

4) 如果适配器传输整个帧而未检测到来自其他适配器的信号能量, 该适配器就完成了该帧。在另一方面, 如果适配器在传输时检测到来自其他适配器的信号能量, 它中止传输 (即它停止了传输帧)。

5) 中止传输后, 适配器等待一个随机时间量, 然后返回步骤 2。

等待一个随机 (而不是固定) 的时间量的需求是明确的——如果两个结点同时传输帧, 然后这两个结点等待相同固定的时间量, 它们将持续碰撞下去。但选择随机回退时间的时间间隔多大为好呢? 如果时间间隔大而碰撞结点数量小, 在重复“侦听-当空闲时传输”的步骤前, 结点很可能等待较长的时间 (使信道保持空闲)。在另一方面, 如果时间间隔小而碰撞结点数量大, 很可能选择的随机值将几乎相同, 传输结点将再次碰撞。我们希望时间间隔应该这样: 当碰撞结点数量较少时, 时间间隔较短; 当碰撞结点数量较大时, 时间间隔较长。

用于以太网以及 DOCSIS 电缆网络多路访问协议 [DOCSIS 2011] 中的二进制指数后退 (binary exponential backoff) 算法, 简练地解决了这个问题。特别是, 当传输一个给定帧时, 在该帧经历了一连串的 n 次碰撞后, 结点随机地从 $\{0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\}$ 中选择一个 K 值。因此, 一个帧经历的碰撞越多, K 选择的间隔越大。对于以太网, 一个结点等待的实际时间量是 $K \cdot 512$ 比特时间 (即发送 512 比特进入以太网所需时间量的 K 倍), n 能够取的最大值在 10 以内。

我们看一个例子。假设一个适配器首次尝试传输一个帧, 并在传输中它检测到碰撞。然后该结点以概率 0.5 选择 $K=0$, 以概率 0.5 选择 $K=1$ 。如果该结点选择 $K=0$, 则它立即开始侦听信道。如果这个适配器选择 $K=1$, 它在开始“侦听-当空闲时传输”。周期前等待 512 比特时间 (例如对于 100Mbps 以太网来说为 5.12 毫秒)。在第 2 次碰撞之后, 从 $\{0, 1, 2, 3\}$ 中等概率地选择 K 。在第 3 次碰撞之后, 从 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 中等概率地选择 K 。在 10 次或更多次碰撞之后, 从 $\{0, 1, 2, \dots, 1023\}$ 中等概率地选择 K 。因此从中选择 K 的集合长度随着碰撞次数呈指数增长; 正是由于这个原因, 该算法被称为二进制指数后退。

这里我们还要注意到, 每次适配器准备传输一个新的帧时, 它要运行 CSMA/CD 算法。不考虑近期过去的时间内可能已经发生的任何碰撞。因此, 当几个其他适配器处于指数后退状态时, 有可能一个具有新帧的结点能够立刻插入一次成功的传输。

5. CSMA/CD 效率

当只有一个结点有一个帧发送时, 该结点能够以信道全速率进行传输 (例如 10Mbps、100Mbps 或者 1Gbps)。然而, 如果很多结点都有帧要发送, 信道的有效传输速率可能会小得多。我们将 CSMA/CD 效率 (efficiency of CSMA/CD) 定义为: 当有大量的活跃结点, 且每个结点有大量的帧要发送时, 帧在信道中无碰撞地传输的那部分时间在长期运行时间中所占的份额。为了给出效率的一个闭式的近似表示, 令 d_{prop} 表示信号能量在任意两个适配器之间传播所需的最大时间。令 d_{trans} 表示传输一个最大长度的以太网帧的时间 (对于 10Mbps 的以太网, 该时间近似为 1.2 毫秒)。CSMA/CD 效率的推导超出了本书的范围 (见 [Lam 1980] 和 [Bertsekas 1991])。这里我们只是列出下面的近似式:

$$\text{效率} = \frac{1}{1 + 5d_{\text{prop}}/d_{\text{trans}}}$$