

计算机网络笔记

陈鸿峥

2019.03*

目录

1	计算机网络概述	1
1.1	网络连接方式	1
1.2	因特网	2
1.3	网络服务	2
1.4	网络性能分析	3
2	物理层	4
2.1	编码方式	4
2.2	物理介质	5
3	数据链路层	5
3.1	简介	6
3.2	差错检测	6
3.3	可靠数据传输	6

本课程使用的教材为James F. Kurose和Keith W. Ross的《计算机网络—自顶向下方法（第七版）》。

1 计算机网络概述

计算机网络是自主计算机的互连集合。

1.1 网络连接方式

直接连接的网络

- 点对点(point-to-point)网络：包括专用介质(dedicated medium)、节点/主机

*Build 20190312

- 单向(simplex)
- 半双工(half duplex)
- 全双工(full duplex)
- 多路访问(multiple access)网络：共享介质(shared medium)、广播、碰撞(collision)
 - 单播(unicast)
 - 多播(multicast)
 - 广播(broadcast)

间接连接的网络

- 中间节点、路由器(router)
- 包(packet)
- 存储转发(store and forward)
- 路由选择(routing)
- 路由表(routing table)
- 目的地(destination)、下一跳(next hop)

1.2 因特网

网络互连：用路由器（或网关gateway）连接起来构成的网络称为互连网络(internetwork)。

因特网/互联网(Internet)是一种互连网络

- 系统域网(System Area Network, SAN)
- 局域网(Local Area Network, LAN)
- 城域网(Metropolitan Area Network, MAN)
- 广域网(Wide Area Network, WAN)

因特网：

- 终端系统/主机：运行网络应用程序
- 通信链路(communication link)：光纤、铜线、无线电、卫星等
- 路由器(router)

因特网的结构：ISP(Internet Service Provider)

- 顶层ISP：主干网（中国电信、中国移动、中国网通）
- 区域ISP：可以私自互联
- 本地ISP

1.3 网络服务

网络提供的服务：

- 可靠/不可靠：会不会丢包
- 面向连接/无连接：需要连通
- 有确认/无确认
- 数据报服务：无连接无确认（因特网）
- 请求相应和消息流服务

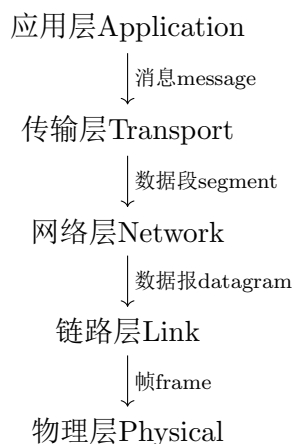
因特网体系结构：

- 应用层：提供对某些专门应用的支持，如FTP、SMTP、HTTP
- 传输层：将网络层获得的包在**进程之间**数据传送（端到端），如TCP、UDP
- 网络层：**路由选择**，实现在互联网中的数据传送（主机到主机），IP、路由协议
- 数据链路层：在物理网络中传送包（跳到跳，节点到节点），PPP、Ethernet
- 物理层：线上的**比特**（传送原始比特流）

网络层以下不可靠，以上可靠；防止丢包的机制：重发

协议(protocol)：在网络实体(entities)之间传送消息的规则，如消息的格式、收发消息的次序等

协议栈：发送时封装(encapsulation)，接收时拆封。每层传输的数据单元都称为包(packets)，都属于某个协议，又被称为协议数据单元(protocol data unit, PDU)=协议控制信息(protocol control data, PCI)+服务数据单元(SDU)



不同协议则添加不同头部。路由做得事情是拆一层封装，然后重新加一层。同一个互连网络中网络层协议需要相同，链路层协议可以不同。

ISO/OSI(open system interconnection)网络七层协议，在应用层和传输层中间添加两层：

- 表示层(presentationn)：提供数据转换服务，例如，加密解密，压缩解压缩，数据格式变换
 - 会话层(session)：简化会话实现机制，例如，数据流的检查点设置和回滚以及多数据流同步
- 对等实体：实现相同协议

1.4 网络性能分析

当一个包到达时如果有空闲缓存则排队等待转发，产生延迟(delay)；如果没有空闲缓存，则丢弃该包，造成丢失(loss)。

包交换(packet-switching)网络中的延迟

- 处理(processing)延迟：查路由
- 排队(queueing)延迟
- 发送/传输(transmission)延迟：包长(bits)/链路带宽(bps, bit per second)；指从发送第一个包到发送最后一个包的间隔
- 传播(propagation)延迟：指对于一个包来说从发送到接收所需的时间

接收延迟与传播延迟重合。故总延迟（从第一个包被发送到最后一个包被接收的时间）=传播延迟+发送延迟。

往返时间(round trip time, RTT)：从源主机到目的主机再返回源主机所花的时间

- 带宽(bandwidth)：一条链路或通道可达到的最大数据传输速率(bps)
- 吞吐量(throughput)：一条链路或通路实际数据传输速率

2 物理层

直连网，不管包。

信息能够被解释为数据(msg/data)，用符号(sign)记录，用信号(signal)传递(transmit)，用熵(entropy)测量

- 信号：光、电
- 模拟信号：连续取值
- 数字信号/跳变信号：离散取值
- 模拟传输：模拟信号、放大器(amplifier)
- 数字传输：数字信号、中继器(repeater)

2.1 编码方式

2.1.1 模拟信号

载波信号(carrier)一般采用正弦波信号：角频率 ω 、频率 f 、周期 T 、振幅 A 、相位(φ)

- 频移键控(frequency-shift keying, FSK)：通过不同频率表示不同信息0/1
- 幅移键控(amplitude-shift keying, ASK)
- 相移键控(phase-shift keying, PSK)
- 正交调幅(quadrature amplitude modulation, QAM)：用不同的振幅/频率表示不同的多位信息000 ~ 111

2.1.2 数字信号

1. 单极编码(unipolar): 0V即0, $+EV$ 为1, 但是会产生
 - 时钟漂移: 不同的时钟会有差别, 一定要有跳变
 - 基线漂移: 线很长会有 (积累很多电荷, 以为是1), 一定要有变化/正负
2. 不归零编码/双极编码(non-return-to-zero/bipolar, NRZ) : $-E$ 为0, $+E$ 为1, 解决基线漂移问题 (平衡01); 全是0或全是1, 还是没法区分
3. 不归零反转编码(Inverted, NRZI): 差分码波形, 相邻码元的电位改变表示1, 而电位不改变表示0; 也可以反过来。该表示方法与码元本身电位或极性无关, 而仅与相邻码元的电位变化有关
4. 曼彻斯特(Manchester)编码: 从相邻时刻的中间起 $M - E \sim +E$, $0 \rightarrow 10, 1 \rightarrow 01$, 可克服时钟漂移和基线漂移; 频率高, 传输有问题, 对传输介质要求高
5. 差分曼彻斯特编码: 在每一位开始时间如果跳变则为0, 否则为1
6. 4B/5B编码: 用5比特代表4比特, 多一位冗余; 每个编码没有多于1个前导零和多于2个末端零

2.2 物理介质

2.2.1 分类

有线介质

- 双绞线:
 - 非屏蔽双绞线(unshielded twisted pair, UTP): 四对线 (绿绿白、橙橙白、蓝蓝白、棕棕白)
 - 屏蔽双绞线(STP)
- 同轴电缆(coaxial cable)
- 光导纤维(optical fiber)
 - 单模光纤(single mode)
 - 多模光纤: 阶跃(step-index)光纤、渐变(graded-index)光纤

无线介质: 地面微波、WiFi、3G网络、卫星

2.2.2 多路复用

- 时分多路复用(time division multiplexing, TDM)
- 频分多路复用(frequency, FDM)
- 波分多路复用(wavelength): 利用多个激光器在单条光纤上同时发送多束不同波长激光的技术
- 码分多路复用(code)
- 统计多路复用: 动态分配方法共享通信链路, 比如FIFO; 对于多个可变速率的数据流, SDM可以提高链路利用率

交换技术

- 电路交换技术(circuit-switching): 采用FDM、TDM、WDM、CDM技术
- 包交换技术(packet-switching): 采用SDM

3 数据链路层

数据链路层把数据包(packet)从一个节点通过链路（直连网络或物理网络）传给相邻另一个节点

3.1 简介

基本术语如下:

- 节点(node): 主机和路由器
- 链路(link): 连接相邻节点的通道, 有线链路、无线链路、局域网
- 帧(frame): 第二层数据包

功能

- 成帧(framing)
- 差错监测(error detect): 比特错, 纠错
- 差错控制(error control): 丢包、重复、错序、流控制(flow control)
- 介质访问控制(media access control): 多路访问, 碰撞(collision)

3.2 差错检测

在数据报后加校验码（头部加序号），通过链路传输看是否有数据报/校验码错误

奇偶校验

- 一维偶校验: 只能检错; 最后补一位使得全部为偶数个1, 如010补为010—1, 而101补为101—0
- 二维偶校验: 检错+纠错一位; 横纵同时偶校验

若接收方收到奇数个1, 则有出错

校验和(checksum): 将所有数据加起来

由于需要使用加法器, 校验和一般不用于数据链路层, 而是更高层, 例如IP层和传输层

循环冗余校验码(Cyclic Redundancy Check, CRC): 补充n位后除以一个n+1位的除数, 模2除法（按位异或, 做减法时没有借位）

接收方连带校验码一起除, 余数为0则没错

链路层常用CRC, 因为检错率很高, 且容易实现（触发器+异或门）

3.3 可靠数据传输

发送方传送数据帧, 接收方回传确认帧(ACK)

超时则自动重发请求(Automatic Repeat reQuest, ARQ): 每发送一帧都启动一个超时定时器, 哪个帧超时将重传该帧, 并重启定时器

- 停等协议(stop-and-wait): ARQ协议, 只有收到前一个数据帧的确认帧才可以发送下一个数据帧
- 滑动窗口协议(sliding window): ARQ协议, 不需等待前面发送的帧的确认帧返回, 就可以连续发送下一个, 其个数不能超过发送窗口大小(sending window size, SWS) (连续发送数据帧可用序号范围, 用于流控制: 控制发送速度, 否则会发生溢出(overflow), 后面覆盖前面的)
这里的确认帧是指在此之前的帧都已收到
- 回退N协议(go back N): 同滑动窗口连续发送, 但某个ACK没收到则重传在此ACK之后的所有帧 (超时重传), 丢3则4发2
- 选择性重传(selective repeat): 否定性确认帧(negative acknowledgement, NAK), 要求重传某一帧; 如3丢失, 4发送NAK=3, 5发送ACK=2
接收窗口(receiving window size, RWS)表示接收缓冲区大小, 用于确定应该保存哪些帧, 用序号范围表示

提高滑动窗口协议的效率:

- 选择性确认(selective acknowledgement): 接受方把已收到的帧的序号告诉发送方
- 捎带确认(piggybacking): 通信双方全双工方式工作, 接收方在发数据给对方时顺便把确认号也告诉对方
- 延迟确认(delayed acknowledgement): 接收方收到一帧后并不立即发送确认帧, 而是等待一段时间再发送

PPP协议(point-to-point): 点到点网络的数据链路层协议, 主要用于串行电缆、电话线(MODEM)等串行链路

链路层的实现: 在网络接口卡(network interface card, NIC)及其驱动程序上实现, 路由器在接口模块上实现