

分组，每个分组都是发往最上侧的输出端口。假定线路速度相同，交换以三倍快的线路速度进行操作，一个时间单位以后（即接收或发送一个分组所需的时间），所有三个初始分组都被传送到输出端口，并排队等待传输。在下一个时间单位中，这三个分组中的一个将通过输出链路发送出去。在这个例子中，又有两个新分组已到达交换机的入端；这些分组之一要发往最上侧的输出端口。

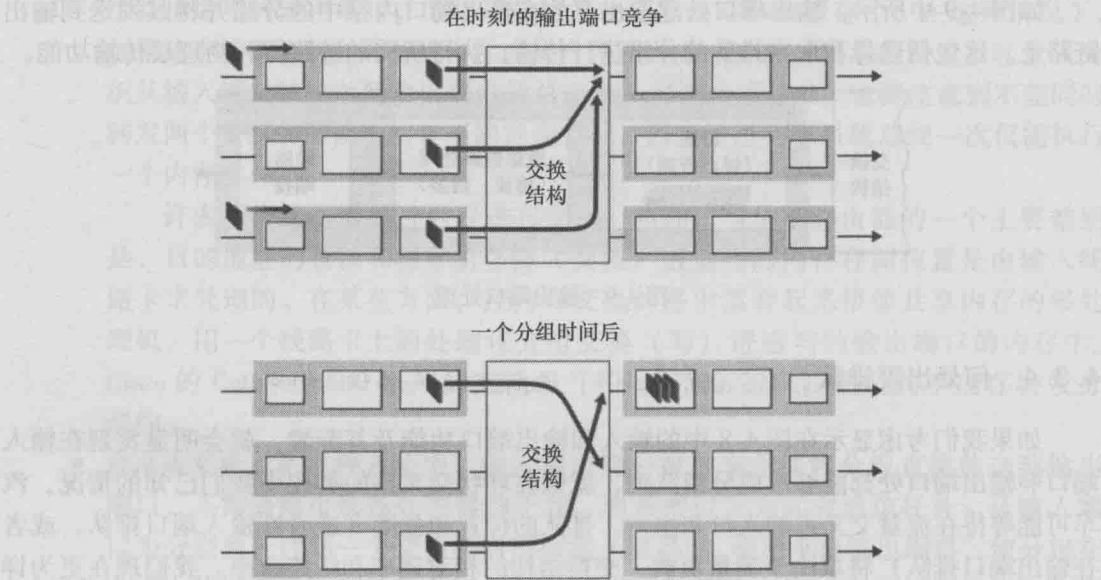


图 4-10 输出端口排队

假定需要路由器缓存来吸收流量负载的波动，一个自然而然的问题就是需要多少缓存。多年以来，对缓存长度的经验方法是 [RFC 3439]，缓存数量 (B) 应当等于平均往返时延 (RTT，比如说 250ms) 乘以链路的容量 (C)。这个结果是基于相对少量的 TCP 流的排队动态性分析得到的 [Villamizar 1994]。因此，一条具有 250ms RTT 的 10Gbps 链路将需要的缓存量等于 $B = \text{RTT} \cdot C = 2.5\text{Gb}$ 。然而，最近的理论和试验研究 [Appenzeller 2004] 表明，当有大量的 TCP 流 (N) 流过一条链路时，缓存所需要的数量是 $B = \text{RTT} \cdot C / \sqrt{N}$ 。对于通常有大量流经过的大型主干路由器链路（参见如 [Fraleigh 2003]）， N 的值可能非常大，这使得所需的缓存长度的减小相当明显。 [Appenzeller 2004; Wischik 2005; Beheshti 2008] 从理论、实现和运行的角度提供了可读性很强的有关缓存长度问题的讨论。

输出端口排队的后果就是，在输出端口上的一个分组调度程序 (packet scheduler) 必须在这些排队的分组中选出一个来发送。这种选择可能是根据简单的原则来定，如先来先服务 (FCFS) 调度，或者更复杂的调度规则，如加权公平排队 (WFQ)。WFQ 规则是在具有排队等待传输的分组的不同端到端连接之间公平地共享输出链路。分组调度程序在提供服务质量保证 (quality-of-service guarantee) 方面起着关键作用。我们将在第 7 章更深入地讨论分组调度。有关输出端口分组调度规则的讨论见 [Cisco Queue 2012]。

类似地，如果没有足够的内存来缓存一个入分组，那么必须做出决定：要么丢弃到达的分组（一种称为弃尾 (drop-tail) 的策略），要么删除一个或多个已排队的分组来为新