* 1. **数据链路层基本**

1. 数据链路层的最基本功能：提供可靠、无差错、透明的服务。从网络层接受一个分组packet，增加一个头和尾

封装成一个帧frame。因此数据链路层的数据单元-帧=控制信息（帧头）+分组（有效载荷域）+校验和（帧尾）

1. 数据链路层提供的服务：
2. 无确认的无连接服务：机器之间不建立逻辑连接，接收方不对帧进行确认
3. 有确认的无连接服务：机器之间不建立逻辑连接，但接收方会对帧进行确认
4. 有确认的面向连接服务：机器之间在传输之前先建立逻辑连接，接收方会对帧进行确认
5. **成帧：从bit流到帧**

物理层：接受一个原始的bit流，并将它传递给目标机器，但不能保证正确

链路层：完成检测和纠错任务。将bit流分成离散的帧，通过计算每帧的校验和(checksum)来核对。

（0）时间间隙(time gap)：类似单词之间的空格，但网络一般不对时间的正确性做保证……

（1）字符计数法：帧头部给一个域指示本帧的字符数

（2）**字节填充-分界符法：**每一帧用一些特殊的字节-标志字节(FLAG)标志开始&结束

**字节填充(byte stuffing)：**当标志字节是数据内容的一部分时会有干扰分界，因此发送方在FLAG前面插入一个转移字节(ESC)，接收方在送给网络层之前删去ESC

(3) **位填充-分界标志法：**发送方每碰到5个连续的1时就填充1个0，即位填充(bit stuffing)

1. 流控制(flow control)：控制发送方流量，防止发送方淹没接收方

**3.2 检错 & 纠错：帧尾**

1. （数据链路层）编码(coding)：把k位数据序列映射到n位码字(code word)，k/n为编码效率(rate)，数据序列后面添加的冗余码称为帧检验序列FCS(Frame Check Sequence) **3.2.1 纠错码（常用于不可靠信道 eg.无线链路）**

**3.2.2 检错码（常用于可靠信道 eg.光纤）**

1. **奇偶校验码(parity check code)：**在数据的最后面追加一个奇偶校验位(parity bit)

-奇校验：保证数据位+校验位的1数目为奇数

-偶校验：保证数据位+校验位的1数目为偶数

错误的概率和错误的危害足够大时采用。使用简单，但检错能力差，一般只用于通信要求低的环境。只能检测出奇数位错误，无法检测出偶数位数的错误（因为偶数个位跳变不改变序列的奇偶性）

（1）垂直奇偶校验

（2）水平奇偶校验

（3）水平垂直校验LRC

2. **循环冗余校验CRC(Cyclic Redundancy Check)：**检错能力强，易实现。是一种多项式编码(polynomial code)。CRC在帧位根据数据序列追加一串校验和(checksum)：

①双方商定一个长为r+1的生成多项式(generator polynomial) G，在长为m的数据M末尾补r个0得到M’（即2^r\*M）

②M’通过模2出发除以G，得到长为r的余数R

③M和R拼接出码字，码字T=MR

带r个校验位的CRC可以检测出所有长度≤r的突发性错误(burst error)

3. 汉明距离(Hamming distance)：两个码字之间不同位的个数（2个码字进行XOR，计算结果1的数目）。编码方案的检错纠错特性与HD有关，为了检测d个错误，需要一个HD=d+1的编码方案，为了纠正d个错误，需要一个HD=2d+1的编码方案

4. 数据链路层-码：检错纠错码（数据+校验位=码字code word）

物理层-码：为了传输bit，对bit流编码

**3.3 基本协议**

1. 在单工通信中，数据流量时单工的，但信道时具备双向传输能力的……

**3.3.1 protocol 1：无限制的单工协(utopia)**

**3.3.2 protocol 2：单工的停-等协议(stop-and-wait)**

**3.3.3 protocol 3：有噪声信道的单工协议 (par)**

**3.4 滑动窗口协议**

发送窗口SWS(Sender Window Size)

接收窗口RWS(Receiver Window Size)

**3.4.1 protocol 1：1位滑动窗口协议/停止等待协议SWP(Stop-Wait Protocol)**

发送一帧-等待确认-收到确认-发送方从网络层再拿新的一帧

* SWS=1
* RWS=1

由于SWS=RWS=1，帧序列号用0和1两个就够了

**3.4.2 protocol 2：回退n帧协议GBN(Go Back N)**

接收方接收时有一个帧损坏/没收到，由于接收窗口RWS=1，因此不会接收任何后续的帧，不为他们回传确认。这导致发送方定时器超时并重传所有未被确认的帧（从最初受损那帧开始的，一系列帧）

* 发送窗口SWS=w（管道化技术pipelining，带宽\*延迟决定了管道的容量，需结合考虑SWS）
* 接收窗口RWS=1

**3.4.3 protocol 3：选择性重传的协议SRP(Selective Repeat Protocol)**

接收方也有了一个>1的接收窗口RWS，因此在某一帧损坏/没收到情况下也可以接受后续帧（先缓存起来）。发送方定时器超时后重传丢失的帧，直到这些帧到达接收方，则接收方依次依顺序将缓存和接收的帧递交网络层。对于损坏但没丢失的帧，接收方回传一个否定确认NAK(Negative AcKnowledgement)可以在发送方定时器超时前提早激发重传操作

* 发送窗口SWS>1
* 接收窗口RWS>1

效率在3者中最高

**3.4 其他**

有限状态机FSM(Finite State Machine)

PPP协议：采取字节填充，常用于异步传输。因此说PPP时面向字节操作的协议。电话线拨号即用PPP协议

* 链路控制协议LCP(Link Control Protocol)：用来建立、配置、管理、测试数据链路的链接
* 网络控制协议NCP(Network Control Protocol)：建立、配置不同的网络层

HDLC协议()：采取位填充。头和尾时固定的8bit的01111110

3种响应模式(response mode)

* NRM(Normal Response Mode)
* 异步平衡模式ABM(Asynchronous Balanced Mode)
* 异步响应模式ARM(Asynchronous Response Mode)
* 扩展模式(Extended Modes)

3个站类型：主站(primary station) 从站(secondary station) 复合站(combined station)

2个链路模式：平衡：主站-从站，非平衡：复合站-复合站

**小结**

**数据链路层：将物理层提供的原始位流，通过成帧方式，转换成可供网络层使用的帧流。同时，数据链路协议提供错误控制&流控制功能。**

**成帧方式：位流🡪帧流**

1. 字符计数法
2. 字节填充(byte stuffing)：每一帧用一些特殊的字节-标志字节(FLAG)标志开始&结束。当标志字节是数据内容的一部分时会有干扰分界，因此发送方在FLAG前面插入一个转移字节(ESC)，接收方在送给网络层之前删去ESC
3. 位填充法(bit stuffing)：发送方每碰到5个连续的1时就填充1个0，如此，帧与帧的分界必然为0111110

**错误控制：数据域后面附加一个校验和checksum（纠错：无线链路/检错：光纤）**

**其中检错码：**

1. 奇偶校验码(parity check code)
2. 循环冗余校验码CRC(Cyclic Redundancy Code)

**流控制：防止发送方把接收方淹没。使用单工通信基本协议&滑动窗口协议**

协议1：utopia，接收方总是处于准备就绪（不可能被淹没），并且假设信道永远不会损坏/丢失帧

协议2：停等协议SWP(Stop and Wait Protocol)，仍然假设信道不会出错，但假设接收方没有缓存和排队机制，接收方可能会被淹没。因此发送方要接受到接收方回传的哑帧(dummy frame)才敢发送下一帧

协议3：par，考虑信道可能出错。通过2个机制确保通信：接收方回传确认帧（解决帧损坏）；发送方设置定时器（解决帧丢失）

协议4：滑动窗口(sliding window)，允许双向通信。收发窗口=1，跟SWP一样

协议5：回退n帧GBN(Go Back N)，发送窗口>1，接收窗口=1，问题帧及所有后续帧需要重传

协议6：选择性重传+否定确认NAK，接收方缓存接受的帧，因此发送方只需要重传问题帧。如果问题帧是损坏的，那么接收方回传NAK激发发送方重传而不需要等待定时器超时

**2种协议建模方式：有限状态机FSM(Finite State Machine)，Petri网模型，用于分析i下而已的正确性**

**广泛应用的数据链路层协议：**

1. 高级数据链路控制协议HDLC(High-level Data Link Control)：使用使用位填充成帧，因此是面向位的
2. PPP协议(Point-to-Point Protocol)：Internet使用，采用字符填充，因此是面向字节的