

7.3.3 从丢包中恢复

我们已经较为详细地讨论了一个 VoIP 应用能够怎样处理分组时延抖动。我们现在简要地描述在存在丢包的情况下几种试图保护可接受的音频质量的方案。这样的方案被称为丢包恢复方案 (loss recovery scheme)。这里我们定义了广义的丢包: 如果某分组不能到达接收方或者在它调度的播放时间之后才到达, 该分组则丢失。我们再次用 VoIP 例子作为描述丢包恢复方案的环境。

如在本节开始提到的那样, 在诸如 VoIP 等会话式实时应用中, 重传丢失的分组通常是不可行的。的确, 重传一个已经错过了播放截止时间的分组是绝对没有意义的。而且重传一个在路由器队列溢出的分组通常不能足够快地完成。由于这些考虑, VoIP 应用通常使用某种类型的丢包预期方案。两种类型的丢包预期方案是前向纠错 (Forward Error Correction, FEC) 与交织 (interleaving)。

1. 前向纠错

FEC 的基本思想是给初始的分组流增加冗余信息。以稍微增加传输速率为代价, 这些冗余信息可以用来重建一些丢失分组的近似或者准确版本。根据文献 [Bolot 1996] 和 [Perkins 1998], 我们现在概括了两种简单的 FEC 机制。第一种机制是每发送 n 个块之后发送一个冗余编码的块。这个冗余块通过异或 n 个初始块来获得 [Shacham 1990]。以这种方式, 在这 $n+1$ 个分组的组中, 如果任何一个分组丢失, 接收方能够完全重建丢失的分组。但是如果这一组中有两个或更多分组丢失, 接收方则无法重建丢失的分组。通过让组的长度 $n+1$ 比较小, 当丢失不是很多时, 大部分丢失分组都可以恢复。然而组的长度越小, 相对增加的传输速率就越大。特别是若传输速率以 $1/n$ 因子增加的话, 例如 $n=3$, 则传输速率增加 33%。此外, 这个简单的方案增加了播放时延, 因为接收方在能够开始播放之前, 必须等待收到整个组的分组。有关 FEC 在多媒体传输上如何工作的更多实践细节参见 [RFC 5109]。

第二个 FEC 机制是发送一个较低分辨率的音频流作为冗余信息。例如, 发送方可能创建一个标称的音频流和一个相应的低分辨率、低比特率的音频流。(这个标称流可能是一个 64kbps 的 PCM 编码, 而这个较低质量的流可能是一个 13kbps 的 GSM 编码。) 这个低比特率流被认为是冗余信息。如图 7-8 所示, 发送方通过从这个标称流中取出第 n 个块并附加上第 $(n-1)$ 个块的冗余信息, 以构建第 n 个分组。以这种方式, 只要没有连续分组的丢失, 接收方都可以通过播放和后续分组一起到达的低比特率编码块来隐藏丢失。当然, 低比特率块比标称块的质量要低。然而, 在一个流主要是由高质量块组成、偶尔出现低质量块并且没有丢失的块的情况下, 其整体的音频质量良好。注意到在这种方案中, 接收方在播放前只需接收两个分组, 因此增加的时延小。此外, 如果低比特率编码比标称编码少得多, 那么传输速率的额外增加并不大。

为了处理连续丢失, 我们能够使用率一个简单的修正方案。发送方不再仅为第 n 个标称块附加上第 $(n-1)$ 个低比特率块, 而是附加上第 $(n-1)$ 个和第 $(n-2)$ 个低比特率块, 或者附加第 $(n-1)$ 个和第 $(n-3)$ 个低比特率块等等。通过给每个标称块附加上更多低比特率块, 在各种恶劣的尽力而为服务环境下接收方的音频质量变得可接受。在另一方面, 附加的块增加了传输带宽和播放时延。