

01

- 互联网的基本要点：连通性、资源共享
- 网络：把计算机连接到一起
- 互联网：把许多网络通过路由器连接到一起
- 互联网的组成：边缘部分（主机）、核心部分（网络与路由器）
- 交换方式：
 - 电路交换：N部电话两两相连需要 $\frac{N(N-1)}{2}$ 对电线（由此引出交换机）
 - 报文交换：时延较长
 - 分组交换：先把较长的报文划分成较短的、固定长度的数据段，加上首部（包含控制信息）
- 指标：
 - 速率：数据的传送速率
 - 带宽：网络中某通道传送数据的能力
 - 吞吐量：在单位时间内通过某个网络（或信道、接口）的数据量。（受带宽与速率限制）
 - 总时延：
 - 发送时延：数据帧从结点进入到传输媒体所需要的时间。 $\frac{\text{数据帧长度}}{\text{发送速率}}$
 - 传播时延：电磁波在信道中传播一定的距离花费的时间。 $\frac{\text{信道长度}}{\text{信号在信道上的传播速率}}$
 - 处理时延、排队时延
- 往返时间：2次端到端的传播时间
- 网络协议三要素：
 - 语法：数据与控制信息的结构或格式
 - 语义：需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应
 - 同步：事件实现顺序的详细说明
- 协议：控制两个对等实体进行通信的规则集合（对等实体之间水平的）
- 服务：协议的控制下，两个对等实体间的通信使得本层能够向上一层提供服务，还需要使用下层所提供的服务（下层向上层垂直的）
- 网络体系结构：
 - OSI：Open Systems Interconnection Reference Model 开放系统互连基本参考模型（7层）
 - TCP/IP：四层体系结构：应用层、运输层、网际层和网络接口层
 - 五层协议模型：物理层、数据链路层、网络层、运输层、应用层（加首部、剥首部的过程）

02 物理层

- 物理层：怎样才能在连接计算机的各种传输媒体上传输数据比特流而不是指具体的传输媒体
- 调制：把数字信号转换为模拟信号的过程
- 基带信号：来自信源的信号，就是将数字信号 1 或 0 直接用两种不同的电压来表示

- **基带调制**：仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特性相适应。变换后的信号仍然是基带信号。把这种过程称为编码 (coding)。
- **带通调制**：使用载波 (carrier) 进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，并转换为模拟信号。
- **常用的编码方式**：
 - 不归零码：正电平代表 1，负电平代表 0（在一个码元的全部时间内，电压保持恒定）
 - 归零码：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0（非零电压的持续时间小于一个码元的时间）
 - 曼彻斯特编码：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
 - 差分曼彻斯特编码：在每一位的中心处始终都有跳变，利用每个码元的开始时有无跳变来表示“0”或“1”。位开始边界有跳变代表 0，没有跳变代表 1

(不归零制不能从信号波形本身中提取信号时钟频率：错误判断连续的0或1)

- **常用的调制技术**：
 - AM调幅：载波的振幅随基带数字信号而变化。（抗干扰性能差）
 - FM调频：载波的频率随基带数字信号而变化。（占用带宽较大）
 - PM调相：载波的初始相位随基带数字信号而变化。
 - 绝对PM：在数据发生01或10变化的时刻相位改变180°（PPT中，数据0相位为 π ，数据1相位为0）
 - 相对PM：相位由0变为180°，表示1；相位保持不变，表示0（PPT中一开始0的相位为0）
 - 正交振幅调制：PPT上的例子是：一个码元可以表示4bit信息，数据传输率提高四倍。
- **信道复用技术**：
 - 频分复用：所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源
 - 时分复用：时间划分为一段段等长的时分复用帧（TDM 帧）。每一个时分复用的用户在每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙。每一个用户所占用的时隙是周期性地出现。（浪费问题）
 - 码分复用（CDMA计算Code Division Multiple Access）：每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片 (chip)。每个站被指派一个唯一的m bit 码片序列，按惯例，0写成-1，1写成+1。每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相正交，就是规格化内积等于0：
- **奈式准则**：
 - 理想低通信道：信号的所有低频分量，只要频率不超过某个上限，都能够不失真地通过信道。
理想低通信道的最高码元传输速率 = 2W 码元/秒（W 是带宽，单位为赫Hz）
 - 理想带通信道：信号的频率在某个范围之间的频率分量能够不失真地通过信道，其它分量不能通过。
理想带通信道的最高码元传输速率 = W码元/秒

（若1个码元携带 n bit 的信息量，则 比特率 = n * 波特率，若码元状态数为 N，则 $n = \log_2 N$ ）
- **香农公式**：
 - 信噪比： $10\log_{10}(\frac{S}{N})$
 - 信道的极限信息传输速率 C 可表达为： $C = W\log_2(1 + S/N)$ ；W 为信道的带宽；S 为信道内所传信号的平均功率；N 为信道内部的高斯噪声功率。
 - 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 传输介质：双绞线、同轴电缆、光缆

- 物理层协议的特性：机械特性、电气特性、功能特性、过程特性

03 数据链路层

- 数据链路：除了物理线路外，还必须有通信协议来控制这些数据的传输。若把实现这些协议的硬件和软件加到链路上，就构成了数据链路。
- 数据链路层的三个基本问题：
 - 封装成帧：就是在一段数据的前后分别添加首部和尾部，然后就构成了一个帧，实现了帧定界
 - 字节计数法：在帧头设置一个长度域，放置该帧的字节数
 - 字符填充法SOH&EOT：开头与结尾
 - 比特填充法：使用一个特殊的比特模式01111110作为帧的起始和结束标志。发送方边发送边检查数据，每连续发送5个“1”后在后面自动插入一个“0”（零比特填充）。接收方在收到5个连续的“1”后将后面的“0”删掉而恢复出原始数据。
 - 违法编码法
 - 透明传输：（源于字符填充法：二进制代码恰好和SOH或EOT一样）再前面插入一个转义字符“ESC”，如果转义字符也出现在数据当中，那么应在转义字符前面插入一个转义字符 ESC
 - 差错控制：（主要看作业2）
 - 检错码（CRC）：能检测出错误，但不能纠正错误
 - 奇/偶校验码（使得1的个数而言是奇数/偶数）
 - 循环冗余码：用二进制的模2运算进行 2^n 乘 M 的运算，这相当于在 M 后面添加 n 个 0。得到的 $(k + n)$ bit 的数除以事先选定好的长度为 $(n + 1)$ bit 的除数 P，得出商是 Q 而余数是 R，余数 R 比除数 P 少 1 位，即 R 是 n 位。将余数 R 作为冗余码拼接在数据 M 后面发送出去。若得出的余数 $R = 0$ ，则判定这个帧没有差错，就接受 (accept); 若余数 $R \neq 0$ ，则判定这个帧有差错，就丢弃。（注意比特差错VS传输差错）
 - 纠错码（海明码）：能知道错误，且知道错误的位置

在 k 比特信息上附加 r 比特冗余信息（校验比特），构成 $n=k+r$ 比特的码字，其中每个校验比特和某几个特定的信息比特构成偶校验关系。接收端对这 r 个偶校验关系进行校验，即将每个校验比特和与它关联的信息比特进行相加（异或），相加的结果为校正因子。如果没有错，则 r 个校正因子都为 0；若校正因子不全为 0，根据校正因子的取值，确定错误发生的位置。

 - 如果要检测出 d 个比特的错，则编码集的海明距离（一个编码系统中任意两个合法编码之间不同的二进制数）至少为 $d+1$ 。如果要纠正 d 个比特的错，则编码集的海明距离至少应为 $2d+1$ 。
 - 求海明码时的一项基本考虑是确定所需最少校验位数 r，若需纠正 1 bit 错，需满足：
$$2^r \geq K + r + 1$$
 - 点对点协议 PPP：封装成帧、透明性、支持多种网络层协议、差错检测
 - PPP 协议的帧格式（参考 PPT 图片）：
 - 异步传输时：
 - 将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成为 2 字节序列 (0x7D, 0x5E)

- 若信息字段中出现一个 0x7D 的字节, 则将其转变成为 2 字节序列 (0x7D, 0x5D)
 - 若信息字段中出现 ASCII 码的控制字符 (即数值小于 0x20 的字符), 则在该字符前面要加入一个 0x7D 字节
 - 同步传输时: 在5个连续 1 的后面插入0
- PPP 协议的组成: 一个将 IP 数据报封装到串行链路的方法+链路控制协议LCP+网络控制协议NCP
- CSMA/CD 协议: (先听后发, 边发边听)
 - 载波监听: 是指每一个站在发送数据之前先要检测一下总线上是否有其他计算机在发送数据, 如果有, 则暂时不要发送数据, 以免发生碰撞。
 - 多点接入: 表示许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上。
 - 碰撞检测: 计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小。当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时, 就认为总线上至少有两个站同时在发送数据, 表明产生了碰撞。每一个正在发送数据的站, 一旦发现总线上出现了碰撞, 就要立即停止发送, 免得继续浪费网络资源, 然后等待一段随机时间后再次发送。每个站点都是在监听到信道“空闲”时才发送数据的, 为什么还会发生碰撞? 根本原因是因为电磁波在媒体上的传播速度总是有限的。
 - A需要单程传播时延的 2 倍的时间 (争用期), 才能检测到与 B 的发送产生了冲突。
 - 使用 CSMA/CD 协议的以太网不能进行全双工通信而只能进行双向交替通信 (半双工通信)。
 - 每个站在发送数据之后的一小段时间内, 存在着遭遇碰撞的可能性。这种发送的不确定性使整个以太网的平均通信量远小于以太网的最高数据率。
 - 退避算法: 发生碰撞的站在停止发送数据后, 要推迟 (退避) 一个随机时间才能再发送数据。(具体参考PPT94页)
 - 10 Mbit/s 以太网取 $51.2 \mu s$ 为争用期的长度。对于 10 Mbit/s 以太网, 在争用期内可发送 512 bit 的最短有效帧长。(这意味着: 以太网在发送数据时, 若前 64 字节没有发生冲突, 则后续的数据就不会发生冲突)
 - 帧间最小间隔为 $9.6 \mu s$
 - 信道利用率: 一个帧需要占用信道的时间是 T_0+t ; 参数 a 是 t/T_0 , a 趋于0, 表示利用率高;
- MAC地址: 固化、48位、I/G位判断单站or组地址, G/L位判断管理方式
- MAC帧: (PPT135开始的图片与解释) 有效的 MAC 帧长度为 64 ~ 1518 字节之间。数据字段的长度不在 46 ~ 1500 字节之间。
- 交换机VS集线器:
 - 交换机 (数据链路层): 独占带宽, 自学习算法与转发帧
 - 集线器 (物理层): 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。共享带宽
- 高速以太网:
 - 100BASE-T 以太网 (速率达到或超过 100 Mbit/s 的以太网。争用期 $5.12 \mu s$)
 - 吉比特以太网

04 网络层

- IP地址的编址方式：分类的IP地址：（全0本机，全1本网）

	网络号	主机号
A	8	24
B	16	16
C	24	8
D	多播	/
E	保留	/

- ARP协议：
 - 从网络层使用的 IP 地址，解析出在数据链路层使用的硬件地址。（动态更新ip&mac的映射表）
 - ARP请求分组是广播，ARP响应分组是单播
 - ARP高速缓存存放最近获得的 IP 地址到 MAC 地址的绑定，以减少 ARP 广播的数量。
 - ARP 是解决同一个局域网上的主机或路由器的 IP 地址和硬件地址的映射问题。
- IP数据报的首部格式（PPT91）
- 划分子网与构成超网：
 - 子网掩码：长度=网络号长度+子网号长度（判断是否适用子网划分）
 - 子网号=子网掩码&IP地址
 - 子网划分后，路由表必须包含：目的网络地址、子网掩码、下一跳地址
- 无分类编址CIDR：IP 地址从三级编址（使用子网掩码）又回到了两级编址。<地址块，主机号>
 - 网络前缀的分配可以全0或全1，但是主机号不设全0或全1
 - 最长前缀匹配：&操作后的选择
- ICMP协议：ICMP 报文的前 4 个字节是统一的格式，共有三个字段：即类型、代码和校验和。接着的 4 个字节的内容与 ICMP 的类型有关。
 - 差错报告报文（IP数据报）：P169
 - 询问报文：回送请求和回答报文、时间戳请求和回答报文
 - PING 用来测试两个主机之间的连通性。
 - tracert用来跟踪一个分组从源点到终点的路径。
- 自治系统 AS(Autonomous System)：在单一的技术管理下的一组路由器，而这些路由器使用一种 AS 内部的路由选择协议和共同的度量。
- 内部网关协议 IGP (Interior Gateway Protocol)：
 - RIP (Routing Information Protocol) (路由信息协议)：一种分布式的、基于距离向量的动态路由选择协议。的每一个路由器都要维护从它自己到其他每一个目的网络的距离（跳数）记录。“距离”的最大值为 16 时即相当于不可达，可见 RIP 只适用于小型互联网。RIP不能在两个网络之间同时使用多条路由。
 - 仅和相邻路由器交换信息。
 - 交换的信息是当前本路由器所知道的全部信息，即自己的路由表。

- 按固定的时间间隔交换路由信息
 - 好消息传播得快，坏消息传播得慢。
- OSPF(Open Shortest Path First)(开放最短路径优先)：迪杰斯特拉(Dijkstra)算法
 - 向本自治系统中所有路由器发送信息，这里使用的方法是洪泛法。
 - 发送的信息就是与本路由器相邻的所有路由器的链路状态，但这只是路由器所知道的部分信息。
 - 只有当链路状态发生变化时，路由器才用洪泛法向所有路由器发送此信息。
- 外部网关协议 BGP (Border Gateway Protocol)(边界网关协议) 是不同自治系统的路由器之间交换路由信息的协议
- IP 多播 (P253) (MAC只有23位可用作多播，和D类地址中的23位有一一对应的关系)
- IGMP

05 传输层

- 复用：发送方不同的应用进程使用同一个运输层协议
- 分用：接收方的运输层把数据正确交付给目的进程
- 熟知端口号：P27
- UDP 用户数据报的首部格式：P33
- TCP 报文段的首部格式：P48
- TCP 连接建立、数据发送、释放连接的过程（各字段的值 SYN、ACK、seq, ack, FIN 如何变化，TCP 的序号、确认号与数据长度之间的关系）——>题目
- Socket 的组成：(IP地址:端口号)
- 信道利用率：P100
- 当用 n 比特进行分组的编号时，接收窗口 $W_R = 1$ ，只有在发送窗口 $W_T \leq 2^n - 1$ 时，连续 ARQ 协议才能正确运行
- 选择重传协议：接收窗口的尺寸不能超过 $2^n - 1$ （即序号范围的1/2），否则可能造成帧的重叠。发送窗口的尺寸一般和接收窗口的尺寸相同。
- 滑动窗口协议：
- 加权平均往返时间
- 滑动窗口、流量控制（速率）、拥塞控制（窗口）