

议都是专用的, 这些协议用于对等方和跟踪器之间、对等方和 DHT 之间和对等方之间的通信。有趣的是, 为了在对等方之间分发视频块, “看看” 每当可能时都使用 UDP, 这导致在中国的因特网中有巨量的 UDP 流量 [Zhang M 2010]。

7.3 IP 语音

经因特网的实时会话式语音经常被称为因特网电话 (Internet telephony), 因为从用户的视角看, 它类似于传统的电路交换电话服务。它通常也被称为 IP 语音 (Voice-over-IP, VoIP)。在本节中我们描述 VoIP 所依据的原则和协议。会话式视频在许多方面类似于 VoIP, 除了它包括参与者的视频以及他们的语音以外。为了使讨论重点突出且具体, 我们这里仅关注语音, 而不是语音和视频的结合。

7.3.1 尽力而为服务的限制

因特网的网络层协议 IP 提供了尽力而为的服务。那就是说服务尽全力将每个数据报从源尽可能快地移动到目的地, 但是没有就在某些时延界限内使分组到达目的地或丢包百分比的限制做任何承诺。缺失这种保证对实时会话式应用的设计提出了严峻挑战, 这些应用对分组时延、时延抖动和丢包非常敏感。

在本节中, 我们将讨论加强尽力而为网络上的 VoIP 性能的几种方式。我们的重点将在应用层技术上, 即这些技术并不要求在网络核心甚至在端系统的运输层有任何变化。为了使讨论具体, 我们将讨论在一个特定的 VoIP 例子环境下尽力而为 IP 服务的限制。发送方以每秒 8000 字节的速率产生字节, 且每 20ms 将字节汇聚成块。每个块和一个特殊的首部 (在下面讨论) 封装在一个 UDP 报文段中 (通过一个到套接字接口的呼叫)。因此, 一个块中的字节数为 $(20\text{ms}) \times (8000 \text{ 字节/秒}) = 160 \text{ 字节}$, 每 20ms 发送一个 UDP 报文段。

如果每个分组以恒定的端到端时延到达接收方, 那么分组每隔 20ms 就能周期性地到达接收方。在这种理想的情况下, 只要每个块一到达, 接收方就能直接播放它。但不幸的是, 某些分组可能丢失, 大多数分组没有相同的端到端时延, 即使在一个轻度拥塞的因特网中也是如此。因此, 接收方必须更仔细地判断: ①什么时候播放一个块; ②如何处理一个丢失块。

1. 丢包

考虑由 VoIP 应用产生的一个 UDP 报文段。这个 UDP 报文段封装在 IP 数据报中。当数据报在网络中徘徊时, 在等待出链路传输时它要经过路由器的缓存 (即队列)。从发送方到接收方的路径上的一个或多个缓存有可能是满的, 不能接纳该 IP 数据报。在这种情况下, 这个 IP 数据报就被丢弃了, 永远不会到达接收方的应用程序。

通过 TCP (它提供了可靠数据传输) 而不是 UDP 发送分组可以消除丢失。然而, 重传机制对于诸如 VoIP 这样的会话式实时音频应用, 通常认为是不可接受的, 因为它们增加了端到端时延 [Bolot 1996]。此外, 当丢包后, 由于 TCP 的拥塞控制, 发送方的传输速率可能减少到低于接收方的排空速率, 可能导致缓存“饥饿”。这可能会对接收方的语音可理解程度产生严重影响。由于这些原因, 几乎所有现有的 VoIP 应用默认运行在 UDP 上。[Baset 2006] 报告称 Skype 使用了 UDP, 除非用户位于阻碍 UDP 报文段的 NAT 或防