

换,一个特定用户活跃的概率是 0.1 (即 10%)。如果有 35 个用户,有 11 或更多个并发活跃用户的概率大约是 0.0004。(课后习题 P8 概述如何得到这个概率值。)当有 10 个或更少并发用户(以概率 0.9996 发生)时,到达的聚合数据率小于或等于该链路的输出速率 1Mbps。因此,当有 10 个或更少个活跃用户时,通过该链路的分组流基本上没有时延,这与电路交换的情况一样。当同时活跃用户超过 10 个时,则分组的聚合到达率超过该链路的输出容量,则输出队列将开始变长。(一直增长到聚合输入速率重新低于 1Mbps,此后该队列长度才会减少。)因为在本例子中同时活跃用户超过 10 个的概率极小,分组交换差不多总是提供了与电路交换相同的性能,并且允许在用户数量是其 3 倍时情况也是如此。

我们现在考虑第二个简单的例子。假定有 10 个用户,某个用户突然产生 1000 个 1000 比特的分组,而其他用户则保持静默,不产生分组。在每帧具有 10 个时隙并且每个时隙包含 1000 比特的 TDM 电路交换情况下,活跃用户仅能使用每帧中的一个时隙来传输数据,而每个帧中剩余的 9 个时隙保持空闲。该活跃用户传输完所有  $10^6$  比特数据需要 10s 的时间。在分组交换情况下,活跃用户能够连续地以 1Mbps 的全部链路速率发送其分组,因为没有其他用户产生分组与该活跃用户的分组进行复用。在此情况下,该活跃用户的所有数据将在 1s 内发送完毕。

上面的例子从两个方面表明了分组交换的性能能够优于电路交换的性能。这些例子也强调了两种形式的在多个数据流之间共享链路传输速率的关键差异。电路交换不考虑需求,而预先分配了传输链路的使用,这使得已分配而并不需要的链路时间未被利用。另一方面,分组交换按需分配链路使用。链路传输能力将在所有用户之间逐分组地被共享,这些用户有分组需要在链路上传输。

虽然分组交换和电路交换在今天的电信网络中都是普遍采用的方式,但趋势无疑是朝着分组交换方向发展。甚至许多今天的电路交换电话网正在缓慢地向分组交换迁移。特别是,电话网经常在昂贵的海外电话部分使用分组交换。

### 1.3.3 网络的网络

我们在前面看到,端系统(PC、智能手机、Web 服务器、电子邮件服务器等)经过一个接入 ISP 与因特网相连。该接入 ISP 能够提供有线或无线连接,使用了包括 DSL、电缆、FTTH、WiFi 和蜂窝等多种接入技术。值得注意的是,接入 ISP 不必是本地电信局或电缆公司,相反,它能够是如大学(为学生、教职员工和从业人员提供因特网接入)或公司(为其雇员提供接入)这样的单位。但为端用户和内容提供商提供与接入 ISP 的连接仅解决了连接难题中的很小一部分,因为因特网是由数以亿计的用户构成的。要解决这个难题,接入 ISP 自身必须互联。通过创建网络的网络可以做到这一点,理解这个短语是理解因特网的关键。

年复一年,构成因特网的“网络的网络”已经演化成为一个非常复杂的结构。这种演化很大部分是由经济和国家策略驱动的,而不是由性能考虑驱动的。为了理解今天的因特网网络结构,我们来逐步递进建造一系列网络结构,其中的每个新结构都更好地接近我们现有的复杂因特网。回顾前面互联接入 ISP 的目标,是使所有端系统能够彼此发送分组。一种幼稚的方法是使每个接入 ISP 直接与每个其他接入 ISP 连接。当然,这样的网状设计对于接入 ISP 费用太高,因为这将要求每个接入 ISP 与世界上数十万个其他接入 ISP 有一条单独的通信链路。