

帧要发送的结点。想象一下某聚会客人是唯一一个有话要说的人的情形（并且想象一下这种情况十分罕见的情况，即酒会上所有的人都想听某一个人说话）。显然，一种多路访问协议用于这个特殊聚会时，TDM 是一种很糟的选择。

TDM 在时间上共享广播信道，而 FDM 将 R bps 信道划分为不同的频段（每个频段具有 R/N 带宽），并把每个频率分配给 N 个结点中的一个。因此 FDM 在单个较大的 R bps 信道中创建了 N 个较小的 R/N bps 信道。FDM 也有 TDM 同样的优点和缺点。它避免了碰撞，在 N 个结点之间公平地划分了带宽。然而，FDM 也有 TDM 所具有的主要缺点，也就是限制一个结点只能使用 R/N 的带宽，即使当它是唯一一个有分组要发送的结点时。

第三种信道划分协议是码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）。TDM 和 FDM 分别为结点分配时隙和频率，而 CDMA 对每个结点分配一种不同的编码。然后每个结点用它唯一的编码来对它发送的数据进行编码。如果精心选择这些编码，CDMA 网络具有一种奇妙的特性，即不同的结点能够同时传输，并且它们各自相应的接收方仍能正确接收发送方编码的数据比特（假设接收方知道发送方的编码），而不在乎其他结点的干扰传输。CDMA 已经在军用系统中使用了一段时间（由于它的抗干扰特性），目前已经广泛地用于民用，尤其是蜂窝电话中。因为 CDMA 的使用与无线信道紧密相关，所以我们将把有关 CDMA 技术细节的讨论留到第 6 章。此时，我们知道 CDMA 编码类似于 TDM 中的时隙和 FDM 中的频率，能分配给多路访问信道的用户就可以了。

5.3.2 随机接入协议

第二大类多访问协议是随机接入协议。在随机接入协议中，一个传输结点总是以信道的全部速率（即 R bps）进行发送。当有碰撞时，涉及碰撞的每个结点反复地重发它的帧（也就是分组），到该帧无碰撞地通过为止。但是当一个结点经历一次碰撞时，它不必立刻重发该帧。相反，它在重发该帧之前等待一个随机时延。涉及碰撞的每个结点独立地选择随机时延。因为该随机时延是独立地选择的，所以下述现象是有可能的：这些结点之一所选择的时延充分小于其他碰撞结点的时延，并因此能够无碰撞地将它的帧在信道中发出。

文献中描述的随机接入协议即使没有上百种也有几十种 [Rom 1990; Bertsekas 1991]。在本节中，我们将描述一些最常用的随机接入协议，即 ALOHA 协议 [Abramson 1970; Abramson 1985; Abramson 2009] 和载波侦听多路访问（CSMA）协议 [Kleinrock 1975b]。以太网 [Metcalfe 1976] 是一种流行并广泛部署的 CSMA 协议。

1. 时隙 ALOHA

我们以最简单的随机接入协议之一——时隙 ALOHA 协议，开始我们对随机接入协议的学习。在对时隙 ALOHA 的描述中，我们做下列假设：

- 所有帧由 L 比特组成。
- 时间被划分成长度为 L/R 秒的时隙（这就是说，一个时隙等于传输一帧的时间）。
- 结点只在时隙起点开始传输帧。
- 结点是同步的，每个结点都知道时隙何时开始。
- 如果在一个时隙中有两个或者更多个帧碰撞，则所有结点在该时隙结束之前检测到该碰撞事件。

令 p 是一个概率，即一个在 0 和 1 之间的数。在每个结点中，时隙 ALOHA 的操作是