

计算机网络

概论

概述

三大类网络：电信网络、有线电视网络、计算机网络。

Internet：因特网（理论译名）、互联网（流行译名）

- internet（互联网或互连网）：通用名词，它泛指由多个计算机网络互连而成的网络。
- Internet（因特网）：专用名词，特指采用TCP/IP协议的互联网络。区别：后者实际上是前者的双向应用

计算机网络由**节点**和**链路**组成。

- 1969-1990 ARPANET (1983互联网诞生, TCP/IP)
- 1985-1993 三级结构(主干网、地区网、校园/企业网)
- 1993-现在 主干、地区和本地ISP(互联网服务提供者) (形成多层次ISP结构的Internet)

组成

互联网按工作部分划分为边缘部分、核心部分。

在边缘部分，主机=端系统，拥有者可以是个人、单位、ISP。

端系统通信方式：C/S，P2P(Peer to Peer)

核心部分最重要功能：**分组转发**。路由器任务：转发收到的分组，实现分组交换。

分组交换技术：

- 电路交换：线的数量是 $C2n$ ，用交换机可以减少。必须一直占线。建立-通话-释放。
- 分组交换：存储转发技术。数据段加首部(/包头)成分组(/包)。每个分组独立选择路径。可以不先建立连接。可靠协议。但排队延迟、不保证带宽、增加开销(包头、路由器暂存和维护转发表)。要点：报文分组，加首部；经路由器储存转发；在目的地合并
- 报文交换：存储转发原理，时延长。不需要预先分配带宽。

优缺点比较：（1）电路交换：端对端通信质量因约定了通信资源获得**可靠保障**，对连续传送大量数据效率高。（2）报文交换：无须预约传输带宽，动态逐段利用传输带宽对**突发式数据通信效率高，通信迅速**。（3）分组交换：具有报文交换之高效、迅速的要点，且各**分组小，路由灵活，网络生存性能好**。

类别

计算机网络：由一些通用的、可编程的硬件互连而成的，这些硬件并非专门用于实现某一特定目的，可编程的硬件可以传送多种不同类型的数据（有CPU,中央处理器）。

按照网络作用范围：广域网(远程网)WAN，城域网MAN，局域网LAN，个人区域网(个域网)PAN。多处理机系统不是网络。广域网是Internet核心网。

按使用者(范围)划分：公用网(公众网)、专用网。

逻辑功能上，分为通信子网(组成：通信硬件、通信软件)和资源子网。

计算机网络的拓扑结构是指：忽略了设备和线路的大小、重量等物理性质，把它们抽象成点和线，仅仅研究点、线、面的关系，从而简化了研究的过程。拓扑结构划分：星形、树形、总线、环形、网状。

同通信能：资源共享计算机网络、分布式计算机网络和远程通信网络

性能

速率(数据率，比特率)，单位bit/s。1 Byte=8 bit。额定速率：绝对上限值。

$$K = 2^{10} \quad M = 2^{20} \quad G = 2^{30}$$

带宽(bandwidth)，频带宽度(频域, 赫, Hz)或最高数据率(时域, bit/s)。

吞吐量(throughput)，实际单位时间通过的数据量。每秒字节/帧数。

时延(delay，延迟，迟延)。哪一个主导具体问题具体分析。

- 发送时延(传输时延)：主机/路由器发送数据帧第一个比特到最后一个完毕的时间
- 传播时延：
- 处理时延：主机/路由器处理收到的分组用时
- 排队时延：分组在路由器输入输出队列排队等待时长。丢失等于无限

时延带宽积：传播时延X带宽，bit为单位的链路长度。

体系结构

OSI	TCP/IP	五层
应用层	应用层	应用层
表示层		
会话层		
运输层	运输层	运输层
网络层	网络层	网络层
数据链路层	链路层/网络接口层	数据链路层
物理层		物理层

应用层：应用层是最高层，它为用户提供网络服务和应用程序的接口。应用层协议包括HTTP、FTP、SMTP、DNS等，它们定义了应用程序如何进行通信和数据传输。

传输层：传输层主要负责提供可靠的数据传输服务，它通过端口号来识别不同的应用程序。传输层协议包括TCP和UDP，TCP提供可靠的连接导向的传输服务，UDP则提供不可靠的无连接传输服务。

网络层：网络层负责将数据包从源主机传输到目的主机，它通过IP地址和路由选择算法来实现数据包的传输。网络层协议包括IP协议和ICMP协议等。

数据链路层：数据链路层主要负责将数据帧从一个节点传输到相邻节点，它通过物理地址（MAC地址）来识别网络上的设备。数据链路层协议包括以太网协议、PPP协议等。

物理层：物理层负责处理物理媒介上的传输，它将比特流转换成信号，以便在传输介质上传输。物理层协议包括网线、光纤等。

物理层

物理层考虑的是怎样才能在**连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流**，**而不是指具体的传输媒体**。

物理层的作用是要尽可能地**屏蔽掉传输媒体和通信手段的差异**。即不论用什么接口都能通信。

用于物理层的协议也常称为物理层**规程**。

物理层的主要任务是**与传输接口有关**的一些特性：

- **机械特性**：指明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置等。平时常见的各种规格的接插件都有严格的标准化的规定。
- **电气特性**：指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- **功能特性**：指明某条线上出现的某一电平的电压的意义。
- **过程特性**：指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

数据在计算机内部采用并行运输的方式：多个比特同时传输。

数据在通信线路(传输媒体)上使用串行运输的方式：即逐个比特按照时间顺序传输。

数据通信的基础知识

数据通信系统的模型

一个数据通信系统可划分为三大部分，即**源系统**（或发送端、发送方）、**传输系统**（或传输网络）和**目的系统**（或接收端、接收方）。又称为：信源、通信媒体、信宿。

在上图中：**调制**认为是把**数字信号转换为模拟信号**的过程，而**解调**是把**模拟信号转换为数字信号**的过程。

老师课堂解释的**调制**：把信号转化为**适合在信道上传输的信号**。

一些常用术语及解释：

术语	解释
数据	运送消息的实体
信号	数据的电气的或电磁的表现
模拟信号	代表消息的参数的取值是连续的
数字信号	代表消息的参数的取值是离散的
码元	在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时，代表不同离散数值的基本波形。

信道的基本概念

概念	解释
信道	一般用来表示向某一个方向传递信息的媒体
单向信道（单工信道）	只能有一个方向的通信而没有反方向的交互
双向交替通信（半双工通信）	通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送（当然也就不能同时接收）
双向同时通信（全双工通信）	通信的双方可以同时发送和接收信息

基带信号（即基本频带信号）——来自信源的信号。计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号（数字信号）都属于基带信号。

调制分为两大类：

- 基带调制：仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特征相适应。**变换后的信号仍然是基带信号**。把这种过程称为**编码**。把数字信号转换为另一种形式的数字信号。
- 带通调制：使用**载波进行调制**，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**，这样就能够更好地在模拟信道中传输。

带通信号：经过**载波调制**后的信号。

常用的编码方式：

编码方法	表示方法
不归零制	正电平代表1，负电平代表0
归零制	正脉冲代表1，负脉冲代表0
☆ 曼彻斯特编码	高一→低代表1，低一→高代表0。但也可以反过来定义
差分曼彻斯特编码	前一位后半和后一位前半不同表示0。前一位后半和后一位前半相同表示1

基本的带通调制方法：

方法	含义
调幅(AM)/幅移键控(ASK)	载波的振幅随基带数字信号而变化
调频(FM)/频移键控(FSK)	载波的频率随基带数字信号而变化
调相(PM)/相移键控(PSK)	载波的初始相位随基带数字信号而变化

信道的极限容量

任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。

从概念上讲，限制码元在信道上的传输速率的因素有以下两个：

- 信道能够通过的频率范围—>带宽
- 信噪比

奈氏准则

所谓**带宽就是指能通过的频率范围**。单位是Hz

奈氏准则：

- 假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。
- 理想低通信道的最高码元传输速率 = $2W$ (码元/秒=波特)
- W 是理想低通信道的带宽，单位为赫(Hz)。信道的频带越宽，也就是能够通过信号高频分量越多，就可以用更高的速率传送码元而不出现码元串扰。

比特率和波特率的关系：

- 比特率是指单位时间内所传输的二进制代码的有效位数，单位是比特/秒(bps)。
- 波特率是指每秒传送的波形的个数，单位是波特(baud)。
- 比特率和波特率之间的换算关系如下： $\text{比特率} = \text{波特率} * \log_2 N$ ，其中N为码元所表示的有效状态数。

信噪比

- 信噪比就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比。常记为 S/N ，并用分贝(dB)作为度量单位。即： $S/N(\text{dB}) = 10\log_{10}(S/N) (\text{dB})$ ，这里要注意，信噪比的意思是 S/N ，但是用分贝作度量单位的时候要把信噪比用公式 $10\log_{10}(S/N) (\text{dB})$ 得到。
- 带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的**极限、无差错的信息传输速率C（香农公式）**可表达为： $C = W \log_2(1+S/N) (\text{bit/s})$ 。其中W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；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。

香农公式

$$C = W \log_2(1+S/N) (\text{bit/s})$$

香农公式表明：

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 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。
- 若信道带宽 W 或信噪比 S/N 没有上限（当然实际信道不可能是这样的），则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

传输媒体

传输媒体也称为传输介质或传输媒介，**它并不属于物理层**

传输媒体分为两大类，即**导引型传输媒体**和**非导引型传输媒体**。

- 导引型传输媒体中，电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
- 非导引型传输媒体就是指自由空间，在非导引型传输媒体中，电磁波的传输称为无线传输。

导引型传输媒体

双绞线

- 最常用的传输媒体
- 模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，通信距离一般为几到十几公里。
- **屏蔽双绞线STP**，带金属屏蔽层。
- 无屏蔽双绞线UTP
- 导线相互缠绕可以降低电磁干扰

同轴电缆

- 同轴电缆具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。

光纤

- 多模光纤：纤芯直径较大，可同时传输多条光线；使用发光二极管作为光源。
- 单模光纤：纤芯直径较小，一次仅能传输一条光线；使用激光作为光源。

与单模光纤相比，多模光纤传输速率低，距离短（2km），整体的传输性能差，成本较低；一般用于建筑物内或地理位置相邻的环境，主要用于局域网。单模光纤通常用作楼间的连接或广域网连接。

光纤优点：

- (1) 通信容量非常大。
- (2) 传输损耗小，中继距离长。
- (2) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (3) 无串音干扰，保密性好。
- (4) 体积小，重量轻。

非导引型传输媒体

- 将自由空间称为“非导引型传输媒体”

短波通信

短波通信（即高频通信）主要是靠电离层的反射，但电离层的不稳定所产生的衰落现象和电离层反射所产生的多径效应，使短波信道的通信质量较差，传输速率低。

微波通信

微波在空间主要是直线传播。

传统微波通信有两种方式：

- 地面微波中继通信

- 卫星通信

信道复用技术

包括频分复用、时分复用、统计时分复用、波分复用、码分复用

复用允许用户使用一个**共享**信道进行通信，**降低成本，提高利用率**。

多个码片代表一个比特。

频分复用FDM

- 将整个带宽分为多份，用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带。
- 频分复用的所有用户在**同样的时间占用不同的带宽资源**（请注意，这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率）。

时分复用TDM

- 时分复用则是将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（其周期就是 TDM 帧的长度）。
- TDM 信号也称为等时(isochronous)信号。
- 时分复用的所有用户是**在不同的时间占用同样的频带宽度**。

使用时分复用系统传送计算机数据时，由于**计算机数据的突发性**，用户对分配到的子信道的利用率一般是不高的。

统计时分复用STDM

STDM 帧不是固定分配时隙，而是**按需动态地分配时隙**。因此统计时分复用**可以提高线路的利用率**。

- 在每个时隙中**需要有用户的地址信息**。
- 集中器**能正常工作的前提是假定各用户都是间歇地工作**。

波分复用WDM

码分复用CDM

- 码分复用是一种**共享信道**的方法。当码分复用信道为多个不同地址的用户所共享时，就称为**码分多址CDMA**。
- 各用户使用经过特殊挑选的**不同码型**，因此彼此不会造成干扰。
- 这种系统发送的信号**有很强的抗干扰能力**，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。

码片序列

每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为**码片**。每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列。

将**码片中的0**记为-1，将**码片中的1**记为+1

CDMA的重要特点

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** (orthogonal)。

两个不同站的码片序列正交，就是向量 S 和 T 的规格化内积 (inner product) 等于 0，**注意要求平均**。

- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1
- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1

当**S站发送比特1**时，在X站计算内积的结果是+1；当**S站发送比特0**时，内积的结果是-1。

所有站收到的都是叠加的信号。

当接收S站发送的信号时，就用S站的码片序列与收到的信号求规格化内积。 $S \cdot S_x$ 就是S站发送的数据比特，因为在计算规格化内积时，或者都是+1，或者都是-1

数字传输系统

与模拟通信相比，数字通信无论是在传输质量上还是经济上都有明显的优势。

目前，长途干线大都采用**时分复用的脉码调制PCM** 的**数字传输**方式。

脉码调制一般包括三个过程：**采样、量化和编码**。

旧的数字传输系统存在许多缺点：

- **速率标准不统一**
- **不是同步传输**

同步光纤网 SONET

- 对电信信号称为第 1 级同步传送信号 STS-1
- 对光信号则称为第 1 级光载波 OC-1

同步数字系列 SDH

一般可认为 SDH 与 SONET 是 synonym。

其主要不同点是：SDH 的第 1 级同步传递模块，即 STM-1，相当于 SONET 体系中的 OC-3 速率。

SONET / SDH 标准的意义：第一次真正**实现了数字传输体制上的世界性标准**。

数据链路层

链路(link)是一条无源的点到点的物理线路段，中间没有任何其他的交换结点。

本章的重点内容：

- 数据链路层的点对点信道与PPP协议、广播信道与CSMA/CD协议
- 三个基本问题：**封装成帧、透明传输、差错检测**
- 以太网MAC层的硬件地址

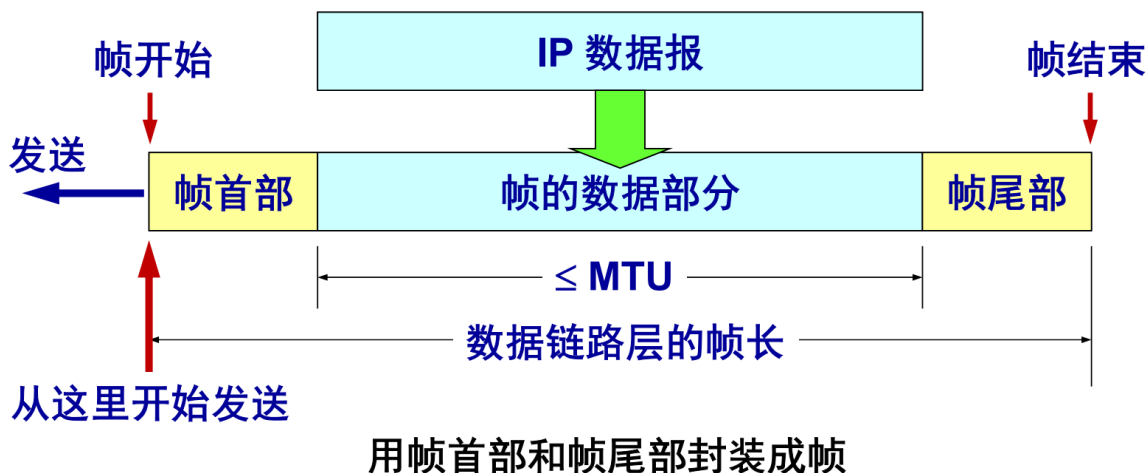
- 适配器、转发器、集线器、网桥、以太网交换机

数据链路层的协议数据单元——帧

三个基本问题

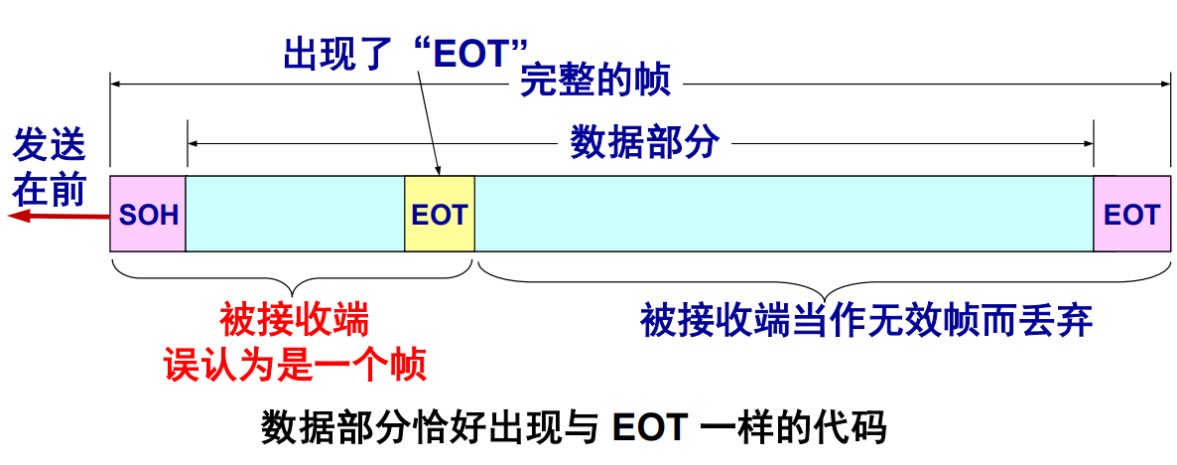
封装成帧

封装成帧 (framing) 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。确定帧的界限。



透明传输

当数据部分是**非ASCII码**时，如果数据中的某个字节恰好和SOH或EOT这种控制字符一样，链路层就会错误地“找到帧地边界”



解决办法：字节填充

在发送端地数据链路层地控制字符前面**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。当接收端收到连续的两个转义字符时，就删除其中前面的一个。

差错检测

在传输过程中可能会产生比特差错：1 可能会变成 0 而 0 也可能变成 1。

在一段时间内，传输错误的比特占所传输比特总数的比率称为**误码率** BER (Bit Error Rate)。

循环冗余检验

在数据链路层传送的帧中，广泛使用了循环冗余检验 CRC 的检错技术。

在发送端，先把数据划分为组。假定每组 k 个比特。假设待传送的一组数据 $M = 101001$ （现在 $k = 6$ ）。我们在 M 的后面再添加供差错检测用的 n 位**冗余码**一起发送。

冗余码的计算



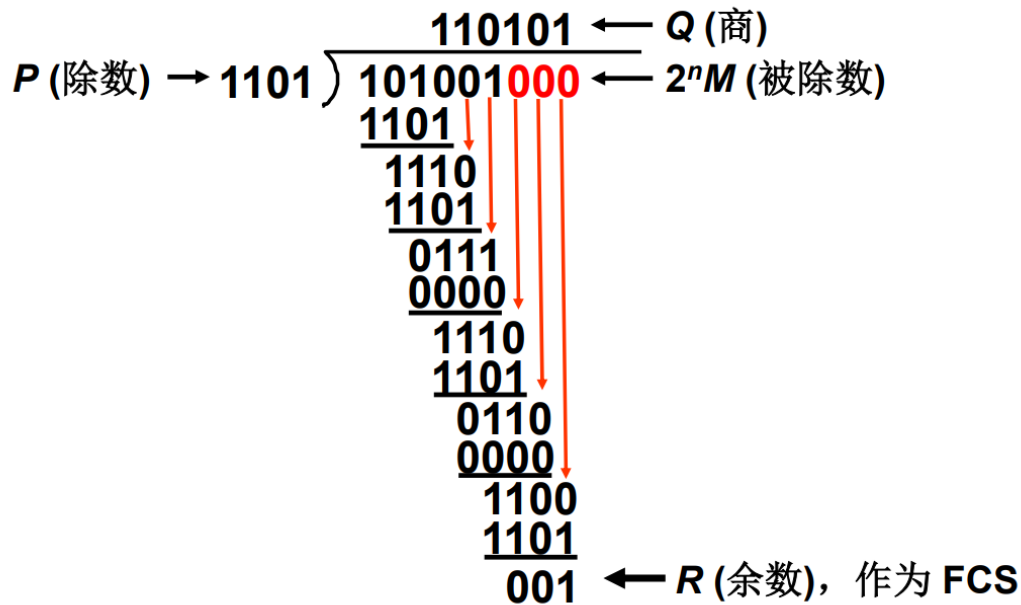
- 用二进制的**模 2 运算**进行 2^n 乘 M 的运算，这相当于在 M 后面添加 n 个 0。
- 得到的 $(k + n)$ 位的数除以事先选定好的长度为 $(n + 1)$ 位的**除数** P ，得出**商**是 Q 而**余数**是 R ，余数 R 比除数 P 少 1 位，即 R 是 n 位。
- 将余数 R 作为冗余码拼接在数据 M 后面发送出去。

冗余码的计算举例



- 现在 $k = 6$, $M = 101001$ 。
- 设 $n = 3$, **除数** $P = 1101$,
- 被除数是 $2^n M = 101001000$ 。
- 模 2 运算的结果是：**商** $Q = 110101$,
余数 $R = 001$ 。
- 把余数 R 作为**冗余码**添加在数据 M 的后面发送出去。
发送的数据是： $2^n M + R$
即：101001001，共 $(k + n)$ 位。

循环冗余检验的原理说明



在数据后面添加上的冗余码称为帧检验序列 FCS (Frame Check Sequence)。

循环冗余检验 CRC 和帧检验序列 FCS 并不等同。

- CRC 是一种常用的检错方法，而 FCS 是添加在数据后面的冗余码。
- FCS 可以用 CRC 这种方法得出，但 CRC 并非用来获得 FCS 的唯一方

除数P的表示

一种较为方便的方法是用生成多项式来表示除数P。

使用

$$P(X) = X^3 + X^2 + 1$$

表示除数P=1101 (使用系数)

CRC校验方式

把接收到的每一帧都除以同样的除数P，然后检查得到余数R。

- 若R=0，则判定这个帧没有差错，就接受
- 若R≠0，则判定这个帧有差错，就丢弃
- 但是这种方式并不能确定究竟时哪一个或哪几个比特出现了差错

仅用循环冗余检验 CRC 差错检测技术只能做到无差错接受 (accept)

也就是说：“凡是接收端数据链路层接受的帧都没有传输差错”（有差错的帧就丢弃而不接受）。

要做到“可靠传输”（即发送什么就收到什么）就必须再加上确认和重传机制

数据链路层的信道

- 点对点信道 一对一
- 广播信道 一对多

PPP协议（点对点信道）

对于点对点的链路，目前使用得最广泛的数据链路层协议是点对点协议 PPP (Point-to-Point Protocol)。

PPP协议的组成：

- 一个将IP数据封装到串行链路的方法
- 链路控制协议LCP
 - 每一个协议支持不同的网络层协议，如IP、OSI的网络层、AppleTalk等
- 网络控制协议NCP
 - 用来建立、配置和测试数据链路连接
 - 配合不同的网络层协议

PPP协议的帧格式

PPP 帧的首部和尾部分别为 4 个字段和 2 个字段

- 标志字段 F = 0x7E
- 地址字段 A 只置为 0xFF 111111 (如发现5个连续1则填充0)
- 控制字段 C 通常置为 0x03

CSMA/CD协议（广播信道）

使用广播信道的数据链路层：

- 逻辑链路控制LLC（基本不考虑）
- 媒体接入控制MAC（接入到传输媒体有关内容）

网络接口板又称为通信适配器 (adapter) 或网络接口卡 NIC (Network Interface Card)，或“网卡”

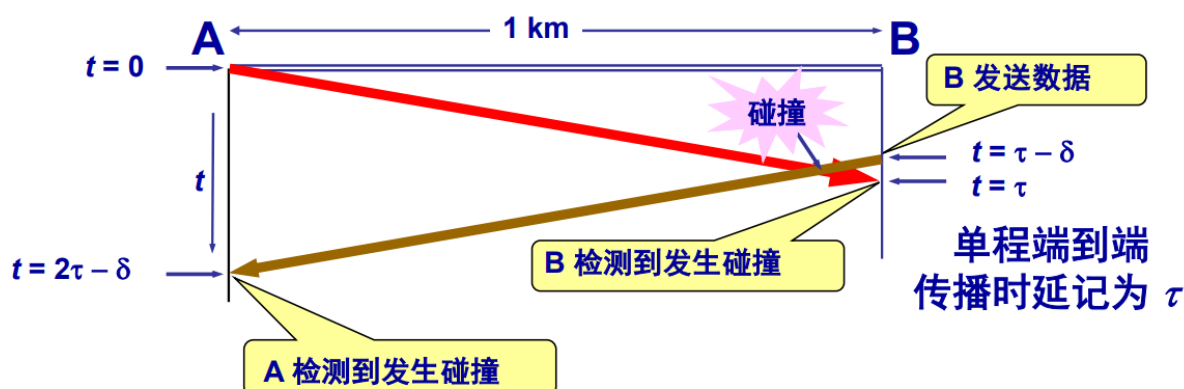
以太网采取两种重要的措施：

- 采用较为灵活的**无连接**的工作方式
 - 不先建立连接就可以直接发送数据
 - 有错误直接丢弃 差错处理由上层完成
- 以太网发送的数据都使用曼切斯特编码

CSMA/CD含义：**载波监听多点接入 / 碰撞检测**

- 多点接入：许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上
- 载波监听：每一个站在发送数据之前要先检测一下总线上是否有其他计算机在发送数据。如果有则暂时不发送数据。
- 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

信号传播时延对载波监听的影响



A最迟需要单程传播时延的 2 倍的时间，才能检测到与 B 的发送产生了冲突

显然，在使用CSMA/CD协议时，一个站不可能同时进行发送和接收（但必须边发送边监听信道）。因此使用CSMA/CD协议的以太网不可能进行全双工通信而只能进行半双工通信。

以太网的端到端往返时延 2τ 称为争用期，或碰撞窗口。

二进制指数类型退避算法

二进制指数类型退避算法



(truncated binary exponential type)

- 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。
 - 基本退避时间取为争用期 2τ 。
 - 从整数集合 $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ 中**随机**地取出一个数，记为 r 。重传所需的时延就是 r 倍的基本退避时间。
 - 参数 k 按下面的公式计算：
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
 - 当 $k \leq 10$ 时，参数 k 等于重传次数。
 - 当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

10 Mbit/s 以太网取 $51.2 \mu\text{s}$ 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，即 64 字节

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

最短有效帧长：

- 如果发生冲突，就一定是在发送的前 64 字节之内。

- 由于一检测到冲突就立即中止发送，这时已经发送出去的数据一定小于 64 字节。
- 以太网规定了最短有效帧长为 64 字节，凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧

CSMA/CD协议的要点



- (1) **准备发送**。但在发送之前，必须先检测信道。
- (2) **检测信道**。若检测到信道忙，则应不停地检测，一直等待信道转为空闲。若检测到**信道空闲**，并在 96 比特时间内信道保持空闲（保证了帧间最小间隔），就发送这个帧。
- (3) **检查碰撞**。在发送过程中仍不停地检测信道，即网络适配器要**边发送边监听**。这里只有**两种可能性**：
 - ①**发送成功**：在争用期内一直未检测到碰撞。这个帧肯定能够发送成功。发送完毕后，其他什么也不做。然后回到 (1)。
 - ②**发送失败**：在争用期内检测到碰撞。这时立即停止发送数据，并按规定**发送人为干扰信号**。适配器接着就执行**指数退避算法**，等待 r 倍 512 比特时间后，返回到步骤 (2)，继续检测信道。但若重传达 16 次仍不能成功，则停止重传而向上报错。

使用集线器的星型拓扑

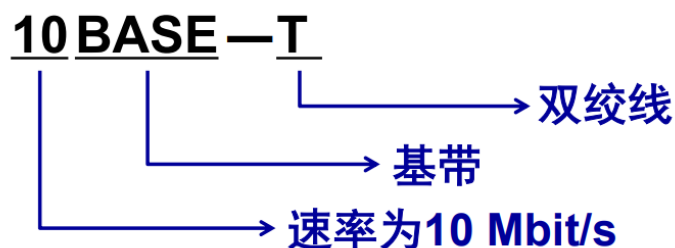
粗同轴电缆->细同轴电缆->双绞线

采用双绞线的以太网采用星形拓扑，在星形的中心则增加了一种可靠性非常高的设备，叫做集线器(hub)。

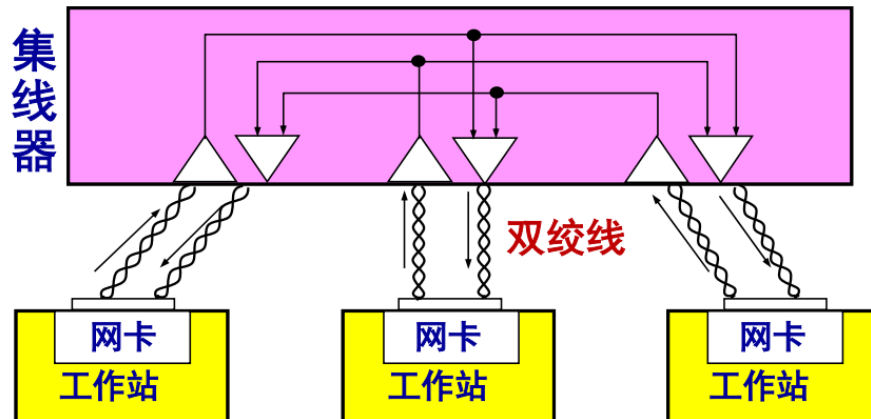
星形以太网 10BASE-T



- 1990年 IEEE 制定出星形以太网 10BASE-T 的标准 802.3i。



具有三个接口的集线器



集线器的特点：

- 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
- 同一时刻至多只允许一个站发送数据
- 集线器很像一个多接口的转发器，工作在**物理层**

以太网的信道利用率

定义参数 a ，它是以太网单程端到端时延 τ 与帧发送时间 T 之比：

$$a = \frac{\tau}{T_0}$$

假定理想化情况，信道上不发生碰撞，则极限利用率为：

$$S_{max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$

- 只有当参数 a 远小于 1 才能得到尽可能高的极限信道利用率。
- 据统计，当以太网的利用率达到 30% 时就已经处于重载的情况。很多的网络容量被网上的碰撞消耗掉了。

以太网的MAC层

在局域网中，硬件地址又称为物理地址或MAC地址

- IEEE 的注册管理机构 RA 负责向厂家分配地址字段 6 个字节中的前三个字节 (即高位 24 位)，称为组织唯一标识符
- 地址字段 6 个字节中的后三个字节 (即低位 24 位) 由厂家自行指派，称为扩展唯一标识符，必须保证生产出的适配器没有重复地址



48 位的 MAC 地址

适配器检查MAC地址：

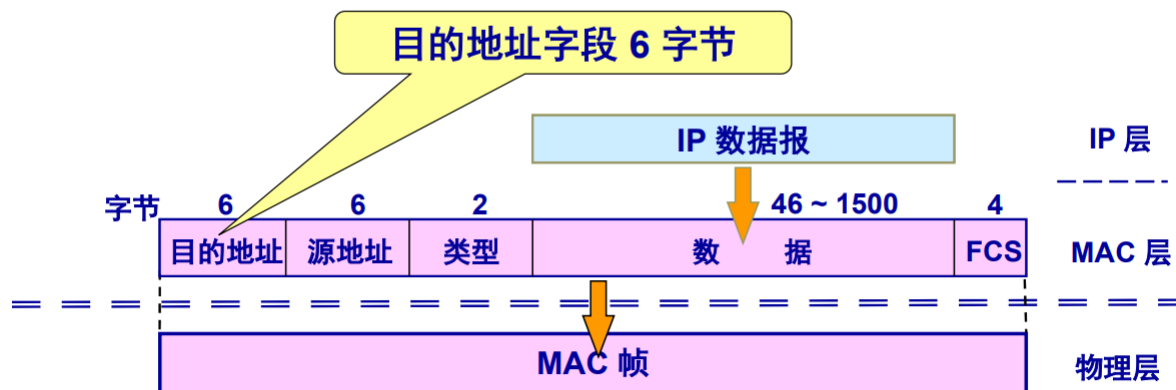
- 如果是发往本站的帧则收下，然后再进行其他的处理。
- 否则就将此帧丢弃，不再进行其他的处理

“发往本站的帧”包括以下三种帧：

- 单播帧 一对一
- 广播帧 一对全体
- 多播帧 一对多

以混杂方式 (promiscuous mode) 工作的以太网适配器只要“听到”有帧在以太网上传输就 都接收下来。

以太网 V2 的 MAC 帧格式



无效的MAC帧：

- 帧长度不是整数个字节
- 用收到的帧检验序列FCS查出有差错
- 收到的帧的MAC客户数据字段的长度不在46~1500字节之间。考虑MAC帧首部尾部长度共有18字节。有效MAC帧长度为64~1518字节之间。

扩展的以太网

- 在物理层扩展以太网
 - 使用光纤、集线器扩展
- 在数据链路层扩展
 - 使用网桥、交换机扩展

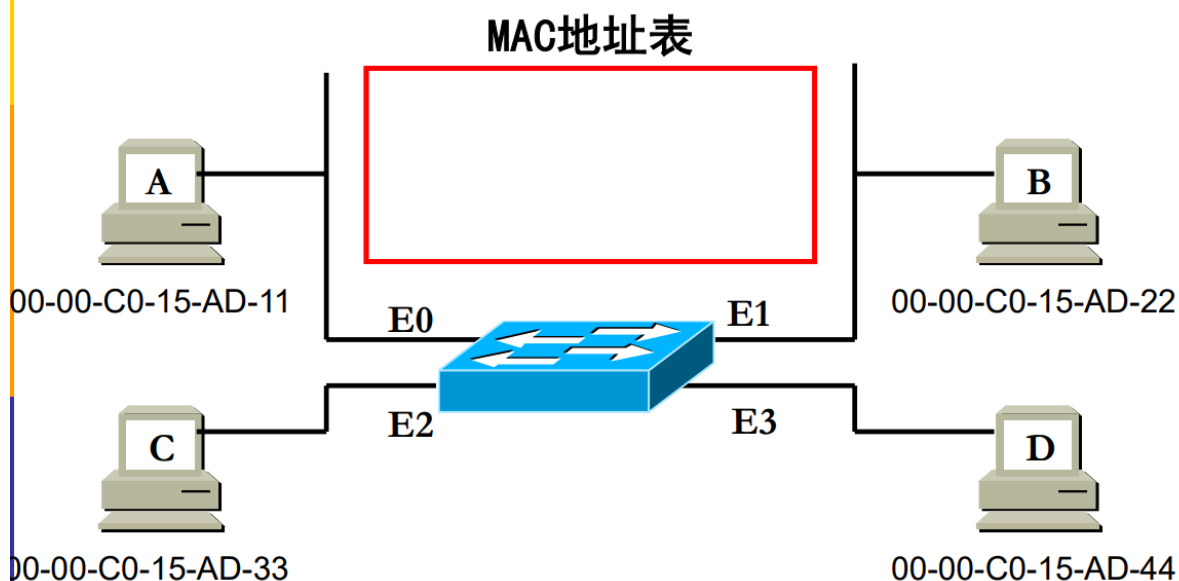
交换机实际上就是一个多接口的网桥。

交换机的特点：

- 以太网交换机的**接口有存储器**，能在输出端口繁忙时把到来的帧进行缓存
- 以太网交换机是一种即插即用设备，其内部的**帧交换表（又称为地址表）是通过自学习算法自动地逐渐建立起来的**
- 以太网交换机使用了专用的交换结构芯片 (ASIC)，用硬件转发，其转发速率要比使用软件转发的网桥快很多

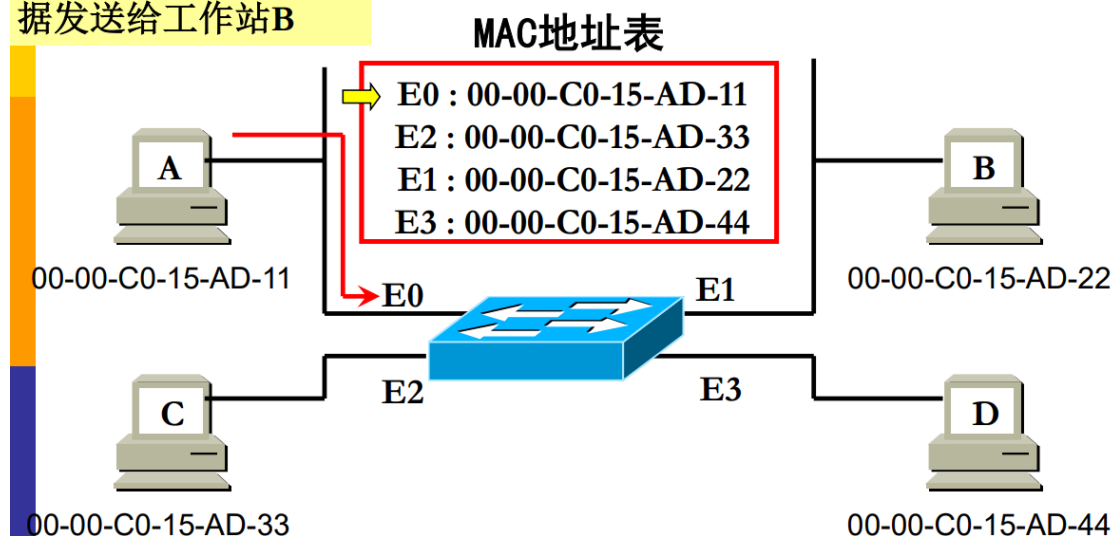
2. 以太网交换机的自学习功能

- 最初开机时MAC地址表是空的。



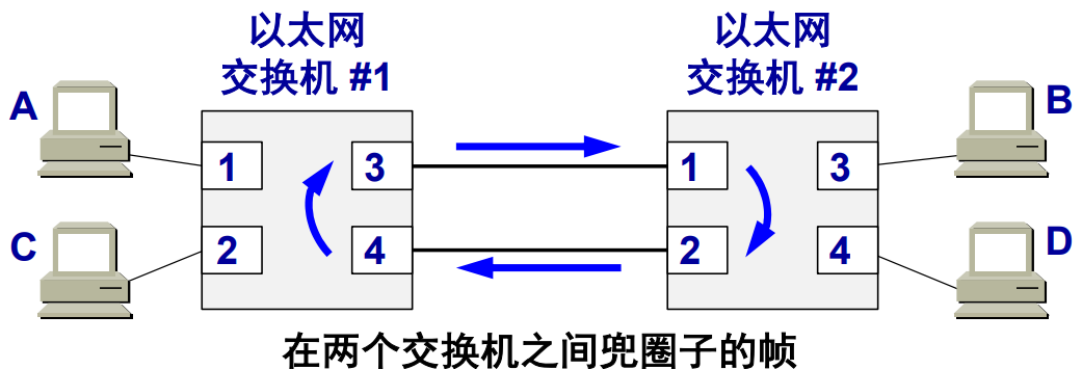
转发/过滤决策

假设工作站A要将数据发送给工作站B



注意泛洪的概念

- 按交换机自学习和转发方法，该帧的某个走向如下：离开交换机 #1 的接口 3 → 交换机 #2 的接口 1 → 接口 2 → 交换机 #1 的接口 4 → 接口 3 → 交换机 #2 的接口 1 →.....。这样就无限制地循环兜圈子下去，白白消耗了网络资源。



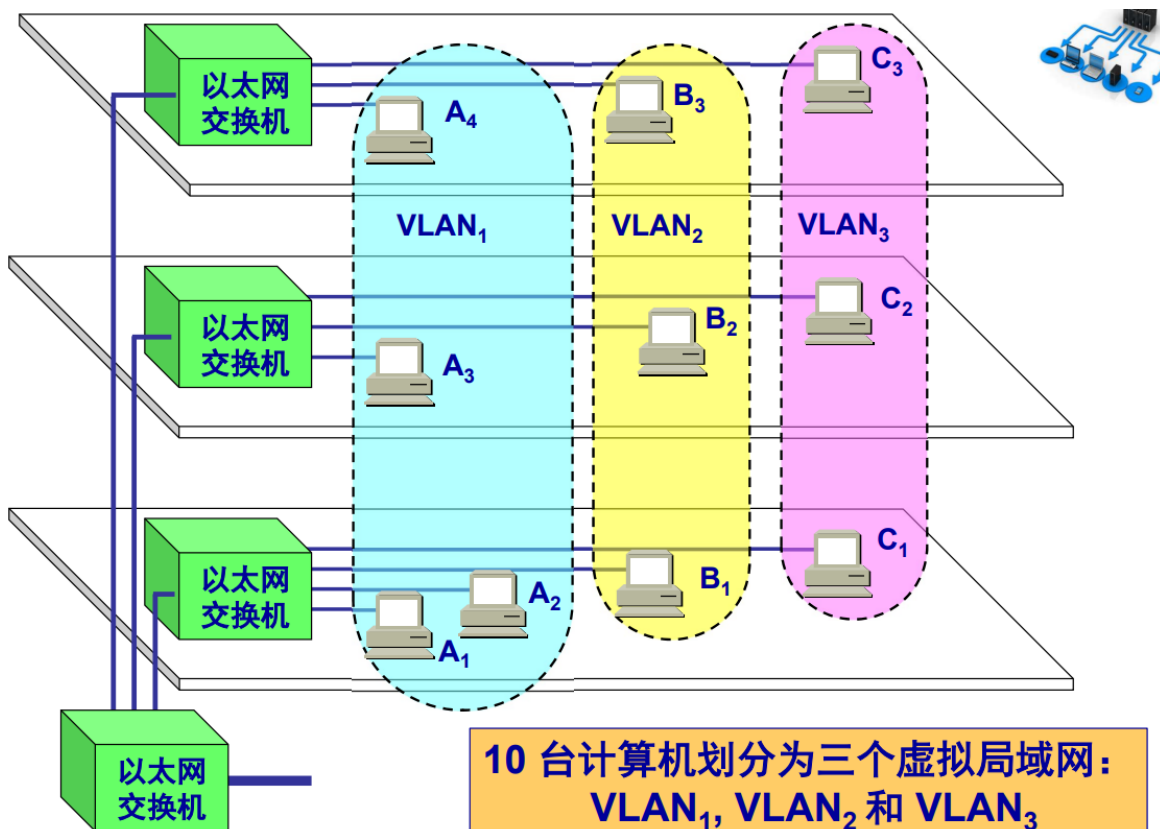
生成树协议STP:

不改变网络的实际拓扑，但在逻辑上则切断某些链路，使得从一台主机到所有其他主机无环路的路径是树状结构，从而消除了兜圈子现象。

虚拟局域网

蠕虫病毒相当泛滥，一旦病毒发起泛洪广播攻击，将会很快占用完网络的带宽，导致网络的阻塞和瘫痪。

虚拟局域网（VLAN）：它是将局域网从逻辑上划分为一个个的网段，从而实现虚拟工作组的一种交换技术



高速比特网

速率达到或超过 100 Mbit/s 的以太网称为高速以太网。

吉比特以太网

允许在 1 Gbit/s 下全双工和半双工两种方式工作

在半双工方式下使用 CSMA/CD 协议，全双工方式不使用 CSMA/CD 协议