

1998] 中讨论的那样, 因为音频信号 (特别是语音) 呈现出大量的短期自相似性, 故该方案是可行的。正因为如此, 这些技术适合于工作在相对小的丢包率 (低于 15%) 和小分组 (4~40ms) 的情况。当丢失长度接近音素的长度 (5~100ms) 时, 这些技术就失效了, 因为整个音素可能被听者错过。

也许基于接收方的恢复的最简单方式是分组重复。即用在丢失之前刚到达的分组的副本来代替丢失的分组。这种方法的计算复杂度低, 并且工作得相当好。基于接收方恢复的另一种形式是内插法, 它使用在丢失之前和之后的音频内插形成一个合适分组来隐藏丢失。内插法比分组重复稍微好一些, 但是显然需要更高的计算强度 [Perkins 1998]。

7.3.4 学习案例: 使用 Skype 的 VoIP

Skype 是一个非常流行的 VoIP 应用, 每天都有超过 5000 万个活跃的账户。Skype 除了提供主机到主机的 VoIP 服务, 还提供主机到电话的服务, 电话到主机的服务, 以及多方主机到主机的视频会议服务。(这里, 主机仍然是任一种因特网连接 IP 设备, 包括 PC、平板电脑和智能手机。) Skype 于 2011 年由微软公司出资超过 80 亿美元收购。

因为 Skype 协议是专用的, 并且因为所有 Skype 的控制和媒体分组是加密的, 所以精确地确定 Skype 的工作过程是非常困难的。无论如何, 从 Skype 的 Web 网站和几项测量研究, 研究人员已经知道了 Skype 总体上是怎样工作的 [Baset 2006; Guha 2006; Chen 2006; Suh 2006; Ren 2006; Zhang X 2012]。对于语音和视频, Skype 客户都有许多自行支配的不同编解码器, 这些编解码器能够以宽泛的速率和质量对媒体进行编码。例如, 测量表明 Skype 的视频速率从用于低质量会话的低至 30kbps 到用于高质量会话的高至 1Mbps 左右 [Zhang X 2012]。一般而言, Skype 语音质量好于由有线电话系统提供的“POTS (简单老式电话服务)”的质量。(Skype 编解码器通常以 16 000 样本/秒或更高速率对语音抽样, 这提供比 POTS 更为丰富的音色, POTS 的抽样率为 8000/秒。) 在默认状态下, Skype 通过 UDP 发送音频和视频分组。然而, 控制分组经 TCP 发送, 并且当防火墙阻挡 UDP 流时, 媒体分组也通过 TCP 发送。Skype 对于经 UDP 发送的语音和视频流使用 FEC 处理丢包恢复。Skype 客户还通过改变视频质量和 FEC 开销, 使它所发送的音频和视频流适应当前的网络情况 [Zhang X 2012]。

Skype 以一些创新方式使用 P2P 技术, 很好地阐述了 P2P 是如何应用于除内容分发和文件共享之外的应用中的。如同即时讯息那样, 主机到主机因特网电话应用的核心内在地应用了 P2P 技术, 因为用户对 (即对等方) 彼此实时通信。但是 Skype 也对两个其他重要功能应用了 P2P 技术, 这两个功能是用用户定位和 NAT 穿越。

如图 7-10 所示, Skype 中的对等方 (主机) 组织成为一个等级制覆盖网络, 其中每个对等方分类为超级对等方和普通对等方。Skype 维护一个索引, 该索引将 Skype 用户名映射为当前的 IP 地址 (和端口号)。该索引经过超级对等方分发。当 Alice 要呼叫 Bob 时, 她的客户搜索该分布式索引以决定 Bob 的当前 IP 地址。因为 Skype 协议是专用的, 所以当前并不知道该索引映射是怎样跨越这些超级对等方进行组织的, 尽管采用某种形式的 DHT 组织结构是非常可能的。

P2P 技术也被用于 Skype 中继 (relay) 中, 中继对于创建家庭网络中主机之间的呼叫是有用的。许多家庭网络配置提供通过 NAT 接入因特网, 如第 4 章所讨论的那样。前面讲过 NAT 防止来自家庭网络外部的发起的对家庭网络内部主机的连接。如果两个