

准 IEEE 802.3 (这个标准更准确的名字是 IEEE 802.3 CSMA/CD), 数据率为 10 Mbit/s。802.3 局域网对以太网标准中的帧格式做了很小的一点改动, 但允许基于这两种标准的硬件在同一个局域网互操作。符合这个标准的局域网称为 802.3 局域网。

DIX Ethernet V2 标准与 IEEE 802.3 标准只有很小的差别, 因此很多人也常把 802.3 局域网称为“以太网”或“基于 DIX Ethernet 技术的类以太网(Ethernet like)的系统”。

【3-16】数据率为 10 Mbit/s 的以太网在物理媒体上的码元传输速率(即码元/秒)是多少?

解答: 以太网发送的数据都使用曼彻斯特编码的信号(如图 T-3-16 所示)。

$B=2W$

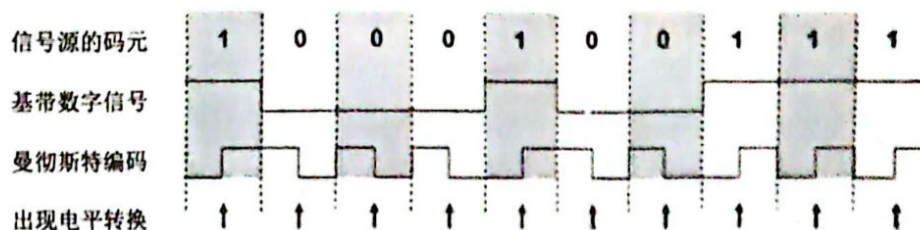


图 T-3-16 曼彻斯特编码的信号

从图 T-3-16 可以看出, 数据率为 10 Mbit/s 的以太网就表明, 在以太网适配器中, 在进行曼彻斯特编码之前, 基带信号每秒发送 10×10^6 个码元。但是经过曼彻斯特编码之后, 原来的信号源的每一个码元都变成了两个码元。因此, 最后经过网络适配器发送到线路上的码元速率是每秒 20×10^6 个码元, 即速率是每秒 20 兆码元。

请注意, 也有的曼彻斯特编码出现电平转换的规定正好与图 T-3-16 所示的相反, 也就是说, 1 对应于曼彻斯特编码的负跳变, 而 0 对应于曼彻斯特编码的正跳变。

【3-17】为什么 LLC 子层的标准已制定出来了但现在却很少使用?

解答: 当 IEEE 在 1983 年制定 802.3 标准时, 已经流行了几种不同的局域网。因此 802 委员会决定把局域网的数据链路层协议再划分为两个子层, 一个是媒体接入控制 MAC 子层, 另一个是与具体的媒体无关的逻辑链路控制 LLC 子层。然而到现在, 过去曾流行过的令牌环形网、令牌总线局域网以及光纤分布式数据接口 FDDI 局域网, 都已经在市场上消失了。因此, 在现在只剩下一一种局域网(以太网)的情况下, LLC 子层显然没有存在的价值了。现在 IP 数据报都是直接放入到以太网中作为以太网的数据部分的。

【3-18】试说明 10BASE-T 中的“10”“BASE”和“T”所代表的意义。

解答: “10”代表这种以太网具有 10 Mbit/s 的数据率, BASE 表示连接线上的信号是基带信号, T 代表双绞线(Twisted-pair)。

【3-19】以太网使用的 CSMA/CD 协议是以争用方式接入到共享信道的, 这与传统的时分复用 TDM 相比有何优缺点?

解答: 应当说, CSMA/CD 协议与传统的时分复用 TDM 各有优缺点。

网络上的负荷较轻时, CSMA/CD 协议很灵活, 哪个站想发送就可以发送, 而且发生碰撞



的概率很小。如使用时分复用 TDM，效率就比较低。当很多站没有信息要发送时，分配到的时隙也浪费了。但网络负荷很重时，CSMA/CD 协议引起的碰撞很多，重传经常发生，因而效率大大降低。这时，TDM 的效率就很高。

这好比在一个城市中的交叉路口的红绿灯系统。当车辆很少时，红绿灯可能会产生一些不必要的红灯等待。但车辆的流量很大时，使用红绿灯系统就是非常必要的，可以使车辆的通行有条不紊。

【3-20】假定 1 km 长的 CSMA/CD 网络的数据率为 1 Gbit/s。设信号在网络上的传播速率为 200000 km/s。求能够使用此协议的最短帧长。

解答：1 km 长的 CSMA/CD 网络的端到端传播时延 $\tau = (1 \text{ km}) / (200000 \text{ km/s}) = 5 \mu\text{s}$ 。

$2\tau = 10 \mu\text{s}$ ，在此时间内要发送 $(1 \text{ Gbit/s}) \times (10 \mu\text{s}) = 10000 \text{ bit}$ 。

只有经过这样一段时间后，发送端才能收到碰撞的信息（如果发生碰撞的话），也才能检测到碰撞的发生。

因此，最短帧长为 10000 bit，或 1250 字节。

【3-21】什么叫作比特时间？使用这种时间单位有什么好处？100 比特时间是多少微秒？

解答：比特时间就是发送 1 比特所需的时间，而不管数据率是多少。需要注意的是，发送 1 比特的时间长短显然与数据率密切相关。

采用比特时间的好处是方便。如果不采用比特时间，那么当我们讨论某个站发送数据时，若所发送的数据共有 6400 比特，那么发送这 6400 比特所需的时间就是 6400 除以发送速率。例如，若发送速率是 10 Mbit/s，则发送这 6400 比特所需的时间是：

$$6400 / 10000000 = 640 \times 10^{-6} \text{ s} = 640 \mu\text{s}$$

但如果以“比特时间”为单位，那么不管发送速率是多少，发送 6400 比特所需的时间一定是 6400 比特时间。这显然要方便得多。

要把“比特时间”换算成“秒”或“微秒”，就必须先知道数据率是多少。因此，要回答“100 比特时间是多少微秒？”这样的问题，不给出数据率是无法回答的。

【3-22】假定在使用 CSMA/CD 协议的 10 Mbit/s 以太网中某个站在发送数据时检测到碰撞，执行退避算法时选择了随机数 $r = 100$ 。试问这个站需要等待多长时间后才能再次发送数据？如果是 100 Mbit/s 的以太网呢？

解答：对于 10 Mbit/s 的以太网，争用期是 512 比特时间。现在 $r = 100$ ，因此退避时间是 51200 比特时间。

这个站需要等待的时间是 $51200 / 10 = 5120 \mu\text{s} = 5.12 \text{ ms}$ 。

对于 100 Mbit/s 的以太网，争用期仍然是 512 比特时间，退避时间是 51200 比特时间。

因此，这个站需要等待的时间是 $51200 / 100 = 512 \mu\text{s}$ 。

【3-23】教材上的公式(3-3)表示，以太网的极限信道利用率与连接在以太网上的站点数无关。能否由此推论出：以太网的利用率也与连接在以太网上的站点数无关？请说明你的理由。





解答：以太网的利用率应当与连接在以太网上的站点数有关。我们知道，以太网各站发送数据的时刻应当是随机的。但公式(3-3)表述的以太网的极限信道利用率基于这样的假定：这个以太网使用了特殊的调度方法，一个站发送完数据后，另一个站就接着发送。结果是各站点的发送都不会发生碰撞。这样就使以太网的利用率达到最大值。但我们注意到，这已经不再是采用 CSMA/CD 协议的以太网了。

【3-24】 假定站点 A 和 B 在同一个 10 Mbit/s 以太网网段上。这两个站点之间的传播时延为 225 比特时间。现假定 A 开始发送一帧，并且在 A 发送结束之前 B 也发送一帧。如果 A 发送的是以太网所容许的最短的帧，那么 A 在检测到和 B 发生碰撞之前能否把自己的数据发送完毕？换言之，如果 A 在发送完毕之前并没有检测到碰撞，那么能否肯定 A 所发送的帧不会和 B 发送的帧发生碰撞？（提示：在计算时应当考虑到每一个以太网帧在发送到信道上时，在 MAC 帧前面还要增加若干字节的前同步码和帧定界符。）

解答：设在 $t = 0$ 时 A 开始发送。A 发送的最短帧长是 64 字节 = 512 bit。实际上在信道上传送的还有 8 字节 (= 64 bit) 的前同步码和帧开始定界符，因此，如果不发生碰撞，那么在 $t = 512 + 64 = 576$ 比特时间时，A 应当发送完毕。

B 越晚发送就越容易和 A 发送的帧发生碰撞。在 $t = 225$ 比特时间后，B 就收到了 A 发送的比特。因此，现在假定 B 在 $t = 224$ 比特时间时发送了数据，看是否发生碰撞。

在 $t = 225$ 比特时间时，B 检测出碰撞（如图 T-3-24 所示）。

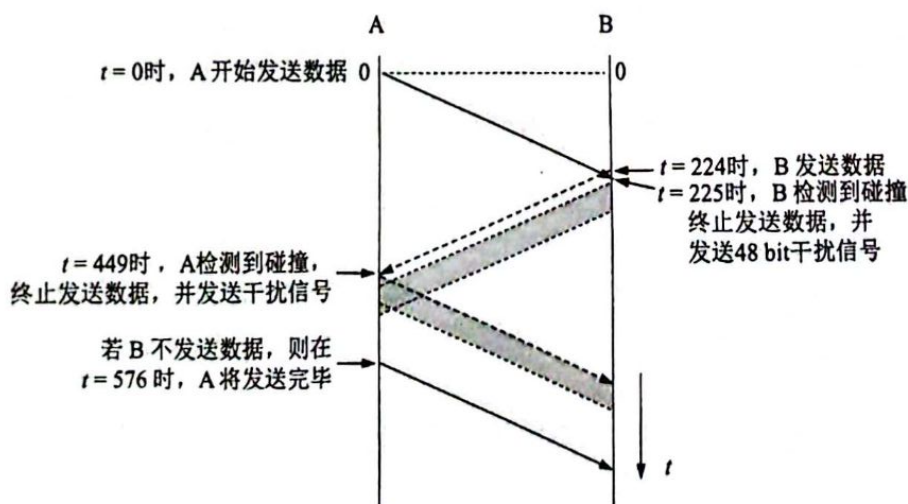


图 T-3-24 A 向 B 发送数据，传播时延是 225 比特时间

因此，在 $t = 225$ 比特时间以后 B 就终止发送数据了。接着，B 发送 48 bit 的干扰信号。

B 在 $t = 224$ 比特时间时发送的第一个比特将在 $t = 224 + 225 = 449$ 比特时间时到达 A，因此，在 $t = 224 + 225 = 449$ 比特时间时，A 检测到碰撞，终止发送数据，并发送 48 bit 的干扰信号。

A 在检测到和 B 发送的数据发生碰撞之前显然还没有发送完毕（因为 449 小于上面算出的 576）。因此，A 在检测到和 B 发生碰撞之前，不能把自己的数据发送完毕。

但如果 A 在发送完毕之前（即在 $t = 512 + 64 = 576$ 比特时间之前）没有检测到碰撞，那么就能表明：这个以太网上没有其他站点在发送数据，当然 A 所发送的帧不会和其他站点以

后再发送的数据发生碰撞。

【3-25】上题中的站点 A 和 B 在 $t = 0$ 时同时发送了数据帧。当 $t = 225$ 比特时间时，A 和 B 同时检测到发生了碰撞，并且在 $t = 225 + 48 = 273$ 比特时间时完成了干扰信号的传输。A 和 B 在 CSMA/CD 算法中选择不同的 r 值退避。假定 A 和 B 选择的随机数分别是 $r_A = 0$ 和 $r_B = 1$ 。试问 A 和 B 各在什么时间开始重传其数据帧？A 重传的数据帧在什么时间到达 B？A 重传的数据会不会和 B 重传的数据再次发生碰撞？B 会不会在预定的重传时间停止发送数据？

解答：图 T-3-25 给出了在几个主要时间所发生的事件。所有的时间单位都是“比特时间”。

$t = 0$ 时，A 和 B 开始发送数据。

$t = 225$ 比特时间时，A 和 B 都检测到碰撞。

$t = 273$ 比特时间时，A 和 B 结束干扰信号的传输。A 和 B 都马上执行退避算法。

因为 $r_A = 0$ 和 $r_B = 1$ ，所以 A 可以立即发送数据。但根据协议，发送前必须检测信道，遇到忙则必须等待，要等到信道空闲才能发送。而 B 要推迟 512 比特时间后才检测信道。

也就是说，A 在 $t = 273$ 比特时间时就开始检测信道，但 B 要等到 $t = 785$ 比特时间时才检测信道。

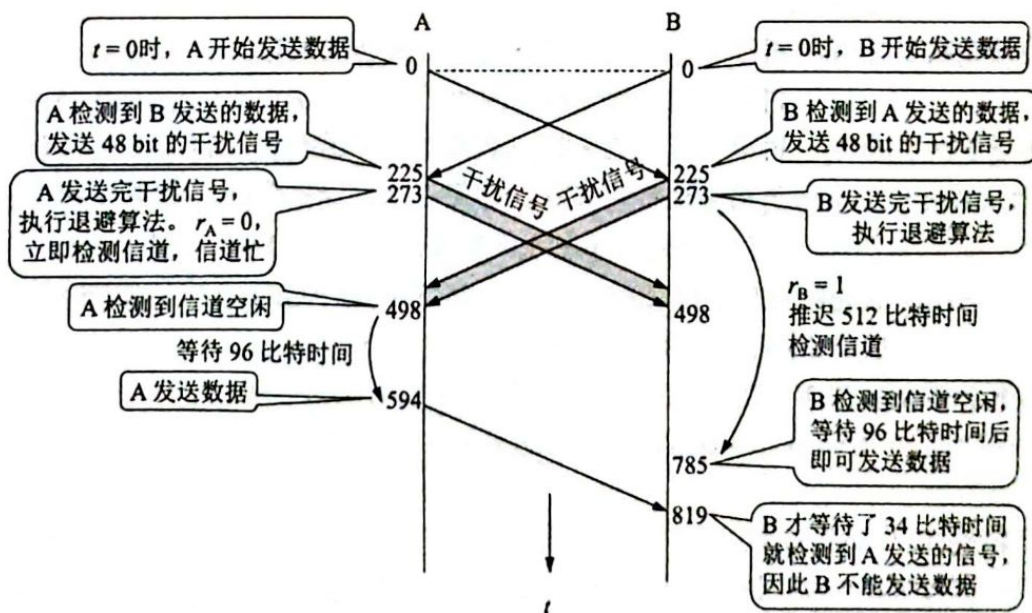


图 T-3-25 在几个主要时间所发生的事件

当 $t = 273 + 225 = 498$ 比特时间时，B 的干扰信号中的最后一个比特到达 A；A 检测到信道空闲。但 A 还不能马上发送数据，必须等待 96 比特时间后才能发送数据（我们应当注意到，以太网的帧间最小间隔就是 $9.6 \mu s$ ，相当于 96 比特时间）。

这样，当 $t = 498 + 96 = 594$ 比特时间时，A 开始发送数据。

再看一下 B 什么时候可以发送数据。当 $t = 273 + 512 = 785$ 比特时间（B 从 273 比特时间算起，经过 1 个争用期 512 比特时间）时，再次检测信道。如空闲，则 B 在 96 比特时间后，即在 $t = 785 + 96 = 881$ 比特时间时发送数据。请注意，只有从 785 比特时间一直到 881 比特时间 B 一直检测到信道是空闲的，B 才能在 881 比特时间时发送数据。



当 $t = 594 + 225 = 819$ 比特时间时, A 在 594 比特时间时发送的数据到达 B。

可见从 785 比特时间算起, 才经过了 34 比特时间, B 就检测到信道忙, 因此 B 在预定的 881 比特时间时不能发送数据。

【3-26】以太网上只有两个站, 它们同时发送数据, 产生了碰撞。于是按截断二进制指数退避算法进行重传。重传次数记为 i , $i = 1, 2, 3, \dots$ 。试计算第 1 次重传失败的概率、第 2 次重传失败的概率、第 3 次重传失败的概率, 以及一个站成功发送数据之前的平均重传次数 I 。

解答: 将第 i 次重传失败的概率记为 P_i , 显然

$$P_i = (0.5)^k, \quad k = \min[i, 10]$$

故第 1 次重传失败的概率 $P_1 = 0.5$,

第 2 次重传失败的概率 $P_2 = 0.5^2 = 0.25$,

第 3 次重传失败的概率 $P_3 = 0.5^3 = 0.125$ 。

$P[\text{传送 } i \text{ 次才成功}] = P[\text{第 1 次传送失败}] \cdot P[\text{第 2 次传送失败}] \cdots P[\text{第 } i-1 \text{ 次传送失败}] \cdot P[\text{第 } i \text{ 次传送成功}]$

$P[\text{传送 1 次成功}] = 0.5$

$P[\text{传送 2 次才成功}] = P[\text{第 1 次传送失败}] \cdot P[\text{第 2 次传送成功}]$
 $= P[\text{第 1 次传送失败}] (1 - P[\text{第 2 次传送失败}]) = 0.5 (0.75) = 0.375$

$P[\text{传送 3 次才成功}] = P[\text{第 1 次传送失败}] \cdot P[\text{第 2 次传送失败}] \cdot P[\text{第 3 次传送成功}]$
 $= P[\text{第 1 次传送失败}] \cdot P[\text{第 2 次传送失败}] (1 - P[\text{第 3 次传送失败}])$
 $= 0.5 (0.25) (1 - 0.125) = 0.5 (0.25) (0.875) = 0.1094$

$P[\text{传送 4 次才成功}] = 0.5 (0.25) (0.125) (1 - 0.0625) = 0.5 (0.25) (0.125) (0.9375) = 0.0146$

求 $P[\text{传送 } i \text{ 次才成功}]$ 的统计平均值, 得出

平均重传次数 $= 1 (0.5) + 2 (0.375) + 3 (0.1094) + 4 (0.0146) + \dots$
 $= 0.5 + 0.75 + 0.3282 + 0.0586 + \dots \approx 1.64$

【3-27】有 10 个站连接到以太网上。试计算以下三种情况下每一个站所能得到的带宽。

(1) 10 个站都连接到一个 10 Mbit/s 以太网集线器。

(2) 10 个站都连接到一个 100 Mbit/s 以太网集线器。

(3) 10 个站都连接到一个 10 Mbit/s 以太网交换机。

解答: 每一个站所能得到的带宽如下:

(1) 假定以太网的利用率基本上达到 100%, 那么 10 个站共享 10 Mbit/s, 即平均每一个站可得到 1 Mbit/s 的带宽。

(2) 假定以太网的利用率基本上达到 100%, 那么 10 个站共享 100 Mbit/s, 即平均每一个站可得到 10 Mbit/s 的带宽。

(3) 每一个站独占交换机的一个接口的带宽 10 Mbit/s。这里我们假定这个交换机的总带宽不小于 100 Mbit/s。



式的扩展,以便支持虚拟局域网。虚拟局域网协议允许在以太网的帧格式中插入一个4字节的标识符,称为 VLAN 标记,用来指明发送该帧的工作站属于哪一个虚拟局域网。如果还使用原来的以太网帧格式,显然就无法划分虚拟局域网。

在一个用多个交换机连接起来的较大的局域网中,可以灵活地划分虚拟局域网,不受地理位置的限制。一个虚拟局域网的范围可以跨越不同的交换机。当然,所使用的交换机必须能够识别和处理虚拟局域网。在图 T-3-29 中,在另外一层楼的交换机#2 连接了 5 台计算机,并与交换机#1 相连接。交换机#2 中的两台计算机加入到 VLAN-10,而另外 3 台加入到 VLAN-20。这两个虚拟局域网虽然都跨越了两个交换机,但各自是一个广播域。

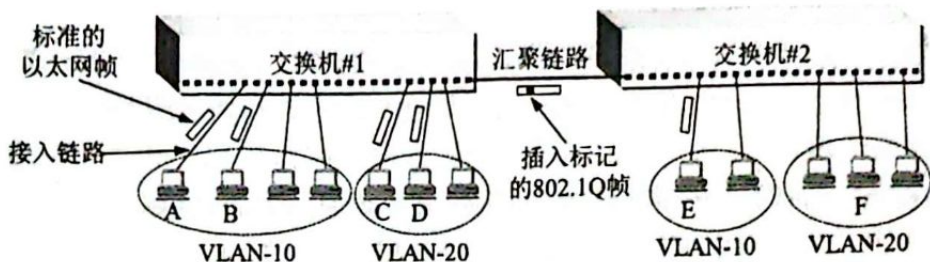


图 T-3-29 利用以太网交换机构成虚拟局域网

连接两个交换机端口之间的链路称为汇聚链路(trunk link)或干线链路。

现在假定 A 向 B 发送帧。由于交换机#1 能够根据帧首部的目的 MAC 地址,识别 B 属于本交换机管理的 VLAN-10,因此就像在普通以太网中那样直接进行帧的转发,不需要使用 VLAN 标签。这是最简单的情况。

现在假定 A 向 E 发送帧。交换机#1 查到 E 并没有连接到本交换机,因此必须从汇聚链路把帧转发到交换机#2,但在转发之前,要插入 VLAN 标签。不插入 VLAN 标签,交换机#2 就不知道应把帧转发给哪一个 VLAN。因此,在汇聚链路传送的帧是 802.1Q 帧。交换机#2 在向 E 转发帧之前,要拿走已插入的 VLAN 标签,因此 E 收到的帧就是 A 发送的标准以太网帧,而不是 802.1Q 帧。

【3/30】在图 T-3-30 中,某学院的以太网交换机有三个接口分别和学院三个系的以太网相连,另外三个接口分别和电子邮件服务器、万维网服务器以及一个连接互联网的路由器相连。图中的 A, B 和 C 都是 100 Mbit/s 以太网交换机。假定所有链路的速率都是 100 Mbit/s,并且图中的 9 台主机中的任何一台都可以和任何一台服务器或主机通信。试计算这 9 台主机和两台服务器产生的总的吞吐量的最大值。

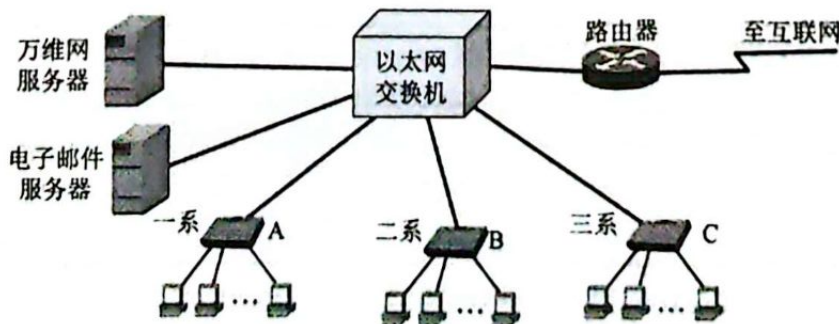


图 T-3-30 习题 3-30 的图



解答：这里的 9 台主机和两台服务器都工作时的总吞吐量是 $900 + 200 = 1100 \text{ Mbit/s}$ 。三个系各有一台主机分别访问两台服务器和通过路由器上网。其他主机在系内通信。

【3-31】假定在图 T-3-30 中的所有链路的速率仍然为 100 Mbit/s ，但三个系的以太网交换机都换成 100 Mbit/s 的集线器。试计算这 9 台主机和两台服务器产生的总的吞吐量的最大值。

解答：这里的每个系是一个碰撞域，其最大吞吐量为 100 Mbit/s 。加上每台服务器 100 Mbit/s 的吞吐量，得出总的最大吞吐量为 500 Mbit/s 。

【3-32】假定在图 T-3-30 中的所有链路的速率仍然为 100 Mbit/s ，但所有的以太网交换机都换成 100 Mbit/s 的集线器。试计算这 9 台主机和两台服务器产生的总的吞吐量的最大值。

解答：现在整个系统是一个碰撞域，因此最大吞吐量为 100 Mbit/s 。

【3-33】在图 T-3-33 中，以太网交换机有 6 个接口，分别接到 5 台主机和一个路由器。

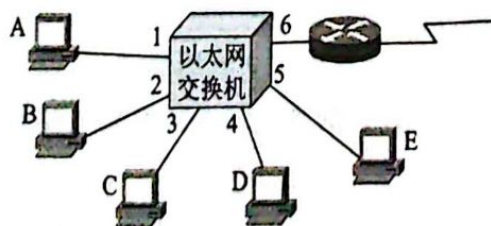


图 T-3-33 习题 3-33 的图

在下面表中的“动作”一栏中，表示先后发送了 4 个帧。假定在开始时，以太网交换机的交换表是空的。试把该表中其他的栏目都填写完。

动作	交换表的状态	向哪些接口转发帧	说明
A 发送帧给 D			
D 发送帧给 A			
E 发送帧给 A			
A 发送帧给 E			

解答：

动作	交换表的状态	向哪些接口转发帧	说明
A 发送帧给 D	写入(A, 1)	所有的接口	开始时交换表是空的，交换机不知道应向何接口转发帧
D 发送帧给 A	写入(D, 4)	1	交换机已知道 A 连接在接口 1
E 发送帧给 A	写入(E, 5)	1	交换机已知道 A 连接在接口 1
A 发送帧给 E	更新(A, 1)的有效时间	5	交换机已知道 E 连接在接口 5