1. 数据链路层设计要点：为上层提供定义良好的服务接口,组帧,差错控制（定时器、序列号以保障成功并一次）,流控制（方法：基于反馈、速率的流控制）。
2. 数据链路层功能：向网络层提供一个定义良好的服务接口；处理传输错误；调节数据流，确保慢速的接收方不会被快速的发送方淹没。
3. 组帧Framing：原始位法分解到离散的帧中：①字符计数法(Character count)：利用头部中的一个域来制定该帧中的字符数；②含字节填充的分界符法(Flag bytes with byte stuffing)：使用标志字节（flag byte）作为起始和结束分界符，数据中的FLAG前加转义字节ESC,ESC前也同样用ESC填充，但必须8位字符；③含位填充的分界标志法(Starting and ending flags, with bit stuffing)—一帧开始结束有特殊位模式01111110,则发送时如在数据中出现连续5个位1则自动填充1个0④物理层编码违例法(Physical layer coding violations)。工作核心：帧管理。
4. 数据链路层服务：①组帧和链路接入：a、将数据报加头加尾装入帧中；b、如果是共享信道实现信道接入c、物理地址被加入到帧中用来识别在广播链路中的帧的源和目标；②可靠传输：a、很少用在光纤、同轴电缆、双绞线传输，因为它们出错率低b、在无线连接中运用减小差错避免端对端重传；③流控制；④错误检测：a错误是由于衰减和噪声（分为热噪声和冲击噪声BURSTS mainly）造成的b接收端检测错误是否存在c提醒发送端重传或者停传坏帧；⑤错误纠正：接收端定位并纠正错误，不用重传
5. 为网络层提供服务：无确认的无连接服务；有确认的无连接服务；有确认的面向连接服务。
6. 数据链路层的实现：完全地用适配器Adapter来实现。发送端操作：封装，加校验位，实现共享媒介信道接入，在链路上传输；接收端操作：检错纠错，向上传递帧，更新状态信息，向发送端反馈，排序。
7. 误码率BER(bit error rate)：电气链路BER=10^-9，光学链路BER=10^-12  
   误包率PER(packet error rate)：PER=1-(1-BER)^N~=N\* BER(if N\*BER<<1)
8. 两种错误处理策略：①纠错码：前向纠错：可推断被发送的数据中肯定有哪些内容；应用：错误频繁（无线链路）②检错码：只能让接收方推断出发生了错误，不知哪里；应用：高度可靠（光纤）纠错需多次重传，因而一般只检错
9. 码字Codeword n=数据位/报文m+冗余位/校验位r
10. 海明距离（两码中不同位数：两个码字异或1的个数）为d,检d个错需要一个d+1的编码方案,纠错需要一个2d+1的方案。海明码只能纠正单个突发性错误，其校验位个数下限（m+r+1）<=2^r
11. 检错：奇偶校验：保证码字中1位的数目是偶数（偶校验）或者奇数（奇校验）  
    循环冗余校验码CRC（Cyclic Redundancy check）, 又称多项式编码（polynomial code）生成多项式G(x),最高位最低位为1，多项式M(x):在帧尾加校验和使得帧所对应的多项式能被G(x)除尽。若接收方有余数,则传输过程中有错误；带r个校验位的CRC可检验到所有长度≤r的突发性错误  
    为何几乎总把CRC放在尾部而不是头部？提高效率，边发送边校验，一旦把最后一位数据送上外出线路，就立即把CRC编码附加在输出流的后面发出。如果把CRC放在帧的头部，那么就要在发送之前把整个帧先检查一遍来计算CRC。这样每个字节都要处理两遍，第一遍是为了计算校验码，第二遍是为了发送。把CRC放在尾部就可以把处理时间减半。
12. 基本数据链路协议：  
    ①无限制的单工协议(An Unrestricted Simplex Protocol)：e.g.SLLC1.0，一个只发送,一个只接受，没有错误、乱序和流控制；  
    ②单工的停-等协议(A Simplex Stop-and-Wait Protocol)：发送-等待确认-发送；  
    ③有噪声信道的单工协议(A Simplex Protocol for a Noisy Channel)：支持重传的肯定确认协议PAR (Positive Acknowledgement with Retransmission) 或自动重复请求协议ARQ (Automatic Repeat reQuest)
13. 双向协议：①全双工数据传输：2条独立信道，每条单工：前向：用于数据；逆向：用于确认→②同1条传输两个方向：数据帧确认帧混合，接收方只检查帧头部kind域。**捎带确认**：确认报文附在下一个外发数据帧上的ack域，更好利用了信道的带宽。
14. **☆滑动窗口协议****SWP**(Sliding window protocol)：本质：在任何时刻，发送方总是维持着一组序列号，分别对应于允许它发送的帧（序列号：0-2^n-1，在n位的域中，停等协议n=1）。发送窗口帧必须在内存中保存，以便可能的重传，发送方窗口大小为n,需要n个缓冲区存放未被确认的帧,窗口大小可变,接收方窗口大小不变。n=1，只接受顺序帧，n＞1，不成立。SWS/RWS(Sender/Receiver window size) 发送/接收窗口大小,LAR(Last ACK received)最近接收到的应答号,LFS/LFR(Last frame sent/received)最近接收/发送帧序号,LAF(Last acceptable frame) 最大可接收帧的序号; LFS-LAR<=SWS , LAF-LFR<=RWS。  
    SWP（会产生哪些问题：帧丢失，ACK丢失，ACK延迟→发送下一分组前不等待前一个的ACK）过长的往返时间严重影响带宽利用率→Solution：允许发送方在阻塞前发送多达w帧，如w≥26，则发送方最大窗口为26；带宽与延迟的乘积很大→管道化技术；一个很长的帧流中间有一帧被损坏/丢失，而此时大量帧已成功到达接收方→①回退n帧：n=1但错误率高，浪费大量带宽②选择性重传：n＞1。这是带宽和数据缓存空间的权衡。  
    **SWP种类**：①1位滑动窗口协议(A One-Bit SWP)   
    ②使用回退n帧技术协议**GBN** (Go Back N)：当发生错误时,接收方丢弃所有后续的帧,并且不发送确认。对应于接收窗口尺寸为1。  
    ③选择性重传协议**SRP** (Selective Repeat)：对应于接收窗口＞1。只重传未被确认的一帧,也可以利用NAK（否定的确认信号negative acknowledge）激发重传,不需要到相应定时器过期，提高性能。窗口很大会消耗数据链路层内存。（新老窗口序列号重叠问题：接收方无法区别后续的一批帧是重复的帧还是新的帧→Solution：窗口大小n=(序列号MAX\_SEQ+1)/2=缓冲区数量。如:MAX\_SEQ=4，n=24/2=8）
15. **SLLC**(Simple Logical Link Control)：①SLLC1.0针对无错误，无数据丢失，发送和接收始终同步的理想环境设计的协议。②SLLC2.0引入了错误检测和接收端反馈，但没有考虑到ACK/NAK丢失的情况，重新发送的问题。③SLLC2.1引入了序列号，解决重复发送。④SLLC3.0(实际上就是停等协议)加入计时器，解决收发超时的问题。
16. **封装**Encapsulation：帧头+净荷域+帧尾
17. **HDLC**①同步数据链路控制SDLC(Synchronous)→高级数据通信控制规程ADCCP(Advanced Data Communication Control Procedure)→高级数据链路控制HDLC (High-level Data Line Control)（链路访问规程(LAP Link access Procedure））均面向位②主要概念：三种站点主站Primary从站Second复合站combined；两种基本配置方式：平衡方式(用于点对点和多点链路，1主+1orN从)、非平衡方式(用于点对点,复合+复合)；运行三模式：正常响应模式NRM(Normal Response Mode)、异步平衡模式ABM(Asynchronous Balanced)、异步响应模式ARM(Asynchronous Response)；③帧结构： FLAG(01111110)+Addr(8b)+Ctrl(8b)+Info+ CheckSum(16b) +FLAG(01111110)；④不同类型帧的Ctrl域：信息帧(0+Seq|3+P/F|1+Next|3)、管理帧(10+Type|2+P/F|1+Next|3)、无序号的帧(11+Type|2+P/F|1+Next|3)；④位填充（确保数据的透明性）：Seq:帧的序列号,Next:捎带的确认（下一帧的序列号）,P/F(Poll查询/Final结束)除最后一位为F其他都为P；⑤特点：可靠性高，高速传输，校验采用数据冗余码。可进行任意位组合的传输，可不等待接收端应答，连续传输数据，错误控制严密，适于计算机间的通信。HDLC相当于OSI基本参照模型的数据链路层部分标准方式一种，HDLC的适用领域很广，近代协议数据链路层大部分都是基于HDLC的。
18. 因特网的数据链路层协议：串行线路网际协议SLIP(Serial line IP), PPP(Point-to-Point Protocol)
19. **PPP**：将家庭计算机连接在Internet上(面向字符！字节填充术)①提供三种功能：用于串行链路的基于HDLC数据帧封装机制、链路控制协议LCP(Link control),支持同步/异步,面向位/字节）、网络控制协议NCP(Network)  
    ②填充：当PPP用在同步传输链路时,协议规定采用硬件来完成比特填充。当PPP用在异步传输时,就使用一种特殊的字符填充法。③帧结构： FLAG(0x7E)+Addr(0xFF)+Ctrl(0x03)+Protocol(1/2B)+Info+CheckSum(2/4B)+FLAG④PPP和HDLC的区别：PPP面向字符,字节填充,HDLC面向位,位填充；PPP所有帧都是整数个字节，HDLC发送30.25个字节的帧是可能的
20. 两步保证传输帧或分组可靠：当分组有错或丢失时可以检测出；用重传修正错误。
21. 协议复杂度和有效性的排序：SWP<ABP(alternate bit protocol)<GO BACK N<SRP