

计算机网络

Not Given

2022 年 7 月 3 日

目录

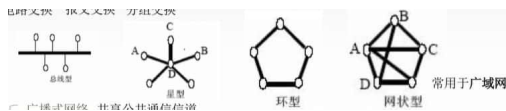
第一章：计算机网络的基本介绍	1
一、简介	1
二、标准化工作	1
三、性能指标	1
(一) 速率	1
(二) 带宽	2
(三) 吞吐量	2
(四) 时延	2
(五) 利用率	2
四、分层结构	2
(一) 分层结构的基本概述	2
(二) OSI 参考模型	3
(三) TCP/IP 参考模型	4
(四) 5 层参考模型	4
第二章：物理层	6
一、基本概念	6
二、数据通信	6
(一) 概述	6
(二) 信号方面的相关概念	6
(三) 奈氏准则和香农定理	7
(四) 编码与调制	7
三、物理层传输介质	8
(一) 基本介绍	8
(二) 导向性传输介质	8
(三) 非导向性传输介质	9
四、物理层设备	9
(一) 中继器	9
(二) 集线器	9
第三章：数据链路层	10
一、数据链路层的相关概念	10
二、功能概述	10
三、封装成帧	10
四、差错控制	11

(一) 简介	11
(二) 检错编码	11
(三) 纠错编码	11
五、流量控制与可靠传输机制	12
(一) 概述	12
(二) 停止-等待协议	12
(三) 后退 N 帧协议	13
(四) 选择重传协议	13
六、介质访问控制	14
(一) 概述	14
(二) 信道划分介质访问控制	14
(三) 随机访问介质访问控制	15
(三) 轮询访问介质访问控制	17
七、网络形式	17
(一) 局域网	17
(二) 以太网	18
(三) 无线局域网	19
(四) 广域网	19
八、链路层设备	21
(一) 概述	21
(二) 网桥	21
(三) 交换机	21

第一章：计算机网络的基本介绍

一、简介

1. 基本概念：计算机网络是指将地理位置不同的具有独立功能的多台计算机及其外部设备，通过通信线路连接起来，在网络操作系统，网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下，实现资源共享和信息传递的计算机系统
2. 功能
 - (1) 数据通信
 - (2) 资源共享
 - (3) 分布式处理
 - (4) 提高可靠性
3. 组成
 - (1) 组成部分：硬件、软件、协议
 - (2) 工作方式：边缘部分，用户直接使用；核心部分，为边缘部分服务
 - (3) 功能组成：通信子网，实现数据通信；资源子网，实现资源共享和数据处理
4. 计算机网络的分类
 - (1) 按分布范围分类：广域网，城域网，局域网和个人区域网
 - (2) 按使用者分类：公用网，专用网
 - (3) 按照交换技术分类：电路交换，报文交换，分组交换
 - (4) 按照拓扑结构分类：总线型，星型，环型，网状型
 - (5) 按照传输技术分类：广播式网络，点对点网络



二、标准化工作

1. 标准的分类：法定标准，由权威机构指定的标准；事实标准，某些公司的产品在竞争中占据了主流，成为了标准
2. RFC
 - (1) 概念：一种因特网标准形式
 - (2) RFC 上升为正式标准的四个阶段：因特网草案，建议标准，草案标准，因特网标准
 - (3) 相关组织

国际标准化组织 ISO	OSI参考模型、HDLC协议
国际电信联盟 ITU	制定通信规则
国际电气电子工程师协会 IEEE	学术机构、IEEE802系列标准、5G
Internet工程任务组 IETF	负责因特网相关标准的制定

三、性能指标

(一) 速率

1. 比特：数据传输的基本单位，为 0 或 1
2. 速率：数据传输的快慢，也叫比特率
3. 单位：b/s, kb/s 等

(二) 带宽

1. 带宽的概念：通信线路传输数据的能力，通常指单位时间从一点到另一点所能通过的最高速率。也代表着网络设备所能支持的最高速度
2. 辨析：带宽只决定发送的速率，不能决定传输的速率

(三) 吞吐量

1. 吞吐量的概念：单位时间内通过某个网络的数据量
2. 限制因素：带宽
3. 辨析：带宽是最大数值，吞吐量是实际数值

(四) 时延

1. 时延的概念：从网络的一端传输到另一端的时间
2. 分类
 - (1) 发送时延：从发送分组的第一个比特开始，到最后一个比特发送完毕所需的时间， $\text{发送时延} = \frac{\text{数据长度}}{\text{信道带宽}}$
 - (2) 传播时延：电磁波在信道中传输一定距离所需的时间， $\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度}}{\text{电磁波传播速率}}$
 - (3) 排队时延：等待输出或者入链路所需的时间
 - (4) 处理时延：检错和找出口所需的时间
3. 时延带宽积：链路当中的数据容量， $\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$
4. 往返时延 RTT：从发送放发送数据开始，到发送放受到接收方确认总共经历的时间。RTT 越大，收到确认前可以发送的数据越多。RTT 主要包括两倍的传播时延和末端处理时间

(五) 利用率

1. 利用率的概念：实际用量和最大用量之间的比值
2. 常见分类
 - (1) $\text{信道利用率} = \frac{\text{有数据通过的时间}}{\text{总时间}}$
 - (2) $\text{网络利用率} = \text{信道利用率的加权平均值}$
3. 利用率和时延的关系：利用率越高，时延越长

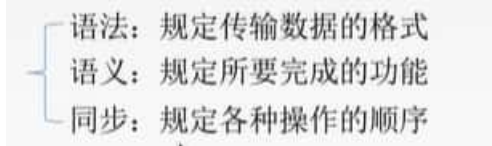
四、分层结构

(一) 分层结构的基本概述

1. 前置内容-发送文件前需要完成的工作
 - (1) 发起通信的计算机必须将数据通信的通路进行**激活**。
 - (2) 要告诉网络如何识别目的主机。
 - (3) 发起通信的计算机要查明目的主机是否开机，并且与网络连接正常。
 - (4) 发起通信的计算机要弄清楚，对方计算机中文件管理程序是否已经做好准备工作。
 - (5) 确保差错和意外可以解决。
2. 分层结构的作用：将发送文件前的工作进行分类，化整为零进行工作
3. 分层结构的相关概念
 - (1) 实体：每一层中的活动元素，在同一层的对等实体

(2) 协议：一些列的规则和约定，只有对等实体之间才有协议

协议的三要素



(3) 接口：是每两层之间的联系

(4) 服务：每两个层次之间提供的事物，在计算机网络中是下层为上层提供服务

4. 分层的基本原则

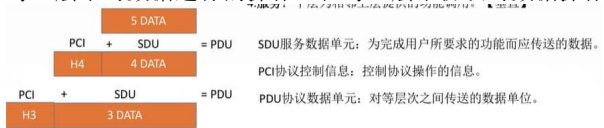
(1) 各层之间相互独立，每层只实现一种相对独立的功能

(2) 每层之间界面自然清晰，是对接口的要求

(3) 结构上可以分隔开，每层都使用最合适的技术来实现

(4) 保持下层对上层的独立性，上层单向使用下层的服务

5. 每一层中对数据进行的操作：在每一层中协议对数据操作，并将处理过的数据进行传递



(二)OSI 参考模型

1. 概念：一种分层结构的法定标准

2. 目的：支持异构网络系统的互联互通

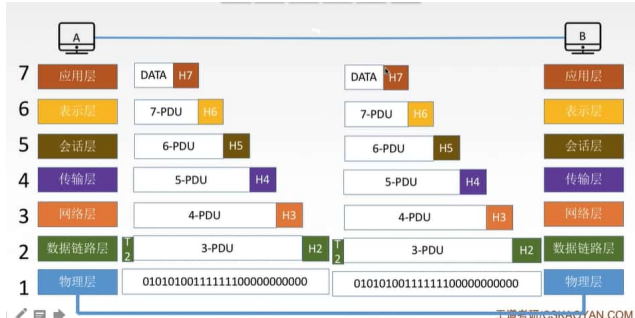
3. 基本结构



4. 通信过程



5. 数据操作方式：在每一层中对数据进行添加或拆解控制信息，相当于打包和拆包的过程

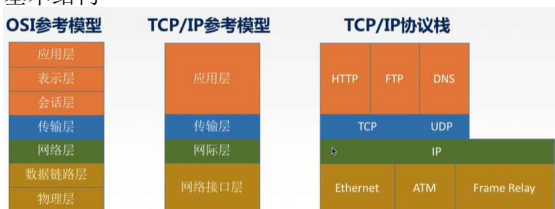


6. 各层功能与对应协议

- (1) 应用层：所有能和用户交互，并且产生网络流量的程序
- (2) 表示层：用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式（语法和语义）。主要功能有数据格式变换，数据加密与解密，数据的压缩和恢复
- (3) 会话层：向表示层建立连接并传输数据。主要功能有建立、管理和终止会话，使用校验点在通信失效时恢复通信
- (4) 传输层：负责主机中两个进程的通信，即端到端的通信。主要功能有可靠传输与不可靠传输，差错控制，流量控制，复用分用（通过端口号实现）。主要协议有 TCP、UDP
- (5) 网络层：把分组从源端传播到目的端，为分组交换网上的不同主机提供通信服务。网路层的传输单位是数据报，由分组集合而成。主要功能有路由选择，流量控制，差错控制，拥塞控制。主要协议有 IP、IPX、ICMP
- (6) 数据链路层：把网络层中的数据报组装成帧。主要功能有成帧，差错控制，流量控制，访问控制（控制对信道的访问）。主要协议有 SDLC、HDLC
- (7) 物理层：在物理媒体上实现比特流的透明传输。透明传输的概念是无论是什么比特组合的数据都可以进行传输。主要功能有定义接口特性，定义传输模式（单工、半双工，双工），定义传输速度，比特同步和比特编码。主要协议有 Rj45、802.3

(三)TCP/IP 参考模型

1. 概念：一种分层结构的事实标准
2. 基本结构



3. TCP/IP 与 OSI 参考模型的比较

(1) 相同点

- 1.都分层
- 2.基于独立的协议栈的概念
- 3.可以实现异构网络互联

(2) 不同点

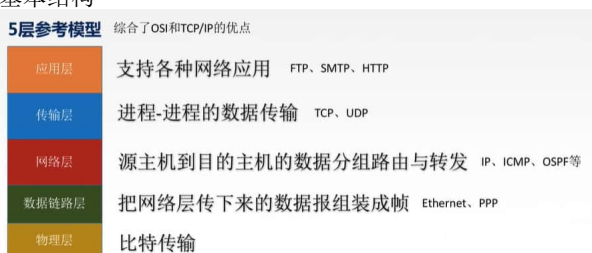
面向连接分为三个阶段，第一是建立连接，在此阶段，发出一个建立连接的请求。只有在连接成功建立之后，才能开始数据传输，这是第二阶段。接着，当数据传输完毕，必须释放连接。而面向无连接没有这么多阶段，它直接进行数据传输。

	ISO/OSI参考模型	TCP/IP模型
网络层	无连接+面向连接	无连接
传输层	面向连接	无连接+面向连接

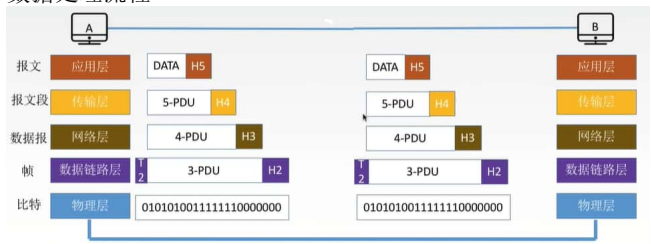
- 1.OSI定义三点：服务、协议、接口
- 2.OSI先出现，参考模型先于协议发明，不偏向特定协议
- 3.TCP/IP设计之初就考虑到异构网互联问题，将IP作为重要层次
4. ←

(四)5 层参考模型

1. 概念：一种综合了两种参考模型有点的模型
2. 基本结构



3. 数据处理流程



第二章：物理层

一、基本概念

1. 物理层的概念：物理层主要解决如何在连接各种计算机上的传输媒体间传输数据比特流，而不是具体的传输媒体
2. 物理层的主要任务：定义接口标准

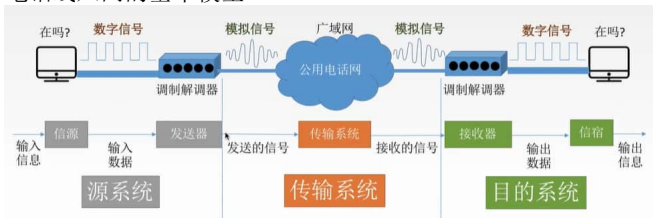
接口标准的分类

- (1) 机械特性：规定物理连接时采用的规格、接口形状、引线数目、引脚数量等
- (2) 电气特性：规定线路上信号的电压范围、阻抗匹配、传输速率和距离限制等
- (3) 功能特性：指明某条线路上出现某种电平代表何种意义
- (4) 规程特性：定义各条线路的工作规程和时序关系

二、数据通信

(一) 概述

1. 典型的入网方式：电话线，需要调制解调器（猫）；宽带式入网，不需要调制解调器
2. 电话线入网的基本模型



3. 数据通信的相关概念

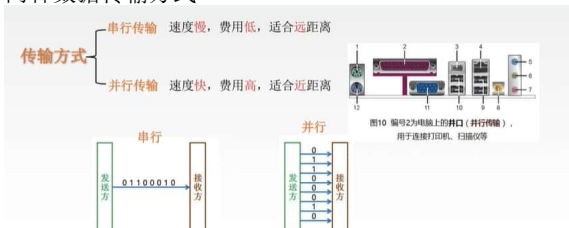
- (1) 数据：传送信息的实体，通常是有意义的符号序列
- (2) 信号：数据的电气电磁表现，是数据在传输过程中的存在形式。通常分为数字信号和模拟信号，数字信号是离散的，模拟信号是连续的
- (3) 信源：产生和发送数据的源头
- (4) 信宿：接收数据的终点
- (5) 信道：信号的传输媒介



4. 三种通信方式

1. 单工通信 只有一个方向的通信而没有反方向的交互，仅需要一条信道。
2. 半双工通信 通信的双方都可以发送或接收信息，但任何一方都不能同时发送和接收，需要两条信道。
3. 全双工通信 通信双方可以同时发送和接受信息，也需要两条信道。

5. 两种数据传输方式



(二) 信号方面的相关概念

1. 码元：一个固定时常的信号模型。由码元的离散状态决定进制， k 种离散状态就是 k 进制，有 k 种不同的信号波形

2. 速率：数据的传输速率，指单位时间传输的数据量，可以用码元传输速率和信息传输速率表示。码元传输速率指的是 1s 内能传输多少个码元，单位为波特（Baud）。信息传输速率指的是 1s 内能传输多少个比特，单位为 b/s。二者的换算关系为
 $\text{信息传输速率} = \log_2(\text{进制}) \times \text{码元传输速率}$ 。通常用信息传输速率来衡量系统传输速率的快慢
 辨析-传输速率与传播速率：传输速率是数据从主机发送到链路上的速率，传播速率是指电磁波在信道中的传播速度
3. 带宽：指的是最高数据传输速率，是理想值

(三) 奈氏准则和香农定理

1. 失真的概念：由于带宽受限、噪声等原因对信号造成的干扰。主要影响因素为码元传输速率、信号传输距离、噪声干扰和传输媒体质量等
2. 信道带宽：信道能通过最高和最低频率之差
3. 码间串扰：接收端收到的信号波形失去了码元之间清晰的界限
4. 信噪比：信号平均功率和噪声平均功率的比值。 $r(dB) = 10 \lg \frac{S}{N}$
5. 奈氏准则：在理想低通条件（无噪声，带宽受限）下，为了避免码间串扰，极限码元传输速率是 $V = 2W$ ，V 的单位是波特，W 是信道带宽，用 Hz 作为单位
 极限数据传输率： $v = 2W \log_2 K$ ，K 为有几种码元，可能有不同的相位与振幅，二者相乘为种类数
6. 香农定理：在带宽受限且有噪声的情况下，为了不产生误差，信息的传输速率有上限值。信道的极限数据传输速率为 $v = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$ ，W 为带宽，单位为 Hz。这个得出的值是理想的
7. 两者的比较

奈氏准则 内忧	香农定理 外患
带宽受限无噪声条件下，为了避免码间串扰，码元传输速率的上限 $2W$ Baud。	带宽受限有噪声条件下的信息传输速率。
理想低通信道下的极限数据传输率 $= 2W \log_2 V$	信道的极限数据传输率 $= W \log_2(1 + S/N)$
要想提高数据率，就要提高带宽/采用更好的编码技术。	要想提高数据率，就要提高带宽/信噪比。

题目：二进制信号在信噪比为 127:1 的 4KHz 信道上传输，最大的数据速率可达到多少？

Nice: $2 \times 4000 \times \log_2 2 = 8000 \text{ b/s}$

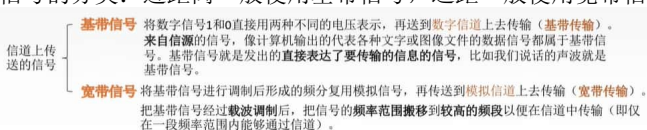
香农: $4000 \times \log_2(1 + 127) = 28000 \text{ b/s}$

(四) 编码与调制

1. 信道的分类



2. 信号的分类：近距离一般使用基带信号，运距一般使用宽带信号

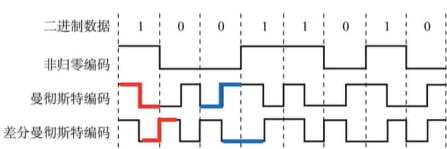


3. 编码与调制的概念：编码是将数据转化为数字数据，调制是将数据转化为模拟数据
4. 需要的设备



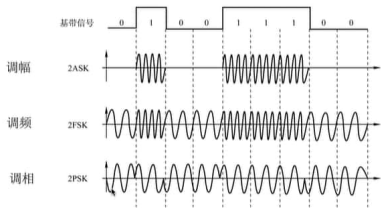
5. 数字数据编码为数字信号

- (1) 非归零编码：1 是高电平，0 是低电平，一个码元内信号不归零
- (2) 曼彻斯特编码：将一个码元分为两个相等的间隔，前高后低和前低后高分别代表 1 和 0，调制速率是传输速率的一半
- (3) 差分曼彻斯特编码：若上一个码元为 1，则这个码元的前半部分与上一个码元的后半部分相同；为 0 则相反（同 1 异 0）



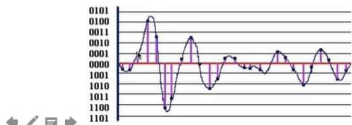
6. 数字数据调制为模拟信号

- (1) 调幅 (ASK): 1 对应有振幅, 0 对应没有振幅
- (2) 调频 (FSK): 1 对应高频, 0 对应低频
- (3) 调相 (PSK): 调整波形, 分别对应正弦波和余弦波
- (4) 调幅 + 调相 (QAM): 状态总数为两种相乘



7. 模拟信号编码为数字信号：脉码调制，包含抽样、量化和编码三个步骤

- 抽样**: 对模拟信号周期性扫描, 把时间上连续的信号变成时间上离散的信号。
为了使所得的离散信号能无失真地代表被抽样的模拟数据, 要使用采样定理进行采样: $f_{\text{采样频率}} \geq 2f_{\text{信号最高频率}}$
- 量化**: 把抽样取得的电平幅值按照一定的分级标度转化为对应的数字值, 并取整数, 这就把连续的电平幅值转换为离散的数字量。
- 编码**: 把量化的结果转换为与之对应的二进制编码。

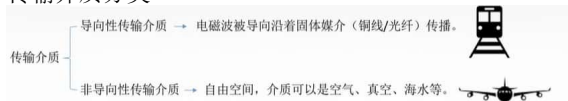


8. 模拟数据调制为模拟信号：使用频分复技术，调制成高频信号进行远距离传输

三、物理层传输介质

(一) 基本介绍

- 物理层与传输媒体的差异：物理层规定了电气特性，能够识别比特流
- 传输介质分类



(二) 导向性传输介质

- 双绞线：由两根并排绞合的、相互绝缘的铜导线组成。绞合的目的是为了减少电磁干扰。为了进一步减少电磁干扰，会使用金属丝编织的屏蔽层

主导理论

导向性传输介质——1.双绞线

双绞线是古老、又最常用的传输介质，它由两根采用一定规则并排绞合的、相互绝缘的铜导线组成。

绞合可以减少对相邻导线的电磁干扰。

(a) 无屏蔽双绞线

(b) 屏蔽双绞线

右手准则

产生的电磁波大小相等相互抵消

为了进一步提高抗电磁干扰能力，可在双绞线的外面再加上一个由金属丝编织成的屏蔽层，这就是屏蔽双绞线（STP），无屏蔽层的双绞线就称为非屏蔽双绞线（UTP）。

双绞线价格便宜，是最常用的传输介质之一，在局域网和传统电话网中普遍使用。模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，其通信距离一般为几公里到数十公里。距离太远时，对于模拟传输，要用放大器放大衰减的信号；对于数字传输，要用中继器将失真的信号整形。

非屏蔽双绞线

屏蔽双绞线

- 同轴电缆：分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆

主导理论

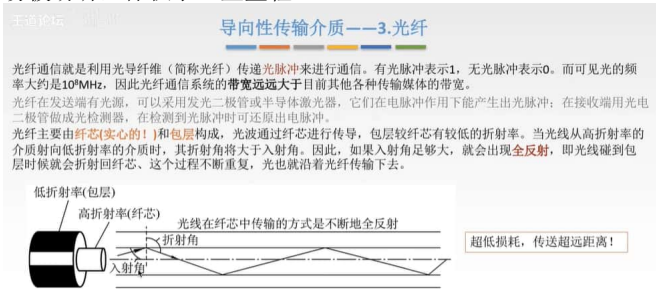
导向性传输介质——2.同轴电缆

同轴电缆由导体铜质芯线、绝缘层、网状编织屏蔽层和塑料外层构成。按特性阻抗数值的不同，通常将同轴电缆分为两类：50Ω同轴电缆和75Ω同轴电缆。其中，50Ω同轴电缆主要用于传送基带数字信号，又称为基带同轴电缆，它在局域网中得到广泛应用；75Ω同轴电缆主要用于传送宽带信号，又称为宽带同轴电缆，它主要用于有线电视系统。

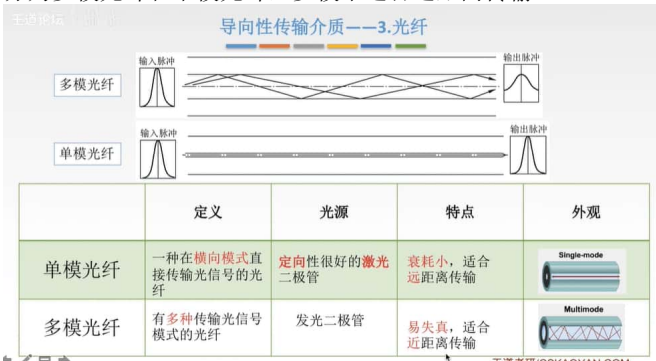
同轴电缆Vs双绞线

由于外导体屏蔽层的作用，同轴电缆抗干扰特性比双绞线好，被广泛用于传输较高速率的数据，其传输距离更远，但价格较双绞线贵。

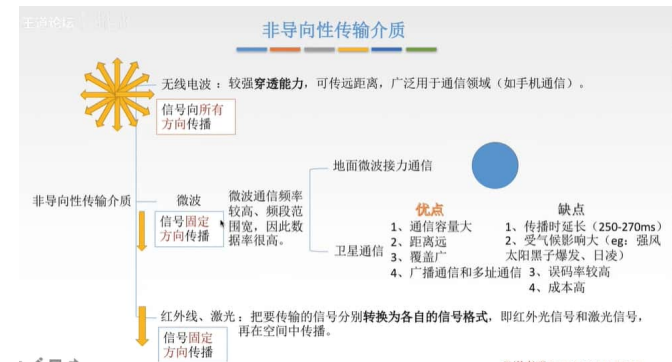
3. 光纤：带宽大。由实心纤芯和包层组成，在传播过程中会发生全反射，适合进行远距离传输。传输损耗小，抗雷电干扰力强，不易被窃听，体积小且重量轻



分为多模光纤和单模光纤，多模不适合远距离传输



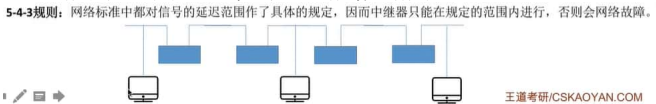
(三) 非导向性传输介质



四、物理层设备

(一) 中继器

1. 功能：对信号进行再生与还原
2. 特点：中继器的两端是网段而不是子网；无法检查数据是否有错误；两端需要是相同协议
3. 5-4-3 规则：对中继器信号延迟所做的规定



(二) 集线器

1. 概念：是多口中继器
2. 功能：将信号进行再生放大转发，不具备定向传送能力
3. 特点：集线器不能分割冲突域，连在集线器上的主机平分带宽

第三章：数据链路层

一、数据链路层的相关概念

1. 结点：主机或者路由器
2. 链路：两个结点之间的物理通道
3. 数据链路：两个结点之间的逻辑通道，把视线数据控制传输协议的硬件和软件加到链路上就构成了数据链路

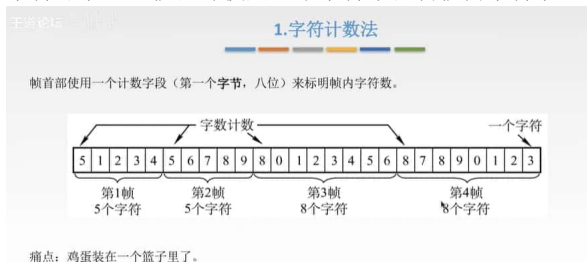
二、功能概述

1. 为网络层提供服务。分为无确认无连接，有确认无连接，有确认面向连接三种
2. 链路管理
3. 组帧
4. 流量控制
5. 差错控制

三、封装成帧

1. 概念：在数据中添加首部和尾部，进行帧定界；接收方从二进制数据中区分出帧的起始和终止的操作为帧同步
2. 透明传输的概念：无论何种比特组合都能在数据链路层上传送
3. 组帧方式

(1) 字符计数法：帧首部使用一个字符来标明帧内字符数



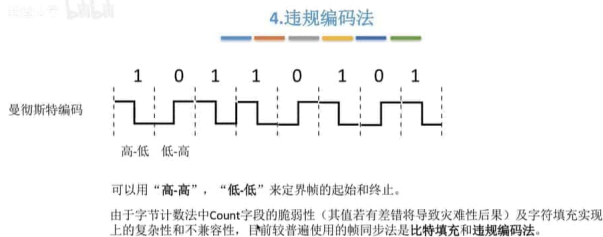
(2) 字符填充法：在首部和尾部分别填充特殊比特组合。如果中间数据出现与首部部相同的比特组合，则需要添加转义字符 ESC



(3) 零比特填充法：在数据首位部添加零比特进行标识。对中间数据采用了 5 “1” 1 “0” 操作，防止错误识别首尾部



(4) 违规编码法：使用编码方式中不会出现的码元来进行标记首尾部



四、差错控制

(一) 简介

1. 差错的简介

概括来说，传输中的差错都是由噪声引起的。

全局性 1. 由于线路本身电气特性所产生的**随机噪声**(热噪声)，是信道固有的，随机存在的。
解决办法：提高信噪比来减少或避免干扰。(对传感器下手)

局部性 2. 外界特定的短暂原因所造成的**冲击噪声**，是产生差错的主要原因。
解决办法：通常利用编码技术来解决。

差错

- 位错** 【比特位出错，1变成0，0变成1。】
- 帧错**
 - 丢失：收到[#1]-[#3]
 - 重复：收到[#1]-[#2]-[#3]
 - 失序：收到[#1]-[#3]-[#2]

2. 数据链路层的差错控制：主要针对比特错，有检错编码和纠错编码两种方式

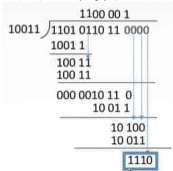
(二) 检错编码

1. 奇偶校验码：添加校验元后，检测比特组合中“1”的个数为是否为奇数（偶数）。检错能力是 50%

2. CRC 循环冗余码

(1) 冗余码的计算：CRC 循环冗余码：计算冗余码时，要先加上与生成多项式同阶数（位数-1）的 0，之后使用模二除法进行计算。最终生成的余数为 FCS 帧检验序列（冗余码）。

补充-模二除法的计算：和基本的除法相似，如果被除数大于除数则进行一次除法，但是原先的计算余数的减法部分用异或的方法代替，同 0 异 1



(2) 检错方式：将余数序列替换原先的四位 0，得到最终发送的数据；在发送端将每一个帧除以同样的除数，如果余数为 0 则没有错误

(三) 纠错编码

纠错编码通常使用海明码

1. 特点：可以发现双比特错，只能纠正单比特错

2. 工作原理：动一发而牵全身

3. 工作流程

(1) 确定校验码位数 r 。通过海明不等式 $2^r \geq k + r + 1$ 计算得出，其中 r 为冗余信息为， k 为信息位（要发送数据的位数）

(2) 确定校验码和数据的位置。校验码只能放在 2^n 的位置

(3) 求校验码的值。对于一个校验码，由于它满足 2^n ，它只有一位数字是 1。而在相同位置也是 1 的数据就是被它校验的数据。找出被它校验的所有数据后，将校验码和这些数据的二进制值异或起来，列出结果为 0 的方程 $P \oplus D_1 \oplus D_2 \cdots \oplus D_n = 0$ ，之后解出 P 的值

(4) 得出最终的海明码，进行检错和纠错。纠错过程为，使用每一个校验码与各自校验的数据分别进行异或运算，并得出结果。根据校验码逆序将对应的结果排列，得出出错过位数的二进制表达

五、流量控制与可靠传输机制

(一) 概述

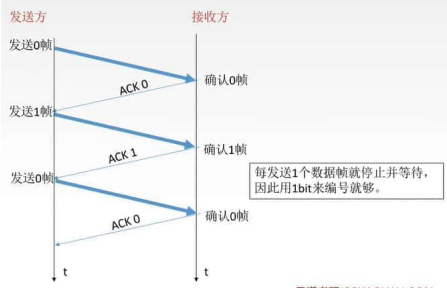
- 1. 概念：调节发送速度，使其与接收速度相匹配
- 2. 相关概念

可靠传输：发送端发啥，接收端收啥。
流量控制：控制发送速率，使接收方有足够的缓冲空间来接收每一个帧。
滑动窗口解决：

- 流量控制（收不下就不给确认，想发也发不了）
- 可靠传输（发送方自动重传）

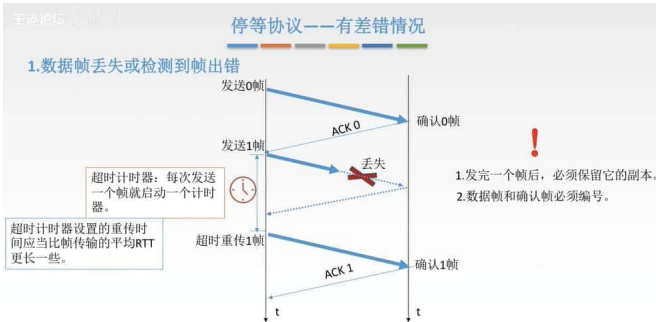
(二) 停止-等待协议

- 1. 产生的原因：解决丢包问题和流量控制问题
- 2. 无差错情况

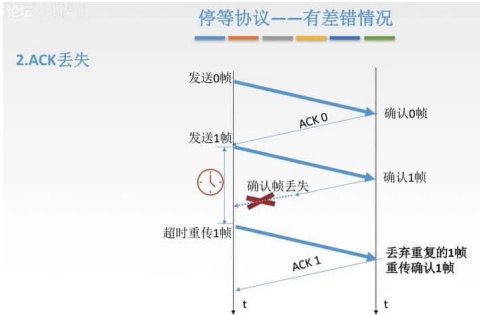


- 3. 有差错情况

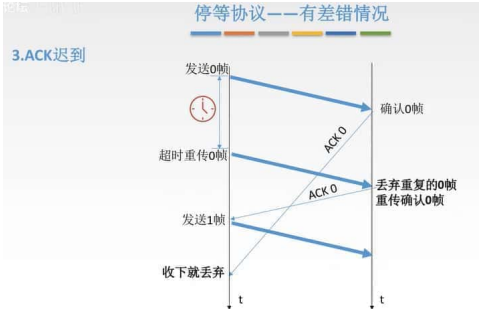
(1) 数据帧丢失或者帧出错



(2) 确认帧丢失



(3) 确认帧迟到



4. 特点：简单，但是信道利用率低。信道利用率的公式为 $\eta = \frac{L}{CT}$ ，其中 T 为发送第一个数据到收到第一个确认帧所用的时间

(三) 后退 N 帧协议

1. 基本发送方式



2. 基本发送步骤

1. 上层的调用

上层要发送数据时，发送方先检查发送窗口是否已满，如果未滿，则产生一个帧并将其发送；如果窗口已满，发送方只需将数据返回给上层，暗示上层窗口已满。上层等一会再发送。（实际实现中，发送方可以缓存这些数据，窗口不满时再发送帧）。

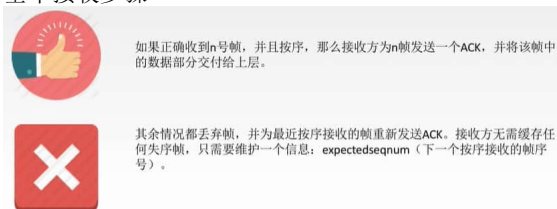
2. 收到了一个ACK

GBN协议中，对n号帧的确认采用累积确认的方式，标明接收方已经收到n号帧和它之前的全部帧。

3. 超时事件

协议的名字为后退N帧/后退N帧，来源于出现丢失和时延过长时发送方的行为。就像在停等协议中一样，定时器将再次用于恢复数据帧或确认帧的丢失。如果出现超时，发送方重传所有已发送但未被确认的帧。

3. 基本接收步骤



4. 滑动窗口长度：发送窗口长度为 $1 \leq W_T \leq 2^n - 1$ ，接收窗口为 1

5. 性能分析：因连续发送数据帧而提高而信道的利用率；缺点是在重传是正确发送的帧也重传了

(四) 选择重传协议

1. 基本发送方式



2. 基本发送步骤

1. 上层的调用

从上层收到数据后，SR发送方检查下一个可用于该帧的序号，如果序号位于发送窗口内，则发送数据帧；否则就像GBN一样，要么将数据缓存，要么返回给上层之后再传输。

2. 收到了一个ACK

如果收到ACK，加入该帧序号在窗口内，则SR发送方将那个被确认的帧标记为已接收。如果该帧序号是窗口的下界（最左边第一个窗口对应的序号），则窗口向前移动到具有最小序号的未确认帧处。如果窗口移动了并且有序号在窗口内的未发帧，则发送这些帧。



3. 超时事件

每个帧都有自己的定时器，一个超时事件发生后只重传一个帧。

3. 基本接收步骤



- 滑动窗口长度：发送窗口最好等于接收窗口；窗口的长度满足公式 $W_{max} = 2^{n-1} = 2^{\log_2(N)-1} = \frac{N}{2}$ ，其中 n 为标出帧序号所用的比特数，N 为进制

六、介质访问控制

(一) 概述

- 链路分类：点对点链路，广播式链路
- 介质访问控制的概念：采取一定的措施，使两对节点之间的通信不会互相干扰
- 介质访问控制的分类



4. 介质访问控制的基本特点

信道划分介质访问控制（MAC Multiple Access Control）协议：

基于多路复用技术划分资源。

网络负载重：共享信道效率高，且公平

网络负载轻：共享信道效率低

随机访问MAC协议：冲突

用户根据意愿随机发送信息，发送信息时可独占信道带宽。

网络负载重：产生冲突开销

网络负载轻：共享信道效率高，单个结点可利用信道全部带宽

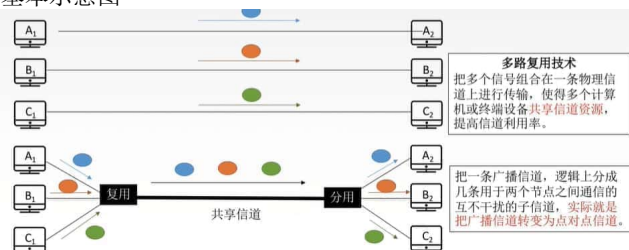
轮询访问MAC协议/轮流协议/轮转访问MAC协议：

既要产生冲突，又要发送时占全部带宽。

- 检测到信道空闲，但仍可能产生冲突的原因：传播时延的影响

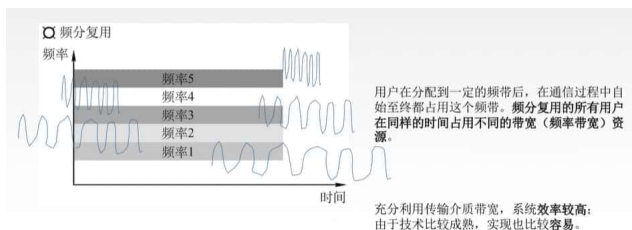
(二) 信道划分介质访问控制

- 概念：将使用介质的每一个设备和来自同一信道上的设备隔离开，将时域和频域资源合理分配给网络上的设备
- 基本示意图

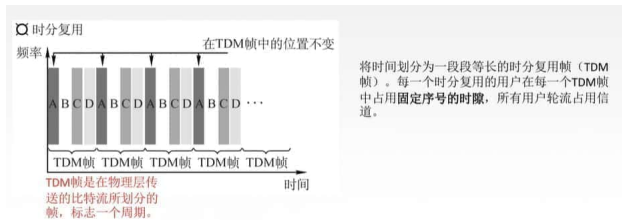


3. 分类

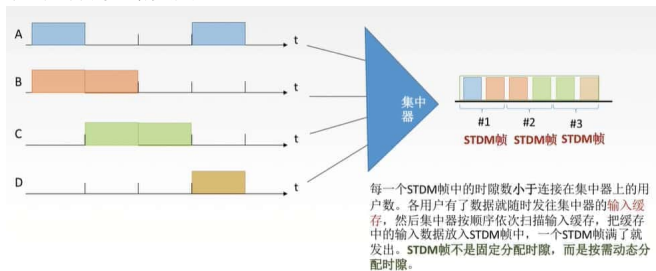
(1) 频分多路复用



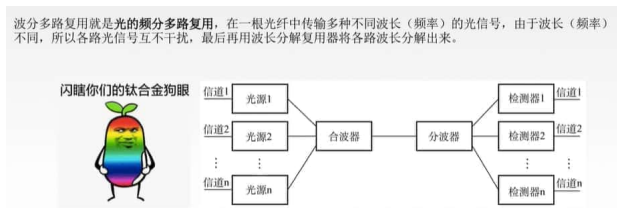
(2) 时分多路复用



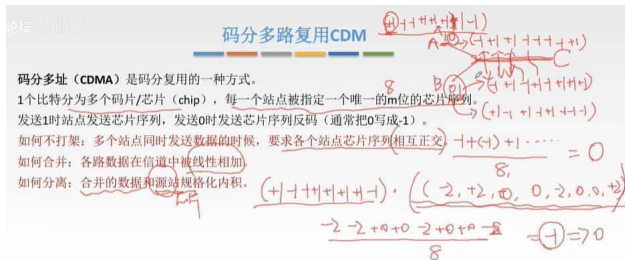
(3) 统计时分多路复用



(4) 波分多路复用



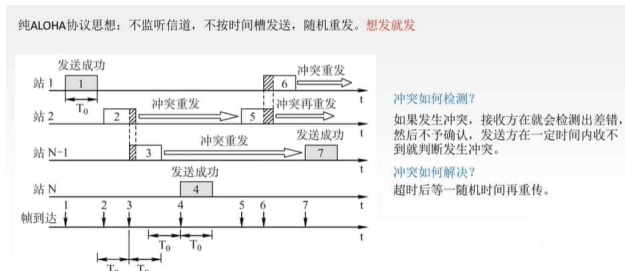
(5) 码分多路复用



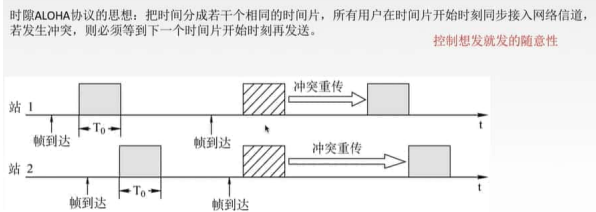
(三) 随机访问介质访问控制

1. ALOHA 协议

(1) 纯 ALOHA 协议：想发就发



(2) 时隙 ALOHA 协议：在时间片开始发



2. CSMA 协议：发送帧之前监听信道

(1) 1-坚持 CSMA

坚持指的是对于监听信道忙之后的坚持。

1-坚持CSMA思想：如果一个主机要发送消息，那么它先监听信道。

空闲则直接传输，不必等待。

忙则一直监听，直到空闲马上传输。

如果有冲突（一段时间内未收到肯定回复），则等待一个随机长的时间再监听，重复上述过程。

优点：只要媒体空闲，站点就马上发送，避免了媒体利用率的损失。

缺点：假如有两个或两个以上的站点有数据要发送，冲突就不可避免。

(2) 非坚持 CSMA

非坚持指的是对于监听信道忙之后就不继续监听。

非坚持CSMA思想：如果一个主机要发送消息，那么它先监听信道。

空闲则直接传输，不必等待。

忙则等待一个随机的时间之后再进行监听。

优点：采用随机的重发延迟时间可以减少冲突发生的可能性。

缺点：可能存在大家都在延迟等待过程中，使得媒体仍可能处于空闲状态，媒体使用率降低。

(3) p-坚持 CSMA

p-坚持指的是对于监听信道空闲的处理。

p-坚持CSMA思想：如果一个主机要发送消息，那么它先监听信道。

空闲则以p概率直接传输，不必等待；概率1-p等待到下一个时间槽再传输。

忙则等待一个随机的时间之后再进行监听。

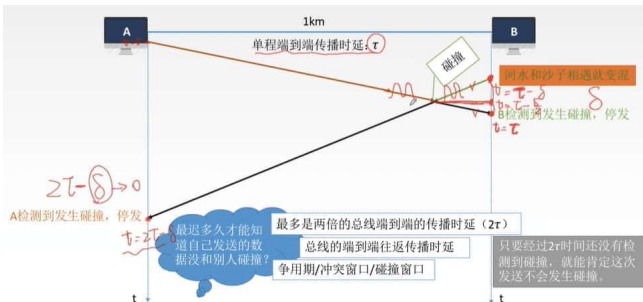
优点：既能像非坚持算法那样减少冲突，又能像1-坚持算法那样减少媒体空闲时间的这种方案。

BUT !

发生冲突后还是要坚持把数据帧发送完，造成了浪费。

3. CSMA-CD 协议：先听再说，边听边说。包含碰撞检测。用于以太网

(1) 传播时延对监听的影响



(2) 重传时机的确定

1. 确定基本退避（推迟）时间为争用期 2τ 。
 2. 定义参数 k ，它等于重传次数，但 k 不超过 10，即 $k = \min[\text{重传次数}, 10]$ 。当重传次数不超过 10 时， k 等于重传次数；当重传次数大于 10 时， k 就不再增大而一直等于 10。
 3. 从离散的整数集合 $[0, 1, 2, \dots, 2^k - 1]$ 中随机取出一个数 r ，重传所需要退避的时间就是 r 倍的基本退避时间，即 $2r\tau$ 。
 4. 当重传达 16 次仍不能成功时，说明网络太拥挤，认为此帧永远无法正确发出，抛弃此帧并向高层报告出错。
- 第一次重传， $k=1$ ， r 从 $[0, 1]$ 选；
- 重传推迟时间为 0 或 2τ ，在这两个时间中随机选一个；
- 若再次碰撞，则在第二次重传时， $k=2$ ， r 从 $[0, 1, 2, 3]$ 选；
- 重传推迟时间为 0 或 2τ 或 4τ 或 6τ ，在这四个时间中随机选一个；
- 若再次碰撞，则第三次重传时， $k=3$ ， r 从 $[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]$ 选……

若连续多次发生冲突，就表明可能有 $0 < p < 1$ 的 p 信道。使用此算法可使重传需要推迟的平均时间随重传次数的增大而增大，因而减小发生碰撞的概率，有利于整个系统的稳定。

(3) 最小帧长问题：帧的长度不能太短，否则会在发生碰撞后无法及时停发。需要满足的关系为 最小帧长 = $2\tau \times$ 数据传输速率

4. CSMA-CA 协议：先听再说，边听边说。包含碰撞避免。用于无线局域网

发送数据前，先检测信道是否空闲。

空闲则发出 RTS（request to send），RTS 包括发射端的地址、接收端的地址、下一份数据将持续发送的时间等信息；信道忙则等待。

接收端收到 RTS 后，将响应 CTS（clear to send）。

发送端收到 CTS 后，开始发送数据帧（同时预约信道：发送方告知其他站点自己要传多久数据）。

接收端收到数据帧后，将用 CRC 来检验数据是否正确，正确则响应 ACK 帧。

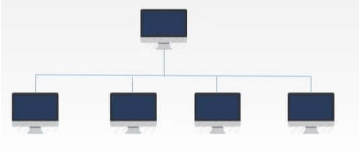
发送方收到 ACK 就可以进行下一个数据帧的发送，若没有则一直重传至规定重传次数为止（采用二进制指数退避算法来确定随机的推迟时间）。

1. 预约信道 2. ACK 帧 3. RTS/CTS 帧（可选）

(三) 轮询访问介质访问控制

1. 轮询协议

主结点轮流“邀请”从属结点发送数据。



问题：
1.轮询开销 2.等待延迟 3.单点故障

2. 令牌传递协议



令牌：一个特殊格式的MAC控制帧，不含任何信息。
控制信道的使用，确保同一时刻只有一个结点独占信道。

令牌环网无碰撞

每个结点都可以在一定的时间内（令牌持有时间）获得发送数据的权利，并不是无限制地持有令牌。

问题：
1.令牌开销 2.等待延迟 3.单点故障

应用于令牌环网（物理星型拓扑，逻辑环形拓扑）。
采用令牌传递方式的网络常用于**负载较重、通信量较大**的网络中。

七、网络形式

(一) 局域网

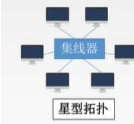
1. 基本概念与特点

局域网（Local Area Network）：简称LAN，是指在**某一区域内**由多台计算机互联成的计算机组，使用**广播信道**。

特点1：覆盖的地理范围较小，只在一个相对独立的局部范围内联，如一座或集中的建筑群内。
特点2：使用专门铺设的传输介质（双绞线、同轴电缆）进行联网，数据传输速率高（10Mb/s~10Gb/s）。
特点3：通信延迟时间短，误码率低，可靠性较高。
特点4：各站为平等关系，共享传输信道。
特点5：多采用分布式控制和广播式通信，能进行广播和组播。


决定局域网的主要要素为：**网络拓扑**，**传输介质与介质访问控制方法**。

2. 网络拓扑结构



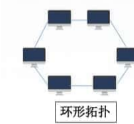
星型拓扑

中心节点是控制中心，任意两个节点间的通信最多只需**两步**，传输速度快，并且网络结构简单、建网容易、便于控制和管理。但这种网络系统，网络可靠性低，网络共享能力差，有单点故障问题。




总线型拓扑

网络可靠性高、网络节点间响应速度快、共享资源能力强、设备投入量少、成本低、安装使用方便，当某个工作站节点出现故障时，对整个网络系统影响小。



环形拓扑

系统中通信设备和线路比较节省。有**单点故障**问题：由于环路是封闭的，所以不利于扩充，系统响应时间长，且信息传输效率相对较低。



树型拓扑

易于拓展，易于隔离故障，也容易有**单点故障**。

3. 介质访问控制方法

1.CSMA/CD 常用于**总线型局域网**，也用于树型网络

2.令牌总线 常用于**总线型局域网**，也用于树型网络
它是把总线型或树型网络中的各个工作站按一定顺序如按接口地址大小排列形成一个逻辑环。只有令牌持有者才能控制总线，才有发送信息的权力。

3.令牌环 用于**环形局域网**，如令牌环网

4. 局域网的分类

1.**以太网** 以太网是应用最为广泛的局域网。包括标准以太网（10Mbps）、快速以太网（100Mbps）、千兆以太网（1000 Mbps）和10G以太网，它们都符合IEEE802.3系列标准规范。逻辑拓扑总线型，物理拓扑是星型或拓展星型。使用CSMA/CD。

2.**令牌环网** 物理上采用了星形拓扑结构，逻辑上是环形拓扑结构。已是“明日黄花”。

3.**FDI网（Fiber Distributed Data Interface）** 物理上采用了双环拓扑结构，逻辑上是环形拓扑结构。

4.**ATM网（Asynchronous Transfer Mode）** 较新型的单元交换技术,使用53字节固定长度的单元进行交换。

5.**无线局域网（Wireless Local Area Network; WLAN）** 采用IEEE 802.11标准。

5. 网络与 IEEE 标准的对应

- IEEE 802.3：以太网介质访问控制协议（CSMA/CD）及物理层技术规范^[2]。
- IEEE 802.4：令牌总线网（Token-Bus）的介质访问控制协议及物理层技术规范。
- IEEE 802.5：令牌环网（Token-Ring）的介质访问控制协议及物理层技术规范。
- IEEE 802.6：城域网介质访问控制协议DQDB（Distributed Queue Dual Bus 分布式双总线）及物理层技术规范。
- IEEE 802.7：宽带技术咨询组，提供有关宽带联网的技术咨询。
- IEEE 802.8：光纤技术咨询组，提供有关光纤联网的技术咨询。
- IEEE 802.9：综合语音数据的局域网（IVD LAN）介质访问控制协议及物理层技术规范。
- IEEE 802.10：网络安全技术咨询组，定义了网络互操作的认证和加密方法。
- IEEE 802.11：无线局域网（WLAN）的介质访问控制协议及物理层技术规范。

6. 数据链路层子层

IEEE 802标准所描述的局域网参考模型只对应OSI参考模型的数据链路层与物理层，它将数据链路层划分为逻辑链路层LLC子层和介质访问控制MAC子层。

LLC负责识别网络层协议，然后对它们进行封装。LLC报头告诉数据链路层一旦帧被接收到时，应当对数据包做何处理。为网络层提供服务：无确认无连接、面向连接、带确认无连接、高速传送。

MAC子层的主要功能包括数据帧的封装/卸装，帧的寻址和识别，帧的接收与发送，链路的管理，帧的差错控制等。MAC子层的存在屏蔽了不同物理链路种类的差异性。

(二) 以太网

1. 概述

以太网(Ethernet)指的是由Xerox公司创建并由Xerox、Intel和DEC公司联合开发的**基带总线局域网规范**，是当今现有局域网采用的最通用的通信协议标准。以太网使用**CSMA/CD**（载波监听多路访问及冲突检测）技术。

以太网在局域网各种技术中占**统治性**地位：

- 1.造价低廉（以太网网卡不到100块）；
- 2.是应用最广泛的局域网技术；
- 3.比令牌环网、ATM网便宜，简单；
- 4.满足网络速率要求：**10Mb/s~10Gb/s**。

以太网两个标准

DIX Ethernet V2：第一个局域网产品（以太网）规约。

IEEE 802.3：IEEE 802委员会802.3工作组制定的第一个IEEE的以太网标准。（帧格式有一丢丢改动）

802.3局域网 AKA 以太网

2. 传输介质与拓扑结构

粗同轴电缆 → 细同轴电缆 → 双绞线+集线器

物理拓扑：总线型 → 星型

使用集线器的以太网在逻辑上仍是一个总线网，各站共享逻辑上的总线，使用的还是CSMA/CD协议。

以太网拓扑：**逻辑上总线型，物理上星型。**

3. 10BASE-T 以太网

10BASE-T是传送**基带信号**的双绞线以太网，T表示采用双绞线，现10BASE-T采用的是**无屏蔽双绞线（UTP）**，传输速率是10Mb/s。

物理上采用星型拓扑，逻辑上总线型，每段双绞线最长为100m。

采用曼彻斯特编码。

采用CSMA/CD介质访问控制。

4. 适配器与 MAC 地址

计算机与外界有局域网的连接是通过**通信适配器**的。

网络接口板

网络接口卡NIC（network interface card）

NOW，不再使用单独网卡。

适配器上装有处理器和存储器（包括RAM和ROM）。

ROM上有计算机硬件地址**MAC地址**。

在局域网中，硬件地址又称为物理地址，或MAC地址。【实际上是标识符】

MAC地址：每个适配器有一个全球唯一的48位二进制地址，前24位代表厂家（由IEEE规定），后24位厂家自己指定。常用6个十六进制数表示，如02-60-8c-e4-b1-21。

5. 以太网的 Mac 帧：有帧起始定界符，但没有帧结束定界符，因为没有电压变化就是没有发送数据

最常用的MAC帧是以太网V2的格式。

IP数据报

IP层

字节：6 6 2 46~1500 4

目的地址 源地址 类型 数据 FCS

MAC层

以太网MAC帧

物理层

前导码

帧开始定界符

发送在前


6. 高速以太网

速率≥100Mb/s的以太网称为高速以太网。

1.100BASE-T以太网
在双绞线上传送100Mb/s基带信号的星型拓扑以太网，仍使用IEEE802.3的CSMA/CD协议。支持全双工和半双工，可在全双工方式下工作而无冲突。

2.吉比特以太网
在光纤或双绞线上传送1Gb/s信号。支持全双工和半双工，可在全双工方式下工作而无冲突。

3.10吉比特
10吉比特以太网在光纤上传送10Gb/s信号。只支持全双工，无争用问题。



(三) 无线局域网

1. 802.11Mac 帧头格式：发送端和接收端指的是中途基站的地址，源地址和目的地址指的是整个过程中发送和接受的用户

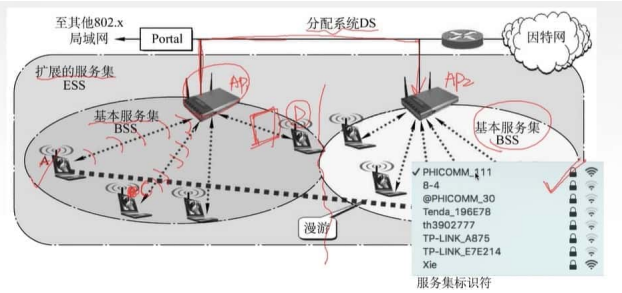


2. 其他格式：SA-原地址，DA-目的地址，BSSID-基站

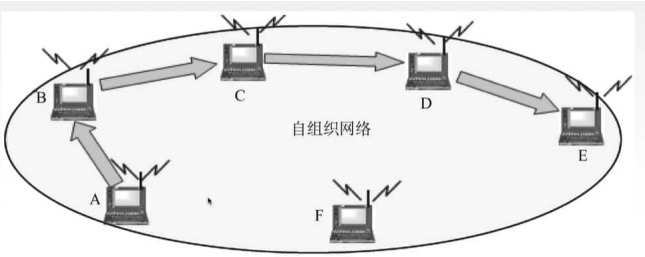
功能	To DS	From DS	Address1 (接收端)	Address2 (发送端)	Address3	Address4
IBSS	0	0	DA	SA	BSSID	未使用
To AP (基础结构型)	1	0	BSSID	SA	DA	未使用
From AP (基础结构型)	0	1	DA	BSSID	SA	未使用
WDS (无线分布式系统)	1	1	RA	TA	DA	SA

3. 无线局域网的分类

(1) 有固定基础设施



(2) 无固定基础设施



(四) 广域网

1. 基本概念：连接很大物理范围，通信子网使用分组交换技术，将不同地区的局域网连接起来。强调资源共享，而不强调速度

广域网（WAN, Wide Area Network），通常跨越很大的物理范围，所覆盖的范围从几十公里到几千公里，它能连接多个城市或国家，或横跨几个洲并能提供远距离通信，形成国际性的远程网络。

广域网的通信子网主要使用分组交换技术。广域网的通信子网可以利用公用分组交换网、卫星通信网和无线分组交换网，它将分布在不同地区的局域网或计算机系统互连起来，达到资源共享的目的，如因特网（Internet）是世界范围内最大的广域网。

2. PPP 协议

- (1) 特点：只支持全双工链路；面向字节
- (2) 需要满足的要求

简单 对于链路层的帧，无需纠错，无需序号，无需流量控制。
封装成帧 帧定界符
透明传输 与帧定界符一样比特组合的数据应该如何处理：异步线路用字节填充，同步线路用比特填充。
多种网络层协议 封装的IP数据报可以采用多种协议。
多种类型链路 串行/并行，同步/异步，电/光....
差错检测 错就丢弃。
检测连接状态 链路是否正常工作。
最大传送单元 数据部分最大长度MTU。
网络层地址协商 知道通信双方的网络层地址。
数据压缩协商

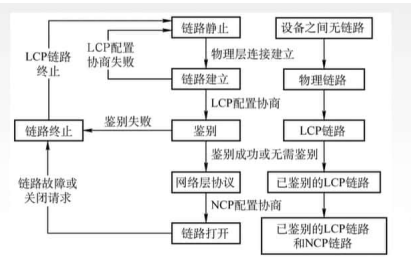
- (3) 不需要满足的要求

纠错
流量控制
序号
不支持多点线路

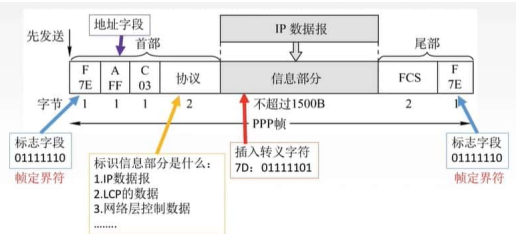
- (4) 组成部分

- 1.一个将IP数据报封装到串行链路（同步串行/异步串行）的方法。
- 2.链路控制协议LCP：建立并维护数据链路连接。 身份验证
- 3.网络控制协议NCP：PPP可支持多种网络层协议，每个不同的网络层协议都要一个相应的NCP来配置，为网络层协议建立和配置逻辑连接。

- (5) 状态过程



- (6) 帧格式



3. HDLC 协议

- (1) 特点：只支持全双工链路；面向比特；可以实现透明传输，使用零比特插入法；有编号和 CRC 检验
- (2) 站的分类

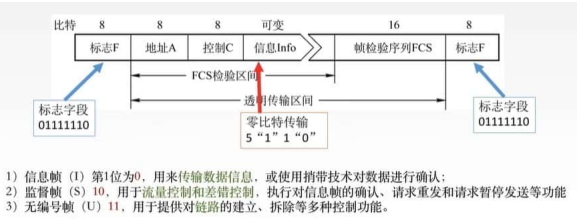
主站、从站、复合站

- 1.主站的主要功能是发送命令（包括数据信息）帧、接收响应帧，并负责对整个链路的控制系统的初启、流程的控制、差错检测或恢复等。
- 2.从站的主要功能是接收由主站发来的命令帧，向主站发送响应帧，并且配合主站参与差错恢复等链路控制。
- 3.复合站的主要功能是既能发送，又能接收命令帧和响应帧，并且负责整个链路的控制。

三种数据操作方式：

- 1.正常响应方式
- 2.异步平衡方式
- 3.异步响应方式

- (3) 帧的类型：有三种类型，由控制帧决定



4. 两种协议的比较

HDL、PPP只支持全双工链路。
都可以实现透明传输。
都可以实现差错检测，但不纠正差错。

PPP协议	面向字节	2B协议字段	无序号和确认机制	不可靠
HDL协议	面向比特	没有	有编号和确认机制	可靠

八、链路层设备

(一) 概述

相对于物理层的设备，链路层设备隔离了冲突域

(二) 网桥

1. 简介：根据 Mac 地址将帧转发到特定接口，实现转发与过滤。网桥两端是不同的网段

网桥根据MAC帧的目的地址对帧进行转发和过滤。当网桥收到一个帧时，并不向所有接口转发此帧，而是先检查此帧的目的MAC地址，然后再确定将该帧转发到哪一个接口，或者是把它丢弃（即过滤）。

网桥优点：

1. 过滤通信量，增大吞吐量。
2. 扩大了物理范围。
3. 提高了可靠性。
4. 可互连不同物理层、不同MAC子层和不同速率的以太网。

网段：一般指一个计算机网络中使用同一物理层设备（传输介质，中继器，集线器等）能够直接通讯的那一部分。

2. 分类

(1) 透明网桥：站点不知道发送的帧要经过哪几个网桥

自学习算法：网桥接收到发送的帧后，会将发送地址与接口对应，以便下次遇到目的地址为已记录地址的帧时不转发

地址	接口
A → B	1
F → C	2
B → A	1

地址	接口
A → B	1
F → C	2

(2) 源路由网桥：在发送帧时，把最佳路由信息放在帧的首部。通过以广播形式发送一个发现帧实现

(三) 交换机

1. 功能：相当于多端口的网桥

2. 特点：也可以独占媒体带宽

3. 分类

直通式交换机 查完目的地址（6B）就立刻转发。
延迟小，可靠性低，无法支持具有不同速率的端口的交换。

存储转发式交换机 将帧放入高速缓存，并检查是否正确，正确则转发，错误则丢弃。
延迟大，可靠性高，可以支持具有不同速率的端口的交换。

我觉得这样有9