端提供海量内容并发服务的问题：扩展性差
- **CDN：原理**
 - ⑩ 应用层面的协作服务网络(与DNS一样部署在应用层)
 - ⑩ 在全网部署缓存节点，内容预先部署到CDN缓存节点上
 - ⑩ 用户请求通过域名解析重定向向离自己“最近的节点”请求内容
- **缓存节点放置的方式：**
 - ⑩ **Enter Deep**: 深入到各叶子ISP，离客户很近，效果好，数量很多，代价大，管理困难
 - ⑩ **Bring Home**: 在关键点，到各ISP的距离都比较近，通常在比较高层次，代价少，效果一般

2.6 TCP的SOCKET编程

- ❑ **TCP socket**: 4元组的本地标识, 代表一个连接 (分布式应用之间)
- ❑ 向这个**SOCKET**写就是发送给对方的进程; 从**SOCKET**中读, 就是读取对方发送过来的数据
- ❑ **SOCKET API**: 创建、使用 (读和写)、关闭;
- ❑ **TCP SOCKET**传输的特点: 面向连接、可靠字节流服务
- ❑ **TCP SOCKET**编程
 - 建立**SOCKET**
 - ⑩ 客户端**TCP**实体动作: 和服务端端的**TCP**实体握手沟通
 - ⑩ 服务端端的动作
 - ⑩ 三次握手 (通常和第一次数据传递合并)
 - 使用**SOCKET** (同时双向)
 - 关闭**SOCKET**

2.7 UDP的SOCKET编程

- ❑ UDP SOCKET 本地端节点标识（本地IP，端口）
- ❑ UDP数据传输的特点：无连接，不可靠
- ❑ 编程
 - 建立SOCKET(之前客户端UDP实体和服务端不用握手，不为之后的通信做准备)，只和本地端接点捆绑
 - 使用：
 - ⑩ 发送时由于socket仅仅和进程本地ip和port 相捆绑，必须提供对方的 IP地址和端口号
 - ⑩ 接收时，还得获取对方进程的IP地址和端口号，便于来回传
 - 关闭

第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网

3.1 传输层服务

- 传输服务：使端系统应用之间进行逻辑通信
- 传输协议：运行于端系统的2个对等传输层实体相互通信应该遵守的规则集合
- 传输服务和网络服务的区别
 - 网络服务：主机到主机的通信
 - 传输服务：进程到进程的通信，更细的端到端
- 互联网络传输层协议
 - TCP：有连接、可靠保序数传服务
 - UDP：无连接、不可靠、不保序的数传服务

3.2 复用与解复用

- ❑ 复用： 源端（**TCP**或者**UDP**实体）从多个上层应用收集数据：应用报文，封装报文
- ❑ 解复用： 接收端将数据按照端口号（结合**IP**地址）给相应的**SOCKET**对应的应用
- ❑ 复用和解复用的工作原理： **IP PORT**
 - **TCP**连接情况： **SOCKETS**为4元组
 - **UDP**无连接情况： **SOCKETS**为2元组

3.3 无连接传输层协议UDP

□ UDP的必要性:

- 应用对实时性要求高，对可靠性要求不高
- 或者某些应用需要可靠性，但是基于TCP之上，应用受不了TCP为了实现可靠性付出的延迟大等成本，基于UDP在应用层自己实现可靠性：QUIC
- 开销小：8B头部
- 事务性应用：一次交互完成的应用

□ UDP报文（无连接的，因此叫做UDP数据报）格式

- UDP报文校验和的计算：有进位回滚的和，然后求补
- 校验：校验范围和校验和 之和（有进位回滚的）为全1

3.4 可靠数据传输原理

□ 协议演进的方式讲解如何进行RDT

- 加入一些假设，简单的协议可以提供可靠数据传递
- 依次去掉一些假设，需要协议实体做相应的变化从而能够进行RDT

□ 技术机制

- 校验和，正向确认，反向确认
- 序号：检查重复，乱序，gap
- 只有正向确认的机制
- 检错重发和超时重发：处理丢失
 - ⑩ 滑动窗口

3.4 可靠数据传输原理

- 利用率：单位时间内 $x\%$ 时间用于有效数据的传递
- 停止等待技术：链路带宽延迟积（容量）高的时候信道利用率低
 - 管道技术：在未经对方确认的情况下，可以连续发送多个PDU
 - ⑩ GBN：发送窗口大于1，接收窗口=1
 - ☞ 只能顺序接收；发送方只设置一个超时定时器，一旦出错，返回到出错的那一个PDU重发
 - ⑩ SR：发送窗口大于1，接收窗口大于1
 - ☞ 能够乱序接收；发送方为每个发送出去的PDU设置超时定时器，哪个超时重发哪个）

3.5 面向连接的传输层协议：TCP

□ TCP服务特性

- 点-点; 可靠保序字节流; 管道; 缓冲; 全双工; 面向连接; 流控制;

□ TCP段结构

- 各个字段的作用
- 连接建立时协商好双方的起始序号，随机或者和时钟相关
 - ⑩ 防止老的连接上的数据对新的连接上的数据造成影响
- 序号是首字节在字节流的偏移量;
- 确认：是对顺序收到的最后一个字节+1，对于那个字节及以后的期待

□ RTT时间估计和重发超时时间估计

- 移动平均计算：平均往返延迟
- 移动平均计算：当前往返延迟采样值 与 平均值的 标准差
- $TRO = \text{平均值} + 4 \times \text{标准差}$

3.5 面向连接的传输层协议：TCP

□ TCP的可靠数据传输原理

- 快速重传：在没有超时情况下，收到对方对于某一个段的重复三次（一共4个）ACK

□ 流量控制

- 流控目的：防止淹没接收方
- 流控手段：反馈将接收窗口大小捎带方式传递给发送端

□ TCP连接管理

- 连接建立：3次握手技术 对双方选择的初始序号给予确认，准备好缓冲区
- 连接：资源准备、控制变量置位，为通信做好准备
- 连接拆除：对称，存在2军问题不完美（也不存在完美释放连接的方案，用定时器凑合解决）
- 连接状态及其变迁

3.6 拥塞控制原理

- ❑ 拥塞的概念，什么是拥塞，为什么会发生拥塞
 - 太多数据需要网络核心发送，超过了部分路由器的处理能力
- ❑ 拥塞表现：
 - 延迟大、丢包多
 - 总体上看吞吐量随着注入的速率增加输出不再增加或者下降
 - 加速变坏
- ❑ 拥塞控制目的：恢复到不拥塞状态，不拥塞情况下尽量传得快（吞吐量大）+延迟小
- ❑ 拥塞控制手段
 - 端到端的拥塞控制：传统TCP采用这种方式
 - 网络辅助的拥塞控制：ATM 网络标志和携带拥塞信息，反馈给主机（不要求），升级TCP的ECN

3.7 TCP的拥塞控制原理

□ 传统TCP拥塞控制原理

- 检测拥塞：超时（拥塞，存在误判的可能性，但是概率比较低）、三个冗余ACK（轻微拥塞）
- 拥塞控制机制：AIMD 慢启动 超时之后的保守策略

□ TCP拥塞控制的2种算法：

- ⑩ Tahoe :超时事件和3个冗余ACK 处理一样的
- ⑩ Reno算法: (超时事件发生和 3个冗余ACK处理不一样)

□ 后续：

- New Reno, Sack, ECN, CUBIC, BBR

第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网

4.1 网络层的功能简介

□ 网络层的主要服务和功能

- 服务：向传输层提供主机到主机的段传输服务
- 功能1—全局的路由功能，控制平面的功能：决定从源到目的的路径
- 功能2—局部的转发功能，数据平面功能：从路由器的一个端口流入，从另外一个端口流出
- 以上2个功能相互配合将数据报从源传送到目标主机，从而实现网络核心的交换功能
 - ⑩ 关联是转发表（路由表）、流表

4.1 网络层的功能简介

□ 实现网络层功能的两种方式

- 传统方式:

- ⑩ 控制平面和数据平面功能**垂直集成**在每个设备上（路由器）；
- ⑩ 控制平面功能：路由协议实体**分布式**地计算路由表；
- ⑩ 数据平面的功能：**IP**协议按照路由表进行分组的转发；

- **SDN通用转发方式**

- ⑩ 控制平面和数据平面**分离**，**在不同设备上实现**；
- ⑩ **sdn**控制器**集中式**计算、下发流表实现控制平面功能；
- ⑩ **sdn**分组交换机按照流表对到来的分组进行转发，实现数据平面的功能

□ 网络层提供服务的一些重要指标

- 带宽；延迟，延迟差；丢包与否，丢包率

4.2 传统方式路由器结构与工作原理

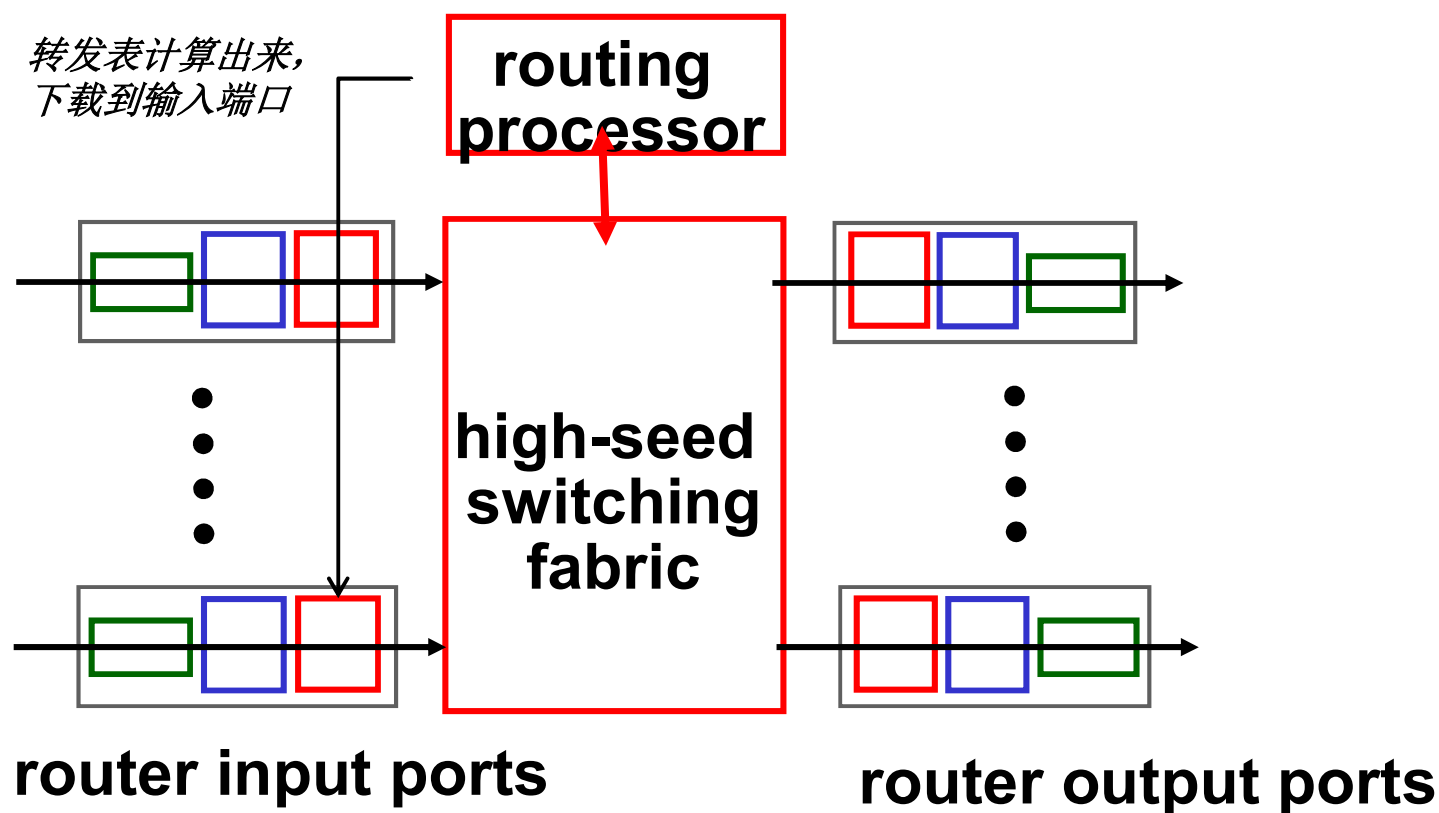
❑ 路由器的2大功能

- 路由协议：结果形成路由表(转发表)
- 转发分组：使用转发表转发分组，交换

❑ 构成

- 输入端口：线路终端实现物理层功能、链路协议实体实现链路层功能，网络层功能实现分布式分组转发；最长前缀匹配
- 交换结构：基于内存的，基于bus的，基于Crossbar的
- 输出端口三个层面的功能
 - ⑩ 网络层可以实现分组的调度：FIFO, RR, WFQ
 - ⑩ 调度支持对多媒体分组等优先级分组的传输支持
 - ⑩ 网络层、链路层和物理层实体协议处理，将分组形成的帧对应的bits形成物理信号打出去
- 路由处理器：控制各部分协调工作

路由器结构和分组处理



4.3 互联网网络层协议

- ❑ **IP**网络提供的服务模型：尽力而为
 - 包括含义：丢包、乱序、不可靠、（可能包括重复）
- ❑ 网络层构成
 - **IP**协议、路由选择协议、**ICMP**协议等
 - 转发表
- ❑ **IP**数据报格式
 - 各个字段的作用
 - 分片和重组
 - ⑩ 一个分组的总体大小超过了转发链路的**MTU**，因此要切片
 - ⑩ 到目标主机重组

4.3 互联网网络层协议

□ IP编址

- IP地址：主机或路由器和网络接口的标识
- 子网：在一个子网内的设备之间的通信有2个特点：1) 通信无需借助路由器；2) 子网前缀一样；
- IP地址分类：ABCDE
- 特殊IP地址
- 子网掩码和CIDR

□ NAT

- DHCP协议：上网主机获得IP、掩码、默认网关和 local name server

4.3 互联网网络层协议

□ 路由聚集:

- 连续的子网前缀的子网可达信息可以做聚集, 减少向外部传输路由的数量, 减少路由计算的负担
- 支持大概路由聚集, 与此对应的是最长前缀匹配

□ IPV6

- IPV6格式 (固定头部长度40B), 地址: 128bits
- IPV6的变化
- IPV4到IPV6的迁移
 - ⑩ 隧道

4.4 通用转发和SDN

□ SDN方式控制平面和数据平面分离的优点

- 集中在控制器上实现控制逻辑，网络可编程，可以实现各种复杂的网络功能、新功能（一次部署，持续升级）、方便管理
- 形成开发生态（控制器，分组交换机，网络应用，在一个开放的框架下协作）
- SDN分组交换机按照计算出的流表进行分组转发、通用、便于升级

□ 分组交换机工作原理

- 模式匹配+行动（**action**不仅仅是转发，还可以组播，泛洪，修改字段和阻塞等）
- 进来分组，按照多字段**match**流表，按照表项的**action**对分组作用
- 如果多个流表匹配上，按照优先权进行判断
- 统计计数

第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网

5.1 网络层控制平面概述

- 两种方式实现控制平面功能：传统方式和SDN方式
- 传统方式：分布式实现控制平面功能
 - 在每个路由器上分布式实现路由功能
 - 集成在一台设备上实现控制平面和数据平面的功能
- SDN方式：集中方式实现控制平面的功能
 - 在SDN控制器上由网络应用集中式计算、生成流表
 - SDN控制器按照南向接口向SDN交换机分发流表
 - SDN交换机按照流表对到来的分组进行：匹配+行动
 - SDN交换机上报状态等

5.2 路由选择算法

- 路由目标：根据收集到的路由信息（拓扑，链路代价等）计算出源到目标较好的路径，代价比较低的路径
 - 主机-主机的路径 == 路由器到路由器的路径；
 - 路由目标实际上是计算出路由节点的汇集树
 - 路由原则：完整正确，简单，健壮，稳定公平，最优（次优）
- 路由分类
 - 静态和动态（自适应）
 - 局部和全局的

5.2 路由选择算法

- **LS算法**：全局的路由选择算法，工作原理
 - 每个节点收集邻居信息，生成**LS**；**LS**全**AS**泛洪
 - 节点收集各**LS**状态分组，形成网络拓扑
 - 按照最短路径算法算出到其他节点的最优路径
- **DV算法**：局部的路由选择算法，工作原理
 - 每个节点维护到所有其他节点的下一跳和代价值
 - 邻居节点之间定期交换**DV**
 - 按照**Bellman-Ford**不断迭代生成到所有目标的代价和相应的下一跳

5.2 路由选择算法

□ 层次路由

- 一个平面解决路由的问题：计算、传输和存储路由信息的量太大，不具备可扩展性，也不满足不同网络运营方不同的管理需求
- 分成一个个**AS**
 - ⑩ **AS**内部之间的节点路由有内部网关协议解决：OSPF,RIP,IGRP
 - ⑩ **AS**之间的路由，有外部网关协议解决：BGP
 - ⑩ 路由到网关，由网关（经过内部网关协议穿过一个个**AS**，穿过**AS**网关之间路由靠外部网关协议）路由到目标网关，到了目标**AS**内部，采用**AS**内部的路由解决
- 分层路由优势：
 - ⑩ 规模性问题：每个**AS**的子网数量有限，路由计算传输代价小
 - ⑩ 管理性问题：不同**AS**可以采用自己的协议

5.3 互联网络的路由协议

□ 路由协议分类

- 内部网关协议 **IGP**

- ⑩ **RIP, OSPF**: **AS**内部支持分层路由, 同时支持多种代价, **IGRP**

- 外部网关协议 **EGP: BGP**

- ⑩ 网关路由器参与**AS**内部路由计算, 收集**AS**内部子网可达信息
 - ⑩ 网关路由器通过**AS**间路由向其他**AS**网关通告子网可达信息
 - ⑩ 网关路由器还转发“过手”子网可达信息, 但是**AS**路径要加上它自己**AS**编号 (防止形成环路)
 - ⑩ 网关路由器通过**i-BGP**向**AS**内部所有路由节点通告收集到的子网可达信息
 - ⑩ 内部路由器通过**AS**内路由和**AS**间路由共同决定向**AS**外部子网的下一跳
 - ☞ 内部网关协议决定如何往网关
 - ☞ 外部网关协议决定通过那个网关可到达**AS**外部子网

5.3 互联网络的路由协议

□ 内部网关协议和外部网关协议的对比

- 内部网关协议重视效率和性能
- 外部网关协议重视策略：
 - ⑩ 经济策略：能否通过这种转发获得经济上的效益
 - ⑩ 政治策略：例如不为某些竞争性的**AS**提供便利

5.4 SDN 控制平面

- ❑ 在控制器上集中实现控制功能
- ❑ 控制器和SDN交换机按照openflow等南向接口协议等下发流表，上报设备状态
- ❑ SDN控制器按照北向接口和网络应用app打交道

5.5 ICMP协议

- 作用：包括错误，echo请求和应答
- 报文类型有echo, Tracert等

第1章：提纲

1. 计算机网络概述
2. 应用层
3. 传输层
4. 网络层：数据平面
5. 网络层：控制平面
6. 数据链路层和局域网



6.1 引论

- 链路层的服务：点到相邻节点的以帧为单位的数据
 - 成帧、链路存取控制（链路访问控制）
 - 在相邻节点间进行可靠数据传递（有些，如无线网络）
 - 流量控制
 - 检错 纠错
 - 全双工和半双工服务
- 链路层网络节点的连接方式
 - 点到点方式：比较适合广域网，联网复杂，但是链路层功能简单
 - 多点连接的方式：比较适合局域、联网方便，但需要解决**MAC**问题，复杂

6.2 检错与纠错

□ 检错原理

- 奇偶校验
- CRC

- ⑩ 发送接收方约定的生成多项式： G ， r 次（ $r+1$ 位）
- ⑩ 发送方按照 G 对数据 D 进行CRC编码：左移 r 位，除 G 得到的余数
- ⑩ D 左移 r 为 $+R$ ，一起传输
- ⑩ 接收方进行解码： D 左移 r 为 $+R$ ，能否被 G 整除

6.3 多路访问协议

- **MAC**的必要性：多点连接网络协调各节点对共享式信道的使用
- **MAP**
 - 信道划分
 - ⑩ TDMA、FDMA、CDMA：删掉
 - ⑩ 综合TD和FD
 - **RAP**：随机访问协议
 - ⑩ slotted ALOHA ALOHA
 - ⑩ CSMA, CSMA/CD（至少2+长度帧）, CSMA/CA
 - 轮转协议：令牌协议

6.4 链路层编地址

□ **MAC**地址

- 格式：48位平面地址，标示一个具体的网卡等
- 分配：IEEE

□ **MAC**地址和网络层**IP**地址的区别

- 层次不同，链路层和网络层
- **MAC**地址平面的，用于标示一个物理网络的不同站点；**IP**是可以聚集的，便于计算路由；

□ **ARP**协议

- 目的：物理网络范围内**IP**地址到**MAC**地址的转换
- 工作原理：广播查询，单播应答

6.5 以太网网络

- ❑ IEEE802.3标准，链路层和相应的物理层
- ❑ 以太网络的帧结构
- ❑ 向上提供服务的特点：无连接、不可靠
- ❑ 访问控制技术： **CSMA/CD**
 - 指数后退
- ❑ 编码： **Manchester**编码+4b5b编码+8b10b编码
 - 物理层技术
- ❑ **WLAN**介质访问控制技术： **CSMA/CA**

6.6 HUB和交换机

□ HUB连接方式的问题：

- 物理层设备，信号整形放大
- 一个端口进，所有端口出，处在一个碰撞域之内
- 无法隔离冲突

□ 交换机的工作原理

- 选择性转发：**SW**
- 自学习：学习**MAC**地址和交换机端口的捆绑关系
- 流量隔离：选择性转发
- 专用接入：交换机端口直接接主机

□ 路由器和交换机的区别：2层工作、3层工作