

【题目2】

某网络链路连接两台主机A和B。已知该链路的带宽为 1 Gbps，单向传播时延为5 ms。主机A要向主机B发送一个大小为 12.5 MB 的文件。忽略任何处理时延、排队时延和协议开销。

(1) 请计算：

①比特时间：计算在该链路上发送1个比特所需要的时间。

②传输时延：计算将整个文件的数据推送到链路上所需要的时间。

③总时延：计算从主机A发送该文件的第一个比特开始，到主机B接收到该文件的最后一个比特为止，所经历的总时间。

④往返时延：计算该链路的往返时延。

⑤时延带宽积：计算该链路的时延带宽积，并说明其物理意义。

⑥信道利用率：如果我们将“从开始发送第一个比特到接收完最后一个比特的时间”视为该文件传输任务对信道的占用时间，请计算在此次传输过程中，该链路的信道平均利用率。

(2) 请清晰地解释传输时延和传播时延的根本区别。哪一个取决于“数据块的大小”？哪一个取决于“物理距离”？

(3) 带宽和吞吐量在概念上有何不同？在本题描述的理想场景下，主机B接收该文件的实际吞吐量是多少？

(4) 如果另一个网络链路的时延带宽积很小，这通常意味着什么？

(5) 假设文件大小和传播时延不变，仅将链路带宽从1 Gbps提升到10 Gbps：

①传输时延将如何变化？是原来的几分之几？

②总时延将如何变化？

③本次文件传输的吞吐量将如何变化？

(6) 假设文件大小和带宽不变，但这是一条卫星链路，传播时延增大到了250 ms：

①总时延将如何变化？

②本次文件传输的吞吐量将如何变化？

③时延带宽积将如何变化？这一变化对网络设计有何启示？

1

1.1

$$\text{比特时间} = \frac{1\text{bit}}{1 \times 10^9 \text{bits/s}} = 1 \times 10^{-9} \text{s} = 1\text{纳秒} \quad (1)$$

1.2

$$12.5\text{MB} = 12.5 \times 10^6 \text{B} = 12.5 \times 10^6 \times 8\text{bit} = 10^8 \text{bit}$$
$$\text{传输时延} = \frac{10^8}{10^9} = 0.1\text{s} \quad (2)$$

1.3

$$\text{总时延} = \text{传输时延} + \text{传播时延} = 0.1\text{s} + 5\text{ms} = 105\text{ms} \quad (3)$$

1.4

$$RTT = 2 \times 5\text{ms} = 10\text{ms} \quad (4)$$

1.5

$$\text{时延带宽积} = \text{带宽} \times \text{传播时延} = 10^9 \text{bits/s} \times 5\text{ms} = 5 \times 10^6 \text{bit} \quad (5)$$

物理意义就是这条网络链路的“管道体积”。发送方在收到第一个比特的确认信息之前，最多可以发送 5×10^6 个比特充满这条链路。

1.6

$$\text{信道利用率} = \frac{\text{传输时延}}{\text{总时延}} = \frac{100}{105} = 0.9524 \quad (6)$$

2

根本区别:

- **传输时延 (ttrans):** 是发送方把数据“推”上信道所花费的时间。它与发送设备的能力和要发送的数据量有关。可以把它想象成一列火车（数据）完全驶离车站（主机）所需要的时间。
- **传播时延 (tprop):** 是一个比特在信道介质中“飞行”所花费的时间。它与信道的物理长度和信号在介质中的传播速度有关。可以把它想象成火车的车头从始发站行驶到终点站所需要的时间。

决定因素:

- **传输时延**取决于“数据块的大小” (L) 和带宽 (R) 。数据块越大，传输时延越长。
- **传播时延**取决于“物理距离” (d) 和传播速率 (s) 。距离越远，传播时延越长。

3

概念不同:

- **带宽 (Bandwidth):** 指的是网络链路在理想情况下的理论最大传输速率，是一个额定值，比如本题中的1 Gbps。它衡量的是链路的“能力”。
- **吞吐量 (Throughput):** 指的是在一定时间内，源和目的之间实际成功传输的数据速率，是一个测量值。它会受到带宽、网络拥塞、协议开销、设备性能等多种因素的影响，通常小于或等于带宽。它衡量的是网络的“实际表现”。

实际吞吐量计算: 吞吐量 = 成功传输的总数据量 / 所花费的总时间

$$\text{吞吐量} = \frac{10^8}{105 \times 10^{-3}} = 9.524 \times 10^8 \text{ bits/s} \quad (7)$$

4

- 链路物理距离短
- 带宽低

5

传输时延变成 $10ms$, 变成原来的十分之一。

总时延变成 $15ms$

吞吐量: $\frac{10^8}{15 \times 10^{-3}} = 6.67 Gbps$

6

总时延变成 $350ms$

吞吐量下降, 下降到 $\frac{10^8}{0.35} = 0.286 Gbps$

时延带宽积翻了 50 倍, **启示:** 这种高带宽、高时延的网络被称为“长肥网络”(Long Fat Network, LFN)。巨大的时延带宽积意味着在收到对端确认之前, 发送方需要有能力和发送大量的数据(至少等于时延带宽积)来“填满”网络管道, 否则链路带宽将被严重浪费。这对网络协议的设计提出了挑战, 例如:

- **需要更大的缓冲区:** 发送方和接收方需要足够大的内存来缓存正在传输途中的数据。
- **需要优化的协议:** 传统的TCP协议的默认窗口大小可能不足以填满这个管道, 导致吞吐量远低于带宽。因此需要使用支持窗口缩放选项(Window Scaling Option)的TCP协议, 以及更先进的拥塞控制算法, 才能在这种网络环境下实现高性能传输。