

数据链路层

1. 功能 *

1.1. 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 **有连接就一定要确认**

1.2. 链路管理 *

数据链路层的连接的**建立**, **维持**和**释放**过程称为**链路管理**

链路两端结点通信前必须确认对方已处于**就绪状态**, 这个过程称为**链路建立**

1.3. 帧定界, 帧同步与透明传输 *

- 帧长=数据长度+首部/尾部长度, 作用是帧定界
- 帧同步: 帧定界后, 接收方要能够识别出帧的边界
- 透明传输: 无论传输的数据是什么样的比特组合, 都应当能在链路上传送。

1.4. 流量控制

限制发送方的发送速率, 使接收方能够及时处理接收到的数据, 防止接收方的缓冲区溢出。

OSI模型中数据链路层有流量控制功能, 但是TCP/IP模型中流量控制功能被转移到了传输层。

1.5. 差错控制 *

帧在传输过程中可能出现错误。用以使发送方确定接收方是否正确收到发送数据的方法称为**差错控制**, 其通常可分位**位错**和**帧错**

位错通常采用**循环冗余检验**或者**奇偶校验**等方法进行检测和纠正, 通过自动重传请求来重传出错的帧, 这种差错控制的方法称为**ARQ法**。

帧错可以通过引入定时器和编号机制, 保证每一帧最终都能有且仅有一次正确地交付给目的节点。

2. 组帧 *

2.1. 字符计数法

- 帧头部使用一个计数字段表明帧内字符数。
- 如果计数字段出错, 即失去了帧边界划分的依据, 收发双方将**失去同步**。

2.2. 字符填充法 *

- 在帧头部和帧尾部填充一些特殊字符, 作为帧的边界标志。
- 插入转义字符来转义非首尾的特殊字符。

2.3. 零比特填充法

- 使用一个特定的比特模式，即`01111110`，作为帧的边界标志。
- 为了防止错误，在收到五个连续的1后自动插入一个0。

2.4. 违规编码法

- 采用违规编码法
- 无需任何填充技术，便能实现数据传输的透明性，但只适用冗余编码的特殊编码环境。

3. 差错控制 *

3.1. 检错编码 *

3.1.1. 奇偶校验码 *

- 奇校验码：附加校验码后，数据位中1的个数为奇数
- 偶校验码：附加校验码后，数据位中1的个数为偶数

3.1.2. 循环冗余校验码(CRC) *

- 生成多项式，阶数为r
- 数据的低位端加上r个0
- 数据与多项式相除(异或运算)，余数作为帧检测序列(FCS)替代末r位0
- 不可靠传输：差错的帧直接丢弃

3.2. 纠错编码

3.2.1. 海明码

n 表示有效信息位数， k 为校验位的位数，则信息位 n 和校验位 k 应该满足

$$n+k+1 \leq 2^k$$

校验位置于 2^k 位上

校验位的值为所有使用该校验位的值的异或结果。

4. 流量控制与可靠传输系统 *

4.1. 流量控制、可靠传输与滑动窗口机制 *

4.1.1. 停止-等待流量控制基本原理

- 发送方发送一帧，等待接收方应答信号
- 接收方接收一帧，反馈一个应答信号
- 每次只能一帧，传输效率低

4.1.2. 滑动窗口流量控制基本原理 *

- 发送方维持一组连续的允许发送的帧的序号，称为发送窗口

- 接收方维持一组连续的允许接收的帧的序号，称为接收窗口
- 发送端每收到一个确认帧，发送窗口就向前滑动一个位置。若发送窗口内没有可发送的帧，则停止发送。
- 接收端收到数据帧后，将窗口向前移动一个位置，并发回确认帧。若收到的数据帧落在接收窗口之外，则一律丢弃。

滑动窗口的特性：

- 接收窗口向前滑动时，发送窗口才有可能向前滑动
- 滑动窗口的特殊形式
 - 停止-等待协议：发送窗口大小=1，接收窗口大小=1
 - 后退N帧协议：发送窗口大小>1，接收窗口大小=1
 - 选择重传协议：发送窗口大小>1，接收窗口大小>1
- 接收窗口大小为1，可以保证帧有序接收
- 数据链路层的滑动窗口协议中，窗口大小在传输过程中固定

4.1.3. 可靠传输机制 *

- 确认：无数据的控制帧，使得接收方可以让发送方知道哪些内容被正确接受。
 - 有些情况下为了提高效率，将确认捎带在一个回复帧中，称为稍待确认
- 超时重传：发送方在发送某个数据帧后开始一个计时器，若一定时间内没收到发送的数据帧的确认帧，就重新发送该数据帧，直到发送成功为止
- 自动重传请求(ARQ)：接收方请求发送方重传出错的数据帧来恢复出错的帧。

4.2. 单帧滑动窗口与停止-等待协议 *

- 可能出现的问题
 - 数据帧丢失
 - 到达目的站的帧已遭破坏：超时重传
 - 数据帧正确但确认帧破坏
 - 出现相同发送序号的数据帧，表明发送端进行了超时重传
 - 连续出现相同序号的确认帧，表明接收端收到了重复帧

4.3. 多帧滑动窗口与后退N帧协议(GBN) *

- 接收方只允许按顺序接收帧
- 接收方对某一数据帧的确认表明该数据帧和此前所有数据帧均已正确无误地收到。
- 若采取n比特对帧编号，那么发送窗口的尺寸 $W_{\{T\}}$ 应满足 $1 \leq W_{\{T\}} \leq 2^{\{n\}-1}$

4.4. 多帧滑动窗口与选择重传协议(SR) *

- 为了提高信道利用率，可以设法只重传出现差错的数据帧或计时器超时的数据帧。这就需要加大接收窗口。
- 接收方怀疑出错便发送否定帧NAK，要求发送方对NAK中指定的帧重传。
- 接收窗口和发送窗口的大小是相同的，且最大值都是序号范围的一半。
- 若采取n比特对帧编号，那么发送窗口和接收窗口的尺寸满足 $W_{\{Tmax\}} = W_{\{Rmax\}} = 2^{\{n-1\}}$
- 选择重传协议可以避免重复传输已经正确到达接收端的数据帧，但接收端要设置具有相当容量的缓冲区暂存那些未按序正确收到的帧。

北航课件中，这里应该是讲HDLC和PPP协议，这两部分在[3.7 广域网](#)中介绍

5. 介质访问控制

主要任务：为使用介质的每个结点隔离来自同一信道上其他节点所传送的信号，[协调活动结点的运输](#)。

5.1. 信道划分介质访问控制

多路复用：介质传输带宽超过单个信号所需要的带宽时，就需要使用在[一条介质](#)上同时携带[多个传输信号](#)的方法来提高传输系统的利用率。

5.1.1. 频分多路复用(FDM)

- 将物理信道的[总带宽](#)分割成若干与[传输单个信号带宽](#)相同的[子信道](#)，每个子信道只能被一个信号所占用。
- 每个子信道分配带宽可[不相同](#)，但总和不能超过信道的[总带宽](#)
- 为防止子信道之间的干扰，相邻信道之间需要加入[保护频带](#)

5.1.2. 时分多路复用(TDM)

- 将一条时间信道按时间分成若干[时间片](#)，轮流地分配给多个信号使用。每个时间片由复用的一个信号占用。
- 从某个时刻来看，时分多路复用信道上传送的仅仅是[某一对设备之间的信号](#)。
- 就某段时间而言，传送的是按时间分割的[多路复用信号](#)。
- 统计时分多路复用(STDM)**：动态地分配时隙，提高线路的利用率。

5.1.3. 波分多路复用(WDM)

- 光的频分多路复用技术，在光纤中传输[不同波长\(频率\)](#)的光信号
- 由于不同波长的光信号[互相不干扰](#)，所以最后可以直接将波长分解出来
- 光波处于频谱的[高频段](#)，有很高的带宽，所以可以实现[多路波分复用](#)。

5.1.4. 码分多路复用(CDM)

采用[不同编码](#)区分各路原始信号，即[共享空间](#)，又[共享时间](#)。

码分多址(CDMA)：

- 每比特时间再划分成m个短的时间槽，称为[码片](#)，每个站点被指派唯一一个m位码片序列
- 发送1时，发送码片序列；发送0时，发送码片序列反码
- 多个站点同时发送时，各路数据在信道中[线性相加](#)，由于各个站点的码片[相互正交](#)，故可以从信道中分离出各路信号
- 原理：向量正交，相乘为0。和向量与某站的码片向量作[规格化内积](#)，即可得知该站发出的信号

5.2. 随机访问介质访问控制 *

- 所有用户根据自己的意愿随机地发送信息，占用信道[全部速率](#)，不需要信道划分，但是会产生[冲突](#)。
- 为了解决冲突，用户需要按照[一定规则](#)反复重传帧，直到该帧无碰撞通过。
- 随机介质访问控制实质上时[广播信道](#)转化为[点对点信道](#)的过程。

5.2.1. ALOHA协议

5.2.1.1. 纯ALOHA协议

- 网络中任何一个站点需要发送数据时，可以不进行任何检测就发送数据。
- 一段时间内未收到确认，站点就等待一段时间后再发送数据
- G 为网络负载(T_0 时间内所有站点发送成功的和未成功而重传的帧数)， S 为 T_0 时间内成功发送的平均帧数
- 吞吐量 $S=Ge^{-G}$ ，当 $G=0.5$ 时， $S=0.184$ 达到最大值，可见，纯ALOHA协议的吞吐量很低

5.2.1.2. 时隙ALOHA协议

- 各个站点同步起来，将时间划分为等长的时隙，规定只有时隙开始时才能发送数据，减少产生冲突可能性。
- 吞吐量 $S=Ge^{-G}$ ，当 $G=1$ 时， $S=0.368$ 达到最大值，可见，时隙ALOHA协议的吞吐量比纯ALOHA协议高

5.2.2. CSMA协议

载波侦听多路访问协议(CSMA)在发送前侦听共用信道，如果信道空闲，则发送，否则等待一段时间后再发送。

协议	1-坚持	非坚持	p-坚持
信道忙	继续坚持监听	放弃监听，等待一个随机的时间后再监听	(推迟到下一个时隙) 持续监听，直到信道空闲
信道空闲	立即发送数据	立即发送数据	以概率p发送数据 以概率1-p推迟到下一个时隙
总结	传播延时对性能影响大	信道利用率提高是以增加数据在网络中的延迟时间为代价的	前两者折中方案

5.2.3. CSMA/CD协议 *

载波侦听多路访问/碰撞检测协议

- 工作原理：
 - 先听后发：侦听信道空闲，则开始发送帧，否则等到信道上没信号能量后再发送。
 - 边听边发：发送过程中持续监测信道
 - 冲突停发：若未检测到碰撞，则发送完毕该帧；否则终止数据发送，并发送一个拥塞信号，以便通知其他站点发生了碰撞。
 - 随即重发：终止发送后，执行指数退避算法，等待一段时间后执行边听边发步骤。
- CSMA/CD中的站点不能同时发送和接收，故采用此协议的网络只能是半双工通信。
- 争用期&帧长：
 - 设 τ 为单程传播时延，则发送数据后至多经过 2τ 时间后，就能知道是否发生了碰撞。

- 因此，把以太网端到端往返时间 2τ 称为 **争用期**（**冲突窗口或碰撞窗口**），在争用期内未检测到碰撞，就确定这次发送不会发生碰撞。故收到小于一个最小帧长的帧会默认发生了碰撞，**直接丢弃**。
- 结论：最小帧长 = 总线传播时延 × 数据传输速率 × 2
- 以太网帧间最小间隔： $96B$ （ 12 字节），即在以太网中，检测到信道空闲后，至少等待 96 比特时间后才能发送帧。

如果只发送小于最小帧长的帧，需要在MAC帧数据字段后添加填充字段来保证长度不小于最小帧长。
- 如果参与冲突的两个站点紧接着再次发送是没有意义的，将会导致无休止的冲突，CSMA/CD采用指数退避算法来解决碰撞问题。
- 指数退避算法：**随重传次数增大而增大**（动态退避）
 - 基本退避时间：一般取争用期 2τ
 - 定义参数 k : $k=\min[\text{重传次数}, 10]$ ，即 **k最大为10**
 - 求退避时间 t : 从 $[0, 2^{k-1}]$ 中任取一个整数 r ，退避时间 $t=r \times \text{基本退避时间} = 2\tau$
 - 重传 16 次仍不成功，说明网络拥挤，**放弃发送，抛弃此帧，向高层报告错误**

5.2.4. CSMA/CA协议

载波侦听多路访问/碰撞避免协议

- 工作原理：
 - 当信道空闲时间大于IFS（帧间隙），立即传输
 - 当信道忙时，延迟直到当前传输结束+IFS时间
 - 开始随机退后过程：从 $(0, CWindow)$ 中选择一个随机数作为退后计数器，通过侦听确定每个时间槽是否活动，如果没有活动，则减少退后时间
 - 退后过程中如果信道忙，则挂起退后过程（解决站点之间的公平问题）
 - 在当前帧传输结束后恢复退后过程
- 竞争窗口选择
 - 竞争窗口的选择应与网络负载情况相适应：冲突次数越多，表明网络负载越
 - 使用二进制指数退后算法，竞争窗口的初始值为某个最小值；当网络负载轻时，冲突的机率较小，选择较小的竞争窗口，减小站点的等待时间；当网络负载重时，冲突的机率较大，选择较大的竞争窗口，避免站点间选择的随机值过于接近，从而导致太多的冲突
- 差错检测与确认重传（32位CRC校验，采用停等机制）
- 不同帧间隙控制优先级：SIFS、PIFS、DIFS
- RTS-CTS机制：通过信道预约，避免长帧冲突
 - 发送端发送RTS，接受端回送CTS，其他相关站点能够收到RTS或（和）CTS，维护NAV，最后有ACK来终止NAV
 - 应对无线链路较高的出错率：采用较小的帧（将用户数据帧分段的机制对用户透明），Fi帧中携带Fi+1的传输时间

5.3. 轮询访问：令牌传输协议

- **令牌**沿着环形总线在各个计算机之间**依次传递**，是一个特殊的**MAC控制帧**，本身不包含信息，只**控制信道的使用**。

- 令牌按顺序传递，所以对所有入网的计算机而言，访问权是公平的。
- 因为令牌只有一个，所以不会发生冲突。
- 适合负载很高的广播信道，因为其发生冲突的概率很大。
- 传输介质物理拓扑不一定是环，但传输通路逻辑上必须是一个环。
- 传递过程：
 - 空闲传递：网络空闲时，环路中只有令牌帧在循环传递
 - 开始传输：令牌传递到有数据要发送的站点时，该站点就修改令牌中的一个标志位，并在令牌中附加自己需要传输的数据，将令牌变为一个数据帧，然后将这个数据帧发送出去
 - 环路传输：数据帧沿着环路传输，接收到的站点一边转发数据，一边查看帧的目的地址。如果目的地址和自己的地址相同，那么接收站就复制该数据帧以便进一步处理。
 - 返回源点：数据帧沿着环路传输，直到到达该帧的源站点，源站点收到自己发出的帧后不再转发。同时检验返回的帧来查看传输过程是否出错，如果出错就重传。
 - 结束传输：源站点发送完毕后，重新产生一个令牌，传递给下一个站点，交出信道控制权。

6. 局域网 *

6.1. 概念和体系结构 *

局域网: 较小地理范围内的计算机互联网络。 无线局域网组网模式-基础架构模式：分布式系统 (DS)、访问点 (AP)、分布式系统 (DS)、站点 (STA)、基本服务集 (BSS)、扩展服务集 (ESS)，站点之间通信通过AP转发
主要特点：

- 为一个单位所有，地理范围和站点数目有限
- 所有站点共享较高总带宽
- 较低时延和较低误码率
- 各站为平等关系而非主从关系
- 能进行广播和组播

三个要素：拓扑结构，传输介质，介质访问控制方式，后者决定局域网技术特性。

- 拓扑分类：星形，总线型，环形，复合型
- 传输介质：双绞线，同轴电缆，光纤等，双绞线为主流方式
- 介质访问控制方式：CSMA/CD

特殊的局域网拓扑实现：

- 以太网(使用范围最广)，逻辑拓扑总线型，物理拓扑星形/拓展星形
- 令牌环(IEEE 802.5)，逻辑拓扑环形，物理拓扑星形
- FDDI 光纤分布数字接口(IEEE 802.8)，逻辑拓扑环形，物理拓扑双环

IEEE 802定义的局域网参考模型对应OSI模型的数据链路层和物理层，并将数据链路层拆分为逻辑链路控制 (LLC) 和介质访问控制 (MAC)

- MAC子层：屏蔽对物理层访问的各种差异，功能包括组帧，拆卸帧，比特传输差错检测，透明传输
- LLC子层：向网络层提供无确认无连接，面向连接，确认无连接，高速传输四种服务类型

6.2. 以太网与IEEE 802.3 *

以太网逻辑上用**总线形拓扑结构**，所有计算机共享一条总线，信息以**广播形式**发送，使用**CSMA/CD**对总线进行访问控制。通常将**802.3局域网**简称**以太网**

简化通信：

- 无连接工作方式，不对发送的数据帧编号，不需要接收方确认，即以太网**尽最大努力交付数据**，提供**不可靠服务**，对差错的纠正由高层（传输层）完成。
- 发送的数据使用**曼彻斯特编码**，每个码元中间出现一次电压转换，接收端利用这种电压转换方便把位同步信号提取出来。

6.2.1. 以太网的传输介质和网卡

6.2.2. 以太网的MAC帧 *

网卡中的MAC地址也称为**物理地址**，以太网中的MAC地址为**48位**，前24位为**厂商代码**，后24位为**厂商自定义，全球唯一**。

- 前导码：使得接收端和发送端**时钟同步**，8字节。
 - 前同步码：7字节，实现MAC帧的比特同步
 - 帧开始界定符：1字节，标识MAC帧的开始
- 目的地址：6字节，目的主机的MAC地址
- 源地址：6字节，源主机的MAC地址
- 类型：2字节，指出数据域中携带的数据应交给哪个协议实体处理
- 数据：46-1500字节，数据域中的数据，包含**高层协议信息**，由于**CSMA/CD**算法限制，以太网帧必须满足最小长度**64字节**，数据较少时需要填充
- 填充：0-46字节，填充帧，使之达到64字节最小长度。
- 校验码(FCS)：4字节，用于检测帧中的差错，由**CRC-32**算法生成。

对于 \$10M/s\$ 的以太网，规定 \$51.2\mu s\$ 为争用期长度，，争用期内可发送 \$512bit\$，即 \$64B\$，这里的 \$512bit\$ 也称为**比特时间**，即发送 \$512\$ 比特所用的时间。

故以太网帧必须满足最小长度 \$64B\$，而MAC帧头部和尾部的长度为 \$18B\$，因此数据域的最小长度为 \$64-18=46B\$。最大长度 \$1500B\$ 是 IEEE 802.3 数据段的最大字节数。

6.2.3. 高速以太网 *

速度达到**100Mb/s**的以太网称为**高速以太网**，包括100BASE-T，千兆以太网等。

注： \$100Mb/s\$，\$1Gb/s\$，\$10Gb/s\$ 与 \$10Mb/s\$ 的以太网的**最短帧长一样**，都是 \$512\$ 比特，即 \$64B\$，所以其争用期长度都是 \$512\$ 比特时间，但具体时间不一样。

例如 \$10Mb/s\$ 的争用期长度为 \$51.2\mu s\$，而 \$100Mb/s\$ 的争用期长度为 \$5.12\mu s\$。帧间最小间隔时间也是同理。

6.3. 虚拟局域网 *

VLAN是一个在物理网络上根据用途，工作组、应用等来逻辑划分的局域网络，与用户的物理位置没有关系。通过路由器或三层交换机进行VLAN间路由，实现VLAN间通信。

- VLAN类型
 - 基于端口的VLAN（最常见）

- 基于MAC地址的VLAN
- 基于协议的VLAN
- 基于子网的VLAN
- 帧标记：带VLAN标记的帧称为标记帧，反之
- Access链路类型端口、Trunk链路类型端口与Trunk链路

7. 广域网

7.1. 广域网的基本概念

7.2. PPP协议 *

- PPP协议是串行线路通信的面向字节的协议，设计的目的是建立点对点连接发送数据
- 组成部分
 - 链路控制协议（LCP）：用于建立，配置，测试和管理数据链路。
 - 网络控制协议（NCP）：PPP协议允许多种网络层协议，每个不同的网络层协议要用一个相应的NCP来配置，为网络层协议建立和配置逻辑链接。
 - 封装方法：需要将IP数据报封装到串行链路，IP数据报在PPP帧中就是其信息部分，这个信息部分长度受到最大传送单元（MTU）的限制。
- PPP帧的格式：因为PPP面向字节，所以PPP帧长度一定是整数字节
 - 标志字段F：7E，1字节（如果出现在信息字段，需要做字节填充，转义字节7D）
 - 地址字段A：FF，1字节
 - 控制字段C：03，1字节
 - 协议字段：2字节，例如比特0开始的有诸如IP, IPX, AppleTalk等，比特1开始的有诸如LCP, NCP等
 - 信息部分：0-1500字节，长度可变，即IP数据报（无需采用CSMA/CD，故没有最短帧）
 - 帧检验序列（FCS）：2字节，CRC中的冗余码，用于检验帧是否出错
 - 标志字段F：7E，1字节（如果出现在信息字段，需要做字节填充，转义字节7D）
- PPP提供差错检测，不提供差错纠正，保证无差错接收，是不可靠传输协议，不使用序号和确认机制。
- 仅支持点对点链路通信，不支持多点线路
- PPP只支持全双工链路
- PPP两端可以运行不同的网络层协议，但仍可以使用同一个PPP进行通信
- PPP面向字节，信息字段出现和标志字段一致的比特时
 - 若异步线路：采用字节填充
 - 若同步线路：用协议规定采用硬件来完成比特填充

7.3. HDLC协议 *

高级数据链路控制(HDLC)是面向比特的数据链路层协议

- 不依赖任何字符编码集，数据报文采用0比特插入法，可实现透明传输，易于硬件实现
- 全双工通信，数据链路传输效率高
- 采用CRC校验，可对信息帧进行顺序编号，防止漏收重发，传输可靠性高
- 传输控制功能与处理功能分离，具有较大灵活性。
- 组成部分
 - 标志字段F：01111110（数据流中如果出现五个连续的1时，在其后填一个0）
 - 地址字段A：8比特，根据不同的传送方式，表示从站或应答站的地址
 - 控制字段C：8比特，HDLC的许多重要功能都靠控制字段来实现

- 信息部分：可变长度
- 帧检验序列（FCS）：16比特
- 标志字段F：01111110（数据流中如果出现五个连续的1时，在其后填一个0）
- PPP和HDLC异同
 - PPP是面向字节的，HDLC是面向比特的
 - PPP帧比HDLC帧多了一个2字节的协议字段。若协议字段为0x0021，说明信息字段是IP数据报
 - PPP协议不用序号和确认机制，只保证无差错接收（CRC检验），端到端差错检测由高层负责
 - HDLC协议的信息帧使用编号和确认机制，能够提供可靠传输。

8. 数据链路层设备 *

8.1. 网桥的基本概念 *

- 网桥连接两个或多个以太网，就会称为一个覆盖范围更大的以太网，而原来的每个以太网称为一个网段。
- 其工作在链路层的MAC子层，可以使以太网各网段称为隔离开的冲突域。
- 各个网段相对独立，故一个网段故障不会影响另一个网段。
- 网桥的作用
 - 连接两个或多个以太网
 - 过滤不属于自己的帧
 - 转发属于自己网段的帧
 - 学习每个网段的MAC地址
 - 维护每个网段的MAC地址表

8.2. 局域网交换机 *

8.2.1. 交换机原理和特点 *

- 以太网交换机是一个多端口的网桥
- 将网络划分成小的冲突域，为每个工作站提供更高的带宽。
- 工作原理：检测MAC地址，查找表（若不在表中则添加），转发数据。

对于 \$N\$ 个用户，共享式以太网每个用户平均带宽是原来的 $1/N$ 倍，而使用以太网交换机，交换机的总容量是原来的 N 倍

- 以太网交换机特点：
 - 交换机每个端口直接与主机相连，且工作在全双工方式
 - 交换机能同时联通多个端口，使每对主机都能无碰撞地传输数据
 - 即插即用，内部帧的转发表通过自学习算法自动建立
 - 交换机使用专门的交换结构信片，交换效率高
 - 交换机独占传输媒体的带宽
- 交换模式：
 - 直通式交换：只检查帧的目的地址
 - 优点：交换机的转发速度快，帧在接收后几乎能马上被传送出去
 - 缺点：缺乏智能性和安全性，无法支持不同速率的端口的交换
 - 存储转发式交换：将接收到的帧缓存到高速缓存器中，并检查数据是否正确，然后再转发出去。若帧有错则直接丢弃
 - 优点：可靠性高，支持不同速率端口的转换

- 缺点：**速度慢**，**延迟大**

8.2.2. 交换机的自学习功能 *

- 交换机的过滤和转发功能依靠**交换表**完成，其中每一项包含**MAC地址**，连通该MAC地址的**交换机接口**
- 交换表的建立：**自学习**：交换机在接收到帧时，若该帧的源地址不在交换表中，则将该帧的源地址和接口号添加到交换表中
- 交换表的维护：每一个表项超过有效时间**自动删除**，保证交换表符合当前网络实际情况，做到**即插即用**