

第三节 网络性能度量

一、课程目标

对应教材 1.6 内容，掌握网络性能度量方法。

二、课程内容（本节均为重点）

1、**计算机网络性能指标：速率、带宽、吞吐量、时延、时延带宽积、往返时间、利用率。**

2、计算机网络非性能指标：费用、质量、标准化、可靠性、可扩展性和可升级性、易于管理和维护。

3、**速率(Rate)：即数据传送速率，又名数据率或比特率。常用单位为 bit/s。千=10³=k, 兆=10⁶=M, 吉=10⁹=G, 太=10¹²=T, ..., P、E、Z、Y, ...**

4、**带宽(Bandwidth)：**

在模拟通信中，带宽指信号频带宽度，单位为赫兹 Hz；

在计算机网络中，带宽指通道传送数据的能力(上限)，单位为比特每秒 bit/s。

5、吞吐量(Throughput)：单位时间内网络实际传送数据量（实时）。

有效吞吐量(Goodput)，单位时间内网络传送有效数据量。

6、**时延(Delay 或 Latency)：数据从网络一段传送到另一段所需的时间，如图 1-12 所示。**

总时延=发送时延（传输时延）+传播时延+处理时延+排队时延。

其中，

发送时延=数据帧长度(bit)/发送速率(bit/s)；播时延=信道长度(m)/电磁波在信道上的传播延迟(m/s)，光纤传播时延约为 5us/km。

典型案例：

假定有一个长度为 100MB 的数据块，在带宽为 1Mbit/s 的 1000km 长的光纤信道上连续发送，

则发送时延是 $100\text{MB}/(1\text{Mbit/s})=8*100*1024*1024/(10^6)=839.9\text{s}$ ；传播时延为 5ms。

注意：传播时延取决于通信线路介质材料。高速链路提高发送速率（降低发送延迟），不降低传播延迟。电磁波在自由空间的传播速率是光速，即 $3.0*10^8\text{km/s}$ ，在网络传输媒体中的传播速率比在自由空间要略低一些。

光纤信道传输速率高，指的是可以用很高的速率向光纤信道发送数据。实际光纤信道传播速率略低于铜线。

7、**时延带宽积 Bandwidth-delay Product：**

时延带宽积=传播时延*带宽。

飞行包概念。

9、**往返时间 RTT**

理论上，最小往返时间 $\text{RTT}=\text{往返单向延迟之和}$ 。

实际上，由于存在队列延迟和处理延迟，往返时间 RTT 大于往返单向延迟之和。

有效数据率=数据长度/（发送时间+RTT），与前面提到的 Goodput 是两个含义。

典型案例：

假如数据长度为 100MB，发送速率是 100Mbit/s，则发送时间为 8.39s。
假如 RTT=2s，则发送端在完成最后 1 个比特发送后需要等待 2s 才能收到接收端的确认信息。整个通信过程实际有效数据率为 $100 \times 1024 \times 1024 \times 8 / (8.39 + 2) = 80.7 \text{Mbit/s}$ ，略低于实际发送速率。

10、利用率：包括信道利用率和网络利用率两种。

信道利用率指信道被利用的时间占比。完全空闲的信道的利用率为 0。

网络利用率指全网络的信道利用率的加权平均值。

信道利用率并非越高越好，利用率越高，拥塞风险越高，网络延迟（排队延迟）越大。

网络延迟 $D = \text{空闲延迟 } D_0 / (1 - \text{网络利用率 } U)$

11、除了上述指标，还有丢包、抖动、平稳性、收敛性等度量指标。

三、重点习题

P39: 1-11、1-17、1-18、1-19、1-28