

■ 第3章 数据链路层

▼ 功能 (2 2 (2



- 地位(中转
- 为网络层提供服务(3: ?确认?连接
-
- 链路管理(有..面向..
- 封装成帧(头 尾 透明传输(转义
-
- 流量控制(限v
- 差错检测(bit check

▼ 组帧[定界符 (1 2 1

- 字符 计数法(mark总数
-
- 字节 填充(SOH , EOT , ESC +ESC
- 零比特 填充(01111110 :max:5个1
-
- 违规编码法(不会出现

■

▼ 差错控制(2

-  检错编码(CRC: $\frac{M}{G(x)} \leftarrow \text{xor运算} = \text{FCS}$
-  纠错..Hamming:(3 校验位:位数k,位置 2^{i-1} ,value=数据位
xor

▼ 流量控制 可靠传输机制(2

- 流量控制 滑动窗口机制(3: 发送 接收; 滑动
- 可靠传输机制(3协议:SW GBN SR 1count:U

▼ 介质访问控制[共享信道who first (3

- 信道划分 介质访问控制(4复用:TF WC
- 随机访问..(2载波监听多路访问:CSMA/CD CSMA/CA;
1count:min帧长
- 轮询访问: 令牌传递协议(唯一

■

▼ 局域网 (1 2 1

- 体系结构(2:LLC MAC
-
- 以太网 与 IEEE 802.3(mac地址, v2帧:2 2 1
- IEEE 802.11无线局域网(3addr 2mode
-

- **VLAN 基本概念 与 原理**(logically
- ▼ 广域网(2
 - **基本概念**(1方式 1地点
 - **PPP协议**2不
-
- ▼ 数据链路层设备(2 (+1
 - ***网桥**(1作用 1地点
 - **以太网交换机**(3operation:转 泛 丢,1独立 1同一

好的，同学们，第三章《数据链路层》来了！这一章是计网的“腰”，承上启下，内容超多，考点超硬，是每年考研分差拉开的关键。无论是选择题还是计算大题，这里都是主战场。

别怕，跟紧我，我们用最形象的比喻和最精炼的模板，把这块硬骨头啃下来！

第3章 数据链路层

本章定位：如果说物理层是修路（提供比特流传输），那数据链路层就是“**同城快递**”，负责把包裹（**帧**）在 **相邻的两个站点** 之间（比如你家小区门口到下一个中转站）进行可靠、高效的交付。

功能 (2 2 (2

地位(中转

- **核心考点：**理解数据链路层是**点到点**（或称节点到节点）的通信。
- **形象记忆：**
 - 网络层规划了从北京到上海的**全程路线**。
 - 数据链路层只负责其中**一小段**，比如从“北京中转站”开车到“天津中转站”。它不关心货物的最终目的地是上海。

为网络层提供服务(3: ?确认?连接)

- **核心考点:** 三种服务类型，其中“无确认的无连接服务”最常用（如以太网）。
 - **形象记忆:**
 - **无确认无连接:** 普通平信，投递后不管收没收到。
 - **有..无..:** 挂号信，投递后需要对方签收。
 - **有..面向..:** 高保价快递，先打电话确认地址，再派送，每一步都要签收。
-

链路管理(有..面向..)

- **核心考点:** 主要用于“有确认 面向连接服务”，涉及连接的建立、维持、释放。
- **形象记忆:** 就像打电话，需要先 **拨号**、**通话**、**挂机**。

封装成帧(头 尾 透明传输(转义))

- **核心考点:** 帧定界，透明传输的含义与实现。
 - **形象记忆:**
 - **封装成帧:** 给快递（网络层数据包）打上一个标准的快递包装盒，贴上“快递单”(**帧头**)和“封条”(**帧尾**)。有了包装盒，接收方才知一个包裹从哪开始，到哪结束。
 - **透明传输:** 快递内容物里恰好也有一张“快递单”，不能让快递员误以为是真正的快递单。所以要对它做特殊处理（比如用“转义字符”包装一下），这就是“透明传输”。
-

流量控制(限v)

- **核心考点:** 限制发送方**速率**，防止“淹没”接收方。
- **形象记忆:** 你说话太快，我听不过来了，就对你说：“慢点，慢点！”。这是**点对点**的速度协调。

差错检测(bit check)

- **核心考点:** 能够发现数据在传输中产生的**比特**差错（位错）。

- **形象记忆:** 检查快递包裹在运输途中有没有破损。如果破了,就直接扔掉。
-

组帧[定界符 (1 2 1

字符 计数法(mark总数

- **核心考点:** 在帧头部用一个字段记录帧的**字节数**。
 - **形象记忆:** 快递单上写明“本包裹共X公斤”。
 - **致命缺点:** 如果‘X’这个数字在运输中磨损错了,后面所有包裹的识别就全乱套了。
-

字节 填充(SOH , EOT , ESC +ESC

- **核心考点:** 使用特定字符 (如 SOH , EOT) 定界,并用转义字符 (ESC) 解决数据与定界符冲突的问题。
- **记忆模板:**
 - **发送方:** 在数据中出现的每一个 SOH , EOT , ESC 前,都**插入一个 ESC**。
 - **接收方:** 收到连续两个 ESC ,就删掉第一个;收到 ESC 后跟一个 SOH 或 EOT ,就删掉 ESC 。

零比特 填充(01111110 :max:5个1

- **核心考点:** HDLC、PPP等协议使用。用比特串 01111110 作为帧定界符。
 - **记忆模板:**
 - **规则:**
 - 发送时,数据中每遇到 **5个连续的1**,就**强制插入一个0**。
 - 接收时: 每收到 **5个连续的1**,就检查并**删除**后面紧跟的那个0。
 - **口诀:** "五么插零,见五么去零"。
-

违规编码法(不会出现)

- **核心考点:** 利用物理层编码中不会出现的编码 来**标记帧的边界**。
 - **形象记忆:** 正常说话用高低音 (高低电平)，用一个既不高也不低的“怪音”(违规电平) 来表示一句话的开始和结束。
-

差错控制(2)

检错编码(CRC: $\frac{M}{G(x)} \leftarrow \text{xor运算} = \text{FCS}$)

- **核心考点:** CRC 循环冗余码的计算。【计算大题高发区】
 - **形象记忆 (CRC):**
 - 双方约定一个“**除数**”(生成多项式)。
 - 发送方:
 - 用“**原始数据**”除以“**除数**”，把得到的“**余数**”(FCS) 附在数据后面一起发送。
 - 接收方:
 - 用收到的“**带余数的数据**”再除以那个“**除数**”，如果 余数为0，就认为数据没问题。
-

- **【计算题模板】：CRC循环冗余码计算**
 - 确定 r:** 看生成多项式 $G(x)$ (除数)的最高次幂，**r** 就是这个数。
 - 补零:** 在 **数据 M** 后面补 **r** 个 0。
 - 模2除法:** 用 $G(x)$ 对应的二进制码，去除补零后的数据。
 - **核心:** 异或(XOR)运算，相同为0，不同为1。**不借位!**
 - 得出余数(FCS):** 余数必须是 **r** 位，不足则**前面补0**。
 - 拼接发送:** 最终发送的数据 = 原始数据M + **r**位的余数(FCS)。

纠错..Hamming:(3 校验位:位数k,位置 2^{i-1} ,value=数据位xor

- **核心考点:** 海明码的原理和计算。
- **形象记忆 (海明码):**
 - 不仅能发现快递**破损**了, 还能**修复**它 (比如破了个小洞能补上)。通过巧妙地设置多个奇偶校验位, 它们的组合结果能直接定位到出错的那一位。
- **【计算题模板】: 海明码计算**
 - 定 **校验位数 k**: 满足 $2^k \geq m + k + 1$ (m为数据位数)。
 - 定**校验位位置**: 校验位 P_i 放在海明码的第 2^{i-1} 位上 (第 1, 2, 4, 8...位)。
 - 分组**:
 - P_1 校验所有位号的二进制末位是1的位 (H1, H3, H5, H7...)。
 - P_2 校验所有位号的二进制倒数第二位是1的位 (H2, H3, H6, H7...)。
 - P_3 校验所有位号的二进制倒数第三位是1的位 (H4, H5, H6, H7...)。
 - 求))校验位的值**: 每个校验位的值, 是其所在组内所有**数据位的异或**结果 (以偶校验为例)。
 - 纠错**: 接收方对每个组进行 异或校验, 得到纠错码 S3S2S1, 其**十进制值就是出错位的位号**。若为0, 则无错。

流量控制 可靠传输机制(2)

这是 **【本章的绝对核心, 每年必考, 计算、概念都是重点】**。

流量控制 滑动窗口机制(3: 发送 接收; 滑动

- **核心考点:** 滑动窗口是实现流量控制和可靠传输的基础。
- **形象记忆:**
 - **发送窗口**: 发送方手里拿着的一叠待发的信件, 可以不等待回执就连续发出。
 - **接收**..: 接收方邮箱的容量, 表示还能接收多少封信。
 - **窗口滑动**:

- 发送方 收到一封信的回执，就可以再多发一封**新**的；
- 接收方 收到一封信并处理完，邮箱就**空出**一个位置。

可靠传输机制(3协议:SW GBN SR 1count:U)

- **核心考点**: 三种协议的窗口大小、确认方式、重传策略对比。
- **形象记忆 (发送一部10集的电视剧)**:
 - **停止-等待 (SW)**: 发送方是“憨憨”，接收方也是“憨憨”。
 - **流程**: 发第1集 -> 等接收方回“第1集收到” -> 再发第2集...
 - **窗口**: 发送窗口 $W_T = 1$ ，接收窗口 $W_R = 1$ 。

-
- **后退N帧 (GBN)**: 发送方是“急性子”，接收方是“死心眼”。
 - **流程**: 一口气发1、2、3、4、5集。如果第3集丢了，接收方收到4、5集会**直接丢弃**。发送方超时后，**从第3集开始重传** 3、4、5...
 - **窗口**: $W_T > 1$, $W_R = 1$ (死心眼，只认按序的)。
 - **确认**: **累积确认** (收到ACKn表示n号及之前都收到了)。
 - **选择重传 (SR)**: 发送方是“急性子”，接收方是“小机灵”。
 - **流程**: 一口气发1、2、3、4、5集。如果第3集丢了，接收方会**缓存**4、5集。发送方超时后，**只重传第3集**。
 - **窗口**: $W_T > 1$, $W_R > 1$ (小机灵，能缓存乱序的)。
 - **确认**: **逐一确认**。

- **【计算题模板】：信道利用率**

问题: 给定发送窗口大小 w ，数据帧发送时延 T_D ，往返时延 RTT ，求信道利用率 U 。

- i. **理解周期**: 一个发送周期是指从“开始发送第一个数据帧”到“收到它的确认帧”为止，总时长为 $T_{cycle} = T_D + RTT(+T_A)$ 。

ii. **理解发送量**: 在这一个周期内, 发送方最多可以发送 W 个数据帧, 总的发送时间为 $W \times T_D$ 。

iii. **计算利用率**:

- **公式**: $U = \frac{W \times T_D}{T_D + RTT}$ (若确认帧很小, T_A 可忽略)
- **临界条件**: 如果 $W \times T_D \geq T_D + RTT$, 说明发送方可以一直不停地发送, 信道被完全占满, 此时利用率为 $U = 1$ 。

介质访问控制[共享信道who first (3

- **核心考点**: 解决在共享信道上“谁先说, 谁后说”的问题。

信道划分 介质访问控制(4复用:TF WC

- **核心考点**: 静态划分信道, 不会冲突。FDM, TDM, WDM, CDM。
- **形象记忆 (开会)**:
 - **TDM (时分)**: 轮流发言, 小明第1分钟说, 小红第2分钟说。
 - **FDM (频分)**: 每人发一个不同频率的麦克风, 可以同时说。
 - **CDM (码分)**: 每人用不同的“方言”(码片序列) 同时说, 接收者有特殊的“助听器”, 可以只听懂某个人的方言。
 - 波分复用 (WDM)

随机访问..(2载波监听多路访问:CSMA/CD CSMA/CA; 1count:min帧长

- **核心考点**: 争用信道, 可能会冲突。CSMA/CD (有线) 和 CSMA/CA (无线) 是绝对重点。
- **形象记忆 (文明地抢话)**:
 - **CSMA/CD (带冲突检测)** - 用于有线以太网:

- **规则:** 先听后说，边说边听，冲突停发，随机等待。
 - **记忆:** 在一个很安静的房间里讨论，想说话前先听一下，开始说之后也竖着耳朵听，如果听到别人也在说（冲突），两人立刻都闭嘴，各自等一个随机时间再尝试。
-

- **【计算题模板】最小帧长:** 为了确保在A把一句话说完之前，能听到最远的B的冲突声音。
 - **公式:** $\text{最小帧长}(\text{bit}) = \text{争用期}(\text{s}) \times \text{数据率}(\text{b/s})$
 - 其中 $\text{争用期} = 2 \times \text{最大传播时延}$ 。
-

○ **CSMA/CA (带冲突避免) - ..无线局域网:**

- **原因:** 无线环境“听”不准（有隐藏站问题），不能有效检测冲突。
 - **规则:** 发送前预约。
 - **记忆:** 在一个嘈杂的广场上，你想发表长篇大论，你先举手大喊一声：“**大家安静，我要说话了！(RTS)**”。主持人（AP）听到了，就对全场说：“**都别吵，让他说！(CTS)**”。然后你才开始说。
-

轮询访问：令牌传递协议(唯一

- **核心考点:** 通过传递“令牌”来决定谁有权发送。
 - **形象记忆:**
 - **令牌:** 会议室里**唯一**的“话筒”。
 - **规则:** 话筒按顺序在每个人手里传递，谁拿到话筒谁才能发言，说完再传给下一个人。**公平，不会冲突，但有等待延迟。**
-
-

局域网 (1 2 1)

LAN, Local Area Network

体系结构(2:LLC MAC)

- **核心考点:** 局域网特性, IEEE 802标准将数据链路层划分为 LLC 和 MAC 两个子层。
 - 逻辑链路控制 (LLC) 媒体访问控制 (MAC)
-

以太网 与 IEEE 802.3(mac地址, v2帧:2 2 1)

- **核心考点:** MAC地址 (48位), 以太网V2帧格式
- **形象记忆:**
 - **MAC地址:** 设备的**身份证号**, 全球唯一, 固化在网卡上。
 - 以太网**V2帧格式:**
 - [目的MAC(6B)] [源MAC(6B)] [类型(2B)] [数据(46-1500B)] [FCS(4B)]
 - 记忆: “**收件人-发件人-物品类型-物品-封条**”

IEEE 802.11无线局域网(3addr 2mode)

- **核心考点:** 无线局域网的两种模式 (有AP/无AP), 802.11帧的三个地址字段的含义。
 - **形象记忆 (三个地址字段):**
 - **场景:** 你(A)通过宿舍的****无线路由器(AP)****访问校外服务器(B)。
 - A发给AP的帧: Addr1(AP), Addr2(A), Addr3(B)
 - 直接接收者: AP, 直接发送者:你, 最终目的地:B
-

VLAN 基本概念 与 原理(logically)

VLAN (Virtual Local Area Network, 虚拟局域网)

- **核心考点:** VLAN可以在逻辑上划分广播域。
- **形象记忆:**
 - **场景:** 一个大的开放式办公室 (物理局域网/广播域)。

- **VLAN**: 用看不见的“**玻璃墙**”把办公室隔成多个小部门（逻辑广播域）。虽然销售部和技术部的人坐在一起，但他们互相听不到对方部门的广播。
-
-

广域网(2)

WAN, Wide Area Network

基本概念(1方式 1地点)

- **核心考点**: 广域网通常是**点对点**连接的网络，协议主要工作在**网络层**。

PPP协议2不

- **核心考点**: 点对点协议，用于广域网。
 - **特点**:
 - 简单，**不可靠**（不提供编号和确认）。
 - 面向字节，支持多种网络层协议。
 - **不需要MAC地址**，因为是点对点。
-
-

数据链路层设备(2 (+1

*网桥(1作用 1地点)

早期的**两端口 二层**网络设备

- 主要用于连接两个局域网（sLAN），并在**数据链路**层上实现网络的扩展和通信
-

以太网交换机(operation:转 泛 丢,1独立 1同一)

- **核心考点:** 交换机的工作原理 (自学习), 对冲突域和广播域的隔离。【高频考点】
-

- 形象记忆 (交换机**自学习**):
 - **角色:** 一个聪明的“**楼层管理员**”。
 - **工作原理:**
 - a. 刚上班时, 管理员不知道每个房间 (端口) 里是谁 (MAC地址)。
 - b. 当A房间的人(MAC_A)从1号门出去送信时, 管理员就在本本上记下: “**MAC_A 在 1号门**”。
 - c. 当有信要送给B时, 先查本本。
 - 如果本本上有记录 (B在3号门), 就直接从3号门送进去 (**转发**)。
 - 如果本本上没记录, 就从**除了信源 (1号门) 外的所有门广播 (泛洪)**。
 - 如果信是送给A的, 管理员一看A就在1号门, 信也是从1号门进来的, 就把信**丢弃 (过滤)**。
-

- **隔离域对比:**
 - **集线器(Hub):**
 - 物理层设备, 像一个**广播喇叭**。所有端口在**同一个冲突域**和**同一个广播域**。
 - **交换机(Switch):**
 - 链路层设备, 像**楼层管理员**。每个端口是一个**独立的冲突域**, 但所有端口仍属于**同一个广播域**。
-

第三章内容虽多, 但核心就是 **可靠传输协议(SW, GBN, SR)** 和 **MAC访问控制协议(CSMA/CD, CSMA/CA)**。把这两个大块头拿下, 再辅以帧格式、设备原理, 这一章的分数就稳了! 多画图, 多做计算题!