

(1) 处理时延

检查分组头部和决定将该分组导向何处所需要的时间是**处理时延**的一部分。处理时延也能包括其他因素,如检查比特级别的差错所需要的时间,该差错出现在从上游结点向路由器 A 传输这些分组比特的过程中。高速路由器的处理时延通常是微秒或更低的数量级。在这种结点处理之后,路由器将该分组引向通往路由器 B 链路之前的队列。(在第4章中,我们将研究路由器运行的细节。)

(2) 排队时延

在队列中,当分组在链路上等待传输时,它经受**排队时延**。一个特定分组的排队时延长度将取决于先期到达的正在排队等待向链路传输的分组数量。如果该队列是空的,并且当前没有其他分组正在传输,则该分组的排队时延为0。另一方面,如果流量很大,并且许多其他分组也在等待传输,该排队时延将很长。我们将很快看到,到达分组期待发现的分组数量是到达该队列的流量的强度和性质的函数。实际的排队时延可以是毫秒到微秒量级。

(3) 传输时延

假定分组以先到先服务方式传输,这在分组交换网中是常见的方式,仅当所有已经到达的分组被传输后,才能传输刚到达的分组。用 L 比特表示该分组的长度,用 R bps (即 b/s) 表示从路由器 A 到路由器 B 的链路传输速率。例如,对于一条 10Mbps 的以太网链路,速率 $R = 10\text{Mbps}$; 对于 100Mbps 的以太网链路,速率 $R = 100\text{Mbps}$ 。**传输时延**是 L/R 。这是将所有分组的比特推(传输)向链路所需要的时间。实际的传输时延通常在毫秒到微秒量级。

(4) 传播时延

一旦一个比特被推向链路,该比特需要向路由器 B 传播。从该链路的起点到路由器 B 传播所需要的时间是**传播时延**。该比特以该链路的传播速率传播。该传播速率取决于该链路的物理媒体(即光纤、双绞铜线等),其速率范围是 $2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$,这等于或略小于光速。该传播时延等于两台路由器之间的距离除以传播速率。即传播时延是 d/s ,其中 d 是路由器 A 和路由器 B 之间的距离, s 是该链路的传播速率。一旦该分组的最后一个比特传播到结点 B,该比特及前面的所有比特被存储于路由器 B。整个过程将随着路由器 B 执行转发而持续下去。在广域网中,传播时延为毫秒量级。

(5) 传输时延和传播时延的比较

计算机网络领域的新手有时难以理解传输时延和传播时延之间的差异。该差异是微妙而重要的。传输时延是路由器将分组推出所需要的时间,它是分组长度和链路传输速率的函数,而与两台路由器之间的距离无关。另一方面,传播时延是一个比特从一台路由器向另一台路由器传播所需要的时间,它是两台路由器之间距离的函数,而与分组长度或链路传输速率无关。

一个类比可以阐明传输时延和传播时延的概念。考虑一条公路每 100km 有一个收费站,如图 1-17 所示。可认为收费站间的公路段是链路,收费站是路由器。假定汽车以 100km/h 的速度在该公路上行驶(即传播)(即当一辆汽车离开一个收费站时,它立即加速到 100km/h 并在收费站间维持该速度)。假定这时有 10 辆汽车的车队在行驶,并且这 10 辆汽车以固定的顺序互相跟随。可以认为每辆汽车是一个比特,该车队是一个分组。同时假定每个收费站以每辆车 12s 的速度服务(即传输)一辆汽车,由于时间是深夜,因